



# **Implementação do Biogás: Exploração de Aspectos Técnicos e Mercadológicos**

**Rafael Leal Ferraz Pereira**

## **Monografia em Engenharia de Bioprocessos**

**Orientador**

**Fábio de Almeida Oroski, D.Sc.**

**Julho de 2014**

# **Implementação do Biogás: Exploração de Aspectos Técnicos e Mercadológicos**

***Rafael Leal Ferraz Pereira***

Monografia de Curso submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro de Bioprocessos.

Aprovado por:

---

Vívian Tenorio dos Santos, Engenheira

---

Carlos André Vaz Junior, D.Sc

---

Márcio Iespa Garcia, Engenheiro

Orientado por:

---

Fábio de Almeida Oroski, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Julho de 2014

Pereira, Rafael Leal Ferraz.

Implementação do Biogás: Exploração de Aspectos Técnicos e Mercadológicos/Rafael Leal Ferraz Pereira. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2014.

vi, 69 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2014.

Fábio de Almeida Oroski

1. Biogás 2. Modelo de Negócio 3. Fonte de Energia 4. Monografia (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Fábio Oroski. I - Implementação do Biogás: Exploração de Aspectos Técnicos e Mercadológicos

Aos meus pais, meu irmão,  
minha namorada e a toda minha família  
e amigos. A todos que fizeram parte dessa jornada.  
Muito Obrigado.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a todos os meus familiares, pelo suporte, conhecimento e orientação que me deram ao longo de toda essa jornada. Sem eles, eu não teria chegado até aqui.

A todos os meus amigos, por terem me ajudado sempre que precisei.

A minha namorada, por toda sua compreensão e incentivo.

E por último, porém não menos importante, ao meu orientador por sua presteza, profissionalismo e principalmente, paciência.

Obrigado a todos que direta ou indiretamente participaram dessa jornada comigo, vocês serão para sempre parte dessa história.

Resumo do Projeto Final apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para a conclusão do curso de Engenharia de Bioprocessos.

## **Implementação do Biogás: Exploração de Aspectos Técnicos e Mercadológicos**

Rafael Leal Ferraz Pereira (leal.rafael@uol.com.br)

Julho, 2014

Orientador Responsável: Prof. Fábio de Almeida Oroski, D.Sc.

Com o aumento do nível de emissões de gases do efeito estufa o uso do biogás vem crescendo no mundo, impulsionado pela busca por fontes de energia renováveis que possam substituir o uso dos combustíveis fósseis. O biogás é produzido a partir da digestão anaeróbia de compostos orgânicos, sendo majoritariamente composto de CO<sub>2</sub> e metano, podendo ser utilizado como fonte de energia ou como matéria prima para fabricação de outros produtos, como o metanol. Devido a crescente importância desse produto, o presente trabalho propõe estudar as estruturas da cadeia produtiva e comercial do biogás, assim como as dimensões dos modelos de negócio aplicáveis a três estudos de caso, discutindo-os e analisando-os, para se compreender quais são as dimensões mais relevantes no processo de desenvolvimento desses projetos. Concluiu-se neste trabalho, que os projetos de biogás podem se estruturar de acordo com a fonte de matéria prima utilizada, afetando diretamente a relação produtor/consumidor e também que de acordo com as dimensões analisadas, os estudos de caso apresentaram proposição e captura de valor similar.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 OBJETIVOS PRIMÁRIOS .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO E METODOLOGIA .....</b>	<b>4</b>
<b>2. BIOGÁS .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. DEFINIÇÃO E HISTÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. COMPONENTES .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3. DECOMPOSIÇÃO ANAERÓBIA .....</b>	<b>7</b>
<b>2.4. FONTES DE MATÉRIA PRIMA .....</b>	<b>9</b>
<b>2.4.1. AGROPECUÁRIA .....</b>	<b>9</b>
<b>2.4.2. TRATAMENTO DE EFLUENTES .....</b>	<b>11</b>
<b>2.4.3. ATERROS SANITÁRIOS .....</b>	<b>13</b>
<b>2.5. TRATAMENTOS DO BIOGÁS .....</b>	<b>15</b>
<b>2.6. ARMAZENAMENTO DO BIOGÁS .....</b>	<b>16</b>
<b>2.7. USOS E TECNOLOGIAS DO BIOGÁS .....</b>	<b>19</b>
<b>3. PANORAMA MUNDIAL DO BIOGÁS .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1. EUROPA .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1.1. ÁUSTRIA .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.2. FINLÂNDIA .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.3. REINO UNIDO .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.4. ALEMANHA .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2. CHINA .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3. ESTADOS UNIDOS .....</b>	<b>30</b>
<b>3.4. BRASIL .....</b>	<b>31</b>
<b>3.5. CONSIDERAÇÕES .....</b>	<b>33</b>
<b>4. MODELOS DE NEGÓCIO PARA O APROVEITAMENTO DO BIOGÁS .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 INTRODUÇÃO AO MODELO DE NEGÓCIO .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2 CADEIA DO BIOGÁS .....</b>	<b>37</b>
<b>4.3 ESTUDOS DE CASO .....</b>	<b>41</b>
<b>4.3.1. ESTUDO DE CASO 1 – GÁS VERDE S.A. E REDUC .....</b>	<b>41</b>
<b>4.3.2. ESTUDO DE CASO 2 – ETE OURO VERDE .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3.3. ESTUDO DE CASO 3 – GRANJA COLOMBARI .....</b>	<b>47</b>
<b>4.4. ANÁLISE COMPARATIVA DOS ESTUDOS DE CASO .....</b>	<b>51</b>
<b>5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>57</b>

# 1. INTRODUÇÃO

No passado, o ser humano utilizava a biomassa para suprir todas as suas necessidades energéticas, sendo por muito tempo a madeira a principal fonte de energia primária. Isso mudou durante o século XIX com a Revolução Industrial, liderada pela Inglaterra, onde o carvão e mais tarde o gás natural e o petróleo, todos esses combustíveis fósseis e não renováveis, se tornaram a base da matriz energética mundial (FARIAS; SELLITTO, 2011). Em 1960, surge o primeiro reator nuclear a ser comercializado nos Estados Unidos e a energia nuclear entra no cenário mundial como possível substituta dos combustíveis fósseis, porém por questões econômicas e de segurança, seu crescimento acabou prejudicado (WNA, 2013). Além das anteriormente citadas, existem diversos outros tipos energia, que quando provenientes de fontes naturais e possuem capacidade de renovação, são classificadas como renováveis.

Atualmente, as fontes de energia podem ser divididas em duas classes:

- Primárias – São geradas por recursos naturais como: madeira, carvão, petróleo, gás natural, água, urânio, vento e sol.
- Secundárias – Resultam da transformação das fontes primárias como: eletricidade, gasolina, entre outros.

Os combustíveis fósseis são responsáveis pela maior parte do suprimento energético mundial, seguidos da energia nuclear, dos biocombustíveis e das fontes hídricas. Existem ainda outras fontes, como a geotermal, solar, eólica, que contribuem para o cenário energético mundial. Um importante fato a se ressaltar é o papel, cada vez mais relevante, observado para as fontes renováveis no cenário energético, devido a constante busca por fontes que possam substituir as não renováveis (IEA, 2013).

De acordo com as projeções atuais, o aumento da população mundial, estimada em 8,3 bilhões de pessoas até 2030, só fará crescer a demanda de energia, puxada principalmente pelos países emergentes, como China e Índia. Esse constante aumento da população, gera um agravamento dos problemas ambientais, como o aquecimento global (BP, 2013).

O aquecimento global ocorre devido à intensificação do efeito estufa, que é um fenômeno natural, possibilitador da vida na Terra. Porém, a alta concentração dos



gases do efeito estufa, geram um aumento anormal na temperatura terrestre. Esse aumento de concentração é atribuído principalmente a ações antrópicas. Em função disso, diversas ações vem tomando parte na diretriz dos países de forma a mitigar as emissões desses gases (MMA, 2013).

Uma dessas ações ocorreu em 11 de dezembro de 1997, onde foi adotado, na cidade de Quioto no Japão, o “Protocolo de Quioto”, um acordo internacional ligado a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (CQNUMC ou UNFCCC, em inglês), que define, a seus integrantes, metas de redução das emissões de gases que agravam o efeito estufa. Com o objetivo de flexibilizar e a assistir os países atingirem seus objetivos, foram criados três mecanismos (UNFCCC, 2013):

1. O Comércio Internacional de Emissões (CIE), previsto no artigo 17 do protocolo, permite que países compromissados com a redução das emissões de gases do efeito estufa comercializem seu “excedente” de Unidades de Quantidade Atribuída (UQA), comumente conhecida como “crédito de carbono”, já que o carbono é um dos principais responsáveis pelo efeito estufa. O CIE gerou o um mercado conhecido como “mercado de créditos de carbono”.
2. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, definido no artigo 12 do protocolo, permite um país desenvolvido, participante do protocolo e possuidor de metas de redução de carbono, implementar em um país em desenvolvimento um projeto para redução dessas emissões. Esse projeto pode ganhar “Certificados de redução de emissão” (CER) que são vendáveis e equivalentes a redução da emissão de uma tonelada de CO<sub>2</sub>, que pode ser utilizado na busca pelos objetivos do protocolo.
3. A Implementação Conjunta, definida pelo artigo 6 do protocolo, permite um país, classificado pela CQNUMC como participante do “Anexo B” (que são basicamente os países desenvolvidos) possuidor de metas de redução, obter Unidades de redução de emissões (equivalente a uma tonelada de CO<sub>2</sub>) em função da realização de projetos de redução ou eliminação de emissões em outros países do “Anexo B”.

Como grande parte das reduções da emissão de gases poluentes são provenientes da diminuição do uso de combustíveis fósseis e investimentos em projetos que gerem essa diminuição, iniciativas como o “Protocolo de Quioto” são passos importantes para o fortalecimento das energias renováveis, que possuem

diferentes graus de maturidade tecnológica e de mercado, necessitando de estímulos específicos.

Dentre as diversas fontes de energia renováveis estudadas, o biogás se apresenta como uma opção. Ele é proveniente da digestão anaeróbia de matéria orgânica, sendo composto basicamente de metano e CO<sub>2</sub> e pode ser uma alternativa sustentável ao uso dos combustíveis fósseis, principalmente ao gás natural, na geração de energia. Além de possuir grande potencial energético, seu processo de obtenção diminui a liberação de gases do efeito estufa e promove um fim para parte dos resíduos como, o lixo de aterro, os resíduos agropecuários e de estações de tratamento de esgoto.

Devido ao seu potencial como fonte de energia, é importante estudar seus aspectos operacionais (como suas etapas de coleta, tratamento e seus usos finais), suas características de composição e produção (fonte de matéria-prima geradora, etapas de geração, composição do biogás), antes de utilizá-lo satisfatoriamente.

Outro importante objeto de estudo, é o modelo de negócio que será utilizado. Um dos principais problemas para a consolidação do biogás como fonte de energia é a dificuldade de implementação de um modelo de negócio para esse produto. Normalmente, o modelo de negócio para produtos de origens sustentáveis são complexos, pois exigem um maior envolvimento entre as empresas, muitas vezes algo com o qual as mesmas não estão acostumadas a fazer (TSVETKOVA; GUSTAFSSON, 2012). Na busca de um modelo adequado, é necessário superar diversos desafios, como a falta de incentivo fiscal para produção do biogás, a falta de uma coordenação do governo em relação ao assunto, questões relacionadas disponibilidade e preço de matéria-prima e a baixa taxa de retorno de parte dos projetos (ZANETTE, 2009).

## **1.1 OBJETIVOS PRIMÁRIOS**

O principal objetivo deste trabalho é analisar e discutir as possíveis estruturas da cadeia produtiva e comercial do biogás, além das dimensões dos modelos de negócio aplicáveis a este, principalmente como alternativa as fontes de energia não renováveis.

## **1.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS**

Para alcançar seu objetivo primário, este trabalho se propõe a:

- Fazer uma breve revisão bibliográfica sobre o biogás.
- Montar e analisar um esquema das possíveis cadeias produtiva e comercial do biogás.
- E por fim, realizar três estudos de caso de biogás, compará-los e analisá-los através das dimensões dos modelos de negócio, para que se compreendam as dimensões mais relevantes no processo de estruturação desses projetos.

### **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO E METODOLOGIA**

Este trabalho tem a seguinte estruturação e metodologia:

1. Para a realização deste trabalho, primeiramente uma base de informações sobre o biogás foi montada, através de uma revisão bibliográfica de seus principais aspectos operacionais e características (capítulo 2) e da sua situação no mundo (capítulo 3). Essa base serviu como fonte para consulta para que se desenvolve-se os capítulos posteriores.
2. Em seguida, fez-se uma revisão bibliográfica da definição de modelo de negócio e suas dimensões, com o objetivo de criar uma base de informações sobre esse assunto.  

Analisou-se então as possíveis estruturas da cadeia produtiva e comercial do biogás além de três estudos de caso (capítulo 4). Essas análises de estrutura foram importantes para ilustrar como a cadeia do biogás pode ser montada e quais aspectos a influenciam. Yin (2005) destaca a importância em relação a metodologia dos estudos de caso, afirmando que esses representam uma maneira de se investigar um tópico empírico seguindo-se um conjunto de procedimentos pré-especificados, para compreender os fenômenos individuais, organizacionais, sociais e políticos.
3. A parte final do trabalho é composta de conclusões e sugestões sobre como os projetos relacionados ao biogás podem ser estruturados e quais aspectos os influenciam, de acordo com o estudado neste trabalho (capítulo 5).

## **2. BIOGÁS**

Neste capítulo será realizada uma revisão bibliográfica sobre o biogás. Serão abordados temas como: a definição do que é o biogás, de acordo com diversos autores, um breve histórico de seu descobrimento e desenvolvimento, aspectos relacionados a sua composição, produção, armazenamento e tratamento além de suas possíveis aplicações.

### **2.1. DEFINIÇÃO E HISTÓRICO**

De acordo com a definição encontrada em diversos trabalhos como CETESB, 2013; DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008 e JØRGENSEN, 2009, a matéria orgânica ao ser anaerobicamente (sem a presença de oxigênio) decomposta por determinadas bactérias, tem como um de seus principais produtos o biogás, que é composto basicamente de metano e CO<sub>2</sub>, e tem entre suas possíveis aplicações a geração de energia elétrica e de calor.

Descoberto por Shirley, em 1667, foi apenas no século XIX que o biogás teve evidenciado por Ulysse Gayon, aluno de Louis Pasteur, seu uso como fonte de energia. Ulysse utilizou uma mistura de água e estrume para realizar uma fermentação anaeróbia, conseguindo assim obter o biogás. Em 1884, Louis Pasteur apresentou à Academia das Ciências os trabalhos de Ulysse. Ele também considerou (devido à presença de metano na composição do biogás e sendo esse possuidor de um alto poder calorífico) os potenciais usos do biogás como fonte de energia e iluminação (CETESB, 2013).

Por volta de 1930, realizaram-se as primeiras tentativas de retirar a água, o gás carbônico e os sulfetos do biogás para que assim fosse possível utilizá-lo como combustível para veículos e foi nessa mesma época que os resíduos provenientes da agricultura começaram a ser usados para produzi-lo. Nos anos 50, foi inaugurada em Celle na Alemanha a primeira planta para a produção de biogás considerada de grande porte. Além dessa, várias outras plantas foram construídas ao longo do tempo, porém, em 1955, o biogás começou a perder força devido aos baixos preços e abundância do petróleo, o que levou ao fechamento de quase todas as plantas na Alemanha. Em 1970, com a crise do petróleo houve um aumento na demanda por

biogás, o que levou a um novo aumento do número de plantas. (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

## 2.2. COMPONENTES

Os componentes presentes no biogás, assim como suas concentrações, são influenciados principalmente por fatores como as fontes de matéria-prima utilizadas na digestão anaeróbia, a técnica de digestão utilizada e pelas diferentes tecnologias de construção de usinas (FNR, 2010).

Os principais produtos da digestão anaeróbia são o metano e o dióxido de carbono, porém o biogás pode apresentar traços de outros produtos como amônia, siloxanos<sup>1</sup>, vapor de água e sulfeto de hidrogênio. A proporção de metano e dióxido de carbono varia de acordo com o substrato e o processo utilizado, sendo o biogás produzido chamado de “cru” ou “bruto”, em detrimento ao biogás tratado e aprimorado, chamado de “biometano”. Mohseni *et al.* (2012) afirmam que a concentração de metano no biogás cru está na faixa de 55% - 75% de volume, enquanto Werner *et al.* (1989) e Olsson *et al.* (2014) relatam uma faixa entre 40% – 70% e 40% – 75%, respectivamente. Para o dióxido de carbono, Werner *et al.* (1989) apresenta uma concentração entre 27% - 44%, enquanto Poeschl *et al.* (2010) e Krich *et al.* (2005) relatam concentrações nas faixas de 25% – 45% e 30% – 45%, respectivamente.

Com o aprimoramento do biogás ao nível de biometano, é possível chegar a uma concentração de 95% a 99% de metano (RYCKEBOSCH *et al.*, 2011).

A tabela 1 mostra os componentes e as impurezas mais tipicamente encontradas no biogás, além dos seus efeitos na qualidade final do mesmo:

---

<sup>1</sup> Grupo funcional químico, com ligações Si-O-Si.

**Tabela 1 – Componentes e Impurezas do biogás**

Componentes	Conteúdo	Efeitos para o biogás
CO <sub>2</sub>	25 - 50% por vol.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminui o poder calorífico do biogás</li> <li>- Eleva as propriedades antidetonantes das máquinas</li> <li>- Causa corrosão, se o gás estiver úmido</li> <li>- Danifica células combustíveis alcalinas</li> </ul>
H <sub>2</sub> S	0 - 0,5% por vol.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efeito corrosivo em equipamentos e sistemas de canos</li> <li>- Deteriora os catalisadores</li> </ul>
NH <sub>3</sub>	0 - 0,05% por vol.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissões de NO<sub>x</sub> após os queimadores danificam as células combustíveis</li> <li>- Eleva as propriedades antidetonantes das máquinas</li> </ul>
Vapor de água	1 - 5% por vol.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Causa corrosão em equipamentos e sistemas de gasodutos</li> <li>- A condensação danifica os instrumentos</li> <li>- Gera risco de congelamento dos sistemas de canos e bocais</li> </ul>
Poeira	> 5 µm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bloqueia os bocais e as células combustíveis</li> </ul>
N <sub>2</sub>	0 - 5% por vol.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminui o poder calorífico do biogás</li> <li>- Eleva as propriedades antidetonantes das máquinas</li> </ul>
Siloxanos	0 - 50 mg m <sup>-3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Age como um abrasivo, danificando as máquinas</li> </ul>

Fonte: adaptado de DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008

### 2.3. DECOMPOSIÇÃO ANAERÓBIA

A decomposição anaeróbia da matéria orgânica ocorre através de uma interação entre diversos tipos de bactérias, cada uma responsável por uma etapa do processo, que acaba sendo interdependente.

Quando compara-se o ganho energético entre as decomposições aeróbias e anaeróbias, constata-se que o processo anaeróbio gera uma quantidade muito menor de energia. Por exemplo, a decomposição aeróbia de uma molécula de glicose gera um total de 38 moléculas de ATP, enquanto o processo sem a presença de oxigênio gera apenas duas moléculas. Dessa forma, a geração de biomassa e a

taxa de crescimento das bactérias são muito menores em condições anaeróbias. (JØRGENSEN, 2009).

Alguns trabalhos, como o de Seadi *et al.*, (2008), separam a digestão anaeróbia em quatro etapas (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese), enquanto outros, como o de Jørgensen, (2009), a separam em três (hidrólise, acidogênese e metanogênese), porém, independente do número de etapas, ambos levam em consideração todas as fases do processo.

- Hidrólise – Durante esta primeira fase da decomposição anaeróbia, os microorganismos hidrolíticos liberam enzimas que decompõem a matéria orgânica complexa, como os carboidratos complexos, as proteínas, e os lipídios, transformando-os em produtos de cadeia menor, como a glicose e o glicerol que serão utilizados como substrato na fase seguinte do processo de digestão (SEADI *et al.*, 2008).
- Acidogênese – As bactérias acidogênicas, convertem os produtos da etapa anterior em ácidos, alcoóis, hidrogênio, ácidos graxos voláteis e dióxido de carbono (FILHO, 2005).
- Acetogênese – Como as bactérias metanogênicas não conseguem utilizar diretamente os compostos produzidos na acidogênese, certas espécies de bactérias consomem esses substratos, formando o ácido acético, o hidrogênio e o dióxido de carbono. Normalmente, a acidogênese e a acetogênese ocorrem simultaneamente, como simbiose entre dois grupos de organismos (SEADI *et al.*, 2008).
- Metanogênese – A última etapa da digestão anaeróbia tem como protagonistas as bactérias metanogênicas. Um grupo dessas bactérias degrada o ácido acético, transformando-o em metano, enquanto outro grupo produz metano a partir do dióxido de carbono e do hidrogênio. Em condições estáveis a maior parte do metano formado é originado do ácido acético. Os metanogênicos tem a menor taxa de crescimento entre as bactérias envolvidas na digestão anaeróbia, logo essa se torna a etapa limitante do processo (JØRGENSEN, 2009).

A figura 2 resume o processo de digestão anaeróbia:

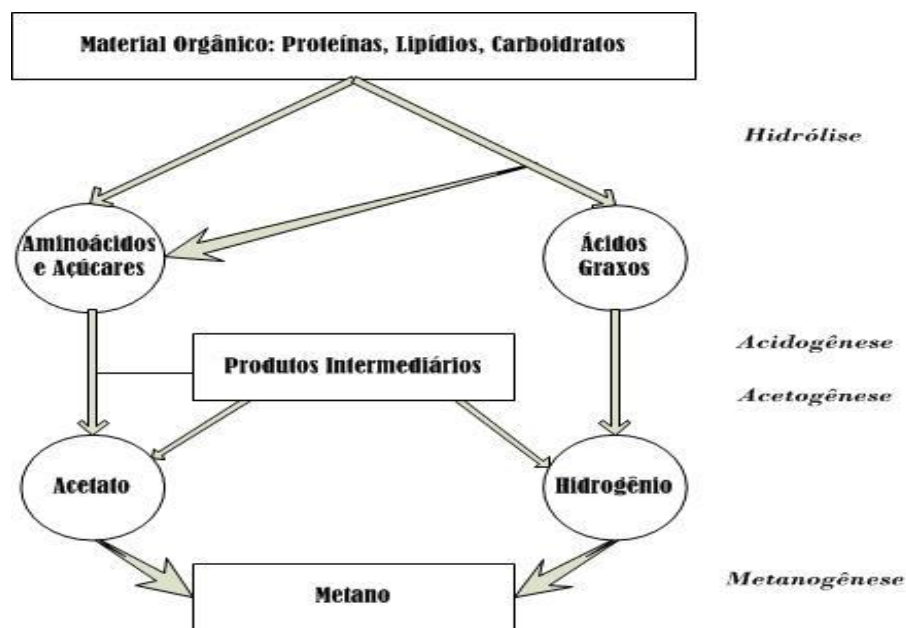


Figura 2 – Etapas da Digestão Anaeróbia

Fonte: adaptado de VAN HAANDEL; LETTINGA , 1994

## 2.4. FONTES DE MATÉRIA PRIMA

Basicamente, qualquer matéria orgânica pode ser utilizada como fonte de matéria-prima para a produção de biogás. Neste tópico serão tratados os tipos de matéria-prima mais comumente encontradas na literatura.

### 2.4.1. AGROPECUÁRIA

Os substratos provenientes do setor agropecuário se apresentam como a matéria prima com maior potencial para produção de biogás. Eles consistem basicamente de diferentes resíduos, dos quais o mais importante é o esterco animal, coletado nas fazendas (proveniente das criações de gado, ovino e suíno, por exemplo). Junto com o esterco, resíduos de sementes e sobras agrícolas (palha, grama, frutas, etc...) também podem ser utilizados. Durante a última década, outras categorias de matérias primas vêm sendo testadas, como as “*energy crops*”, que são as sementes que crescem com a finalidade de produzir biogás (WELLINGER *et al.*, 2013).

A quantidade de biogás produzida a partir do esterco líquido bovino é da ordem de 20 a 30 Nm<sup>3</sup> por tonelada de substrato, ligeiramente abaixo do esterco líquido suíno, que apresenta um maior rendimento de metano. Isso se deve às diferenças na composição dos dois, pois no esterco bovino predominam os



carboidratos, enquanto no esterco suíno as proteínas, sendo essas capazes de originar maiores teores de metano. A produção de biogás está condicionada, sobretudo a quantidade de matéria orgânica seca presente no substrato. É muito comum nas operações de criação dos rebanhos a diluição dos adubos orgânicos, como acontece, por exemplo, na limpeza do estábulo ou da sala de ordenha que pode alterar sensivelmente as propriedades dos substratos e influenciar a produção de biogás. Os estercos líquidos de origem bovina e suína podem ser muito mais facilmente utilizados em usinas de biogás, em função da sua bombeabilidade e fácil armazenamento em tanques. Além disso, devido ao seu baixo teor de matéria seca, eles podem ser facilmente combinados a outros substratos (os co-substratos). O carregamento de esterco sólido, por outro lado, exige uma elevada complexidade técnica para a sua utilização (FNR, 2010).

Outra categoria de substrato agrícola, as “*energy crops*”, são sementes cultivadas especificamente para a geração de energia. Alguns exemplos são o milho e os cereais como o trigo, a beterraba, entre outros. Um dos problemas para a sua utilização é o debate sobre qual deve ser a finalidade de seu plantio, a alimentação ou a geração de energia. As *energy crops* podem ser plantadas em rotação de cultura, garantindo assim a realização da recuperação de nutrientes do solo e a disponibilização de matéria prima para a produção de biogás (LÖNNQVIST *et al.*, 2013) .

Um conceito muito utilizado em países como a Alemanha, por exemplo, é a produção centralizada, onde uma planta de biogás funciona a partir de matéria prima coletada de diversas fazendas, ou seja, uma planta centralizada. Essa centralização visa reduzir os investimentos, os custos, o tempo, e a mão de obra gastos com os transportes relacionados à planta. Existe também a possibilidade de se utilizar outros tipos de substratos (resíduos de indústrias específicas, como a da pesca, por exemplo) junto com os resíduos agrícolas, no processo de digestão (SEADI *et al.*, 2008).

Os dejetos estocados ou tratados como um líquido (em lagoas ou tanques) produzem uma quantidade significativa de metano. A temperatura e o tempo de retenção da unidade de estocagem influenciam consideravelmente a quantidade de metano produzido. Quando os dejetos são manejados na forma sólida (em pilhas) ou quando eles são depositados em pastagens, tendem a se decompor em condições mais aeróbicas, produzindo um menor volume de metano (ZANETTE, 2009).

A figura 3 mostra uma planta de produção de biogás a partir de resíduos agropecuários, no município de Lemvig na Dinamarca.



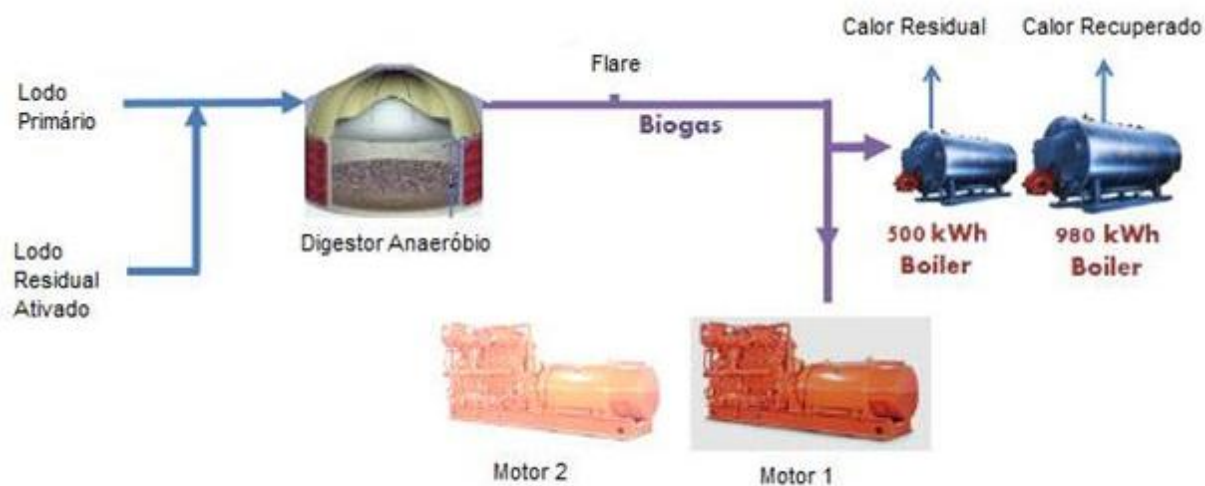
**Figura 3 – Planta de Lemvig**  
**Fonte: WELLINGER *et al.*, 2013**

#### **2.4.2. TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Um objetivo crucial no desenho do processo de tratamento de efluentes, é elevar a qualidade da corrente de entrada a um nível onde seja possível devolvê-la ao meio ambiente, ou seja, tratar a corrente que entra de tal forma que ela esteja limpa o suficiente para ser devolvida ao meio ambiente. Para isso, diversos métodos físicos, biológicos e químicos são estudados, entre eles a digestão anaeróbia e a consequente produção de biogás.

O biogás proveniente de tratamentos anaeróbicos de efluentes de estações de tratamento, sejam de esgotos municipais ou mesmo de indústrias, é produzido a partir de subprodutos e resíduos desses tratamentos, os lodos estabilizados ou ativado. O biogás gerado nessas estações é utilizado para a geração de eletricidade, que pode ser utilizada nas próprias operações da planta ou vendida se houver excedente, além de ser utilizado no aquecimento dos processos de tratamento dos efluentes e aquecimento das estações de tratamento durante o inverno, nos países

frios. Esse processo é chamado de cogeração e está ilustrado na figura 4 (CH2HILL, 2012).



**Figura 4 – Sistema de Cogeração**

**Fonte: Adaptado de CH2HILL, 2012**

Com a recuperação do calor gerado na queima do biogás, é possível, ou aquecer a água que manterá a temperatura do digestor no nível ótimo (em geral 36,7 °C para sistemas mesofílicos) aumentando assim a produção do biogás, ou então secar os sólidos remanescentes da digestão para serem utilizados como fertilizantes, gerando assim receitas extras para a estação de tratamento (FERRO, 2013).

Outro aspecto importante, que deve ser levado em conta nas estações de tratamento é a composição da corrente de entrada. No caso das estações que tratam de correntes industriais, a composição da corrente pode ser mais facilmente mapeada quando comparada ao das estações de tratamento de esgoto residencial e comercial, pois essas são extremamente dependentes da composição do esgoto tratado e do perfil gerador desse esgoto, podendo ser ele urbano ou rural. Nas áreas urbanas, o lixo é principalmente composto de sobras de comida, comida estragada, lixo proveniente de estabelecimentos comerciais e resíduos industriais, enquanto na área rural, encontra-se uma maior quantidade de matéria orgânica, proveniente de plantas e sementes não utilizadas. A composição da corrente influencia diretamente a quantidade de metano produzido.

### 2.4.3. ATERROS SANITÁRIOS

Os aterros sanitários consistem, basicamente, da compactação de resíduos no solo, na forma de camadas, que são periodicamente cobertas com terra ou outro material inerte (CETESB, 2013). A figura 5 ilustra a estrutura de um aterro sanitário:

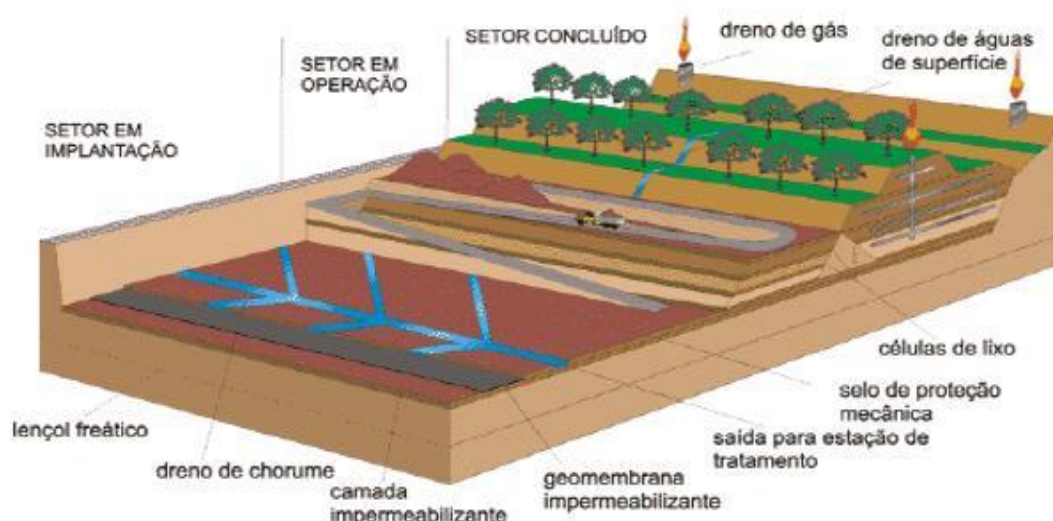


Figura 5 – Representação de um Aterro Sanitário

Fonte: SILVA, 2006

Normalmente, o biogás produzido a partir de tal matéria prima (comumente chamado de “gás de aterro”), possui um baixo teor de metano (40 a 55%) se comparado ao dos digestores. O volume restante é composto, em geral, de dióxido de carbono, 1 a 2% de sulfeto de hidrogênio, mistura de gases inorgânicos e vapores orgânicos (WALSH *et al.*, 1988). A produção do metano demora de seis meses a dois anos a partir da disposição dos resíduos para começar a ser significativa, podendo durar décadas (ZANETTE, 2009).

A seguir, estão descritos alguns dos diversos fatores que influenciam a capacidade de geração de gás a partir de aterros:

- Composição do resíduo – materiais orgânicos de rápida decomposição, como resíduos alimentícios, aceleram a taxa de produção do biogás, aumentando assim o potencial produtivo dessa fonte, enquanto materiais de lenta decomposição tem o efeito oposto nesse potencial (FILHO, 2005).

- Umidade – quanto maior o teor de umidade no aterro, maior sua taxa de produção de biogás. Em teoria, a condição teórica ideal para a geração de gás é a de máxima saturação dos resíduos, porém, tal condição tornaria a extração do gás extremamente difícil (EPA, 2007).
- Tamanho das partículas – quanto maior a área da superfície específica de uma partícula de resíduo, mais rapidamente esse será decomposto, aumentando assim a taxa de geração de biogás.
- Idade do resíduo – a geração do biogás em um aterro possui duas variáveis dependentes do tempo: tempo de atraso (período que vai da disposição do resíduo até o início da geração do metano) e tempo de conversão (período que vai da disposição do resíduo até o término da geração do metano). Dependendo do tempo de atraso e de conversão do resíduo encontrado no aterro, a geração de biogás será mais rápida ou mais lenta.
- pH – a maioria dos aterros tende a ser um ambiente com um pH levemente ácido. Os pH's ideais, que favorecem a metanogênese, vão de 6,7 a 7,5 (MACBEAN *et al.*, 1995).
- Temperatura – influencia nos tipos de bactérias predominantes e no nível de produção de gás, presentes no aterro. A faixa ótima de temperatura varia para os diversos tipos de bactérias sendo a das mesofílicas de 30 a 35°C e as das termofílicas de 45 a 65°C. Em geral, as bactérias termofílicas produzem altas taxas de geração de gás, contudo, na maior parte dos aterros, essa produção ocorre na faixa das mesofílicas. Grandes flutuações de temperaturas são típicas nas camadas superficiais de um aterro como um resultado de mudanças na temperatura de ar ambiente. Os resíduos dispostos a uma profundidade de 15 m ou mais não sofrem a influência da temperatura externa. Elevadas temperaturas de gás dentro de um aterro são o resultado da atividade biológica. A atividade metanogênica é severamente limitada para temperaturas abaixo de 15°C (MCBEAN *et al.*, 1995).

## 2.5. TRATAMENTOS DO BIOGÁS

Dependendo de seu uso final, a qualidade do biogás deve ser elevada através de um sistema de tratamento. Atualmente, existem diversas tecnologias já disponíveis no mercado capazes de cumprir a tarefa de produzir uma corrente de biometano de qualidade alta o suficiente para ser utilizada como combustível veicular ou injetada na rede de gás natural. Cada uma dessas tecnologias de tratamento possui vantagens e desvantagens específicas, não havendo assim uma solução ótima para todas as situações e necessidades. A escolha economicamente ótima depende fortemente da qualidade e da quantidade de biogás a ser tratado, da qualidade requerida de biometano, da finalidade do produto final, entre outros fatores (TU WIEN, 2012).

Os principais compostos que precisam ser removidos do biogás são o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), o vapor de água, os compostos halogenados e os siloxanos. O processo de dessulfurização previne a corrosão e a toxicidade causadas pelo  $\text{H}_2\text{S}$ . A remoção de água é necessária para se evitar: a potencial acumulação de condensado na linha do gás, a formação de uma solução ácida devido à dissolução do sulfeto de hidrogênio, ou para se alcançar baixos pontos de orvalho quando o gás é armazenado sob pressões elevadas, evitando-se a condensação e o congelamento. Deve-se remover o  $\text{CO}_2$ , pois este dilui o conteúdo energético do biogás e removerem-se também os compostos halogenados e siloxanos, por serem impurezas que atrapalham o uso do biogás (IEA, 2001).

A Tabela 2 apresenta os principais requisitos para remoção de compostos gasosos de acordo com a utilização do biogás.

**Tabela 2 – Necessidade de Tratamento do Biogás em Relação ao seu Uso**

Aplicação	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{O}$
Aquecedor á gás (Boiler)	< 1000 ppm	Não	Não
Fogão de cozinha	Sim	Não	Não
CHP <sup>2</sup>	< 1000 ppm	Não	Não
Combustível veicular	Sim	Recomendado	Sim
Rede de gás natural	Sim	Sim	Sim

<sup>2</sup> Geralmente, quando uma corrente é obtida, produz-se calor em paralelo, sendo esse tipo de gerador de energia chamado em inglês de “combined heat and power generation plants” ou CHP (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008)

Fonte: adaptado de IEA, 2001

Para a retirada de CO<sub>2</sub>, existem as técnicas de absorção física e química simples, que requerem pouca infraestrutura e tem um ótimo custo benefício. O método mais barato de absorção utiliza a água como absorvente, fazendo a “lavagem” do biogás. Para a retirada de umidade do sistema pode-se utilizar a adsorção em uma superfície sólida, que faz com que o soluto se transfira da corrente de gás para a superfície sólida de algum material. No método de separação por membranas, certos componentes do biogás bruto passam por uma membrana seletiva, enquanto outros ficam retidos. Com esse método é possível separar CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S simultaneamente, obtendo-se um metano de alta pureza. Outro processo de tratamento utilizado na separação de diversos outros tipos de gases, é a destilação criogênica, onde os componentes do biogás são separados de acordo com seu ponto de liquefação (OLUGASA *et al.*, 2014).

Além do CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S, outro componente que deve ser retirado do biogás (principalmente do gás de aterro) são os siloxanos. Quando em processo de combustão, os siloxanos formam sólidos microcristalinos rígidos que causam a abrasão das superfícies internas e redução da eficiência do motor, além de obstruir válvulas. Em geral, o tratamento com carvão ativado é considerado a melhor forma de remover esses compostos, porém a retirada de amostras para o controle de sua concentração no biogás é custosa, o que encarece o processo de tratamento. Além disso, esse processo nem sempre é feito com a frequência correta, o que pode gerar danos aos equipamentos, pois como as amostragens são espaçadas, o motor pode sofrer danos antes que se tenham os dados que indiquem uma alta concentração desse composto (HEPBURN, 2013).

## 2.6 ARMAZENAMENTO DO BIOGÁS

A taxa de produção de biogás em uma planta não é constante, podendo variar por temporada ou até mesmo durante o dia. Dependendo da magnitude e da taxa de flutuação da produção, as operações de motores, turbinas a gás ou células combustíveis podem ser interrompidas. Além disso, muitas vezes a produção de biogás pode não atender, por determinados períodos de tempo, sua demanda, seja por falta de produto ou pela baixa qualidade do mesmo, gerando um problema ao produtor (TRENDEWICZ; BRAUN, 2013).

Outros casos ocorrentes são o de excesso de produção e paradas da planta para manutenção. As duas estratégias comumente utilizadas para mitigar os efeitos dessas flutuações na produção são, a introdução de um sistema de armazenamento do biogás ou a suplementação da deficiência de biogás com o gás natural<sup>3</sup> (TRENDEWICZ; BRAUN, 2013).

Existem cinco fatores principais que devem ser estudados para determinar o tipo de instalação e sistema de armazenamento a ser utilizado: Segurança, volume, pressão, localização e flutuações na produção do biogás (WALSH *et al.*, 1988). Tais fatores serão explicados a seguir:

- I. Segurança – Os gasômetros devem ser impermeáveis a gases, resistentes à pressão, raios UV, temperatura, intempéries e à ação das substâncias em contato. Além disso, devem estar equipados com mecanismos de segurança contra sobrepressão e subpressão, visando evitar que a pressão interna se altere para níveis inadmissíveis. São necessárias também medidas de prevenção a incêndios e inspeções periódicas dos tanques (FNR, 2010).
- II. Volume – O tamanho dos vasos de armazenamento depende do volume de biogás produzido e do volume de gás demandado pelo usuário final. O vaso é dimensionado para que as necessidades de uso sejam economicamente satisfeitas (WALSH *et al.*, 1988).
- III. Pressão – A pressão mínima é ditada pelo equipamento de utilização do gás. As perdas de pressão nos dutos devem ser levadas em conta (WALSH *et al.*, 1988).
- IV. Localização – A segurança e as perdas do sistema são influenciadas pela localização do sistema de armazenagem. Grandes distâncias de gasodutos e válvulas podem necessitar de sopradores para manter a pressão necessária no sistema. A proximidade do armazenamento a locais públicos e prédios em geral devem levar em conta os aspectos de segurança (WALSH *et al.*, 1988).

---

<sup>3</sup> A suplementação com gás natural influencia tanto tecnicamente quanto economicamente. Ela aumenta a concentração de metano na rede, porém aumenta também os custos com combustível, além de diminuir o apelo econômico de energia renovável que o biogás possui.



V. Flutuações na produção – As flutuações diárias na produção podem levar a pressões abaixo das mínimas requeridas pelo equipamento de utilização do gás, assim como a picos de pressão, acima das especificações máxima. Nesses casos é necessário utilizar equipamentos reguladores de pressão (WELLINGER *et al.*, 2013).

Existem diferentes grupos de sistemas de armazenamento para o biogás:

- Uso direto – Em alguns casos, os volumes de produção e o de uso do biogás são tão próximos que permitem o uso direto do mesmo, sendo todo o excesso de gás produzido e não utilizado ventado para a atmosfera ou queimado. Alguns sistemas de uso direto utilizam reguladores de pressão na linha de gás, garantindo que gás o suficiente esteja disponível para os queimadores e conversores. Outros sistemas ajustam o motor e o queimador de acordo com a pressão ou disponibilidade de biogás. O sistema de uso direto demanda menores investimentos de capital, além de ser menos complexo que os sistemas que utilizam armazenamento, porém raramente os níveis de produção e o de uso do biogás são próximos o suficiente para possibilitar o uso direto.
- Armazenamento de baixa pressão – Normalmente, esses sistemas operam com pressões abaixo das 10 polegadas (0,36 psi) de coluna d'água. O sistema de armazenamento de baixa pressão pode ser integrado ou não ao biodigestor. No sistema integrado, o biogás pode ser armazenado entre o nível de líquido do digestor e seu “teto” (que pode ser feito de material flexível como PVC) para inflar à medida que mais biogás é armazenado, apresentando um menor custo de operação em relação a qualquer outra opção de armazenamento. Em geral o topo dos digestores deve ser isolado termicamente, para evitar grandes variações de temperatura, que causam problemas de operação. Outra forma de armazenamento que pode ser adicionada ao sistema são os sacos flexíveis de gás, manufaturados com materiais impermeáveis, como borracha ou plástico (KRICH *et al.*, 2005).
- Armazenamento de média pressão – São sistemas de armazenamento que utilizam uma pressão entre 2 e 200 psi. O biogás tratado, sem o H<sub>2</sub>S que poderia causar corrosão e danificar os tanques, deve ser comprimido antes de ser armazenado em tanques como o de propano, que normalmente são classificados

para 250 psi. De acordo com Walsh *et al.*, (1988) essa compressão custa aproximadamente 3% do conteúdo de energia do biogás sendo armazenado, enquanto Krich *et al.*, (2005) afirma que esse custo é de 10%.

- Armazenamento de alta pressão – É utilizado quando grandes quantidades de energia são requeridas ou o tamanho do sistema de armazenamento deve ser limitado. A pressão mantida para esse sistema está na faixa de 2000 - 5000 psi. O biogás é armazenado em cilindros de aço, similares aos utilizados para armazenar gases comprimidos, como o nitrogênio. Como a corrosão se torna um problema maior à medida que a pressão aumenta, os requerimentos dos sistemas de secagem e lavagem do gás tem que ser mais rigorosos que nos sistemas de baixa e média pressão. Existem ainda outras necessidades a serem consideradas como os sistemas de controle, que devem prevenir pressurizações excessivas das instalações de armazenamento, além da adequação dos tanques aos aparelhos de segurança. Todas essas necessidades tornam o sistema como um todo dispendioso, o que limita esse tipo de armazenamento a plantas grandes ou de aplicação específica do biogás como combustível veicular.

## **2.7. USOS E TECNOLOGIAS DO BIOGÁS**

Existem diversas aplicações para o biogás (NIELSEN *et al.*, 2009; TRENDEWICZ; BRAUN, 2013; ALVES *et al.*, 2013; KRALJ; KRALJ, 2010; OLSSON *et al.*, 2014 ), tais como:

- I. Produção de calor e/ou vapor (menor valor na cadeia de utilização).
- II. Produção de eletricidade combinada com calor (CHP).
- III. Utilização como combustível veicular.
- IV. Produção de químicos.
- V. Injeção de biogás na rede de gás natural.
- VI. Combustível para células combustíveis.

O biogás “bruto”, sem tratamento, pode ser utilizado para aquecimento e/ou geração de eletricidade, utilizando-se para isso, aquecedores e motores a gás ou turbinas. Normalmente, parte do biogás produzido é utilizada no aquecimento do digestor. Em geral, o aquecimento e a geração de eletricidade são feitos dentro das instalações da planta (OLSSON *et al.*, 2014).

Hoje, a maior parte das plantas opera queimando o biogás em CHPs, o que é ineficiente quando o calor produzido não pode ser utilizado, obtendo-se assim uma eficiência energética menor que 40%. Uma alternativa, possivelmente, mais atrativa à utilização do biometano nos CHPs seria sua injeção, à rede de gás natural, integrando-o assim a matriz energética (SCHOLZ *et al.*, 2013). Além disso, como muitas vezes o biogás não pode ser utilizado nas áreas próximas à planta que o produz, como no caso de áreas rurais, essa injeção à rede aumentaria as oportunidades de transporte e utilização do mesmo nos grandes centros de consumo (NIELSEN *et al.*, 2009)

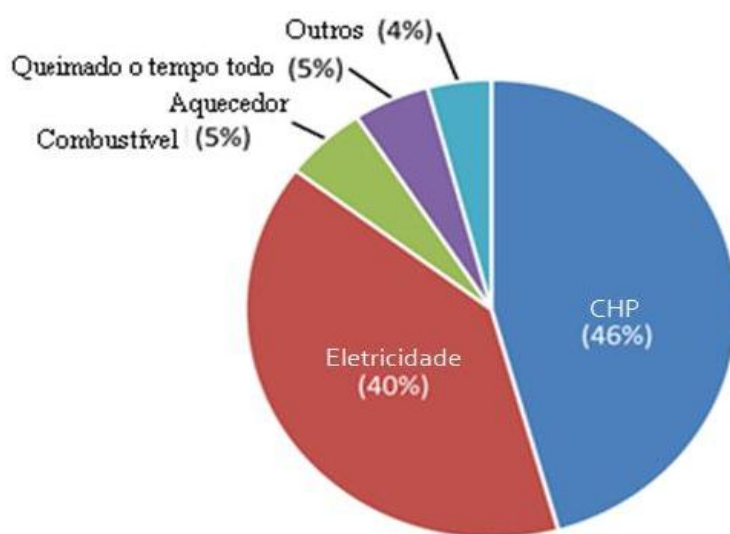
Outra utilização do biogás é o de combustível veicular. Para isso, é necessário um pouco mais de infraestrutura e tecnologia, já que essa aplicação requer o aprimoramento do mesmo à qualidade de gás natural. Esse biogás aprimorado, ou “biometano”, apresenta concentrações de metano de 95 a 99% (OLSSON *et al.*, 2014).

O biometano pode ser utilizado também como insumo na produção de hidrogênio para o carregamento de células combustíveis, já que o H<sub>2</sub> possui a maior quantidade de energia por unidade de massa quando comparado a qualquer outra substância conhecida (121.000 kJ/kg) (ALVES *et al.*, 2013). As células combustíveis são aparelhos que conseguem converter diretamente a energia química de um combustível em eletricidade, com alta eficiência e sem a necessidade do processo de combustão. No caso do hidrogênio, essa eficiência chega a ser de até 60% (ALVES *et al.*, 2013). Além de possuírem diversas aplicações, as células combustíveis de hidrogênio podem ser uma alternativa viável aos combustíveis fósseis. Como a demanda mundial por hidrogênio vêm aumentando cada vez mais, o biogás se apresenta como uma boa fonte de matéria prima para sua produção através de reformadores, que utilizam para tal, processos catalíticos a altas temperaturas (ALVES *et al.*, 2013).

O biogás pode ser utilizado também na produção de químicos, como o metanol ou “biometanol” como é chamado. Este pode ser obtido a partir do gás de síntese, que por sua vez é produzido a partir do gás natural. Então, substituindo-se o gás natural pelo biogás, é possível produzir-se o metanol (KRALJ; KRALJ, 2010). O biometanol pode ser 1,5 a 4 vezes mais caro que o metanol originário do gás natural. (ETSAP; IRENA, 2013).

A empresa *Smithfield Foods* estudou um projeto que envolvia a produção de biogás para produção de metanol e posterior produção de biodiesel. Para isso o esterco proveniente de criações de suíno da empresa, seriam recolhidos e levados para uma estação central, onde seriam digeridos anaerobicamente em digestores. Esses produziram 1,2 milhão de ft<sup>3</sup>/dia de biogás, que seria bombeado para uma planta onde o biogás seria tratado e convertido, através de um reformador, em metanol. A planta teria capacidade de produzir até 7.000 galões de metanol por dia, produzindo até 40.000 galões de biodiesel por dia (KRICH *et al.*, 2005). Porém, aparentemente o projeto não seguiu adiante e atualmente o biogás é diretamente utilizado pela empresa, na produção de eletricidade.

A figura 6 ilustra as principais aplicações do biogás no cenário americano. Pode-se observar que o biogás é majoritariamente utilizado para geração de energia elétrica e CHP.



**Figura 6 – Uso final do biogás nos EUA em 2013.**

Fonte: adaptado de EPA, 2014

### **3. PANORAMA MUNDIAL DO BIOGÁS**

Espera-se que o biogás ganhe cada vez mais espaço na matriz energética mundial com o natural aumento da participação das energias renováveis na mesma.

No mundo cada país tem uma realidade própria, existindo diferenças nas principais aplicações e matérias primas utilizada para a produção do biogás, assim como também nas políticas, regulamentos, incentivos e barreiras estabelecidas para ele.

Este capítulo se propõe a fazer um “*overview*” da situação do biogás no mundo, através de uma abordagem sobre diferentes países.

#### **3.1. EUROPA**

Até 2009 o biogás correspondia a 2/3 das energias renováveis utilizadas na Europa (EBA, 2009). Isso mostra como a bioenergia tem papel importante para se alcançar os objetivos aprovados pela diretiva da União Europeia de ter, até 2020, 20% do consumo final de energia provido por energias renováveis, em comparação aos 8,5% de 2009. De acordo com um estudo da Agência Europeia do Meio Ambiente (EEA), o potencial da agricultura ainda é pouco explorado e espera-se que esse setor apresente a maior taxa de crescimento nos próximos anos. Além disso, diversos países estabeleceram condições favoráveis para a produção de eletricidade a partir do biogás, com a Alemanha como protagonista na Europa com aproximadamente 4000 plantas, sendo a maior parte de cogeração em fazendas (EBA, 2009).

Outro aspecto importante do biogás na Europa é a produção do biometano, já que ele é uma fonte de energia mais eficiente que o biogás cru. Até a metade de 2013, ele era produzido em 14 países europeus, em mais de 230 plantas de aprimoramento com uma capacidade total de 0,8 bilhões de m<sup>3</sup>/ano. A maior parte do biometano produzido é injetada na rede de gás natural, o que ocorre em 11 países, além de ser utilizado na geração de energia elétrica e direcionado para o abastecimento veicular em 12 países (EBA, 2013).

A produção de energia primária da União Europeia cresceu 15,7% em 2012, comparado a 2011, aumentando em 1,6 Mtoe a produção total (12 Mtoe produzidos em 2012). As plantas projetadas para produzir o produto conhecido como “outro

biogás” (que envolve as plantas rurais descentralizadas, as de digestor centralizado e multiprodutos e as de metanização de resíduos sólidos) continuam a dominar o cenário europeu, com 66,5% da produção de energia primária em 2012 quando comparadas ao gás de aterro (23,7%) e as de tratamento de esgoto (9,9%). A extensão do desenvolvimento dessas fontes varia entre os países, por exemplo, no Reino Unido, França e Espanha o gás de aterro é a principal fonte, enquanto na Alemanha, Itália, Países Baixos, Áustria, República Tcheca, Bélgica e Dinamarca, o “outro biogás” predomina (OBSERV'ER, 2013).

Na Tabela 3 está registrada a produção primária de alguns países da União Europeia, em 2011 e o que havia sido estimado para 2012.

**Tabela 3 – Produção Primária de biogás de alguns países da UE, 2011/2012.**

	2011				2012*			
	Gás de Aterro	Tratamento de Esgoto <sup>1</sup>	Outro Biogás <sup>2</sup>	Total	Gás de Aterro	Tratamento de Esgoto <sup>2</sup>	Outro Biogás <sup>2</sup>	Total
Alemanha	144,4	368,2	4.667,9	5.180,5	123,8	372,1	5.920,3	6.416,2
Reino Unido	1.515,7	285,0	0,0	1.800,7	1.533,9	277,3	0,0	1.811,2
Itália	377,4	21,3	705,2	1.103,9	364,7	42,0	772,0	1.178,8
França**	273,0	71,9	24,5	369,4	279,1	79,6	53,3	412,0
República Tcheca	31,3	38,3	180,3	249,8	31,7	39,4	303,8	374,9
Países Baixos	32,6	51,5	208,8	292,9	29,9	5,1	214,5	249,5
Espanha	145,0	32,0	110,0	287,0	131,6	28,8	100,1	260,5
Áustria	4,3	20,4	144,4	169,1	3,8	18,2	185,5	207,5
Polónia	55,5	66,3	15,1	136,9	53,7	79,3	34,9	167,9
Bélgica	35,9	13,9	78,5	128,3	32,4	17,2	108,0	157,6
Suécia	12,4	68,9	37,9	119,3	12,6	73,6	40,6	126,8
Dinamarca	5,2	20,5	75,0	100,7	5,6	21,2	77,9	104,7
Finlândia	26,3	20,3	6,4	53,0	14,3	18,6	3,4	36,3
<b>TOTAL</b>	<b>2.659,0</b>	<b>1.078,5</b>	<b>6.254,0</b>	<b>9.991,5</b>	<b>2.617,1</b>	<b>1.072,4</b>	<b>7.814,3</b>	<b>11.503,8</b>

\* Estimado. \*\* Departamentos Além-mar não incluídos. <sup>1</sup> Urbano e Industrial <sup>2</sup> Planta Agrícola Descentralizada, Resíduo Sólido Municipal, Planta Metanização, Planta de Co-digestão Centralizada.

Fonte: adaptado de OBSERV'ER, 2013

Na tabela 3, nota-se que o Reino Unido é seguramente o país com maior produção de gás de aterro, enquanto a Alemanha se apresenta como a maior produtora de “outro biogás”.

Avalia-se a seguir, a situação de alguns países separadamente, devido às suas diferenças quando se trata de biogás:

### 3.1.1. ÁUSTRIA

Até 2006 a Áustria tinha 342 plantas de biogás aprovadas, com uma capacidade instalada passando de 20 - 25 MW em 2003 para mais de 80 MW em 2006. Entretanto, o biogás não é a principal fonte de energia renovável do país, posto que é ocupado pela hidroeletricidade. As energias renováveis são extremamente importantes no âmbito interno do país, já que ele é extremamente dependente de importações no setor de energia (IFA – TULLN, 2010).

Em julho de 2012, iniciou-se o novo lei de eletricidade verde (*Green Electricity Act*<sup>4</sup>), que prevê um aumento para 1,3 TWh de eletricidade proveniente de biomassa e biogás no país, até 2020. Algumas das mudanças geradas com esse ato afetaram diretamente os operadores de plantas de biogás, que deveriam apresentar um plano onde explicam a procedência dos substratos para os cinco primeiros anos de operação. As plantas de biogás mais antigas, onde os subsídios estavam acabando, poderiam pedir ao governo, para que o prazo seja estendido em um período total de 20 anos. As tarifas prêmios<sup>5</sup> de 2013 variam de acordo com a capacidade de geração de energia elétrica das plantas, quanto mais alta a capacidade, menor a tarifa prêmio. Existe ainda um sistema de bonificação, garantido caso o biogás atenda a certos requisitos como: ser biometano, satisfazer os critérios de eficiência, a existência de documentos que detalhem e identifiquem o seu uso, além dele ter pelo menos 50% do *input* utilizado para cogeração de eletricidade e calor. Tais atos e leis têm como objetivo fortalecer as energias renováveis no país, ampliando assim a produção de biogás (DROSG, 2013).

### 3.1.2. FINLÂNDIA

A Finlândia apresentou em 2012 uma produção total de energia proveniente do biogás de 569 GWh, gerada pelas 73 unidades de produção (incluindo os aterros). A Tabela 4 mostra o número de plantas e a quantidade de energia elétrica produzida, por tipo de planta:

---

<sup>4</sup> Ato federal austríaco, que incentiva a produção de “energia verde”, através de tarifas prêmios e outros incentivos.

<sup>5</sup> Tarifa Prêmio: mecanismo temporário de incentivo, pelo qual o produtor de uma fonte renovável de energia recebe por cada kWh injetado na rede elétrica uma tarifa superior à tarifa convencional, com o objetivo de premiar a esse tipo de fonte.

**Tabela 4 – Produção de Biogás da Finlândia em 2012.**

Tipo de Planta	Número de Plantas	Produção de Energia (GWh/Ano)*
Tratamento de efluentes municipais	15	135
Codigestão	9	112
Agrícola	8	4
Tratamento de efluentes industriais	2	6
Aterros	39	312
Total	73	569

\*Produzido como eletricidade, calor, combustível ou queimado, excluindo perdas de eficiência

**Fonte: adaptado de IEA, 2014**

Estima-se um potencial de produção no país de 4 – 6 TWh/ano a partir de resíduos agrícolas e esterco. Dependendo da disponibilidade de terras, a geração de energia a partir da produção do biogás proveniente de grama pode ter um potencial parecido com a de resíduos e esterco (IEA, 2014).

No início do ano de 2013, cerca de 20 plantas de codigestão estavam sendo construídas ou em fase de planejamento (IEA, 2014). O governo finlandês promove o uso do biogás como combustível, porém em 2012, aproximadamente 83% da produção teve como finalidade aquecimento e eletricidade, enquanto apenas 1% foi utilizada como combustível. A primeira planta de aprimoramento de biogás cru á biometano para injeção na rede começou a operar em 2011 e em 2012, mais cinco plantas do mesmo gênero estavam sendo planejadas ou em fase de operação (IEA, 2014).

Aproximadamente, 1200 veículos estão em operação utilizando o biometano como fonte combustível, além disso, o biogás representa aproximadamente 10% do metano vendido no país. O país apresenta incentivos à eletricidade proveniente do biogás, como uma tarifa prêmio aos produtores que preencherem certos requisitos. O governo pode também financiar até 40% do custo para construção das plantas. Não existe imposto especial de consumo para o biogás (IEA, 2012).

### **3.1.3. REINO UNIDO**

No Reino Unido, os aterros são a principal fonte de matéria prima para a produção de biogás, sendo o país, um dos maiores produtores de biogás da Europa, perdendo apenas para a Alemanha. Durante 2011, o número de digestores



anaeróbios cresceu por volta de um terço, chegando a 78 (sem contar os utilizados nos tratamentos de efluentes industriais), representando 75 MW da capacidade geradora de energia elétrica (OBSERV'ER, 2012).

Uma das causas desse aumento são as novas legislações em vigor no país, como a RHI (“*Renewable Heat Incentives*”), que promove o aquecimento renovável. Dessa forma, aos produtores que utilizarem o aquecimento renovável, em instalações até uma determinada capacidade de geração elétrica, receberão uma tarifa prêmio. Isso se estende a todas as plantas construídas a partir de 15 de julho de 2009. Esse sistema tem dois componentes: remuneração paga para todos os kWh gerados e remuneração adicional paga á todos os kWh exportados para a rede de energia elétrica.

Dessa forma, o RHI ajuda o Reino Unido a diminuir a emissão de gases do efeito estufa e alcançar as metas de redução dos efeitos de mudança climática, estipulados para os países europeus (OBSERV'ER, 2012). A Tabela 5 ilustra a grande quantidade de energia elétrica proveniente do gás de aterro, produzido no país, além do grande crescimento das plantas de digestão anaeróbia entre 2011 e 2012.

**Tabela 5 – Produção de eletricidade a partir de gás no Reino Unido (GWh).**

<b>Tipo de Planta</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013*</b>
Gás de Aterro	4.929	5.037	5.092	5.154	2.616
Tratamento de efluentes	604	697	764	720	391
Digestão Anaeróbia	43	151	278	523	329
Plantas de Biomassa	1.327	1.594	1.749	4.098	4.587
<b>Total</b>	<b>6.903</b>	<b>7.480</b>	<b>7.883</b>	<b>10.494</b>	<b>7.923</b>

\* Para 2013, os valores representam apenas o primeiro e segundo trimestre do ano.

**Fonte: adaptado de IEA-UK, 2013**

### **3.1.4. ALEMANHA**

A indústria de biogás da Alemanha tem um papel pioneiro nas áreas de geração e uso desse produto. Além de serem líderes de mercado, as empresas alemãs atuam em toda a cadeia de valor de tecnologia do biogás, desde o planejamento e financiamento quanto à operação, manutenção das plantas e injeção do biometano na rede de gás natural (RMG, 2014). Alguns fatos ilustram a importância da Alemanha em relação ao biogás, como mais da metade da produção

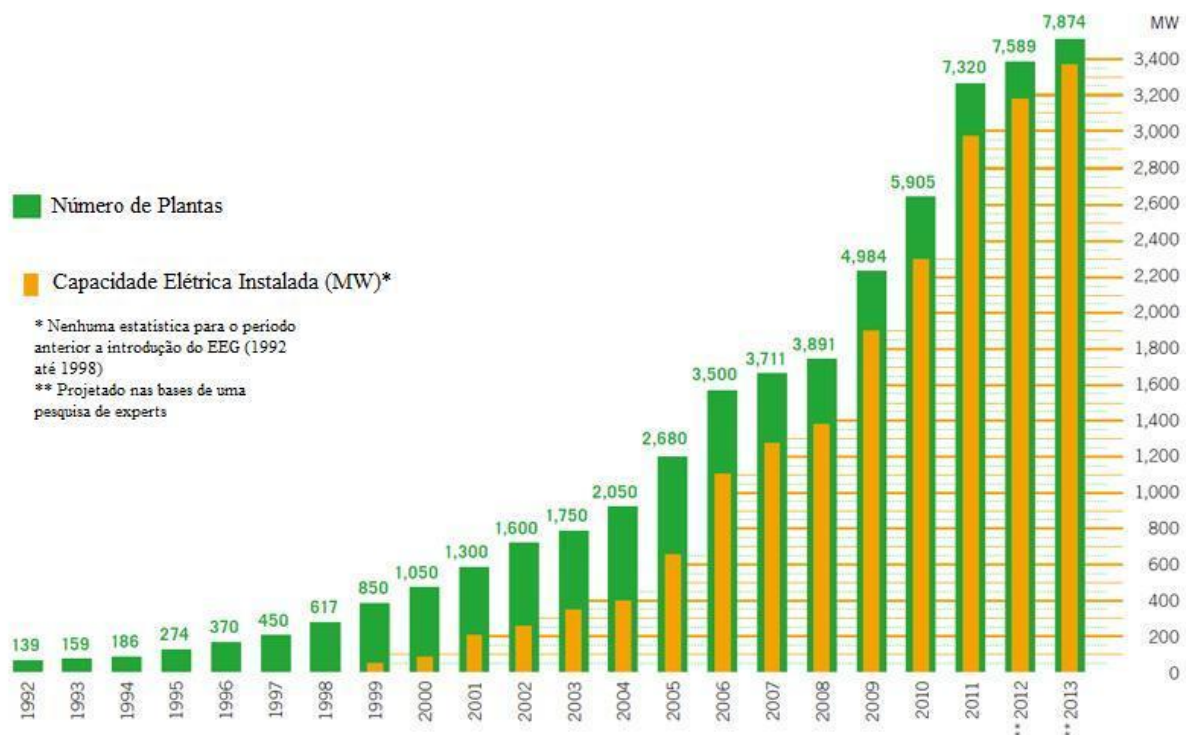
completa de energia de biogás da Europa ser de origem alemã, sendo que em 2011 essa produção europeia estava em torno de 10,1 Mtoe (RMG, 2014).

A maior parte das plantas alemãs é de codigestão de resíduos agropecuários (entre 90 e 95% das plantas), com uma projeção para que em 2020, a Alemanha tenha uma produção bruta de energia de 5,3 Mtoe, assumindo que 5% das terras aráveis do país estejam disponíveis (FOREEST, 2012). O governo alemão desenvolveu um programa integrado de energia e clima, para atingir as metas europeias de redução da emissão de gases do efeito estufa, as mais desafiadoras do mundo. Nele, 25 a 30% da energia e 14% do aquecimento, serão gerados por fontes de energia renovável. O biogás poderá responder por grande parte desse plano, já que esse programa facilitará o acesso do biometano às redes de gás natural, promoverá o aquecimento a partir de fontes renováveis, além de melhorar as regulações para as energias renováveis (POESCHL *et al.*, 2010).

Pelo lado econômico, como a energia renovável ainda é mais cara, justifica-se o uso de subsídios para incentivar o consumo. O “Ato de Energias Renováveis” (EEG) é o modelo de maior impacto nas operações de plantas de biogás no país. Ele garante pagamento para o fornecimento de eletricidade gerada de biomassa (exceto madeira) para a grade nacional, por um período de 20 anos. O pagamento decai 1% anualmente, para encorajar as plantas a serem lucrativas e ganhar gradualmente independência. Outras especificidades podem garantir ainda mais retorno, caso as plantas atendam certos requisitos.

A energia do biogás é livre de taxas, quando usada com plantas estacionárias, como incentivo à geração de eletricidade. Uma taxação a veículos que excederem os valores limites de emissões de CO<sub>2</sub> também foi estabelecida, o que favorece o uso de biogás como combustível, já que ele é considerado uma energia livre de CO<sub>2</sub>. A utilização de resíduos agrícolas e de lodo de tratamento de esgotos também possui incentivos (POESCHL *et al.*, 2010).

A Figura 7 mostra o número de plantas de biogás do país e sua capacidade elétrica instalada. É possível observar que o número de plantas vem aumentando ao longo dos anos, indicando o importante papel que o biogás tem na matriz energética do país, principalmente para os produtores agrícolas que utilizam as plantas de cogeração para gerar eletricidade para as suas fazendas e receber pelo excedente produzido. Entre 2008 e 2011, mais de 3.000 plantas iniciaram suas operações, sendo responsáveis por mais de 1.500 MW de capacidade elétrica instalada.



**Figura 7 – Uso do biogás na Alemanha: desenvolvimento (1992 - 2013).**

Fonte: adaptado de GBI, 2013

### 3.2. CHINA

Desde os anos 50 na China, mais de 35 milhões de digestores de escala domiciliar, com uma produção anual de biogás de 12 milhões de metros cúbicos foram instalados. A meta é chegar aos 80 milhões até 2020 (GIZ, 2014).

O governo central do país apoia fortemente o uso e desenvolvimento de fontes de energia provenientes de biomassa, tendo estabelecido, inclusive, políticas e programas para o crescimento da mesma. Em 1986, o Comitê Econômico Nacional Chinês emitiu o “*Circular on Improving Rural Energy Development*”, o primeiro documento sobre o desenvolvimento de energias renováveis, que promulgou a importância da bioenergia o país. Em 1995, o governo chinês aprovou o “*1996–2010 New Energy and Renewable Energy Development Programme*” que aumentou o ímpeto do desenvolvimento de energias renováveis (JIANG et al., 2011).

A preocupação do país com a poluição já em níveis extremamente elevados, , além de possíveis pressões internacionais, levou a diversas leis ambientais, principalmente no que diz respeito ao tratamento de resíduos gerados pelas fábricas

e suas instalações. Além disso, especificamente no tratamento de aves domésticas, existem diversas leis e regulamentações para controlar a poluição gerada. Todas essas leis e regulamentos reconhecem a tecnologia do biogás como uma medida pró meio ambiente, em adição à produção de energia, e que pode contribuir para uma maior eficiência e reciclagem segura de resíduos. Em termos econômicos, desde 1970, o governo incentiva a construção de digestores para biogás, em fazendas, através de empréstimos sem taxas de juros para plantas de médio ou grande porte, além de incentivos para outras fontes de energia renováveis. Os incentivos são mais voltados a plantas de biogás para as áreas rurais. Os incentivos realizados nos dez primeiros anos do século 21 resultaram na maior taxa de crescimento anual do setor de biogás já vista na China (JIANG et al., 2011).

A Figura 8 mostra o número de plantas desenvolvidas na China. Observa-se um grande crescimento entre os anos de 2007 e 2009 do volume total de matéria orgânica digerida anaerobiamente, o que pode ser explicado pela instalação de um grande número de novas plantas de digestão anaeróbia nesse período.

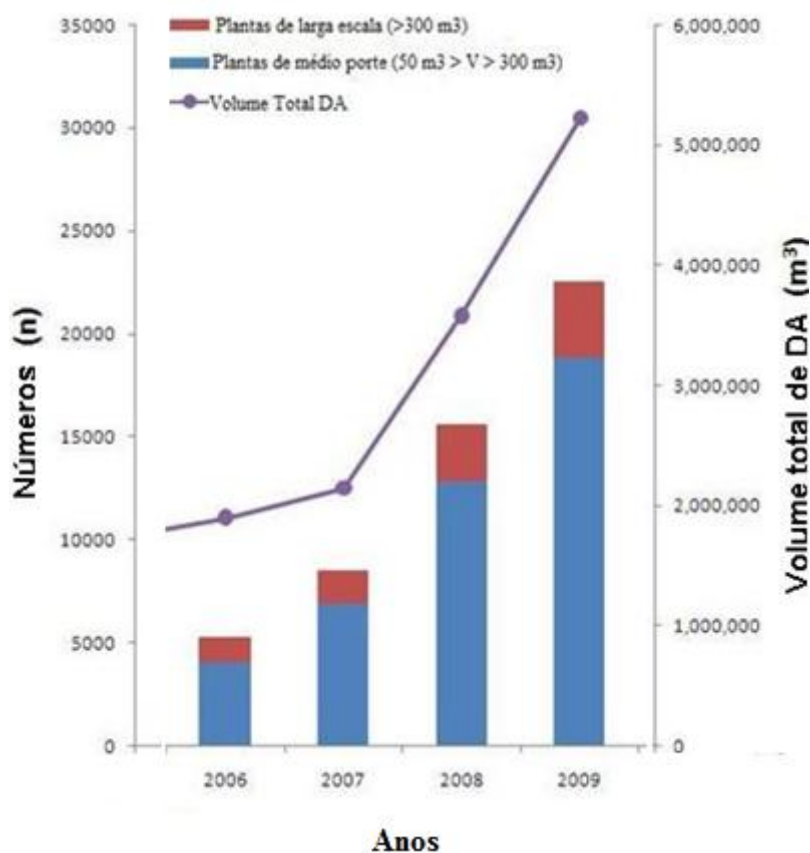


Figura 8 – Número de plantas desenvolvidas na China (2006 - 2009).  
Fonte: adaptado de GIZ, 2014

### 3.3. ESTADOS UNIDOS

Historicamente, os Estados Unidos tem uma produção de biogás proveniente estritamente de fontes agrícolas e de tratamento de efluentes, porém as condições mercadológicas tem favorecido o crescimento da indústria de digestão anaeróbia que apresenta avanços tanto tecnológicos quanto em termos de legislação.

A EPA (*Environmental Protection Agency*) estimava em 2012 o funcionamento de 192 digestores anaeróbios de matéria prima proveniente da criação de animais em fazenda. Para o mesmo ano, existiam 1.500 digestores anaeróbios de tratamento de efluentes, de acordo com a ABC (*American Biogas Council*), porém apenas 250 utilizavam o biogás produzido para a geração de energia elétrica. Além disso, no país existem diversos digestores, que utilizam a codigestão para processar a porção orgânica dos resíduos sólidos municipais (RSM). A viabilidade dos projetos varia muito. No setor agrícola, graças aos incentivos estatais e federais, o uso de digestores e conseqüentemente a produção de biogás vem aumentando, com uma meta do governo de ter até 1.300 fazendas utilizando a digestão anaeróbia, até 2020. A codigestão de alimentos dos RSM junto ao tratamento dos efluentes vem sendo utilizada nas áreas mais populosas, pois os alimentos ajudam a aumentar a produtividade de biogás (RWI, 2013).

A EPA estima que existam 8.200 fazendas (com operação de suínos e de produção de laticínios) capazes recuperar o biogás produzido, com um potencial de geração de mais de 13 milhões de MWh/ano, substituindo até 1.670 MW de queima de combustíveis fósseis.

Alguns programas da EPA beneficiam direta ou indiretamente o biogás. Alguns exemplos a serem citados:

AgSTAR – Um programa de colaboração entre a EPA e o Departamento de Agricultura Americano (USDA) junto à indústria agrícola nacional, que visa reduzir as emissões de metano através da promoção de sistemas de recuperação do biogás para gerenciar os resíduos animais. A EPA oferece um conjunto de ferramentas e informações designadas a ajudar o produtor a aplicar os sistemas de recuperação do biogás (EPA, 2014).

LMOP – O “*Landfill Methane Outreach Program*” fornece aos proprietários de aterros e seus operadores uma variedade de ferramentas e recursos técnicos para ajudá-los a superar os obstáculos para desenvolver os projetos que envolvam gás de aterro como produto. A EPA fornece ajuda tanto para os grandes aterros,

cobertos pelas regulações da agência, quanto para os menores e ainda não regulados pela mesma (EPA, 2014).

### **3.4. BRASIL**

O Brasil possui um grande potencial para a geração de biogás. Além de diversos aterros sanitários, a agropecuária e o setor de tratamento de efluentes são potenciais fontes de matérias primas para a produção desse combustível renovável. Sendo o décimo maior consumidor de energia no mundo e o terceiro no hemisfério ocidental, o país já possui uma vocação para o uso da energia renovável, já que mais de 80% de sua geração de energia elétrica vem de hidroelétricas, uma média acima da mundial (LOUREIRO *et al.*, 2013).

No passado, tentou-se desenvolver programas de geração de energia comunitária, através do biogás, porém tais iniciativas datam de mais de dez anos, tendo, aparentemente perdido o interesse dos órgãos que a geriam. Dentre esses órgãos pode-se citar o Ministério de Minas e Energia através do “Departamento de Estudo de Novas Fontes Alternativas de Energia”, da extinta Embrater (Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural) e suas regionais (COELHO *et al.*, 2000).

Atualmente, existem projetos relacionados ao biogás gerado a partir de resíduos agropecuários, como o Projeto Alto Uruguai, desenvolvido em propriedades rurais dedicadas à suinocultura no sul do país, em uma região na divisa do Brasil com a Argentina, quem tem como objetivo promover o uso de dejetos de suínos para alimentar biodigestores e com o gás gerado, produzir energia elétrica. O projeto é uma parceria entre a Eletrobras, a Eletrosul, a Universidade Comunitária da Região de Chapecó (Unochapecó), o Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional (IPPUR/UFRJ), o Movimento dos Atingidos por Barragens (MAB) e as 29 prefeituras da Região (Eletrobrás, 2014). Outros projetos podem ocorrer em maiores ou menores escalas, como por exemplo, o Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS, desenvolvido pelo Ministério das Cidades, por meio da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, juntamente com o governo alemão. Essa iniciativa, com previsão de vigência de cinco anos, busca contribuir para a ampliação do uso energético eficiente do biogás e, por conseguinte, para a redução de emissões de metano e de dióxido de carbono

na atmosfera, trabalhando em duas áreas temáticas – sistemas de tratamento de efluentes e de resíduos sólidos (CIDADES, 2014).

Outra fonte promissora no país é o biogás produzido a partir de aterros. Uma medida importante para o incentivo de produção desse tipo de gás no Brasil ocorreu em agosto de 2010, quando foi sancionada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que busca melhorar a qualidade no tratamento dos resíduos, estimular a segregação e a correta destinação, priorizar a reciclagem de embalagens e gerar condições favoráveis para a criação de consórcios intermunicipais. A PNRS influencia diretamente o desenvolvimento de novas oportunidades para a implantação de projetos de captura de biogás em aterros, com a consequente geração de energia (CETESB, 2013).

Em 2011 foram gerados aproximadamente 198 mil toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos no Brasil, o que equivale a cerca de 62 milhões de toneladas por ano. Do total de resíduos gerados, 90% foram coletados, sendo que destes, 58% foram destinados a aterros sanitários, 24% a aterros controlados e 17% a lixões (CQNUMC). Esses dados são importantes para os projetos de mitigação, que consistem basicamente na captura, queima e/ou aproveitamento do conteúdo energético do biogás, evitando assim sua liberação para a atmosfera. Estes projetos de mitigação são elegíveis sob o conhecido “mercado internacional de carbono”, existindo em dezembro de 2012, 5.511 projetos formulados nos termos do MDL, registrados perante a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC).

O Brasil conta com 4,7% dos projetos registrados. Uma investigação realizada no país identificou 46 projetos dentro da categoria “13: manejo e destinação de resíduos”, sendo que 23 consideram a captura e queima do biogás recuperado, o que representa cerca de 50% deste universo. A maior parte destes projetos está situada na região Sudeste (15 ao todo), com 65% do total. Em segundo lugar está a região Sul, com 4 projetos (18%); em terceiro está a região Nordeste com 3 projetos (16%) e, finalmente, a região Norte, com um único projeto (4%). Os outros 50%, incluem o aproveitamento energético do biogás. Destes, 22 projetos incluem geração de eletricidade e somente 1 considera a purificação do biogás para posteriormente injetá-lo em uma rede de gás natural. No total, a capacidade instalada para geração de eletricidade declarada nos documentos de concepção dos projetos (DCPs) verificados é de 254 MW (CETESB, 2013). O país possui uma

projeção até 2039 de até 282 MW de potencial energético em projetos fora do MDL (ABRELPE, 2013).

Em relação ao potencial de produção de biogás a partir do tratamento de efluentes municipais, podem-se levar em consideração os índices médios nacionais de atendimento da população total, identificados pelo SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) em 2011, que houve uma coleta de 48,1% dos esgotos, sendo que 58,4% do esgoto coletado foi tratado. Aliando a essas informações o levantamento das despesas com energia elétrica das estações de tratamento, que totalizaram em 2011 o valor de R\$ 3.143,1 milhões, ou seja, 13,4% das despesas correntes tem-se um cenário promissor para o biogás, que poderia ajudar a reduzir o gasto com energia que essas estações possuem (SNIS, 2013). Além disso, com o advento da Lei nº 11.445/07, art. 52, atribuiu-se ao Governo Federal, sob a coordenação do Ministério das Cidades, a responsabilidade pela elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), o qual estabelece metas para o saneamento básico brasileiro, visando atingi-las ao longo dos 20 anos de execução. A elaboração desse plano fomenta o crescimento do saneamento básico no país, aumentando assim o potencial brasileiro de produção de biogás a partir dessa fonte (CIDADES, 2014).

Existem atualmente incentivos estaduais, como no Rio de Janeiro onde o governo estadual obrigou as distribuidoras CEG e CEG Rio a comprar todo o combustível produzido em aterros do estado até um volume de 5% comercializado por essas empresas, e em São Paulo, onde o Programa Paulista de Biogás visa obter o energético da vinhaça. Em termos governamentais, o país ainda sofre com o custo Brasil, falta de regulação e de incentivos, além de questões tecnológicas e retorno demorado, o que faz com que os investidores fiquem desmotivados a investir em tal produto.

### **3.5. CONSIDERAÇÕES**

Comparando os países analisados, nota-se que o Brasil ainda se encontra atrasado quando o assunto é o desenvolvimento da cadeia do biogás no país. Incentivos esparsos e pontuais, ainda não fazem frente aos fortes planos dos países europeus, ou ainda, aos incentivos governamentais chineses.

Em relação à definição de metas de reduções das emissões dos gases do efeito estufa através do uso do biogás, os países europeus se encontram na



vanguarda. A China também possui diversos incentivos estatais, porém mais voltados à produção para consumo próprio, em áreas rurais, distantes da rede de abastecimento.

Para o Brasil evoluir em relação ao uso do biogás, são necessárias especificações e regulações, além de maiores incentivos do governo e redução dos impostos tecnológicos, que atualmente tornam desfavorável a produção desse produto.

## 4. MODELOS DE NEGÓCIO PARA O APROVEITAMENTO DO BIOGÁS

Neste capítulo serão discutidos os possíveis modelos de negócio aplicáveis à realidade do biogás, assim como os fatores envolvidos em sua elaboração.

Inicialmente, será feita uma breve revisão do conceito de modelos de negócio e em seguida, será estudada a cadeia de valor do biogás de acordo com as principais dimensões dos modelos de negócio. Por último, serão feitos estudos de casos de projetos que envolvem o biogás, além de um comparativo entre os mesmos, para que se tenha uma maior compreensão de como esses se estruturam.

### 4.1 INTRODUÇÃO AO MODELO DE NEGÓCIO

Em seu artigo “*Why do Business Models Matter*”, MAGRETTA, (2002) define um modelo de negócio como a história que explica quem é o seu consumidor, o que ele valoriza e como se obtém dinheiro fornecendo o que ele valoriza. De acordo com o autor, o modelo de negócio envolve dois pontos mais gerais em uma cadeia de valor genérica do negócio, mostrados a seguir:

- Satisfazer uma necessidade, ainda desconhecida, do consumidor.
- Vender alguma coisa já vendida atualmente, de um jeito inovador.

Para explicar de modo mais detalhado e operacional o conceito definido por MAGRETTA, (2002), é possível utilizar as funções de um modelo de negócio, descritas por CHESBROUGH; ROSENBLOOM, (2002), divididas em seis atributos, apresentados a seguir:

- Identificar os segmentos de mercado, por exemplo, os usuários para os quais a tecnologia é útil e especificar o mecanismo gerador de riquezas para a firma.
- Articular a proposição de valor, por exemplo, o valor criado para os usuários pela oferta baseada na tecnologia.
- Definir os elementos da cadeia de valor dentro da firma, necessária para criar e distribuir a oferta, e determinar os ativos complementares necessários para suportar a posição da firma nessa cadeia.

- Estimar as margens de custo e lucro definidas de produzir a oferta, dada à proposição de valor e estrutura de cadeia de valor escolhidos.
- Descrever a posição da firma dentro da rede de valor ligando fornecedores e consumidores, incluindo a identificação de potenciais competidores e complementadores.
- Formular a estratégia competitiva pelo qual a firma inovadora ganhará e manterá vantagens sobre as rivais.

Para Teece, (2010), um modelo de negócio articula a lógica e fornece dados e outras evidências que demonstram como um negócio cria e entrega valor a seu consumidor. O modelo também estrutura as receitas, custos e lucros, associados ao empreendimento que entrega esse valor. A Figura 9 mostra os elementos de projeto que um modelo de negócio possui, de acordo com o autor:



Figura 9 – Elementos do projeto do modelo de negócio.

Fonte: Adaptado de TEECE, (2010)

Os autores Zott; Amit, (2010), definem um modelo de negócio como o conteúdo, estrutura e governança das transações designadas para criar valor, através da exploração de oportunidades de negócio. O modelo é dividido em parâmetros, explicados no Quadro 1:

<b>Parâmetros do Modelo</b>	
<b>Elementos</b>	
<b>Conteúdo</b>	Seleção de atividades realizadas pela empresa
<b>Estrutura</b>	Como as atividades estão ligadas
<b>Governança</b>	Para quem se realiza as atividades
<b>Temas</b>	
<b>Novidade</b>	Inovação nas atividades realizadas, assim como novas formas de ligá-las e governá-las.
<b>Aprisionamento</b>	Ter o poder de manter terceiros atraídos como participantes do modelo de negócio
<b>Complementaridades</b>	Unir atividades em um sistema, ao invés de executá-las separadamente.
<b>Eficiência</b>	Obter a melhor eficiência no negócio

**Quadro 1 – Parâmetros de Design de um Modelo de Negócio.**

**Fonte: Desenvolvido a partir de ZOTT; AMIT, 2010**

Nas definições de modelo de negócio apresentadas nesta seção, observa-se que esses devem responder a pelo menos quatro perguntas:

- Quem é o consumidor?
- O que o consumidor valoriza?
- Como entregar o que o consumidor valoriza?
- Como capturar valor com essa entrega?

Neste trabalho, essas quatro perguntas serão utilizadas como base para entender a cadeia do biogás e, juntamente com as funções de Chesbrough & Rosenbloom, (2002), servirão para analisar as dimensões dos modelos de negócio para o biogás, principalmente ao que diz razão aos aspectos de estruturação do modelo.

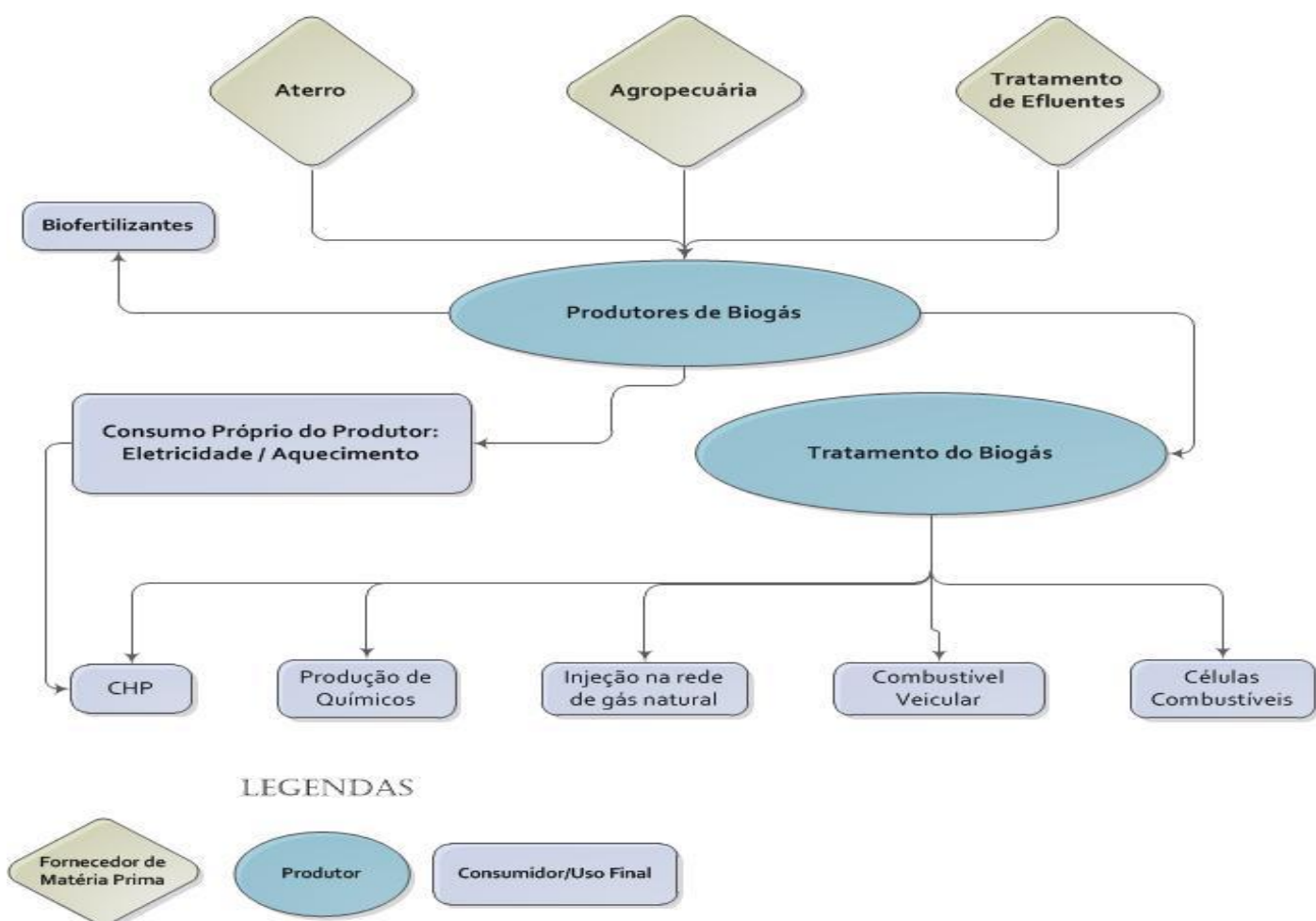
## **4.2 CADEIA DO BIOGÁS**

Nesta seção serão apresentados e discutidos, de forma resumida e simplificada, os componentes da cadeia produtiva e comercial do biogás,

possibilitando assim a definição de quem é o consumidor e mostrar algumas das possíveis estruturas da cadeia de valor desse produto, indicando as oportunidades de estruturação do modelo de negócio.

Devido à complexidade das possíveis alternativas de estruturação da cadeia do biogás, existe certa dificuldade de se criar um modelo de negócio satisfatório, pois esse requer um alto nível de integração entre os protagonistas (produtor, fornecedor, etc...), o que na prática se mostra um desafio.

A figura 10<sup>6</sup> ilustra, de forma simplificada, as etapas das possíveis cadeias de produção e comercialização do biogás, englobando desde seu fornecedor de matérias primas, até seu consumidor final, passando por seu produtor:



**Figura 10 – Cadeia Simplificada do Biogás**

<sup>6</sup> As fontes de matéria prima foram divididas do mesmo modo que no capítulo 2, seção 2.4.

Apresentada no primeiro nível da figura 10, a fonte de matéria prima pode ser a motivação para se investir na cadeia do biogás. Ela pode definir tanto o perfil do produtor quanto do consumidor final. Por exemplo, um agricultor que gera uma alta quantidade de resíduos em sua atividade principal, tem entre as possíveis soluções para o gerenciamento desses resíduos, a digestão anaeróbia. Esta, além de diminuir o volume de matéria orgânica existente, também fornece reduções de custos ao fornecedor/produtor em termos de eletricidade e/ou geração de calor, oriundos do aproveitamento do biogás gerado. Outra vantagem da digestão anaeróbia é a produção de biofertilizantes, que podem ser vendidos, gerando assim receitas extras, ou aproveitados na própria atividade do produtor.

O próximo nível da figura 10 indica os produtores e a etapa de tratamento do biogás. Nesse caso, o produtor pode tanto vender o biogás, quanto ser o seu consumidor final.

Essa relação entre quem é o produtor/consumidor final apresenta fortes laços com a fonte de matéria prima utilizada. Um exemplo é o produtor que tem como fonte o aterro. Geralmente, o usuário dessa fonte não é o consumidor final, sendo apenas responsável por coletar o biogás e então tratá-lo para depois vendê-lo. Já os produtores de ETE e agropecuários, são mais inclinados a utilizar o biogás em suas atividades principais, podendo para isso tratá-lo ou não, dependendo de suas necessidades e objetivos (o que não os impede de ter a sua produção destinada inteiramente à venda para terceiros).

Durante a elaboração deste trabalho, não foram encontrados casos onde o produtor vende o biogás sem previamente tratá-lo, já que esse é um produto de pouco valor agregado. É prática comum tratar o biogás, aumentando assim à sua concentração de metano e eliminando suas impurezas, antes de vendê-lo.

Existem diversas impurezas que precisam ser retiradas na etapa de tratamento, o que gera um grande aumento do custo da cadeia, em comparação ao usuário do biogás cru. É importante ressaltar que o biogás pode ser produzido perto da fonte de matéria prima, o que diminui seus custos de distribuição e transporte. Essa proximidade varia entre os projetos, de acordo com a matéria prima escolhida e não é uma regra.

Por último na estrutura da cadeia do biogás, estão as aplicações e usos do biogás produzido, ou seja, os consumidores e por que eles necessitam do biogás.

O biogás sem tratamento geralmente é utilizado para cocção em propriedades rurais e lugares distantes da rede de abastecimento de gás natural, pois possui uma baixa concentração de metano. Ele também pode ser utilizado para gerar eletricidade, porém apresenta uma baixa eficiência energética e um grande potencial danoso aos equipamentos.

Conclui-se que, o consumidor do biogás sem tratamento tem necessidades de baixa complexidade tecnológica, pode se encontrar distantes da rede de distribuição ou não possui o capital necessário para comprar o biogás tratado.

Por sua vez, o biometano tem uma alta concentração de metano e pode ser utilizado para fins que requerem uma maior pureza de produto. Esses consumidores possuem necessidades com nível de complexidade mais elevado, o que os obriga a arcar com os custos do tratamento do biogás.

Entre os possíveis consumidores do biometano estão, as indústrias e domicílios que necessitam de energia em suas atividades, veículos automotivos, produtores de químicos como o metanol, produtores de hidrogênio para células combustíveis, entre outros.

Para a geração de energia, podem-se utilizar geradores CHPs ou injetar o biometano a rede de distribuição de gás natural. De qualquer forma, a necessidade do consumidor final é obter energia, seja essa elétrica ou calor, para realizar suas atividades. Os consumidores CHPs podem produzir seu próprio biogás, o que elimina os custos de distribuição. O consumidor final do biometano injetado na rede terá que pagar o custo de distribuição às distribuidoras do produto.

Para o consumidor do biometano como combustível veicular, inserem-se em sua cadeia as “*filling stations*” (e.g postos de gasolina), onde ele é armazenado em tanques e posteriormente distribuído. O próprio produtor pode possuir uma dessas estações, abastecendo, por exemplo, uma frota própria de caminhões. Outra opção é a venda do biometano a centros de distribuição, como postos de gasolina.

A produção de químicos a partir do biogás ainda é pouco explorada, devido à competitividade que as outras possíveis aplicações do biogás apresentam. O metanol é o químico de maior destaque, mas sua produção fica mais cara a partir do biogás do que a partir do gás natural, tirando o apelo dessa aplicação a seu consumidor. Porém, como o metanol proveniente do biogás apresenta uma vantagem de ser de origem renovável, o preço pode não ser a única variável envolvida no processo de escolha por parte de seu consumidor.

Por último, existe a produção de hidrogênio para células combustíveis, onde o consumidor final visa à geração de eletricidade. Nesse caso, o produtor de biogás pode ser o consumidor final (onde ele próprio gera o hidrogênio e utiliza-o em células combustíveis próprias) ou pode vendê-lo a um produtor de hidrogênio.

### **4.3 ESTUDOS DE CASO**

Nesta seção serão apresentados três estudos de caso, escolhidos de acordo com seguintes critérios: os casos apresentam diferentes fontes de matéria prima (gás de aterro, tratamento de efluentes e agropecuária), estão localizados no Brasil e são pioneiros de alguma forma em suas áreas de atuação.

- 1) Para o gás de aterro, será estudado o caso das empresas Gás Verde S.A., Novo Gramacho Energia Ambiental e a Refinaria de Duque de Caxias (Reduc).
- 2) Para as estações de tratamento de efluentes, será estudado o caso da empresa Sanepar e sua Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) de Ouro Verde, no Paraná.
- 3) Por último, o biogás gerado a partir de fonte agropecuária terá como estudo de caso a Granja Colombari, no Paraná.

Os casos serão estudados de acordo com as funções do modelo de negócio, definidas na seção 4.1, pontuando qual a motivação para o surgimento do projeto, qual a proposição de valor, como as empresas se estruturam para entregar esse valor ao consumidor e como elas obtêm retorno.

#### **4.3.1. ESTUDO DE CASO 1 – GÁS VERDE S.A. E REDUC**

##### **Resumo do projeto**

A Petrobras é uma sociedade anônima de capital aberto, cujo acionista majoritário é o governo brasileiro. Ela está presente em 25 países, sendo líder do setor petrolífero no Brasil. A empresa tem como um de seus objetivos, expandir suas operações para estar entre as cinco maiores empresas integradas de energia no mundo até 2030 (PETROBRAS, 2014).



De acordo com os resultados do exercício de 2013, a empresa teve investimentos maiores que R\$ 104 bilhões, apresentando um lucro líquido de R\$ 23,57 bilhões (PETROBRAS, 2014).

A Petrobras possui a Refinaria Duque de Caxias (Reduc), uma das maiores do Brasil em capacidade instalada de refino de petróleo. Ela iniciou sua produção em 1961 e, atualmente, tem uma logística responsável por 80% da produção de lubrificantes da Petrobras e pelo maior processamento de gás natural do Brasil. Localizada na Baixada Fluminense, impulsionou o nascimento de um forte pólo industrial na região (PETROBRAS, 2014).

Atualmente, aproximadamente 10% das necessidades energéticas da refinaria são supridas por biogás purificado. O produto, na vazão aproximada de 200 mil m<sup>3</sup>/dia, é obtido a partir do gás metano retido no solo do Aterro Sanitário Metropolitano de Jardim Gramacho (PETROBRAS, 2014).

Entre as motivações da Petrobras para o uso do biogás produzido no Aterro de Gramacho estão: contribuir para a recuperação do aterro de Gramacho, proporcionar uma oportunidade econômica de diversificação do suprimento de gás para a Refinaria e permitir à Companhia desenvolver o conhecimento específico da queima de biogás purificado. (BLOGPETROBRAS, 2014).

O Aterro Sanitário Metropolitano de Jardim Gramacho, teve seu funcionamento iniciado em 1978 e está localizado no município de Duque de Caxias, no estado do Rio de Janeiro. Esse chegou a ser o maior aterro sanitário da América Latina, sendo fechado em 2012 (RADIS, 2014).

A empresa Gás Verde S.A. e a empresa Novo Gramacho Energia Ambiental S.A. foram criadas após a concorrência pública realizada em dezembro de 2006 pela COMLURB, Companhia de Limpeza Urbana do Município do Rio de Janeiro, para fins do aproveitamento do biogás produzido no Aterro Jardim Gramacho. As duas empresas têm o mesmo controle acionário: Grupo Synthesis, Biogás Energia Ambiental S.A. e a Construtora J Malucelli (GÁSVERDE, 2014).

O desafio da empresa Gás Verde S.A é transformar lixo em energia limpa, economicamente sustentável. Ela é responsável pelo processamento do biogás gerado com o lixo do Aterro de Gramacho. O biogás é purificado até obter a qualidade equivalente a do gás natural, que é então transportado para abastecimento parcial da Refinaria de Duque de Caxias (GÁSVERDE, 2014).

Seu trabalho iniciou-se em 2009, quando a Novo Gramacho Energia Ambiental S.A. (NGEA) iniciou a extração e produção do biogás bruto do aterro, através de 301 poços de produção, tubulações de coleta e estação de bombeio. O gás, até então era simplesmente queimado, impedindo que o metano fosse lançado na atmosfera (GÁSVERDE, 2014).

Nessa nova fase, a NGEA junto com a sua empresa coligada Gás Verde S.A., fazem o biogás passar pela usina de processamento, onde ocorrem as etapas de purificação até atingir o alto padrão de qualidade exigido pelas rígidas especificações técnicas da Petrobras. Para transportar o biometano, foi construído um gasoduto de seis quilômetros de extensão, ligando as instalações da empresa Gás Verde S. A. à Reduc. O gasoduto foi construído com tecnologia de furo direcional, que permitiu a perfuração por baixo da área do manguezal e do rio Sarapuá, em uma extensão de 1.100 metros, ao longo de uma camada profunda do solo (GÁSVERDE, 2014).

Com um investimento de R\$ 240 milhões, a usina da Gás Verde S.A. tem capacidade de processamento de 70 milhões de metros cúbicos de biogás por ano, produção suficiente para abastecer todo o consumo residencial e comercial da cidade do Rio de Janeiro (GÁSVERDE, 2014).

A Synthesis Empreendimentos adquiriu em 2008, 25% da Novo Gramacho Energia Ambiental S.A. (NGEA), em parceria com a Arcadis Logos S.A. (braço brasileiro da Arcadis NV Holandesa) e a JMalucelli Construtora de Obras S.A (NGEA,2014).

A NGEA é responsável pela extração, processamento e transporte (para a Gás Verde) do biogás gerado no aterro de Jardim Gramacho, sob um contrato de concessão de 20 anos estabelecido com a COMLURB / Rio de Janeiro. Ela também possui um contrato com a Gás Verde, onde esta comprará e purificará todo o biogás coletado pela NGEA, por todo o período de seu contrato de concessão junto a COMLURB. A NGEA também é responsável pela manutenção da área do aterro e pela operação da estação de tratamento de chorume instalada na própria unidade. (NGEA,2014).

Com um projeto dispendioso, financiado pela iniciativa privada, com tecnologia inédita no Brasil e com expectativas de receita superando um bilhão de reais em 20 anos, a empresa Gás Verde S.A. investiu R\$ 240 milhões em seu projeto de tratamento e abastecimento de biogás a Reduc (RAMALHO, 2013).

Inaugurado em 7 de junho de 2013, o projeto usa o lixo acumulado durante 34 anos de operação no Aterro de Gramacho para gerar biogás, que é utilizado como fonte de energia elétrica para as operações da Reduc. São 70 milhões de metros cúbicos por ano, aproximadamente 10% da necessidade energética da Reduc, gerando uma receita de R\$ 40 milhões anuais a Gás Verde S.A.. Além disso, a empresa pretende comercializar as 200 toneladas diárias de CO<sub>2</sub> de alta pureza, coletado através do processo de tratamento do biogás. Uma alternativa a venda do CO<sub>2</sub>, seria utilizá-lo para alimentar uma produção de algas e vender o óleo produzido a empresas de biodiesel (RAMALHO, 2013).

Enquanto o destino do CO<sub>2</sub> não é decidido, ele é liberado na atmosfera. Outra fonte de renda, seria a venda de créditos de carbono, já que o projeto da Reduc é um dos maiores projetos mundiais inseridos no MDL (RAMALHO, 2013).

### **Modelo de Negócio do Projeto**

Ao se analisar o estudo de caso 1, conclui-se que a matéria prima foi a grande motivação para que o projeto ocorresse, pois tanto a concessão fornecida pela COMLURB para a exploração do aterro, quanto o interesse de compra do biogás pela Petrobras, tiveram influências ambientais atreladas ao aterro.

A COMLURB procurava empresas que pudessem dar um uso ao biogás gerado no aterro, responsável por emissões de gases do efeito estufa e a Petrobras procurava contribuir para a recuperação do aterro de Gramacho, além de diversificar o suprimento de gás para a Reduc. As empresas envolvidas no processo de coleta e tratamento do biogás, além de terem como motivação o retorno financeiro, também tem como desafio transformar lixo em energia limpa. A matéria prima servia aos objetivos de todos os envolvidos na cadeia de valor.

A estruturação do negócio da empresa Gás Verde S.A., responsável pelo tratamento do biogás, se baseia em receber o biogás cru, tratá-lo e enviá-lo a Refinaria. Ela compra a sua matéria prima da NGEA, (empresa coligada a Gás Verde S.A.) e entrega o biometano através de um gasoduto que liga diretamente seu sítio de tratamento ao seu consumidor final.

As receitas da Gás Verde se baseiam na venda do biogás tratado, na venda de créditos de carbono e potencialmente na venda de CO<sub>2</sub>, que é um *by product* do tratamento do biogás.

A NGEA, a Gás Verde S.A., as prefeituras de Duque de Caxias e Rio de Janeiro, e a Petrobras, são todos parceiros nesse projeto.

#### **4.3.2. ESTUDO DE CASO 2 – ETE OURO VERDE**

##### **Resumo do projeto**

A Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), sediada em Curitiba, presta serviços de fornecimento de água tratada, coleta e tratamento de esgoto sanitário e coleta e destinação de resíduos sólidos. Em 2013, a empresa celebrou 50 anos de atividades tendo como objetivo universalizar o acesso ao saneamento (SANEPAR, 2014).

Por meio de contratos firmados com prefeituras, a Sanepar opera em 345 municípios paranaenses, além de Porto União, em Santa Catarina. Nas regiões em que atua, atende 100% da população urbana com água tratada e 62,1% com sistema de esgoto sanitário (SANEPAR, 2014).

A empresa opera um sistema integrado por 176 Estações de Tratamento de Água (ETAs) e 227 Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), difundidas em todo o Estado. Essa estrutura é mantida por uma força de trabalho de 6.962 empregados. Nas regiões em que atua, a empresa atende com água tratada 10,2 milhões de pessoas e o sistema de esgoto sanitário atende 6,3 milhões de pessoas (SANEPAR, 2014).

A Sanepar é a primeira empresa de saneamento do Brasil a utilizar o biogás, produzido na ETE de Ouro Verde, para a produção de energia elétrica com disponibilização do excedente desta energia em rede de baixa tensão da Companhia Paranaense de Energia (Copel), já que a energia produzida pelo sistema é maior do que a demanda energética da estação (SANEPAR, 2014).

A ETE de Ouro Verde, localizada em Foz do Iguaçu, no Paraná, trata o esgoto de 17.550 pessoas, produzindo cerca de 20 toneladas de matéria seca por ano, de lodo, que, após higienização, é utilizado por agricultores da região para produção principalmente de milho e feijão. Tendo iniciado suas operações em 1997, há nove anos é certificada de acordo com os requisitos da norma internacional ISO 14001 (SANEPAR, 2014).

Nela, existe uma unidade piloto de produção de biogás que serve como um modelo de sucesso, na visão de seus operadores. Ela tem uma produção estimada

em 80 m<sup>3</sup> por dia de biogás, o suficiente para suprir o consumo energético anual de 5 residências (SANEPAR, 2014).

A ETE de Ouro Verde produz 18 mil metros cúbicos de metano por ano, com um sistema de aproveitamento energético constituído de coleta, filtração e armazenamento do biogás e de geração de energia elétrica. Esse sistema gera cerca de 1500 kW/h por mês, o que é capaz de suprir todo o sistema da ETE, que consome 68 kW/h por mês em todos os seus processos. O sistema utiliza também a energia solar em suas operações (o queimador de biogás funciona a bateria carregada por energia solar). O excedente de eletricidade gerado pela ETE é vendido a Copel (SANEPAR, 2014).

Com a utilização do metano para geração de energia, o odor do processo também é eliminado (SANEPAR, 2014).

Atualmente, o gasto com energia elétrica é a segunda despesa da Sanepar. O sistema de água responde por 93% do consumo de energia na empresa, 6% dos gastos vem do sistema de esgoto e 1% da área administrativa. A utilização da energia elétrica oriunda do processo de tratamento poderá, no futuro, gerar uma economia de mais de R\$3 milhões por ano para a empresa (SANEPAR, 2014).

A empresa tem a intenção de levar a experiência da ETE Ouro Verde para as outras estações de tratamento operadas pela Sanepar, atualmente em todo Paraná. Dessas, 199 utilizam o sistema de gestão anaeróbia gerando gás metano, todas com potencial de gerar energia elétrica. As unidades tratam 40 milhões de metros cúbicos de esgoto por ano, processando 250 toneladas de matéria orgânica, que deixam de ser lançadas nos rios (SANEPAR, 2014).

Hoje, o esgoto gera 11 milhões de metros cúbicos de gás metano ao ano, que são atualmente queimados nas ETEs. Estima-se que, se todo este metano for convertido em energia elétrica, a Sanepar poderá gerar cerca de 10 GW de energia por ano, o equivalente a um terço do que a Sanepar gasta com a energia elétrica na coleta e tratamento de todo o esgoto (SANEPAR, 2014).

### **Modelo de Negócio da Empresa Sanepar**

A partir do resumo do projeto, avalia-se que sua motivação partiu da empresa Sanepar, que procura uma aplicação ao biogás gerado em suas operações principais.

A estruturação do negócio da Sanepar consiste em, coletar o biogás produzido em suas operações principais, tratá-lo, armazená-lo e utilizá-lo para geração de energia elétrica.

Ela tem fácil acesso a matéria prima, já que o biogás é um subproduto de suas atividades principais.

A empresa tem como retorno a redução dos gastos com eletricidade, venda de créditos de carbono e venda do excedente de eletricidade à distribuidora de energia elétrica (a prioridade da energia elétrica é suprir a necessidade das operações da ETE, apenas o excedente é vendido). Outros benefícios são a redução de emissões dos gases do efeito estufa e a comprovação de que esse projeto funciona e pode ser replicado em outras estações de tratamento da companhia.

Como a própria estação é o consumidor do biogás gerado, a empresa não precisa de meios de distribuição para o mercado.

A empresa tem como parceiros a Itaipu, a Copel, o Instituto Ambiental do Paraná, as instituições do governo estadual e a Cooperativa LAR.

### **4.3.3. ESTUDO DE CASO 3 – GRANJA COLOMBARI**

#### **Resumo do projeto**

Seguindo uma estratégia de semear referências em geração distribuída<sup>7</sup>, dando oportunidade e viabilidade a micro-centrais geradoras, a Itaipu Binacional implantou na Granja Colombari, em São Miguel do Iguazu, a primeira unidade de demonstração e modelagem no Paraná.

A Granja Colombari é uma propriedade rural familiar, de pequeno porte, que tem como dono o senhor José Carlos Colombari. A granja tem como principal atividade econômica a criação de suínos.

O Parque Tecnológico Itaipu (PTI) foi criado em 2003 pela Itaipu Binacional, a maior hidrelétrica do mundo em geração de energia. O PTI se consolida como um pólo científico e tecnológico no Brasil e no Paraguai (PTI, 2014).

As pesquisas na área de energias renováveis, em especial com resíduos sólidos rurais e urbanos, são fomentadas no PTI, por meio da Plataforma Itaipu de

---

<sup>7</sup> Geração descentralizada de energia elétrica, onde a geração elétrica é realizada junto ou próximo do(s) consumidor(es) independente da potência, tecnologia e fonte de energia (INEE, 2014)

Energias Renováveis (PIER). Trata-se de uma iniciativa da Itaipu Binacional, sob responsabilidade da Assessoria de Energias Renováveis, que visa demonstrar a viabilidade técnica, econômica e ambiental do uso de fontes renováveis de energia (PTI, 2014).

A Plataforma atua fortemente na criação de novas oportunidades de negócio e busca proporcionar autonomia energética para os setores agropecuário e agroindustrial da região Oeste do Paraná, paralelamente a um processo de saneamento ambiental. Ao desenvolver a metodologia da PIER, a Itaipu atua como articuladora de diferentes atores econômicos e sociais, como instituições de ensino e pesquisa, associações e cooperativas, empresas e governos (PTI, 2014).

O sistema de tratamento da Granja Colombari foi implantado em 2006, com o objetivo de tratar os resíduos provenientes de 3.000 suínos em fase de terminação, dispostos em três barracões. Esse sistema de tratamento foi fornecido em comodato pela empresa AgCert do Brasil Soluções Ambientais Ltda, que se responsabilizou pelos custos do projeto, obras e acompanhamento técnico para a implantação do primeiro biodigestor. O biodigestor foi implantado, seguido de uma lagoa secundária, onde ficava armazenado o biofertilizante utilizado nas pastagens da propriedade. A empresa elaborou o projeto visando o recebimento dos créditos de carbono da unidade produtiva, por um período de dez anos, contrato que se iniciou em 2005 e encerra-se em 2015. Sendo assim, a empresa ficará credenciada para vender 90% dos créditos de carbono obtidos da unidade produtiva e 10% ficará para o produtor (FERNANDES, 2012).

Em 2009, a granja aumentou a produção de suínos de 3.000 para 4.400 animais, tornando-se necessário a implantação de um segundo biodigestor, seguido de um tanque de armazenamento do biofertilizante, realizado pelo Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação (ITAI). A elaboração desse projeto permitiu a especificação, a implantação e as modificações necessárias com a finalidade de adequar essa lagoa secundária para a geração de biogás com seu respectivo licenciamento ambiental (FERNANDES, 2012).

A geração de biogás é utilizada para a produção de energia elétrica através de um motor gerador, que produz 80 kWh para atender as atividades internas da propriedade rural, como o conjunto motobomba de distribuição de dejetos para a ferti irrigação, a fábrica de ração para alimentar os suínos e as quatro residências localizadas na propriedade rural. Sendo assim, o grupo motor gerador opera em

função da disponibilidade de biogás nos biodigestores, sendo dimensionado para operar aproximadamente 8 horas por dia. A produção média é de 583 m<sup>3</sup> de biogás, por dia (FERNANDES, 2012).

Em 10 de janeiro de 2008, deu-se início ao comissionamento da energia excedente da Granja Colombari, para ser injetada na rede elétrica da concessionária COPEL, a partir de um contrato de quatro anos, assinado em fevereiro de 2009 entre o produtor e a concessionária de energia, com prazo de encerramento para agosto de 2012. Dessa maneira, quando há energia excedente na unidade produtiva, o produtor pode ter um retorno financeiro de aproximadamente R\$ 3.000,00 mensais (FERNANDES, 2012).

Diante disso, a propriedade rural foi considerada a primeira Microcentral Termelétrica a Biogás do país, a ser monitorada pela COPEL. Os resultados obtidos com essa unidade produtiva a partir da inserção da geração distribuída foram importantes para colaborar no reconhecimento à incorporação de pequenos produtores de energia ao sistema elétrico brasileiro, e permitir o estabelecimento dos requisitos técnicos necessários para que as companhias de eletricidade possam contratar e utilizar energia elétrica provenientes de outras centrais elétricas, como usinas termelétricas e de outras fontes alternativas de energia, incluso neste grupo, energia proveniente do biogás (FERNANDES, 2012).

### **Modelo de Negócio da Granja Colombari**

A motivação desse projeto foi a transformação da Granja Colombari em uma micro-central geradora, ou seja, pode-se analisar que o uso final do biogás foi o principal motivo para que o projeto ocorresse e não necessariamente sua matéria prima.

A estruturação do negócio da Granja Colombari consiste em, coletar o biogás produzido em suas operações principais, tratá-lo, armazená-lo e utilizá-lo para geração de energia elétrica. Além disso, o biofertilizante gerado a partir da digestão anaeróbia também é utilizado nas operações da Granja.

O produtor tem fácil acesso a matéria prima, já que o biogás é um subproduto de suas atividades principais.

O projeto apresenta como retorno a redução dos gastos com eletricidade, venda de créditos de carbono e venda do excedente de eletricidade a distribuidora de energia elétrica (a prioridade é usar a energia elétrica para suprir a necessidade



energética da Granja, vendendo apenas o excedente). Outros benefícios são a redução de emissões dos gases do efeito estufa e a utilização do biofertilizante produzido.

Como a própria Granja é o consumidor do biogás gerado, ela não precisa de meios de distribuição para o mercado.

A Granja tem como parceiros a Itaipu Internacional, a COPEL (compradora do excedente de eletricidade), o Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação, a AgCert do Brasil Soluções Ambientais Ltda, o FINEP, a Cooperativa Agroindustrial Lar e o Instituto Ambiental do Paraná, que forneceram conhecimento e tecnologia para que o biogás fosse implantado na Granja.

#### 4.4. ANÁLISE COMPARATIVA DOS ESTUDOS DE CASO

Após analisar cada caso separadamente, nesta seção são feitas comparações entre as principais características de cada empresa e seus modelos de negócio. Especialmente para o estudo de caso 1, deu-se um enfoque na empresa Gás Verde S.A. que é responsável pelo tratamento do biogás coletado, uma das etapas mais importantes da cadeia do biogás.

O Quadro 5 foi montado de acordo com as informações obtidas em cada caso e será utilizado como base para comparações:

		<b>Gás Verde S.A.</b>	<b>Sanepar</b>	<b>Granja Colombari</b>
<b>Segmento de mercado destinado</b>		Mercado de Energia	Consumo Próprio	Consumo Próprio
<b>Proposição de valor</b>		Gerenciamento de resíduos danosos ao meio ambiente, redução da emissão de gases poluentes	Gerenciamento de resíduos danosos ao meio ambiente, redução da emissão de gases poluentes, redução dos gastos com eletricidade	Gerenciamento de resíduos danosos ao meio ambiente, redução da emissão de gases poluentes, redução dos gastos com eletricidade e fertilizante orgânico
<b>Cadela de valor</b>	<b>Acesso a Matéria Prima</b>	Aterro de Gramacho	Sanepar	Granja Colombari
	<b>Coleta</b>	NGEA	Sanepar	Granja Colombari
	<b>Tratamento</b>	Gás Verde S.A.	Sanepar	Granja Colombari
	<b>Distribuição</b>	Gás Verde S.A.	Sanepar	Granja Colombari
	<b>Consumidor</b>	Petrobras	Sanepar	Granja Colombari
<b>Captura de valor</b>	<b>Receitas</b>	Venda de biogás, venda de CO2 e venda de créditos de carbono	Venda de créditos de carbono, venda do excedente de eletricidade e redução de custos com eletricidade	Venda de créditos de carbono, venda do excedente de eletricidade, redução de gastos com eletricidade e redução de gastos com fertilizantes
	<b>Custos</b>	Compra do biogás cru, tratamento e distribuição do biogás	Custos de coleta e tratamento do biogás gerado	Custos de coleta e tratamento do biogás gerado

**Quadro 5 – Análise Comparativa entre os Estudos de Caso.**

Fonte: Elaboração Própria

Em relação ao segmento de mercado de cada caso, nota-se que apenas as empresas do estudo 1 mantêm foco em um consumidor externo, de grande porte, que pode absorver completamente o biogás gerado e tratado, enquanto nos outros casos, o consumidor acaba sendo o próprio produtor.

Essa relação pode ter ligação direta com a matéria prima utilizada. Seguindo a lógica dos casos da Sanepar e da Granja Colombari, para um produtor de gás de aterro ser o consumidor final do mesmo, ele deveria operar o aterro que gera o biogás. Porém, é observada na prática a abertura de concessões a empresas terceirizadas para aproveitar o biogás gerado. No caso das fontes agropecuárias e de estações de tratamento, municipais ou industriais, os benefícios de redução de custo e venda, tanto de créditos de carbono quanto da eletricidade excedente, favorecem o consumo próprio do biogás produzido, o que não impede, porém, que esse seja vendido a terceiros.

As proposições de valor dos três casos acabam sendo parecidas. A produção de biogás nos três casos acaba ajudando no gerenciamento de resíduos prejudiciais ao meio ambiente e a diminuir o volume de emissões dos gases do efeito estufa, ou seja, apresentam um apelo verde ao consumidor. Além disso, nos três casos o biogás ajuda a diversificar a fonte de energia dos consumidores, pois nos casos da Sanepar e da Granja Colombari, ele reduz seus custos com eletricidade e no estudo de caso 1, há uma diversificação da fonte de gás da Petrobras.

Ao analisar-se a estruturação dos elementos da cadeia de valor do caso 1, observa-se que ele é diferente dos demais, pois não há apenas uma empresa participando de toda a cadeia. Os casos 2 e 3 por outro lado tem uma estrutura completa, verticalizando o negócio e participando de toda a cadeia de valor.

As receitas e custos do caso 1 estão atreladas, principalmente, ao contrato de fornecimento de um grande volume de biogás a um único consumidor, com o preço definido por contrato. Os custos da empresa Gás Verde S.A. são os mais representativos na cadeia do biogás, uma vez que a etapa de tratamento é a mais cara.

Os casos 2 e 3 apresentam como custos toda a operação da cadeia, tendo como principal receita, a redução dos gastos com energia e venda do excedente de energia gerada. Pode-se notar também nos dois casos, uma certa redução no custo de distribuição, quando comparado a projetos que necessitam de distribuidores

terceirizados ou os que cobrem grandes distâncias para distribuir seu produto, como acontece no caso 1.

O posicionamento na cadeia de valor da Gás Verde S.A., consiste em aumentar o valor agregado do produto e agir como um distribuidor deste. Enquanto a Sanepar e a Granja Colombari, acabam atuando ao longo de toda a cadeia de valor.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Este trabalho se propôs a fazer uma breve revisão bibliográfica sobre o biogás, estudou as possíveis estruturas de sua cadeia e analisou três estudos de caso de acordo com as dimensões dos modelos de negócio.

A partir da revisão bibliográfica dos aspectos operacionais e de composição do biogás, concluiu-se que o biogás é um produto obtido majoritariamente a partir de resíduos de outros processos e operações. Suas fontes de matéria prima se mostraram uma das dimensões mais relevantes na definição e ajustes das etapas de sua cadeia produtiva. Observa-se também que o uso final do biogás torna dispensáveis certas etapas da cadeia produtiva, como por exemplo, o uso para cocção pode dispensar a etapa de tratamento.

A partir dos comparativos feitos no terceiro capítulo, conclui-se que os países desenvolvidos, principalmente os europeus, apresentam alto nível de utilização do biogás, assim como os países subdesenvolvidos com grandes populações, como a China. A diferença entre eles é a aplicação do biogás utilizado, já que na China o foco são as pequenas propriedades rurais que geram biogás para cocção, enquanto nos países europeus, o biogás é tratado e utilizado em aplicações de requisito tecnológico mais elevado. As principais causas para tal nível de utilização é a quantidade de incentivos que o biogás possui em tais países, devido principalmente às suas preocupações ambientais.

De acordo com as análises sobre as possíveis estruturas da cadeia do biogás, a motivação para tais projetos tem relação direta com sua matéria prima. Ela pode ser o motivo para o projeto existir, já que uma operação que gere resíduos orgânicos destinados a produção de biogás, além de resolver o problema do produtor em potencial, gera receita para o mesmo. A matéria prima ainda pode definir quem é o consumidor final, já que um produtor em potencial pode vender o biogás para consumidores externos ou utilizar, ele mesmo o biogás para geração de energia ou como matéria prima para a produção de outros produtos. Foi observado também que produtores que utilizam o gás de aterro como matéria prima têm uma maior inclinação a não serem os consumidores finais de seu produto, agindo em geral nas etapas de extração e tratamento do biogás.

Ainda em relação a estrutura da cadeia, conclui-se que a etapa de tratamento é extremamente importante, pois o biogás não tratado tem baixo valor agregado e baixa eficiência energética. Dessa forma, tanto o vendedor quanto o consumidor final da maior parte das aplicações do biogás, requer o cumprimento dessa etapa. Além disso, consumidores que não necessitam do tratamento do biogás que utilizam, tem menor necessidade tecnológica, sendo em geral consumidores de pequenos volumes.

No quarto capítulo apresentaram-se também estudos de caso de três projetos envolvendo, entre outras características, fontes de matéria prima diferentes. Analisando-os de acordo com as dimensões do modelo de negócio, conclui-se que todos apresentaram proposições de valor bem parecidas, como o gerenciamento de resíduos do produtor e a diversificação das fontes de energia do consumidor. Suas cadeias de valor mostraram-se diferentes, já que os produtores/consumidores finais participam de toda a cadeia produtiva e o produtor que não é o consumidor final participa de uma ou mais etapas do processo, porém não de todas.

Em relação a captura de valor, os custos de cada projeto estão relacionados às etapas da estrutura da cadeia do biogás (coleta, tratamento, armazenamento, distribuição, etc), porém essas são basicamente as mesmas para todos os projetos. As receitas de projetos de biogás apresentam similaridades em geral, como a venda de créditos de carbono, venda do CO<sub>2</sub> obtido após a etapa de tratamento, e reduções/venda da eletricidade gerada a partir do biogás.

Nota-se que os projetos de menor porte precisaram de parcerias para lhes auxiliar nas questões técnicas e financeiras enfrentadas e para fornecer tecnologia aos produtores. O projeto considerado de grande porte (estudo de caso 1), precisou buscar tecnologia estrangeira e financiamento junto a terceiros para implementar seu projeto. Essas parcerias podem evidenciar tanto uma falta de conhecimento técnico por parte dos produtores, o que gera uma procura pelo conhecimento de terceiros, como uma necessidade de investimento e financiamento de terceiros, devido a característica capital intensiva dos projetos.

O primeiro projeto apresentou um único grande consumidor, o que pode ter facilitado sua viabilização, já que o cenário alternativo para o produtor de biogás seria vender para diversos pequenos compradores, o que poderia aumentar o nível de complexidade de viabilização do projeto, visto que seria necessário ter compradores o suficiente para absorver todo o volume de biogás produzido.

Para o futuro, sugere-se estudar uma maior quantidade de projetos com características diferentes das estudadas nesse trabalho, como diferentes realidades ou uso final do produto, para se obter mais informações de como essas diferenças influenciam nos modelos de negócio dos projetos e assim poder chegar a um modelo mais satisfatório para o biogás.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos**, 2013.

ALVES, H. J.; JUNIOR, C. B.; NIKLEVICZ, R. R.; FRIGO, E.P; FRIGO, M. S.; COIMBRA-ARAÚJO, C. H. **Overview of Hydrogen Production Technologies from Biogas and the Applications in Fuel Cells** – International Journal of Hydrogen Energy 38 5215 – 5225, 2013.

BLOGPETROBRAS. – Disponível em: “<http://fatosedados.blogspot.com.br/2013/06/07/reduc-recebera-biogas-gerado-no-aterro-de-gramacho/>” Acessado em 20/04/2014.

BP, British Petroleum. **Energy Outlook 2030 January 2013** – Disponível em: “<http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/statistical-review-of-world-energy-2013/energy-outlook-2030.html>” Acessado em 30/09/13.

BP, British Petroleum. **Statistical Review of World Energy June 2013** – Disponível em: “<http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/statistical-review-of-world-energy-2013.html>” Acessado em 30/09/2013.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. – Disponível em: “<http://www.cetesb.sp.gov.br/>” Acessado em 08/11/2013.

CH2M HILL Canada Limited. **Barrie Wastewater Treatment Facility Biogas Utilization Upgrades**. Project Screening Report, 2012.

CHESBROUGH, H.; ROSENBLOOM, R. S. **The Role of the Business Model in Capturing Value from Innovation: Evidence from Xerox Corporation’s Technology Spinoff Companies**. Industrial and Corporate Change, Volume 11, Number 3, pp. 529-555, 2002.

CIDADES, Ministério das Cidades. - Disponível em: “<http://www.cidades.gov.br/>” Acessado em 13/04/2014.

COELHO, S. T.; PALETTA, C. E. M; FREITAS, M. A. V. **Medidas Mitigadoras para a Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Geração Termelétrica.**, Dupligráfica, Brasília, 222 p, 2000.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas: From Waste to Renewable Resources an Introduction**. Wiley-VCH Verlag GmbH & KgaA, 2008.

DROSG, B. **AUSTRIAN COUNTRY REPORT**. IEA Task 37 Meeting Bern, 2013.

EBA, European Biomass Association. **A Biogas Road Map for Europe**, 2009.



EBA, European Biomass Association. **A Biogas Road Map for Europe**, 2013.

ELETROBRÁS - Disponível em:  
“<http://www.eletronbras.com/elb/natrilhadaenergia/meio-ambiente-e-energia/services/eletronbras/trilhaenergia/pdfs/fontes-alternativas-de-energia.pdf>.”  
Acessado em 10/04/2014.

EPA, Environmental Protection Agency. **Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies**. U. S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership, 2007.

EPA, Environmental Protection Agency. **Office of Atmospheric Programs: Climate Protection Partnerships**. 2012 Annual Report, 2014.

EPA, Environmental Protection Agency. - Disponível em:  
“<http://www.epa.gov/agstar/about-us/accomplish.html>” Acessado em 10/04/2014

ETSAP, Energy Technology Systems Analysis Programme; IRENA, International Renewable Energy Agency. **Production of Bio-methanol: Technology Brief**. Brief I08, 2013

FARIAS, L. M.; SELLITTO, M. A. **Uso da Energia ao Longo da História: Revolução e Perspectivas Futuras**. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, 2011.

FERNANDES, D. M. **Biomassa e Biogás da Suinocultura** Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2012.

FERRO, B. **Wastewater Treatment Plant Biogas for Spark-Ignited Engines**. Technical information from Cummins Power, 2013.

FILHO, L. F. B., **Estudo de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

FNR, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. **Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização**. 5ª edição, Gülzow, 2010.

FOREEST, F. V. **Perspectives for Biogas in Europe**. Oxford Institute for Energy Studies, 2012.

GÁSVERDE - Disponível em: “<http://gasverde.com.br/>” Acessado em 20/04/2014.

GBI, German Biogas Industry – “<http://www.german-biogas-industry.com>” Acessado em 06/04/2014.

GIZ, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - Disponível em: “<http://www.biogas-china.org>” Acessado em 06/04/2014.

HEPBURN, C. **Online Measurement of Siloxanes by FTIR: A New Tool for Enhancing Engine Protection During Energy Production from Biogas** - Cranfield Water Science Institute, 2013.

ICB, Instituto Carbono Brasil – Disponível em: “[http://www.institutocarbonobrasil.org.br/reportagens\\_carbonobrasil/noticia=523258](http://www.institutocarbonobrasil.org.br/reportagens_carbonobrasil/noticia=523258)”. Acessado em 09/10/2013.

IEA, The International Energy Agency. **BIOGAS UPGRADING AND UTILISATION**. Task 24: Energy from biological conversion of organic waste (IEA Bioenergy), 2001.

IEA, The International Energy Agency. **Biogas in Finland – Country Report**. 2012.

IEA, The International Energy Agency. **Renewable Energy: Coming of a Age**. The Journal of the International Energy Agency, Issue 2, 2012.

IEA, The International Energy Agency. **Biogas UK Country Report**. Task 37, 2013.

IEA, The International Energy Agency. **Key World Energy Statistics**, 2013.

IEA, The International Energy Agency. **Task 37 Biogas Country Overview**. Country Reports, 2014.

IFA - TULLN. **Biogas – The Situation in Austria**, Department Environmental Biotechnology, 2010.

JIANG, X.; SOMMER S. G.; CHRISTENSEN, K. V. **A Review of the Biogas Industry in China** - Energy Policy 39 6073–6081, 2011.

JØRGENSEN, P. J. **Biogas: Green Energy**. Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University 2nd edition, 2009.

KRALJ, A. K.; KRALJ, D. **Methanol Production from Biogas**. International Journal of Mathematics and Computers in Simulation. Issue 2, Volume 4, 2010.

KRICH, K.; AUGENSTEIN, D.; BATMALE, JP.; BENEMANN, J.; RUTLEDGE, B.; SALOUR, D. **Biomethane from Dairy Waste: A Sourcebook for the Production and Use of Renewable Natural Gas in California**. Western United Dairyman, 2005.

LÖNNQVIST, T.; SILVEIRA, S.; SANCHES-PEREIRA, A. **Swedish Resource Potential from Residues and Energy Crops to Enhance Biogas Generation**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 21 298–314, 2013.

LOUREIRO, S.M.; ROVERE, E.L.L.; MAHLER, C.F. **Analysis of potential for reducing emissions of greenhouse gases in municipal solid waste in Brazil, in the state and city of Rio de Janeiro**. Waste Management 33 1302–1312, 2013.

MAGRETTA, J. **Why do Business Models Matter**. Harvard Business Review, 2002.

MCBEAN, E. A.; ROVERS, F. A.; FARQUHAR, G. J. **Solid Waste Landfill Engineering and Design**. Prentice Hall, Englewood Cliffs N.J., 1995.

MMA, Ministério do Meio Ambiente – Disponível em: “<http://www.mma.gov.br/clima/ciencia-da-mudanca-do-clima/efeito-estufa-e-aquecimento-global>”. Acessado em 09/10/2013.

MOHSENI, F.; MAGNUSSON, M.; GÖRLING, M.; ALVFORS, P. **Biogas from Renewable Electricity – Increasing a Climate Neutral Fuel Supply**. Applied Energy 90 11–16, 2012.

NGEA, Novo Gramacho Energia Ambiental S.A. – Disponível em: “<http://www.gruposynthesis.com.br/pt/capital-de-risco/16-novo-gramacho>” Acessado em 20/04/2014.

NIELSEN, J. B. H.; AL SEADI, T.; POPIEL, P. O. **The Future of Anaerobic Digestion and Biogas Utilization**. Bioresource Technology 100 5478–5484, 2009.

OBSERV'ER **Biogas Barometer**. EurObserv'ER, 2012.

OBSERV'ER **The State of Renewable Energies in Europe**. 13<sup>th</sup> EurObserv'ER Report., 2013.

OLSSON, L.; FALLDE, M. **Waste(d) Potential: a Socio-Technical Analysis of Biogas Production and Use in Sweden**. Journal of Cleaner Production xxx 1 – 9, 2014.

OLUGASA, T. T.; ODESOLA, I. F.; OYEWOLA, M. O. **Energy production from biogas: A conceptual review for use in Nigeria**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 32 770–776, 2014.

PETROBRAS – Disponível em: “<http://www.petrobras.com.br/pt/>” Acessado em 20/04/2014.

POESCHL, M.; WARD, S.; OWENDE, P. **Prospects for Expanded Utilization of Biogas in Germany**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 1782–1797, 2010.

PTI, Parque Tecnológico de Itaipu – Disponível em: “<http://www.pti.org.br/>” Acessado em 21/04/2014.

RADIS – Disponível em: “<http://www6.ensp.fiocruz.br/radis/revista-radis/102/reportagens/gramacho-uma-historia-ilustrativa>” Acessado em 20/04/2014.

RAMALHO, A. **Aprimorando a Reciclagem**. Revista Brasil Energia. Ano 32, Nº 394, p. 41 – 44, 2013.

RMG, Renewables - Made in Germany – Disponível em: “<http://www.renewables-made-in-germany.com>” Acessado em 06/04/2014.

RWI, Renewable Waste Intelligence. **Business Analysis of Anaerobic Digestion in the USA**. 2013.

RYCKEBOSCH, E.; DROUILLON, M.; VERVAEREN, H. **Techniques for Transformation of Biogas to Biomethane**. Biomass Bioenergy 35 1622 - 1645, 2011.

SANEPAR, Companhia de Saneamento do Paraná - Disponível em: "[http://educando.sanepar.com.br/ensino\\_superior/energia-produzida-partir-de-esta%C3%A7%C3%A3o-de-tratamento-de-esgoto](http://educando.sanepar.com.br/ensino_superior/energia-produzida-partir-de-esta%C3%A7%C3%A3o-de-tratamento-de-esgoto)" Acessado em 21/04/2014.

SCHOLZ, MARCO.; MELIN, T.; WESSLING, M. – **Transforming biogas into biomethane using membrane technology - Renewable and Sustainable Energy Reviews** 17 199–212, 2013.

SEADI, T. A.; RUTZ, D.; PRASSL, H.; KÖTTNER, M.; FINSTERWALDER, T.; VOLK, S.; JANSSEN, R. **Biogas Handbook**. University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark, 2008.

SILVA, M. F. **Análise de Instrumentos de Gestão Ambiental Visando a Melhoria Contínua do Índice da Qualidade de Aterro de Resíduos**. IQR do Estado de São Paulo, Campinas, 2006.

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2011**. Ministério das Cidades Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2013

TEECE, D. J. **Business Models, Business Strategy and Innovation**. Long Range Planning 43 172 – 194, 2010.

TRENDEWICZ, A.A.; BRAUN, R.J. **Techno-economic Analysis of Solid Oxide Fuel Cell-Based Combined Heat and Power Systems for Biogas Utilization at Wastewater Treatment Facilities**. Journal of Power Sources 233 380 - 393, 2013.

TSVETKOVA, A.; GUSTAFSSON, M; **Business Models for Industrial Ecosystems: A Modular Approach**. Journal of Cleaner Production 29-30 246 – 254, 2012.

TU WIEN, Vienna University of Technology. **Biogas to Biomethane Technology Review**. Intelligent Energy – Europe Programme, 2012.

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change - Disponível em: "[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)". Acessado em 06/10/2013.

VAN HAANDEL, A.; LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente**, Egraf, Campina Grande, 1994.

WALSH JR, J. L.; ROSS, C. C.; SMITH, M. S.; HARPER, S. R.; WILKINS, W. A. **Biogas Utilization Handbook**. USDPTE, United States Department of Energy, 1988.

WELLINGER, A.; MURPHY, J.; BAXTER, D. **The Biogas Handbook: Science, Production and Applications**. Woodhead Publishing Limited nº 52, 2013.

WERNER, U.; STÖHR, U.; HEES, N. **Biogas Plant in Animal Husbandry**. German Appropriate Technology Exchange (GATE) and German Agency for Technical Cooperation (GTZ) GmbH, 1989.

WNA, World Nuclear Association – Disponível em: “<http://world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Outline-History-of-Nuclear-Energy/#.UkjGYakpgJ>”. Acessado 29/09/2013.

YIN, R.K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZANETTE, A. L. **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2009.

ZOTT, C.; AMIT, R. **Business Model Design: An Activity System Perspective**. Long Range Planning 43 216 – 226, 2010.