

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**RENATA BERSCH**

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO BRASIL E NA ESPANHA: UM ESTUDO  
COMPARATIVO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2019**

**RENATA BERSCH**

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO BRASIL E NA ESPANHA: UM ESTUDO  
COMPARATIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Neves Puglieri

**PONTA GROSSA**

**2019**



**Ministério da Educação**  
**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO**  
**PARANÁ**  
**CÂMPUS PONTA GROSSA**  
Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção



## TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

### **Produção de biogás no Brasil e na Espanha: um estudo comparativo**

por

**RENATA BERSCH**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 22 de novembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. Os (A) candidatos (a) foram arguidos (a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

*Prof. Dr. Fabio Neves Puglieri*

Prof. Orientador

---

*Prof. Dr. Daniel Poletto Tesser*

Membro titular

---

*Prof. Guilherme Francisco do Prado*

Membro titular

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se arquivada na secretaria acadêmica”.

## RESUMO

BERSCH, Renata. **Produção de Biogás no Brasil e na Espanha: um estudo comparativo**. 2019. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Conforme a população mundial vai crescendo, a geração de resíduos e necessidades de consumo aumentam. Em razão disso é cada vez maior a busca por soluções que satisfaçam tanto as necessidades da população quanto as ambientais. Uma das formas possíveis para isso ocorrer é por meio da geração de energias renováveis, a partir de recursos inesgotáveis. Dentre as fontes de recursos utilizadas se encontra o biogás, que utiliza matéria orgânica de diversas fontes (biomassa) para gerar energia elétrica, térmica, biocombustíveis, biofertilizante, entre outros produtos, enquanto reduz o passivo ambiental do resíduo/dejeto. O presente estudo buscou fazer uma comparação da produção de biogás entre Brasil e Espanha, mostrando semelhanças, diferenças e oportunidades para os países, visto que ambos possuem potencial e ampla perspectiva para a geração de biogás. Para isso foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática sobre o tema e uma entrevista com um membro espanhol da AEBIG. Por meio deste estudo, observou-se que tanto na Espanha quanto no Brasil, o tipo de biomassa mais utilizado provém da pecuária. As tecnologias mais utilizadas são distintas, sendo o reator do tipo CSTR mais utilizado na Espanha e o UASB mais utilizado no Brasil. Os resultados mostram que ambos os países apresentam como grande finalidade a geração de energia elétrica a partir do biogás, porém com focos distintos, sendo esta energia, destinada em maior parte, para o autoconsumo.

**Palavras-chave:** Biogás. Brasil. Espanha. Economia circular.

## ABSTRACT

BERSCH, Renata. **Biogas production in Brazil and Spain: a comparative study.** 2019. 60 f. Work of Conclusion Course (Graduation in Manufacturing Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2019.

As the world's population grows, waste generation and consumption needs increase. As a result, there is a growing search for solutions that meet both population and environmental needs. One of the possible ways for this to occur is the generation of renewable energy from inexhaustible resources. Among the sources of resources used is biogas, which uses organic raw materials (biomass) to generate electrical, thermal, biofuel, biofertilizer, among other products, while reducing the environmental liability of residues / detritus. The present study sought to make a comparison of biogas production between Brazil and Spain, showing similarities, differences and opportunities for them, since both present potentials and broad perspective for biogas generation. For this, a systematic bibliographic review on the subject was conducted and an interview with a Spanish member of AEBIG. Through this study, we can include both Spain and Brazil, or the type of biomass most used in livestock. As most commonly used technologies are distinct, it is the most widely used type of CSTR in Spain and the most widely used UASB in Brazil. The results show that both countries present as large electric power generation from biogas, but with different focuses, being this energy, destined mostly for self-consumption.

**Keywords:** Biogas. Brazil. Spain. Circular economy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cadeia produtiva do biogás .....	20
Figura 2 – Etapas de condução da pesquisa .....	38
Figura 3 – Roteiro para realização da pesquisa bibliográfica sistemática .....	37
Figura 4 – Método de exclusão de artigos .....	40
Figura 5 – Mapa da produção de biogás no Brasil e Espanha .....	40
Quadro 1 – Produção de Biogás na Espanha .....	25
Quadro 2 – Produção de biogás no Brasil.....	28
Quadro 3 – Classificação da Pesquisa.....	36
Quadro 4 - Critérios utilizados para busca nas bases de dados .....	39
Quadro 5 – Informações dos artigos selecionados sobre o Brasil por meio da RBS	57
Quadro 6 – Informações dos artigos selecionados sobre a Espanha por meio da RBS .....	59

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	13
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	14
1.3 OBJETIVO GERAL .....	14
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.5 JUSTIFICATIVA.....	15
1.6 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	16
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS .....	17
2.1.1 Biogás.....	19
2.2 PRODUÇÃO DE BIOGÁS NA ESPANHA.....	24
2.3 PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO BRASIL.....	27
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>36</b>
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	36
3.2 ETAPAS DE CONDUÇÃO DA PESQUISA.....	37
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSOES</b> .....	<b>41</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A população mundial vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, o que gera um aumento significativo do uso de recursos. Isso faz com que exista a necessidade de criar um sistema mais sustentável, que se desenvolva economicamente sem extinguir os recursos naturais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013).

Devido a este pensamento, surgem alguns conceitos distintos, dentre eles, a economia circular, um modelo que busca a manutenção de produtos em um ciclo durante o maior tempo possível, procurando reduzir, reutilizar, recuperar e reciclar materiais, evitando assim custos desnecessários e poupando o meio ambiente. O importante para o início deste ciclo é projetar o produto para que ele não vire lixo, mas sim, que o produto possa ser desmontado e reutilizado, ou seja, neste modelo ideal não existe mais o conceito de fim de vida (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013).

Dentro dos conceitos de economia circular existem os chamados ciclos técnicos ou biológicos. Os ciclos técnicos abordam compostos técnicos, onde os produtos que se incluem nessa classificação devem ser retornados ao fabricante, o qual deve garantir a reutilização do material, por meio de acordos de devolução com os clientes (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013).

Já os ciclos biológicos são distintos e, como o próprio nome já diz, são compostos por ingredientes biológicos, os quais compõe a maior parte da economia circular. Estes são menos tóxicos e podem perfeitamente serem devolvidos à atmosfera sem causar prejuízos, como é o caso da biomassa por exemplo. Se citarmos o exemplo de uma produção de porcos, no meio do processo existe uma produção muito grande de estrume, sendo que esta biomassa pode ser convertida em biogás (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013).

O biogás é obtido por meio da digestão anaeróbica de resíduos, sendo estes resíduos as diferentes fontes de biomassa passíveis de utilização. A biodigestão é realizada por meio de biodigestores, tecnologias capazes de produzir o biogás, gás este composto principalmente de metano e CO<sub>2</sub>, com capacidade para diversos



usos finais, geração de energia elétrica, térmica, biofertilizante, biocombustíveis, entre outros (SENAI, 2016).

Em todo o mundo aumenta a busca por geração de energias limpas e no Brasil não é diferente. A produção de biogás no país vem crescendo, já que existe um grande potencial para geração, contando com uma ampla gama de biomassa que provém de grandes produtores e indústrias, além também da grande quantidade de radiação solar recebida aqui, o que propicia fortemente a geração de biogás (MAPA, 2006).

Quando se trata da Europa, em 2017, 17,5% da energia elétrica utilizada era gerada por meio de fontes renováveis, para o ano de 2020, busca-se uma utilização de 20% de energia provinda de fontes renováveis (EUROTAST, 2019). Tratando-se somente do biogás, a Espanha ocupa o quarto lugar no uso desta fonte dentro da União Europeia (MARM, 2010; ALMAGRO, 2019). Devido a estes fatores, esta pesquisa consiste em realizar um estudo comparativo entre a produção de biogás na Espanha e no Brasil, buscando encontrar semelhanças, diferenças e oportunidades.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

O presente trabalho apresenta a seguinte pergunta de pesquisa: Quais as diferenças e semelhanças na produção de biogás entre Brasil e Espanha?

## 1.3 OBJETIVO GERAL

Para tentar responder ao problema proposto e acrescentar sobre o tema, o objetivo principal desta pesquisa é realizar um estudo comparativo da produção de biogás entre Brasil e Espanha.

## 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que o objetivo geral deste trabalho possa ser atingindo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Investigar a produção de biogás no Brasil;
- Investigar a produção de biogás na Espanha;

- Identificar semelhanças e diferenças;
- Discutir diferenças, semelhanças e oportunidades para o Brasil.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Energias de fontes que se renovam e não se esgotam com o uso no decorrer do tempo, são chamadas de renováveis. Tais energias são constantemente aprimoradas para buscar o melhor para o planeta e poder competir com métodos de energia convencionais. Este estudo surge devido a importância na utilização de energias renováveis, pois os combustíveis fósseis (providos de fontes não renováveis) são causadores de grande impacto ambiental (GOLDEMBERG, LUCON, 2007).

Estimativas apontam que até o ano de 2030 haverá um aumento no número de consumidores ativos no mercado, ou seja, quanto mais pessoas, maior a quantidade de resíduos gerados e maior a necessidade de energia, sendo importante, por este motivo, a implementação de soluções que não tragam grandes riscos ao meio ambiente (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013).

O presente trabalho apresenta como tema principal a utilização do biogás como fonte para geração de energia elétrica, térmica, biofertilizante, entre outros. Tal gás foi escolhido por ser uma fonte de energia renovável, que reduz o potencial poluidor dos resíduos utilizados em sua geração e que vem ganhando espaço na matriz energética de diversos países nos últimos anos (SENAI, 2016; IDAE, 2011).

O Brasil possui agricultura, pecuária, indústria e agroindústria significativas quanto ao potencial gerador de biogás considerando a quantidade de resíduos gerados (biomassa). Além disso, a biomassa possui um custo muito baixo, propiciando ainda mais a produção de biogás (MAPA, 2006; SENAI, 2016).

Como já citado, a Europa apresenta potenciais geradores de energia por meio do biogás, sendo na sequência Alemanha, Reino Unido, Itália e Espanha. A Espanha ocupa o quarto lugar, estando na frente de diversos países europeus. A escolha da Espanha para o estudo se deve também ao fato de apresentar grande volume de produção de biogás, além dos incentivos à adoção tecnológica (MARM, 2010; ALMAGRO, 2019).

Quanto à relevância da matriz energética, o biogás no Brasil ainda ocupa uma porcentagem muito pequena. A Espanha, em 2010, tinha um potencial de geração de biogás instalado de 159 Mw, enquanto o Brasil, em 2015, possuía um potencial instalado de apenas 70 Mw (MARM, 2010; ALMAGRO, 2019; SENAI, 2016). Ou seja, mesmo o Brasil tendo um potencial tão elevado para geração de energia elétrica a partir do biogás, apresentava menos da metade da potência instalada que a Espanha possuía cinco anos antes.

Além de todos os fatos citados para justificar a escolha da Espanha como país para realizar a comparação, houve também uma justificativa pessoal, pois eu como autora deste trabalho, realizei estágio em uma empresa Espanhola, a qual trabalhava com distribuição de energia e em grande parte, de energia renovável, como a solar, eólica, da biomassa, entre outras. Devido a isso, surgiu o grande interesse em realizar a comparação entre estes dois países.

## 1.6 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho se delimitou em reunir informações sobre a produção de biogás no Brasil e Espanha, para entender melhor quais as diferenças e semelhanças existentes entre a geração nos dois países, para por fim indicar oportunidades para o Brasil.

Para esse fim, foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática e exploratória nas bases de dados *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar*. Além disso, o trabalho foi complementado por meio de uma entrevista com um especialista da área de biogás na Espanha, para que fosse possível entender de maneira mais profunda como funciona o processamento de biogás no país e fazer um melhor detalhamento sobre o conteúdo em questão.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente referencial busca abordar de maneira clara e objetiva os conteúdos sobre a temática abordada na pesquisa, isto é, energias renováveis, produção de biogás e os cenários da produção de biogás no Brasil e Espanha, de modo a levantar informações relevantes para entender o setor estudado.

### 2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS

As mudanças climáticas são uma ameaça à humanidade. Uma das causas das mudanças climáticas está no sistema energético, pois na sua queima há geração de emissões contendo carbono. Assim, pode-se dizer que fontes renováveis de energia podem auxiliar no combate de tais ameaças, visto que são duráveis e não invasivas (GOLDEMBERG, LUCON, 2007).

Por preocupação com estes fatores e buscando substituir energias derivadas de combustíveis fósseis (energias não renováveis), existem os diversos tipos de energias renováveis, sendo que a utilização destas deve ser realizada de forma a gerar o mínimo impacto ambiental possível. As energias renováveis provêm da natureza, ou seja, são obtidas por meio de energia disponível em nosso planeta, dessa forma, não afetam a temperatura da terra e são quase inesgotáveis. Entre as formas de energia renovável que apresentam ciclo de renovação natural estão a energia eólica, solar, hídrica e a provinda de biomassa (PACHECO, 2006).

Citando brevemente os tipos de energia, a energia eólica é gerada a partir do movimento das massas de ar, que provocam a rotação de pás. Essa rotação gera energia mecânica, acionando assim um aerogerador que irá produzir a energia elétrica (ANEEL, 2008).

A energia eólica apresenta como principal desvantagem o elevado custo de implementação, incluindo também os altos impostos aplicados. Apesar disto, essa fonte de energia renovável é infinita, possui uma enorme disponibilidade e, do ponto de vista econômico, não depende de importações e possui custo zero na obtenção dos suprimentos, bem diferente do que acontece com os combustíveis fósseis. Além disso, diversos países que utilizam em grande parte energias não renováveis, tem

planos que promovem a expansão de parques eólicos, com aumentos significativos da potência instalada (ANEEL, 2008).

Outro tipo de energia renovável é a energia solar, que gera energia por meio da luz e calor provindos do sol. A energia solar pode ser utilizada de duas maneiras: uma delas é como energia térmica, transformando de forma direta a irradiação vinda do sol em calor, por meio de superfícies escuras; a outra maneira de utilização é a geração de energia elétrica, por meio de painéis fotovoltaicos (ANEEL, 2008).

Como principal desvantagem da energia solar, tem-se a variação da radiação, pois depende da localização da planta, das condições do tempo, da estação e até da umidade do ar, o que pode causar diferenças na geração. Porém, como ponto positivo, adiciona-se que um painel fotovoltaico não depende do brilho do sol para sua operação, ou seja, pode gerar energia elétrica até mesmo em dias nublados, o que se torna de grande aplicabilidade até em regiões com baixa incidência solar (ANEEL, 2008).

A energia hídrica é aquela obtida por meio do aproveitamento da água, contando com a construção de um desvio no rio e de um reservatório. A energia é gerada quando a água, em barragens, ao passar de um ponto mais alto a outro mais baixo, move turbinas, gerando a energia elétrica (ANEEL, 2008).

A energia hídrica possui algumas vantagens, no sentido de possuir um baixo custo de produção, não poluir e gerar desenvolvimento para a região onde está instalada, mas possui também diversos pontos negativos, como altos custos de instalação, distância entre os centros urbanos e a usina, o que provoca a utilização de grandes redes de transmissão, redução da vegetação local devido a erosão do solo, sem contar na grande alteração que ocasiona nos ecossistemas devido ao alagamento realizado (PORTAL ENERGIA, 2019; ANEEL, 2008).

A biomassa também entra na classificação de energia renovável. Em 2007, 22% da população mundial já usava energias renováveis, sendo 19% provenientes da biomassa, ou seja, naquela época a biomassa já ocupava um enorme espaço na produção de energia. Tal fonte envolve desde o uso de lenha até gás de aterros sanitários como fonte para geração (GOLDEMBERG, LUCON, 2007).

Dentro do assunto da biomassa, pode-se citar o álcool, o qual provém da cana-de-açúcar e é uma fonte de energia renovável. O álcool etílico visa substituir ou ser usado em conjunto com a gasolina comum, para reduzir o uso de combustíveis fósseis, além de ser utilizado também para geração de energia. A

utilização do álcool é de grande importância no país, até mesmo com o programa pró-álcool. A utilização desta fonte permite segurança na geração de energia, geração de novos empregos e torna menor a necessidade de importação de petróleo (DA SILVA, 2019?).

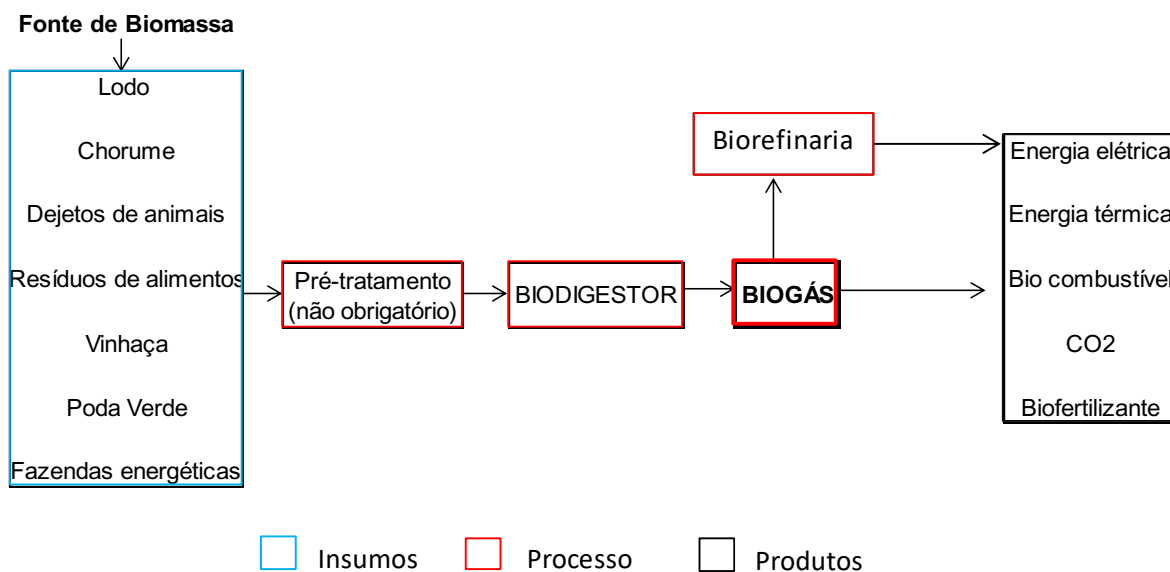
Entre os diversos usos da biomassa, pode-se citar também a geração de biogás, que continua sendo uma forma de energia renovável e é o principal foco de estudo deste trabalho, sendo apresentado na seção a seguir.

### 2.1.1 Biogás

O biogás, como o próprio nome já diz, é um gás obtido por meio da decomposição da matéria orgânica, seja de forma natural ou por meio de decomposição anaeróbica, sendo esta segunda o foco de estudo deste trabalho. O biogás, de maneira geral, possui em sua composição em torno de 50 a 75% de metano ( $\text{CH}_4$ ), 25 a 50% de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), alguma porcentagem de hidrogênio, amônia e alguns outros gases, mas isso pode depender de acordo com a fonte de matéria orgânica utilizada (biomassa) (SENAI, 2016; FNR, 2010).

A biomassa agrupa plantas, animais e os derivados de organismos vivos, envolvendo resíduos sólidos naturais e resíduos originados pela atividade humana. A Figura 1 mostra os diferentes tipos de biomassa existentes e mostra também, todas as etapas por onde esta biomassa deve passar até que o biogás tenha sua utilização final (PACHECO, 2006).

**Figura 1 - Cadeia produtiva do biogás**



Fonte: Adaptado de CH4 Solution (2019), SENAI (2016), IDAE, (2011)

Entre as fontes utilizadas para geração do biogás estão os dejetos de animais (líquidos ou secos), resíduos de agricultura e biomassa produzida em fazendas energéticas (fazendas que plantam variedades destinadas apenas para uso como biomassa) (SENAI, 2016). Os outros tipos de biomassa utilizados são provindos de podas de árvores e arbustos, resíduos orgânicos da agroindústria e de indústrias de alimentos, assim como lixo orgânico urbano e lodo de estações de tratamento de esgoto e águas residuais.

Após definida a biomassa/substrato disponível que será utilizada, esta pode passar por alguns pré-tratamentos, não obrigatórios, para preparar o substrato que será enviado ao biodigestor. Existem diversos tipos de pré-tratamentos, entre eles fragmentação, trituração, homogeneização, tratamentos térmicos (como pré-aquecimento, pasteurização ou esterilização) e armazenamento ou silagem inicial ou final (servem para caso seja necessário, armazenar os resíduos no início ou ao final do processo, após já processado) (SENAI, 2016; IDAE, 2011).

Como citado, os pré-tratamentos não são obrigatórios e dependem da biomassa utilizada. Após esta fase, a biomassa é direcionada ao biodigestor, onde acontecerá a digestão anaeróbica. A digestão anaeróbica ou anaeróbia, ou ainda, biodigestão, nada mais é do que a transformação da matéria orgânica em biogás, com a ausência de oxigênio (SENAI, 2016). Este tipo de digestão tem o poder de converter entre 70 a 90% da biomassa em biogás (LEME, SEABRA, 2017).

A biodigestão depende dos reatores anaeróbicos, sendo que a tecnologia escolhida, assim como no pré-tratamento, depende da fonte de biomassa utilizada e da finalidade que se deseja (LEME, SEABRA, 2017). Existem diversos tipos de biodigestores. A seguir, serão mostrados os modelos mais comuns e importantes utilizados nos estudos encontrados.

- CSTR: O biodigestor do tipo CSTR (*Continuous-flow Stirred Tank Reactor*) possui, como o próprio nome já diz, fluxo de entrada de biomassa e agitação que trabalham de maneira contínua, sendo que esta tecnologia gera alta quantidade de biogás (SEBIGAS COTICA, 2019). Este tipo de biodigestor possui diversas vantagens, sendo a principal delas a capacidade de digerir qualquer tipo de biomassa, além de possuir uma manutenção pouco complexa e um sistema de mistura que trabalha com elevado desempenho. Uma das poucas desvantagens desse reator é o tempo de retenção hidráulica, pois diminuindo esse tempo podem ocorrer falhas na produção de biogás, além do custo alto de implementação (SEBIGAS COTICA, 2019; BALTMAN, 2005).

- UASB: Segundo Baltman (2005), este tipo de reator possui funcionamento mais complexo que o CSTR. O reator do tipo UASB (*Up-flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) é uma tecnologia, em geral, utilizada para tratar resíduos de estações de tratamento de esgoto ou efluentes industriais. Este tipo de reator possui três partes: uma área de digestão, uma de sedimentação e um mecanismo que separa os gases, líquidos e sólidos. No processo que acontece nesse reator, o esgoto desce até o fundo do equipamento, encontrando a manta de lodo formada, onde o material sofre a biodegradação (ÁGUAS CLARAS ENGENHARIA, 2019; CESA, 2019). Este tipo de biodigestor possui, entre suas vantagens, geração de metano ao fim do processo, baixo acúmulo de lodo, não possui necessidade de grande área para instalação e nem de altos investimentos, além de não consumir grande quantidade de energia. Apesar de todos os pontos positivos, este tipo de reator não pode ser usado para todos os tipos de efluentes e requer um maior tempo de retenção hidráulica. Também pode gerar maus odores e até mesmo sofrer corrosão (ÁGUAS CLARAS ENGENHARIA, 2019).

- Canadense: O biodigestor do tipo canadense também pode ser chamado de lagoa coberta, da Marinha ou *plug flow*, sendo o tipo de biodigestor mais usado atualmente. Este biodigestor é caracterizado por possuir uma base geralmente em formato retangular, como uma lagoa, que é construída de alvenaria,



sendo que o biogás gerado nesse processo é mantido por uma manta de PVC que aumenta proporcionalmente à produção de biogás. (SENAI, 2016; CALZA, 2015). Essa tecnologia é indicada para solos rasos, apresenta fácil manutenção e possui baixo custo tanto de instalação quanto na produção. Algumas das desvantagens são que uma grande área fica exposta ao sol, sofrendo variações de temperatura e, a duração é menor, pois a lona que serve como gasômetro pode sofrer danos e gerar a perda de gás (SENAI, 2016). Além disso, quando não associado à outras tecnologias, como agitadores mecânicos e controle de temperatura, possuem um rendimento de biogás inferior ao CSTR.

- CIGAR: O reator do tipo CIGAR foi utilizado em apenas um dos estudos encontrados e por isso será explicado brevemente. É um reator eficiente para tratamento de águas residuais, no modelo de um tanque que possui cobertura flexível, sendo que este modelo é capaz de recuperar grande quantidade de metano, visto que outros reatores que possuem mesmo modelo não obtêm a mesma quantidade de metano (XPRT, 2019).

Todos os biodigestores citados servem para realizar a digestão anaeróbica e por fim, gerar o biogás. Em alguns casos, o biogás é gerado em biorrefinarias e não em produtores próprios. Nesse caso, a biorrefinaria é responsável por todo o tratamento, desde o recebimento da biomassa até a sua conversão no uso final, como energia elétrica, por exemplo (EMBRAPA, 2019).

O biogás pode ser usado para diversos fins, como apresentados na Figura 1, isto é, biometano (biocombustível), energia elétrica, energia térmica e CO<sub>2</sub>. No caso do biogás não ser gerado em uma biorefinaria, ele pode ser gerado em fazendas e indústrias, sendo passível também de obter os mesmos tipos de resultados e utilizações.

O biometano é obtido a partir da purificação do biogás, isto é, pela separação do CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> (ANP, 2019; LEME, SEABRA, 2017). A queima do biogás ou do biometano pode ser realizada para gerar energia elétrica ou térmica. Já a separação do CO<sub>2</sub> pode servir de insumo para a indústria de alimentos. Por sua vez, o biometano pode ser usado como gás de cozinha, combustível para veículos (como gás natural veicular - GNV), que pode ser composto por gás natural, biometano ou ainda, a junção dos dois e os biocombustíveis podem ser usados até mesmo como combustível híbrido, sendo utilizado o biometano em conjunto com o diesel (SENAI, 2016).

Todos estes usos ao biogás podem ser obtidos de maneiras distintas, com diferentes fontes de biomassa e entre outros aspectos. Isso será explorado nos próximos dois tópicos (2.2 e 2.3) com atenção nas realidades brasileira e espanhola.

Como é possível constatar, o biogás pode ser utilizado para diversos fins, porém, como qualquer outro tipo de fonte de energia, possui vantagens e desvantagens. O biogás possui muitos pontos positivos, sendo o primeiro deles, a redução de impactos ambientais, evitando emissões de gases poluentes (SENAI, 2016).

O biogás é capaz de reduzir custos aos produtores rurais ou indústrias, visto que pode ser utilizado para geração de energia, ou seja, o empreendimento passa a não possuir dependência com rede de distribuição. Além disso, o processo de biodigestão também é vantajoso, pois não exige uma grande área para construção, podendo ser aplicado em pequena e grande escala (SENAI, 2016).

Dentre as principais desvantagens do biogás, pode-se citar que a produtividade pode variar de acordo com diversos fatores, como temperatura, tecnologia e biomassa, sem contar o longo tempo para recuperar o investimento, sendo este último motivo para que muitos produtores ou indústrias não invistam nessa tecnologia (FNR, 2010).

Existem algumas resoluções e normas que envolvem a produção de biogás e seus produtos finais, tanto no Brasil quanto na Espanha. O Brasil, por exemplo, possui uma normativa publicada em 2015 pela ANP, a qual diz que o biometano deve ser produzido de forma semelhante ao gás natural, para que possa ao final ter o mesmo uso e deve possuir também mesmo nível ou maior pureza que o gás natural (SENAI, 2019).

Quando se trata da Espanha, a resolução 14557 de 2018 diz que o biogás produzido e seu tratamento posterior na geração de biometano precisam estar de acordo com algumas especificações, para que só assim possa ser inserido em redes de distribuição (BOE, 2018). Além disso, a Espanha possui uma quantidade máxima de biogás que pode ser injetado a rede de distribuição, não podendo ultrapassar 5000 m<sup>3</sup>/h (BOE, 2013).

Além destas regulamentações, desde 2016, após uma atualização feita pelo deputado Nilto Tatto, o Brasil permite que produtores rurais, cooperativas agroindustriais, indústrias, empresas ou conjuntos de empresas gerem biogás, não mais somente os pecuaristas e produtores da agroindústria, sendo que a União

fiscaliza tais atividades. Qualquer aplicação realizada utilizando biogás não necessitará pagamento de tributos no caso de auto consumo (BRASIL, 2009).

Na Espanha, um decreto de 2012, mostra que existe o pagamento de tributos a partir da venda de energia gerada do biogás. Esse decreto mantém a remuneração que foi estabelecida no sistema jurídico tanto para instalações que estão em operação quanto para as que estão no pré-registro de remuneração (BOE, 2012).

Os tópicos a seguir (2.2 e 2.3) apresentam a situação da produção de biogás na Espanha e no Brasil a partir de uma revisão sistemática da literatura, servindo como fonte para entender melhor a situação de ambos os países e como se encontra o desenvolvimento do setor de biogás.

## 2.2 PRODUÇÃO DE BIOGÁS NA ESPANHA

Os dados apresentados nesta seção têm por objetivo mostrar em qual cenário se encontra a Espanha com relação à produção de biogás. O Quadro 1 apresenta os resultados da pesquisa bibliográfica realizada, incluindo primeiramente o tipo de estudo realizado, os quais podem ser classificados em caso real (caso a estrutura esteja em funcionamento), análise de viabilidade (quando o projeto ainda está em fase de planejamento e ainda não está em funcionamento) ou análise de desempenho (quando a estrutura já está em funcionamento porém é realizado um estudo de desempenho desta estrutura).

Também são apresentados os dados de região específica de aplicação do estudo (caso houver), qual a origem da biomassa (se provém de pequenos ou grandes produtores), a tecnologia utilizada para geração do biogás e por fim, qual a aplicação e utilidade dada ao biogás gerado.

**Quadro 1 – Produção de Biogás na Espanha**

Nº	Tipo do estudo	Descrição do estudo ou local (também tamanho do produtor, caso fornecido)	Fonte de biomassa	Tecnologia utilizada	Utilidade final do biogás
1	Análise de viabilidade	Análise de potencial para diferentes tipos de resíduos	Maior potencial: mistura de chorume, glicerina e resíduos agrícolas	Reator do tipo contínuo	Geração de energia elétrica
2	Análise de desempenho	Estação de tratamento de águas residuais	Lodo	Reator de hidrólise usado para gerar o biogás. Conversão por meio de motores CHP	Geração de energia elétrica
3	Caso real	Planta de geração de biogás	Resíduos agroalimentares, lodo de esgoto e estrume de suínos / vacas	Reator CSTR. Motor CHP transforma biogás em energia	Geração de energia elétrica. Biofertilizante
4	Caso real	Fazenda de gado leiteiro, que possui uma usina de biogás acoplada	Esterco de vaca, resíduos industriais de alimentos e lodo de estações de esgoto	Reatores contínuos de tanque agitado (CSTR). O biogás é convertido em energia elétrica e térmica por meio de um motor CHP	Energia elétrica e térmica
5	Análise de viabilidade	Matadouro de suínos	Resíduos da produção de porcos	Reator de tanque com agitação de fluxo contínuo (CSTR). Biogás queimado para gerar energia térmica	Energia térmica
6	Análise de viabilidade	Digestor experimental	Resíduos de matadouros + lodo	Digestor contínuo do tipo CSTR. Geração de energia por meio de um motor de combustão acoplado em um gerador	Energia usada em caldeiras ou transformada em energia elétrica
7	Análise de viabilidade	Planta piloto na cidade, a biomassa usada vem de uma fazenda próxima	Estrume leiteiro (fração líquida filtrada)	Digestor CSTR. Sistemas combinados de calor e energia para gerar eletricidade	Energia elétrica.

Fonte: Autoria própria (2019).

O primeiro artigo fez uma análise de viabilidade na península Ibérica espanhola. A intenção foi analisar vários tipos de resíduos para determinar qual possuía maior potencial para geração do biogás em uma usina de co-digestão. O

estudo identificou que o melhor material para tal geração seria uma mistura de chorume, glicerina e resíduos agrícolas, sendo que a biomassa usada seria gerada por produtores próximos da usina. Tal estudo considerou um reator do tipo contínuo, onde a energia provinda do biogás é convertida em energia elétrica para ser utilizada na cidade onde a usina está instalada (MARTÍNEZ et al., 2019).

O segundo artigo apresentou uma análise de desempenho, pois foi estudada uma possibilidade de melhoria em uma planta já existente. Cascallana, Díez e Gómez (2019) estudaram a inserção de um acumulador de vapor em uma estação de tratamento de águas residuais, na cidade de Burgos. A biomassa utilizada no processo foi o próprio lodo gerado na estação. O acumulador de vapor armazena o vapor na forma de água saturada, isso serve para reduzir o uso de biogás pela caldeira. Um reator de hidrólise foi usado para geração do biogás, sendo este convertido em energia elétrica por meio de motores CHP (combinam calor e energia). A energia gerada é utilizada na estação para suprir a própria demanda.

Outro estudo realizado em Astúrias apresenta um caso real, abordando uma planta de geração de biogás. Resíduos agroalimentares, lodo de esgoto e estrume de suínos e vacas foram usados como biomassa no processo da digestão anaeróbica. Tais resíduos, líquidos ou semilíquidos, são armazenados em tanques antes de irem para as próximas fases do processo. Após sair do tanque, a biomassa é levada a um triturador industrial, onde é triturada e homogeneizada. Por fim, é encaminhada a um digestor termofílico e depois a um mesofílico (reator CSTR). O biogás gerado e armazenado passa por dessulfurização biológica (para redução de H<sub>2</sub>S). A transformação do biogás em energia e calor acontece por cogeração CHP (RUIZ et al., 2018).

O quarto artigo utilizado aborda um caso real na região da Catalunha. Torrelas et al. (2018) mostram o caso de uma fazenda de gado leiteiro com 920 cabeças que possui uma usina de biogás acoplada. A usina em questão processa o esterco de vaca e utiliza também resíduos de alimentos e lodo de estações de tratamento de águas residuais. O esterco é armazenado em um tanque, enquanto o co-substrato é armazenado em uma lagoa coberta (20% de co-substrato é utilizado). Após alguns dias armazenada, a biomassa vai para os reatores contínuos com tanque agitado (CSTR). O biogás gerado é enviado a um motor CHP para gerar a energia elétrica e térmica, sendo a energia elétrica vendida para a rede e a energia térmica usada para aquecer os reatores do próprio processo.

Em Llerena, González et al. (2014) fizeram uma análise de viabilidade em um abatedouro de suínos, onde o resíduo da produção de porcos foi utilizado na digestão anaeróbica. A geração do biogás se deu por meio de um reator CSTR, onde após a produção, o biogás gerado foi armazenado em um tanque de membrana flexível. A energia térmica é gerada por meio da queima do biogás, sendo utilizada para aquecer a água que é utilizada na limpeza do matadouro.

Um digestor experimental foi utilizado para realização de uma análise de viabilidade, na cidade de Badajoz. A biomassa utilizada no tratamento foi o lodo provindo de duas estações de tratamento de esgoto e resíduos de abatedouros da região. Foi utilizado um reator CSTR para a geração do biogás, podendo este ser utilizado em caldeiras ou transformado em energia elétrica por meio de um motor de combustão acoplado a um gerador (MARCOS, 2012).

O último artigo encontrado a respeito da produção de biogás na Espanha foi também uma análise de viabilidade realizada em Cantábria. A análise foi feita em cima de uma planta piloto presente na cidade, sendo a biomassa utilizada o estrume leiteiro (fração líquida filtrada), vindo de uma fazenda próxima à planta. Para gerar o biogás foi utilizado um digestor CSTR, com bomba de recirculação, responsável por manter o conteúdo bem misturado. A energia elétrica foi gerada por meio de um sistema CHP, tendo capacidade para suprir 2% da demanda de Cantábria (RICO, 2011).

### 2.3 PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO BRASIL

Esta seção apresenta os dados sobre a produção de biogás nos diferentes estados do Brasil. O quadro 2 segue o mesmo padrão da tabela apresentada na seção 2.2, com o intuito de determinar quais os pontos mais relevantes dentro do estudo da geração de biogás, mostrando o tipo de estudo, descrição de produtores, biomassa e tecnologias utilizadas, além de mostrar quais as principais aplicações quanto ao uso do biogás.

**Quadro 2 – Produção de biogás no Brasil**

<b>Nº</b>	<b>Tipo do estudo</b>	<b>Descrição do estudo ou local (também tamanho do produtor, caso fornecido)</b>	<b>Fonte de biomassa</b>	<b>Tecnologia utilizada</b>	<b>Utilidade final do biogás</b>
1	Caso real	Fazenda que trabalha com a produção de porcos	Efluentes da produção de suínos	Biodigestores do tipo canadense (lagoa coberta)	Geração de energia elétrica
2	Análise de viabilidade	Indústria de produção de arroz	Casca e efluentes provenientes da parboilização do arroz	Reator UASB para a produção do biogás. Grupo gerador CHP (Combined heat and power) para conversão em energia	Geração de energia elétrica e térmica
3	Análise de viabilidade	Estação de tratamento de esgoto	Lodo gerado na estação	Reator UASB para gerar biogás. Motor de combustão interna para gerar energia	Geração de energia elétrica
4	Análise de viabilidade	Fazenda de criação de suínos	Resíduos da produção de suínos da própria fazenda	Lago anaeróbico usado para a geração do biogás. Gerador transforma biogás em energia	Geração de energia elétrica
5	Análise de viabilidade	Análise feita com plantas de etanol anexas ou autônomas	Vinhaça de cana de açúcar	Reator UASB para geração do biogás. Motor de combustão interna para conversão da energia química do biogás em energia elétrica.	Energia elétrica. Redução das emissões de CO <sub>2</sub>
6	Análise de viabilidade	Análise feita baseada em dados de uma destilaria (fabricação de etanol)	Vinhaça	Para a geração de biogás seria usado um digestor do tipo lagoa. Produção do biometano tem etapas explicadas na sequência	Geração de biometano. Efluente da vinhaça já digerida foi usado para fertirrigação
7	Análise de viabilidade	Indústria de amido de mandioca	Águas residuais do processo de fabricação	Reator piloto tubular anaeróbico com fluxo horizontal	No final apenas se obtém biogás. Não foi mostrado sua finalidade

**Quadro 2 (cont.) - Produção de biogás no Brasil**

<b>Nº</b>	<b>Tipo do estudo</b>	<b>Descrição do estudo ou local (também tamanho do produtor, caso fornecido)</b>	<b>Fonte de biomassa</b>	<b>Tecnologia utilizada</b>	<b>Utilidade final do biogás</b>
8	Análise de viabilidade	Projeção de uma usina termelétrica que usa biogás produzido em uma estação de tratamento de águas residuais	Lodo	Reator UASB para geração do biogás e Motor grupo Gerador Ciclo Otto para geração de energia	Geração de energia elétrica e evitar emissão de CO <sub>2</sub>
9	Análise de viabilidade	Estudo realizado em uma indústria que produz açúcar e álcool	Vinhaça	Biodigestor de fluxo tubular (plug flow). Geração de energia se deu por meio de um conjunto de regeneradores adaptados	Energia elétrica
10	Análise de desempenho	Estudo realizado em uma estação de tratamento de esgoto	Lodo provindo do tratamento	Reator UASB. Geração de energia elétrica se dá por meio da queima do biogás	Geração de energia elétrica ou uso como combustível (na forma de gás natural biológico)
11	Análise de desempenho	Análise realizada no digestor de uma pequena fazenda. A fazenda faz parte de um condomínio agro energético de agricultura familiar	Esterco bovino	Digestor anaeróbico de fluxo ascendente com vertedouro interno	Geração de energia elétrica, térmica, etc
12	Análise de viabilidade	Biomassa provinda de Usinas de processamento de cana na região centro-sul do país	Vinhaça	Reator UASB	Geração de biofertilizante ou biometano. Redução da emissão de CO <sub>2</sub>
13	Caso real	Grande propriedade de criação de suínos, plantação de café e milho para fabricar ração para os suínos	Estrume animal e sangue após o abate (biogás). Gordura de porco e vaca (biodiesel)	“Mini biodigestores” para a produção do biogás. A energia elétrica é gerada por meio de motores.	Geração de energia elétrica. Biofertilizante. Biodiesel para abastecer veículos. Produção de sabão e detergente
14	Análise de viabilidade	Estudo tem a intenção de aplicar o modelo em pequenas propriedades	Esterco de cabra	Digestor do tipo indiano	Biogás usado para ativar bomba para irrigação das pastagens. Biofertilizante
15	Caso real	Estudo fala sobre o Condomínio de Agroenergia de Ajuricaba para Agricultura Familiar	Esterco animal	Reator feito de fibra de vidro	Biofertilizante gerado nas próprias fazendas. Fogão movido a biogás. Redução de emissões de CO <sub>2</sub>



**Quadro 2 (cont.) - Produção de biogás no Brasil**

Nº	Tipo do estudo	Descrição do estudo ou local (também tamanho do produtor, caso fornecido)	Fonte de biomassa	Tecnologia utilizada	Utilidade final do biogás
16	Caso real	Planta de geração de biogás	Vinhaça	Reator CIGAR (Reator anaeróbico coberto no solo). Motor a gás ligado a um conjunto de geração de energia, queima do biogás para gerar energia	Biogás usado para geração de energia elétrica
17	Análise de desempenho	Foi feito um estudo em usinas de pequeno, grande e médio tamanho	Estrume de gado, misturado a milho e capim	Reator CSTR. Sistema combinado de aquecimento e energia (CHP)	Geração de energia elétrica e térmica
18	Análise de viabilidade	Fazenda de criação de gado de corte para abate (5000 animais)	Esterco bovino	Biodigestores modelo canadense (lagoa coberta). Grupos gerador-motor para conversão em energia	Energia elétrica e biofertilizante
19	Caso real	Unidade de engorda de suínos (5000 animais). Matadouro de aves (capacidade de 280 mil aves)	Efluentes de suínos e de matadouro de aves	Biodigestores modelo plug flow em ambas as propriedades. Grupo gerador motor, com ciclo otto, para gerar a energia elétrica	Energia elétrica, biofertilizante e tratamento do resíduo.

Fonte: Autoria própria (2019).

O primeiro artigo analisou um caso real, na cidade de São Miguel do Iguçu, no Paraná. Foi um caso real, em pleno funcionamento, em uma fazenda que trabalha com a produção de porcos, sendo que a biomassa provém dos efluentes dessa produção. Para a geração do biogás foram utilizados biodigestores do tipo canadense, também chamados de lagoa coberta. Os biodigestores possuem capacidade de 1300 e 1000 m<sup>3</sup> cada um. O biogás gerado é utilizado para a produção de energia elétrica, sendo que parte é utilizada na fazenda e o restante é vendido à rede (COPEL) (FREITAS et al., 2019).

O segundo estudo, realizado por Nadaleti (2019) foi uma análise de viabilidade, no estado do Rio Grande do Sul. Tal análise foi feita em cima de uma

indústria de produção de arroz, que utiliza seus próprios resíduos para gerar o biogás. A biomassa utilizada, portanto, são as cascas e efluentes provenientes da parbolização do arroz. Um reator UASB foi utilizado para geração do biogás, sendo este processado por um motor CHP para sua transformação em energia elétrica e térmica, a qual é utilizada dentro da própria indústria.

Outra análise de viabilidade foi realizada na cidade de Itabira, em Minas Gerais, em uma estação de tratamento de esgoto. A biomassa utilizada foi o lodo proveniente da estação, sendo este enviado a um reator UASB, para realização da digestão anaeróbia. A geração do biogás em energia elétrica acontece por meio de um motor de combustão interna, sendo esta energia usada para suprir 57,6% da demanda da própria estação (ROSA et al., 2018).

Os autores Antônio, Filho e Da Silva (2018) também fizeram uma análise de viabilidade em Minas Gerais, em uma fazenda de criação de suínos de médio porte. Os resíduos da produção de suínos foram utilizados como biomassa, sendo esta biomassa convertida em biogás por meio de um lago anaeróbico. Tal biogás é convertido em energia elétrica por meio de um gerador. A energia gerada tem como finalidade atender as necessidades da própria fazenda.

Outra análise de viabilidade foi feita utilizando plantas de etanol, em distintas regiões do Brasil, para determinar qual tipo de planta possui maior potencial de geração de biogás (as anexas ou as autônomas). Como biomassa, foi utilizada a vinhaça provinda da cana de açúcar, a qual vem da produção do etanol. A geração do biogás foi obtida por meio da digestão anaeróbica em reatores UASB, posteriormente o biogás foi enviado a uma unidade de tratamento para remoção do H<sub>2</sub>S (ação necessária quando se trata de vinhaça) e por fim o biometano gerado é convertido em energia elétrica por meio de um motor de combustão interna. Um gasômetro é utilizado quando há necessidade de armazenar o biogás gerado. Por fim, o estudo concluiu que as plantas autônomas têm maior potencial e a energia elétrica gerada seria usada para suprir a demanda de energia do país, além de reduzir a emissão de CO<sub>2</sub> (BERNAL et al., 2017).

O artigo número 6 faz uma análise de viabilidade sobre a produção de biometano. Tal análise foi realizada utilizando os dados de uma destilaria, onde se fabrica etanol, sendo a biomassa a própria vinhaça gerada durante a produção do etanol. Um digestor do tipo lagoa foi utilizado para a geração do biogás, conseqüentemente, para a produção do biometano, o H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> devem ser

removidos. O H<sub>2</sub>S é removido por lavadoras biológicas (lavador físico-químico de hidróxido de sódio), já a remoção da água depende da remoção de CO<sub>2</sub>, sendo o CO<sub>2</sub> removido por meio de uma lavagem com água sob pressão e a H<sub>2</sub>O é removida utilizando-se assim um desidratador de adsorção por oscilação de temperatura (TSA). O biometano gerado é utilizado como substituto ao gás natural em redes de distribuição. O efluente da vinhaça já digerido é usado para fertirrigação (LEME, SEABRA, 2017).

Em Toledo, no Paraná, os autores Kuczman et al. (2017) realizaram uma análise para determinar a viabilidade da inserção de um agitador em um reator. Tal estudo foi realizado em uma indústria de amido de mandioca, onde as águas residuais do processo de fabricação foi utilizada como biomassa. A digestão anaeróbica seria realizada por meio de um reator piloto, tubular, com fluxo horizontal. Tal reator consiste em uma câmara de fermentação, sendo a fermentação realizada por meio de um suporte de bambu inserido no reator. O reator possui um gasômetro e a vedação da câmara é feita com geomembrana de polietileno. A agitação foi realizada por recirculação de biogás e o meio de suporte foi construído com bambu. O estudo apenas mostrou a geração do biogás, porém não mostrou sua utilização.

Outro estudo realizado em Minas Gerais buscou analisar a viabilidade na projeção de uma usina termelétrica que usa biogás produzido em uma estação de tratamento de águas residuais. O lodo gerado na estação é utilizado como biomassa, sendo processado em um reator UASB para geração do biogás. Um motor grupo gerador ciclo Otto converte a energia química do biogás em energia elétrica, sendo esta utilizada para suprir a demanda da estação e reduzir a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (DOS SANTOS, 2016).

Os autores do artigo número 9 estudaram a vinhaça como biomassa, em uma análise de viabilidade no estado do Paraná. O biodigestor de fluxo tubular (plug flow) converteu a vinhaça em biogás. Neste processo, a agitação foi realizada por meio de recirculação de biogás. Para transformar o biogás em energia elétrica foi utilizado um conjunto de regeneradores adaptados para rodar no biogás da vinhaça. A energia elétrica gerada seria vendida para o fornecedor local de energia (COPEL) (NOGUEIRA et al., 2015).

Uma análise de desempenho foi realizada em uma estação de tratamento de esgoto, em Mato Grosso do Sul, buscando melhorar o processo de filtragem da

captura de biogás. A biomassa utilizada é o lodo provindo do tratamento de águas, sendo estes resíduos convertidos em biogás por meio de um Reator UASB. O biogás gerado pode ser queimado para geração de energia elétrica ou pode ser aplicado a um filtro de sulfeto de hidrogênio e peneiras moleculares, que o converteria em GNBio (gás natural biológico), podendo ser usado como combustível para veículos ou para produção de energia elétrica também (VANTI; LEITE; BATISTA, 2015).

O artigo número 11 apresenta um caso real em uma pequena fazenda no estado do Paraná. A biomassa utilizada é o esterco bovino gerado na fazenda. A digestão anaeróbica é realizada por meio de um digestor anaeróbico de fluxo ascendente com vertedouro interno fixo, sendo que este digestor foi um modelo desenvolvido e patenteado na região oeste do Paraná. Por ser um modelo semienterrado, o processo sofre pouco com a variação de temperatura do meio externo. Este modelo de digestor serve para suprir as necessidades de pequenos produtores. A fazenda estudada faz parte de um condomínio agro energético de agricultura familiar, sendo assim, o biogás produzido pela fazenda é enviado por meio de dutos à estação principal, que é a responsável por gerar energia elétrica, térmica, entre outras finalidades (MARI et al., 2014).

Os autores De Souza et al. (2012) realizaram uma análise de viabilidade na região centro-sul do país, estudando o uso da vinhaça como biomassa, sendo esta provinda de usinas de processamento de cana-de-açúcar na própria região centro-sul. Seria utilizado um reator do tipo UASB. O biogás gerado poderia ser convertido em biometano, para abastecer ônibus, podendo abastecer 52.643 ônibus e também, os resíduos já processados poderiam ser utilizados como adubo. Além da emissão evitada de 16,6 toneladas de CO<sub>2</sub>.

Outro estudo, um caso real, analisou uma grande propriedade no estado de São Paulo, onde existe a criação de suínos, plantação de café e milho para produzir a ração dos porcos. A biomassa utilizada é o estrume gerado pelos animais e também o sangue após o abate, sendo que a gordura dos animais é utilizada para produzir biodiesel. O biogás é gerado por meio de mini biodigestores, os quais nada mais são que uma vala, revestida por uma lona (para que os resíduos não sejam absorvidos pelo solo) e coberta também por uma lona, a qual não permite a saída do biogás produzido (WALTER et al., 2011). A energia elétrica provinda desse biogás é gerada por meio de motores, sendo esta utilizada para suprir 50% da demanda da

propriedade. A produção do biodiesel se dá por meio de um fogão que é alimentado por biogás, onde as gorduras são processadas e enviadas a um transesterificador, onde o biodiesel é de fato gerado. O biodiesel é usado para abastecer os veículos da fazenda. A glicerina gerada como subproduto do biodiesel é utilizada para fabricar sabão e detergente. Além disso, também se faz uso dos resíduos da digestão anaeróbica como biofertilizantes (WALTER et al., 2011).

No Ceará, uma análise de viabilidade teve o intuito de avaliar a aplicação de digestão anaeróbia em pequenas propriedades. A fonte de biomassa é o esterco de cabra. O reator analisado seria do tipo indiano, onde o biogás gerado seria usado para alimentar uma bomba de água que é responsável pela irrigação das pastagens. Também se utilizaria os resíduos da DA como biofertilizante (BORGES et al., 2010).

Outro caso real, relatado pelos autores Pasqual et al. (2018), foi sobre o condomínio de agroenergia de Ajuricaba para agricultura familiar, que é o primeiro exemplo de funcionamento de um condomínio de agroenergia no mundo e trata resíduos gerados por 33 pequenas propriedades, transformando os resíduos em ativos econômicos para os produtores participantes. A biomassa utilizada é o estorno animal. Cada propriedade tem seu reator, sendo estes feitos de fibra de vidro, são como uma câmara, onde metade fica de baixo do solo e outra metade fora, mantendo a temperatura mais estável, o que gera uma produção constante de biogás. Os fazendeiros usam o biofertilizante gerado em suas propriedades, além de usar fogões movidos a biogás (energia térmica), evitando a emissão de até 2,4 ton de CO<sub>2</sub>.

Em Cosmópolis, Elaiuy et al. (2018) abordaram um caso real de uma planta de geração de biogás, sendo que a mesma possui reator, misturador, depurador de H<sub>2</sub>S e motor a gás. A biomassa utilizada é a vinhaça da cana de açúcar. Um reator do tipo CIGAR (reator anaeróbico coberto no solo) é utilizado para gerar o biogás. Em seguida, esse biogás vai para um tanque depurador, onde sofre uma lavagem biológica para remoção do H<sub>2</sub>S. Por fim, é transferido para um motor a gás que possui ligação com um conjunto de geração de energia, onde é queimado e permite a geração de energia elétrica. Esta energia é enviada a rede de energia local.

Uma análise de desempenho foi realizada estudando usinas de pequeno, grande e médio porte pelo Brasil. A análise concluiu que a biomassa sendo a mistura entre estrume de gado, vindo de fazendas onde o gado fica confinado (com isso, a quantidade de estrume é maior), milho e capim (produzidos especificamente

para gerar biogás) tem melhor potencial do que o uso exclusivo de estrume. As usinas possuem tanques de preparação, silos, 177 biodigestores contando com todas as usinas analisadas (sendo reatores do tipo CSTR), gasômetro e sistema combinado de aquecimento e energia (CHP), o qual é responsável por gerar a energia elétrica que é o produto final do processo (PINAS et al., 2018).

Os autores Montoro, Santos e De Lucas (2017) realizaram uma análise de viabilidade no estado de São Paulo, em uma fazenda de criação de gado, com aproximadamente 5 mil animais. O gado de corte, destinado para o abate, fica confinado, facilitando dessa maneira a coleta de resíduos, no caso, o esterco bovino, que será utilizado como biomassa para a digestão anaeróbica. A DA será realizada por meio de quatro biodigestores do tipo canadense ou lagoa coberta. Dois grupos de gerador-motor são responsáveis por converter o biogás em energia elétrica, sendo a finalidade desse conjunto gerar energia elétrica e biofertilizante para suprir as necessidades da própria fazenda.

O último artigo encontrado aborda dois casos reais no estado do Paraná. Um deles é uma unidade de engorda de suínos com 5 mil animais confinados e o outro é um frigorífico de aves com capacidade para 280 mil aves por dia. A biomassa utilizada em ambos os casos provém da criação de animais, sendo os resíduos provenientes da criação e do abate, no segundo caso. A unidade de suínos conta com dois biodigestores do modelo plug flow, sendo a finalidade geração de energia elétrica e biofertilizante. No segundo caso a propriedade possui apenas um biodigestor também do tipo plug flow, com a finalidade de gerar energia elétrica e tratar os resíduos para disposição final. Ambas as propriedades possuem um grupo gerador motor com ciclo Otto para converter o biogás em energia elétrica. A finalidade das duas propriedades é utilizar a energia elétrica para consumo próprio, sendo que o excedente é vendido para a rede de energia (DE SOUZA et al., 2016).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho pode ser classificado segundo quatro aspectos: abordagem, natureza, objetivos e procedimentos. O Quadro 3 apresenta de maneira geral as classificações utilizadas.

**Quadro 3 – Classificação da Pesquisa**

Abordagem	Qualitativa
Natureza	Pura
Objetivos	Exploratória
Procedimentos	Pesquisa bibliográfica e estudo de caso

Fonte: Autoria Própria (2019).

A abordagem qualitativa da presente pesquisa se deve ao fato de a mesma ser baseada em análises qualitativas, ou seja, não compreende coleta de dados e análises estatísticas em seu andamento (VIEIRA, 1996).

Quanto à natureza, a pesquisa é classificada como pura. Segundo Zanella (2011), esse tipo de pesquisa tem a finalidade de elaborar um desenvolvimento teórico, criando novas questões sobre conhecimentos já existentes. Nesse contexto, a atual pesquisa buscou contribuir para o conhecimento na área da produção de biogás.

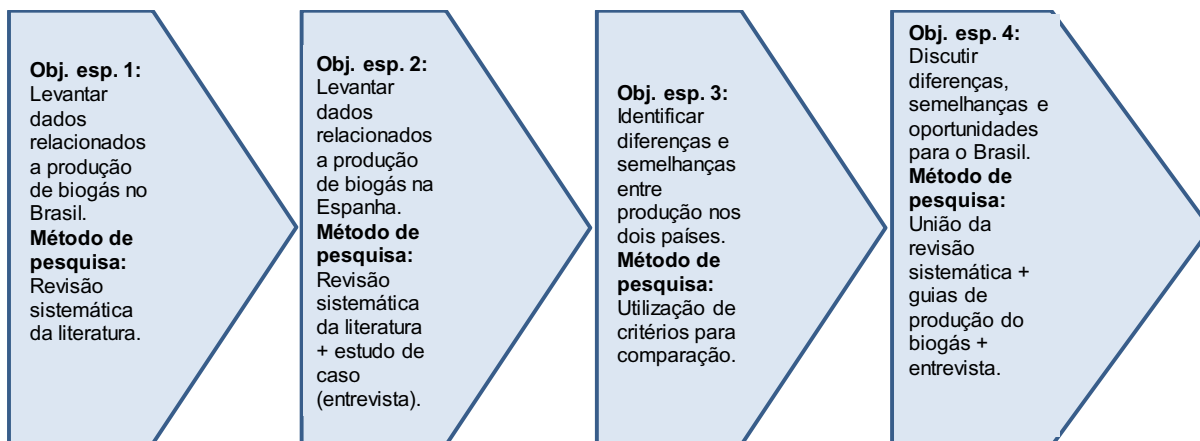
A classificação da pesquisa quanto aos objetivos é definida como exploratória. Isso se deve ao fato de que a partir das pesquisas realizadas, pretende-se fazer a comparação entre a produção de biogás no Brasil e Espanha, o que ainda é pouco explorado. De acordo com Gil (2008), a pesquisa exploratória busca ampliar conhecimento para que posteriormente uma pesquisa descritiva seja realizada.

O presente trabalho aborda ainda dois tipos de procedimentos: pesquisa bibliográfica e estudo de caso. É classificado como pesquisa bibliográfica, pois é realizado o estudo geral dos conceitos utilizados, assim como a situação de geração de biogás nos dois países. O estudo classifica-se também como estudo de caso, pois foi feita uma entrevista com um especialista espanhol da área de geração do

biogás, o que será mais detalhado na seção 3.2. Com a junção desses dois tipos de procedimentos, é possível obter as informações necessárias para compor o resultado sobre o tema estudado.

A Figura 2 apresenta as etapas de condução da pesquisa:

**Figura 2 – Etapas de condução da pesquisa**



Fonte: Autoria própria (2019).

Conforme pode ser observado, os objetivos específicos já definidos na introdução desta pesquisa foram atendidos por diferentes métodos de pesquisa. Ou seja, o objetivo específico 1 consistiu na elaboração de uma Revisão Sistemática (RS) da literatura, enquanto o objetivo específico 2 também envolve uma RS em conjunto com um estudo de caso. A partir deles foram definidos quatro critérios para comparação entre os dois países (tipo de biomassa, tipo de tecnologia, tipos de produtos gerados e finalidades), atendendo o objetivo específico 3. Por fim, foi realizada uma discussão sobre as semelhanças e oportunidades para o Brasil.

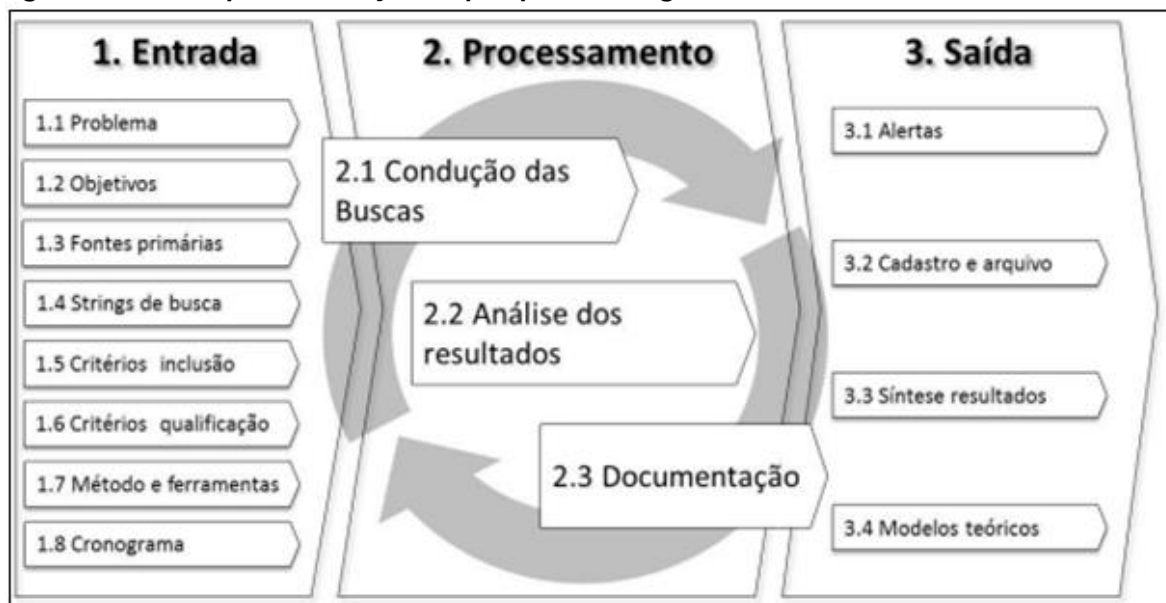
A seguir serão mais bem descritas as etapas da figura 2.

### 3.2 ETAPAS DE CONDUÇÃO DA PESQUISA

A revisão bibliográfica sistemática (RBS) foi realizada por meio de um roteiro chamado RBS *Roadmap*, desenvolvido por Conforto, Amaral e Silva (2011) e apresentado na Figura 3.



Figura 3 - Roteiro para realização da pesquisa bibliográfica sistemática



Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011)

A partir desse roteiro, definiu-se primeiramente o problema de pesquisa e os objetivos do trabalho. A pergunta de partida do presente trabalho é: Quais as diferenças e semelhanças na produção de biogás entre Brasil e Espanha? A partir dessa pergunta, foram traçados os objetivos gerais e específicos. O objetivo geral desta pesquisa é realizar um levantamento sobre a produção de biogás entre Brasil e na Espanha.

A próxima etapa foi definir os *Strings* de busca, ou seja, a escolha das palavras-chave. As palavras utilizadas para a pesquisa foram: “Biogas” AND “Brazil”, “Biogas” AND “Spain”. Com as palavras chave escolhidas, foram definidas as bases de dados e os critérios utilizados para busca.

Foram realizadas buscas em duas bases de dados, Scopus e *Web of Science*. Os critérios de busca utilizados nas bases de dados podem ser visualizados no Quadro 4.

**Quadro 4 - Critérios utilizados para busca nas bases de dados**

Scopus	Web of Science
Palavras-chave (Biogas" AND "Brazil", "Biogas" AND "Spain")	Palavras-chave (Biogas" AND "Brazil", "Biogas" AND "Spain")
Artigos de revisão	Artigos de revisão
Artigos de pesquisa	Artigos de pesquisa
Artigos em inglês	Artigos em inglês
Últimos 10 anos de publicações	Últimos 10 anos de publicações

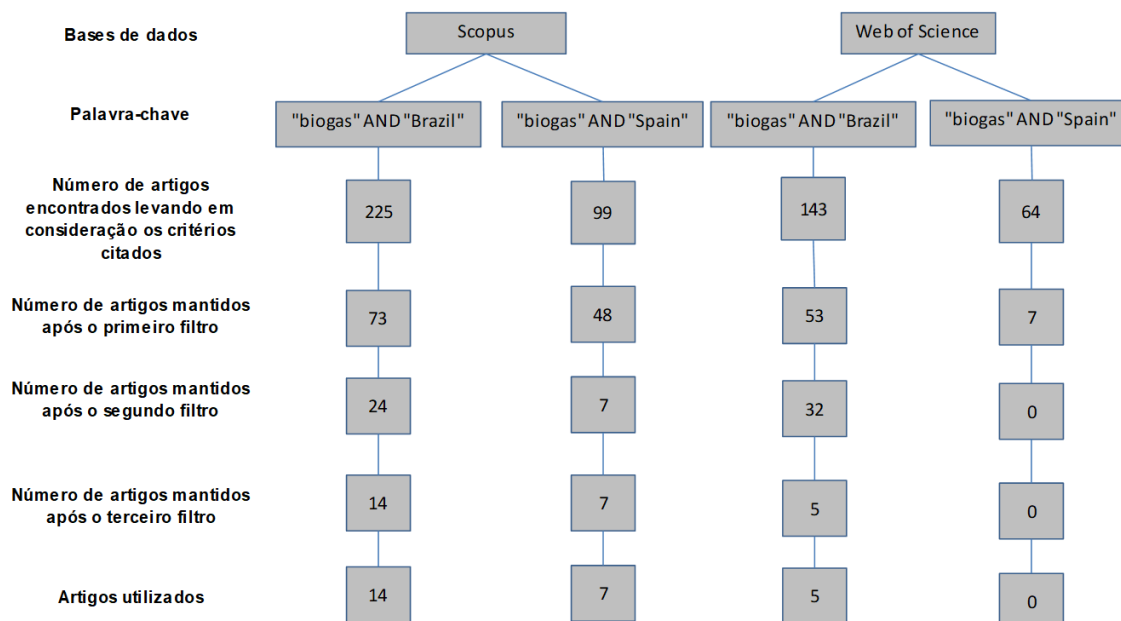
Fonte: Autoria própria (2019).

Possuindo todas as informações importantes para a realização da revisão até o momento, inicia-se o processamento das informações. Os conteúdos encontrados a partir dessa pesquisa são de natureza sistemática. Para que se chegasse aos artigos realmente importantes e que seriam utilizados no referencial teórico, foi utilizado o filtro apresentado também no roteiro RBS *roadmap*. A partir do que foi desenvolvido por Conforto, Amaral e da Silva (2011), os artigos encontrados passaram por três filtros, sendo eles os seguintes:

- O primeiro filtro consiste na leitura do título, palavras-chave e resumo do artigo, caso o artigo pareça ter algo a ver com o conteúdo desejado, vai para o segundo filtro.
- No segundo filtro, foi feita a leitura da introdução e conclusão dos artigos, onde ficaram retidos os artigos que possuíam conteúdo realmente relevante.
- No terceiro e último filtro, todos os artigos são lidos em sua integridade e são considerados os artigos para uso no trabalho.

A Figura apresenta a quantidade de artigos encontrados e como foi feita a exclusão dos mesmos para que se chegasse ao número de artigos que realmente foram utilizados, por meio da RBS.

**Figura 4 – Método de seleção de artigos**



Fonte: Autoria própria (2019)

Tendo toda a RBS realizada, foram montados dois quadros que sintetizam os artigos obtidos, o Quadro 5 e o Quadro 6 são apresentados no apêndice ao final do trabalho.

Complementarmente à RBS foi realizada de uma revisão bibliográfica exploratória, a qual foi realizada na base Google Scholar, com o objetivo de encontrar mais artigos, livros e guias relevantes ao trabalho.

O estudo de caso consistiu em uma entrevista realizada com Francisco Repullo Almagro, membro da AEBIG (Associação Espanhola de Biogás). A entrevista foi realizada apenas na Espanha com o intuito de encontrar informações que possam complementar os resultados da RBS, tendo em vista que o número de estudos que tratam sobre a produção de biogás na Espanha é menor que no Brasil.

Por meio desses resultados, o objetivo específico 3 foi realizado, pois a partir da revisão sistemática foi possível determinar quais são os critérios básicos para comparar a produção de biogás nos dois países. Esses critérios são:

- Fonte de biomassa;
- Tecnologia de biogás;
- Produtos gerados;
- Finalidade.

A partir de tais critérios foi possível identificar as diferenças e semelhanças na produção de biogás nos dois países. A partir disso, foram gerados resultados que

permitiram realizar o objetivo específico 4, o qual busca discutir as diferenças e semelhanças entre os dois países e listar as oportunidades para o Brasil. Este objetivo é atingido por meio da junção de todos os conteúdos e dados encontrados, sendo as buscas sistemáticas, o estudo de caso e os guias encontrados sobre os dois países.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Além das informações obtidas por meio das revisões sistemática e exploratória, algumas dúvidas foram esclarecidas por meio de um estudo de caso, a

entrevista realizada com Francisco Repullo, já citada na metodologia. As questões constam no apêndice ao final do trabalho.

De acordo com as informações recebidas na entrevista, os agricultores ou criadores de animais geram o biogás na maioria dos casos para evitar contaminação do ar, solo ou água. Uma destinação comum é a geração de energia elétrica e uso do biofertilizante gerado, que é rico em nutrientes. No caso das indústrias, o objetivo também é o cumprimento legal, produzindo o biogás a partir do tratamento de resíduos principalmente para evitar sanções.

Os agricultores, pecuaristas e donos de indústrias não veem a produção de biogás como um negócio rentável, pois como não existe ajuda, o retorno ao investimento não é viável. Quanto a produção, normalmente os agricultores de pequeno e médio porte se agrupam em cooperativas, para ter uma quantidade suficiente de resíduos para que seja possível gerar o biogás.

As fontes de biomassa com maior potencial na Espanha, segundo Francisco, são em ordem: dejetos da pecuária, resíduos agrícolas, resíduos de indústrias de alimentos, resíduos sólidos orgânicos urbanos e lodo de estações de tratamento de água ou esgoto. Já a tecnologia mais usada de digestão anaeróbica na Espanha é o CSTR. O uso final mais empregado ao biogás é a geração de energia elétrica.

Quanto às perspectivas para o uso do biogás na Espanha, diz-se que para o futuro, o uso de biogás para gerar energia elétrica não tem previsão de crescimento, pois não existe nenhum tipo de ajuda e o país possui um potencial de geração muito grande provindo de outras fontes de energia, sendo elas solar e eólica. De acordo com o entrevistado, o crescimento nesse setor deverá vir por meio do uso de biogás como biometano combustível.

Não existe nenhum tipo de ajuda econômica aos produtores e por parte do governo não existe nenhuma previsão de investimento em tecnologias para gerar biogás, embora existam alguns projetos em fase piloto, como a utilização de syngas, que são um gás de síntese composto por 50% de nitrogênio e os outros 50% variam de acordo com a fonte (IDAE, 2007).

Além disso, possuem também o projeto Power-to-gas, que busca produzir algo semelhante ao gás natural, chamado de gás natural sintético, o qual é produzido por meio da metanização do hidrogênio. Tal gás possui as mesmas utilidades do gás natural, porém, sem emissões nocivas. O projeto busca construir

uma planta com potencia de 250 kW, que pretende injetar o gás diretamente a rede de distribuição de gás natural da Espanha (RENOVAGAS, 2015).

Além deste projeto, existe também o uso de syngas,

A partir dos resultados da RBS e da entrevista, foi construído o mapa mostrado na figura 5.

**Figura 5 – Mapa da produção de biogás no Brasil e Espanha**

Fonte de biomassa	Tecnologia de biogás	Produtos gerados	Finalidade
 Lodo de ETA/ETE	 CSTR	 Energia elétrica	 Auto demanda
 Chorume	 Reator de Hidrólise	 Energia térmica	 Venda concessionária
 Dejeito suíno	 Lagoa Coberta		
 Dejeito bovino	 UASB	 Combustível (biometano)	
 Resíduos de alimentos	 Plug Flow		
 Frigoríficos	 Modelo Indiano		
 Resíduos de arroz	 CIGAR		
 Vinhaça cana-de-açúcar			
 Indústria de amido de mandioca			
 Dejeito caprino			
 Resíduos de milho			
 Capim			

Fonte: A autoria própria (2019)

Analisando primeiramente os estudos encontrados sobre a produção de biogás na Espanha, pode-se observar que os estudos de viabilidade são os mais realizados. Os tipos de locais que mais produzem o biogás não puderam ser bem definidos, pois muito poucos artigos abordam esse tema na Espanha.

Observa-se, de modo geral, que a produção de biogás no país ocorre principalmente em estações de tratamento de águas residuais, ou seja, a partir de lodo de ETA/ETE, seguido de atividades pecuárias (bovinos e suínos) e frigoríficos. Resíduos agroalimentares ainda são muito pouco utilizados.

Das diversas possibilidades tecnológicas a serem utilizadas, a mais utilizada, quase que em todos os estudos, foi o reator do tipo CSTR (reator contínuo de tanque agitado), sendo este utilizado em 85,71% dos casos. Foi utilizado também o reator de hidrólise, presente em apenas um dos casos (14,29%). Já os principais

produtos gerados foram a energia elétrica e térmica, utilizando motor do tipo CHP que combina calor e energia. Já a destinação final é autoconsumo (energia elétrica e calor) ou venda para concessionária (energia elétrica).

O uso de biofertilizantes foi considerado apenas em um dos casos, o que leva a pensar que se pode explorar muito mais a utilização de tal tipo de fertilizante e de muitas outras finalidades não abordadas nos estudos encontrados.

Já em relação à pesquisa realizada no Brasil, pode-se dizer que a maior parte dos estudos são análises de viabilidade. A maior parte desses estudos é realizada em fazendas que possuem tecnologias para geração de biogás, sendo estas fazendas variando entre de pequeno e grande porte, seguido por indústrias que transformam os próprios resíduos e, em terceiro lugar, estão as usinas utilizadas especificamente para geração de biogás, com menor número.

As fontes de biomassa mais utilizadas são os dejetos da produção de animais (bovino e suíno), seguido pela vinhaça provinda da cana-de-açúcar e depois o lodo de estações de tratamento de água residual. Outras fontes de biomassa no Brasil incluem resíduos de frigoríficos, resíduos agrícolas (milho e arroz) e agroindústria (amido de mandioca).

Com relação às tecnologias utilizadas para a digestão anaeróbica, a mais utilizada foi os reatores do tipo UASB, mais utilizados para gerar biogás a partir de lodo, utilizados em 31,58% dos casos, seguido pelo reator do tipo lagoa coberta (tipo canadense), utilizado em 26,33% dos casos. Outras tecnologias também foram citadas, como o *Plug Flow* (21,06% dos casos), *CSTR* (10,53% dos casos) e *modelo indiano* e *CIGAR* (ambos usados em 5,25% dos casos). Já a tecnologia mais utilizada para transformar esse biogás em eletricidade tem um equilíbrio entre motor CHP e motores de combustão interna.

A utilização do biogás é vasta. No Brasil, ele foi mais utilizado para gerar energia elétrica, energia térmica, biometano combustível e produção de biofertilizante nessa ordem. Os principais destinos são os mesmos da Espanha, como autoconsumo (energia elétrica, energia térmica e biometano combustível) e venda para concessionária (energia elétrica).

Comparando Brasil e Espanha, é possível notar que uma maior variedade de biomassa é utilizada como fonte geradora de biogás no país sul-americano. Além do lodo do tratamento de água e efluentes, dejetos animais e resíduos de frigoríficos comuns com a Espanha, no Brasil há destaque para uso de resíduos da agricultura

e agroindústria, com destaque para a vinhaça vinda da produção de açúcar e álcool de cana-de-açúcar. No entanto, é evidente o baixo investimento brasileiro na produção de biogás, tendo em vista que tecnologias com menor rendimento, como a lagoa coberta (modelo canadense) é constantemente citado na literatura, enquanto na Espanha é mais utilizado o CSTR que apresenta alto rendimento.

Um produto gerado no Brasil a partir do biogás é o biometano combustível. Apesar de não ser citado nos artigos encontrados sobre a Espanha, o entrevistado Francisco citou o biometano como potencial interesse dos produtores de biogás no país, em substituição à energia elétrica e energia térmica, devido ao maior valor pago.

Analisando as publicações técnicas de biogás no Brasil (SENAI, 2016) e Espanha (IDAE, 2011; MARM, 2010), os resultados não diferem da literatura e da entrevista realizada. Ambos países possuem como fonte de biomassa dejetos da pecuária, lodo, resíduos da indústria e agroindústria, resíduos urbanos e de aterros. Na Espanha ainda se produz biogás a partir de aterros sanitários.

Nos dois países, a maior parte da finalidade do biogás está para o consumo próprio, independentemente de onde a produção seja realizada (fazenda, aterro, indústria, etc.). Isso pode ser confirmado, pelo menos na Espanha, com a entrevista fornecida por Francisco, o qual diz que os produtores ou industriais não vêm a geração de biogás como algo rentável, mas sim como um meio de solucionar o problema da disposição final de resíduos.

Algo que difere entre os dois países é no Brasil o biogás é produzido como fonte de geração de economia ou receita, ficando em segundo plano a redução de emissões. Já na Espanha, a principal função da geração do biogás é reduzir emissões e evitar danos ao meio ambiente, ficando em segundo lugar a utilização do biogás para outros usos, como energia elétrica, por exemplo.

Um ponto em comum entre os dois países é que tanto o Brasil, quanto a Espanha, buscam se organizar em grupos de produtores (cooperativas ou *clusters*) para obter maior quantidade de biomassa e conseqüentemente gerar maior quantidade de biogás. Esse agrupamento se dá geralmente entre pequenos e médios produtores.

De modo geral, o Brasil apresenta potencial de evolução na produção do biogás, não só pelo clima e grande oferta de biomassa disponível, mas principalmente substituindo tecnologias pouco eficientes por outras melhores, como



vem ocorrendo na Espanha. Verifica-se assim a necessidade de maior investimento em tecnologias eficientes de geração de biogás no Brasil, como forma de gerar mais valor ao negócio, já que comparando as tecnologias utilizadas entre os dois países é onde encontra-se as maiores diferenças: enquanto no Brasil há predomínio do modelo canadense de lagoa coberta e UASB (menos eficientes), na Espanha há maior uso do modelo CSTR (mais eficiente).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o aumento da população, cada vez mais aumenta a quantidade de produtos e resíduos gerados. Devido a isso se busca cada vez mais encontrar uma utilização para tais resíduos, uma utilização que gere a eliminação de contaminação e que ao mesmo tempo seja capaz de gerar subprodutos úteis. Por isso a geração de biogás é tão importante e sua tendência é ser ainda mais utilizada com o aumento de resíduos e de tecnologias.

O presente trabalho buscou encontrar semelhanças, diferenças e oportunidades por meio do estudo da geração de biogás no Brasil e Espanha, tendo em vista que o biogás é uma energia renovável que ainda tem grande potencial de evolução.

No início do processo se deve escolher a fonte de biomassa a ser utilizada, sendo que tanto no Brasil, quanto na Espanha, as principais fontes vêm de dejetos da pecuária (suíno e bovino). Na Espanha, a utilização de lodo de estação de tratamento de águas residuais também merece destaque.

Em ambos os países o biogás é principalmente utilizado para a geração de energia elétrica, com a finalidade de consumo próprio. O que muda de um país para o outro é a visão sobre esta geração. Na Espanha se gera biogás com a finalidade de reduzir a poluição de solo, água e ar, enquanto no Brasil se gera biogás com o objetivo de reduzir despesas ou fonte extra de renda, tendo como consequência a redução das emissões.

Para realizar os processos de digestão anaeróbia, o que foi o foco deste trabalho é utilizado biodigestores de diferentes tipos, sendo que o mais utilizado na Espanha é o reator do tipo CSTR (mais eficiente na produção de biogás) e no Brasil o mais utilizado é o modelo UASB, seguido pelo modelo canadense (lagoa coberta) que são menos eficientes. Isso demonstra que há um foco em baixo investimento em tecnologia no Brasil.

Como recomendações de estudos futuros, sugere-se fazer uma análise da repercussão do uso de tecnologias no Brasil, calculando a viabilidade de sua adoção e retorno sobre o investimento, de modo a incentivar o uso de biodigestores de maior desempenho.

## REFERÊNCIAS

ÁGUAS CLARAS ENGENHARIA. **Reator UASB: saiba o que é e como funciona.** Disponível em: < <https://aguasclarasengenharia.com.br/como-funciona-reator-uasb/#targetText=O%20reator%20UASB%20%E2%80%93%20Upflow%20Anaerobic,estabiliza%C3%A7%C3%A3o%20da%20mat%C3%A9ria%20org%C3%A2nica%20inicial.>>. Acesso em: 24 out. 2019.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** 3. ed. Brasília 2008. ISBN 978-85-87491-10-7.

ANTÔNIO, A. S.; FILHO, D. O.; DA SILVA, S. C. Electricity generation from biogas on swine farm considering the regulation of distributed energy generation in Brazil: A case study for Minas Gerais. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering.** V. 38, p. 518-525, 2018.

ANP. **Biometano.** Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biometano>>. Acesso em: 24 out. 2019.

BALMANT, W. **Concepção, construção e operação de um biodigestor e modelagem matemática da biodigestão anaeróbica.** 2009. 60 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2005.

BERNAL, A. P.; DOS SANTOS, I. F. S.; MONI SILVA, A. P.; BAROS, R. M.; RIBEIRO, E.M. Vinasse biogas for energy generation in Brazil An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO2 emissions. **Journal of Cleaner Production.** V. 151, p. 260-271, 2017.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (BOE). **Ministerio para la Transición Ecológica.** Seção III, nº 256. 2018. Disponível em: <<https://aebig.org/wp-content/uploads/2018/11/PD-01-PD-02-BOE-A-2018-14557-1.pdf>> Acesso em: 24 out. 2019.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (BOE). **Ministerio de industria, energía y turismo.** Seção I, nº 6. 2013. Disponível em: <<https://www.boe.es/boe/dias/2013/01/07/pdfs/BOE-A-2013-185.pdf>>. Acesso em 24 out. 2019.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (BOE). **Jefatura del estado**. Seção I, nº 24. 2012. Disponível em: < <https://www.boe.es/boe/dias/2012/01/28/pdfs/BOE-A-2012-1310.pdf>>. Acesso em 24 out. 2019.

BORGES NETO, M. R.; CARVALHO, P. C. M.; CARIOCA, J. O. B.; CANAFÍSTULA, F. J. F. Biogas/photovoltaic hybrid power system for decentralized energy supply of rural areas, **Energy Policy**. V. 38, p. 4497-4506, 2010.

CALZA, L. F. et al. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. **Engenharia Agrícola**. V.35, n.6. p.990-997, 2015.

BRASIL. **LEI Nº 12.187**. 29 dez 2009. Disponível em: < <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2009/lei-12187-29-dezembro-2009-599441-norma-pl.html> >. Acesso em: 10 nov. 2019.

CASCALLANA, J. G.; DÍEZ, D. B.; GÓMEZ, X. Enhancing the efficiency of thermal hydrolysis process in wastewater treatment plants by the use of steam accumulation. **International Journal of Environmental Science and Technology**. V. 16, p. 3403-3418, 2019.

CENTRO EXPERIMENTAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Reator UASB**. Disponível em: < <http://www.saneamento.poli.ufrj.br/index.php/br/infraestrutura/reator-usab> >. Acesso em: 24 out. 2019.

CH4 SOLUTION. **Soluções em biogás e biometano**. (Documento icónico).

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO – CBGDP. 8., 2011, Porto Alegre: 2011.

DA SILVA, J. A. G. A produção do álcool enquanto fonte de energia e algumas de suas externalidades ambientais e sociais. [2019?].

DE SOUZA, S. N. M. et al. Gas emission and efficiency of an engine-generator set running on biogas. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**. V. 36, p. 613-621, 2016.

DE SOUZA, S. N. M. et al. Production potential of biogas in sugar and ethanol plants for use in urban buses in Brazil. **Journal of Food, Agriculture and Environment**. V. 10, p. 908-910, 2012.

DOS SANTOS, I. F. S. et al. Economic and CO<sub>2</sub> avoided emissions analysis of WWTP biogas recovery and its use in a small power plant in Brazil. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**. V. 17, p. 77-84, 2016.

ECO.NOMIA. **O que é a economia circular?** Disponível em: <<https://eco.nomia.pt/pt/economia-circular/estrategias>>. Acesso em: 02 mar. 2019.

ELAIUY, M. L. C.; LI BORRION, A.; POGGIO, D.; STEGEMANN, J. A.; NOUR, E. A. A. ADM1 modelling of large-scale covered in-ground anaerobic reactor treating sugarcane vinasse. **Water Science & Technology**. V. 77, p. 1397-1408, 2018

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the Circular Economy**: Economic and Business rationale for an accelerated transition. Vol. 1. Cowes, Reino Unido: 2013.

EMBRAPA. **Biorrefinarias**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48750/1/biorrefinaria-modificado-web.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2019.

EUROTAST. **Estatísticas das energias renováveis**. Disponível em: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics/pt](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/pt). Acesso em: 01 dez. 2019.

FNR. **Guia Prático do Biogás – Geração e Utilização**. Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Leipzig, 2010.

FREITAS, F. F. et al. The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 101, p. 146-157, 2019.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDEMBERG, J., LUCON, L. Energias renováveis: um futuro sustentável. **REVISTA USP**, São Paulo, n.72, p. 6-15, dezembro/fevereiro 2006-2007.

GONZÁLEZ, A. G.; PEREIRA, M. C.; CUADROS, M.; FARTARIA, T. Energy self-sufficiency through hybridization of biogas and photovoltaic solar energy: an application for an Iberian pig slaughterhouse. **Journal of Cleaner Production**. V. 65, p. 328-323, 2014.

IDAE. **Biomasa: Gasificación**. Madri, Espanha. 2007.

IDAE. **Situación y potencial de generación de biogás. Estudio Técnico PER 2011-2020**. Madri, Espanha. 2011.

KUCZMAN, O.; TAVARES, M. H. F.; GOMES, S. D.; GUEDES, L. P. C.; GRISOTTI, G. Effects of stirring on cassava effluent treatment in an anaerobic horizontal tubular pilot reactor with support medium – A Review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 77, p. 984, 989, 2017.

LEME, R. M.; SEABRA, J. E. A. Technical-economic assessment of different biogas upgrading routes from vinasse anaerobic digestion in the Brazilian bioethanol industry. **Energy**. V. 119, p. 754-766, 2017.

MARCOS, A.; AL-KASSIR, A.; LÓPEZ, F.; CUADROS, F.; BRITO, P. Environmental treatment of slaughterhouse wastes in a continuously stirred anaerobic reactor: Effect of flow rate variation on biogas production. **Fuel Processing Technology**. V. 103, p. 178-182, 2012.

MARI, A. G. et al. Performance of up-flow anaerobic digester in solids removal and biogas production. **Journal of Food, Agriculture and Environment**. V. 12, p. 1135-1139, 2014.

MARM. **El sector del biogás agroindustrial en España**. Madri, Espanha, 2010.

MARTÍNEZ, A. G., et al. GIS-based model for determining the optimal potential of co-digestion mixtures in the Spanish Iberian Peninsula. **Renewable Energy and Power Quality Journal**. V. 17, p. 327-332, 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA) Secretaria de Produção e Agroenergia. Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011. 2ª edição revisada. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

MONTORO, S. B.; SANTOS, D. F. L.; DE LUCAS, J. Economic and financial viability of digester use in cattle confinement for beef. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**. V. 37, p. 353-365, 2017.

NADALETI, W. C. Utilization of residues from rice parboiling industries in southern Brazil for biogas and hydrogen-syngas generation: Heat, electricity and energy planning. **Renewable Energy**. V. 131, p 55-72, 2019.

NOGUEIRA, C. E. C.; DE SOUZA, S. N. M.; MICUANSKI, V. C.; AZEVEDO, R. L. Exploring possibilities of energy insertion from vinasse biogas in the energy matrix of Paraná State, Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 48, p. 300-305, 2015.

PACHECO, F. Energias Renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento**, Salvador: SEI, n.149, p.4-11, Outubro/2006.

PASQUAL, J. C.; BOLLMANN, H. A.; SCOTT, C. A.; EDWIGES, T.; BAPTISTA, T. C. Assessment of Collective Production of Biomethane from Livestock Waste for Urban Transportation Mobility in Brazil and the United States. **Energies**. V. 11, 2018.

PINAS, J. A. V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S.; ROALCABA, O. D. C. Technical assessment of mono-digestion and co-digestion systems for the production of biogas from anaerobic digestion in Brazil. **Renewable energy**. V. 117, p. 447-458, 2018.

PORTAL ENERGIA. **Energia hídrica vantagens e desvantagens**. 05 set. 2019. Disponível em: < <https://www.portal-energia.com/energia-hidrica-vantagens-e-desvantagens/>>. Acesso em: 26 out. 2019.

RENOVAGAS. **Proceso de Generación de Gas Natural Renewable**. 12 maio 2015. Disponível em: < [https://www.pteco2.es/Uploads/docs/3.%20J.Rubio\\_RENOVAGAS\\_Presentacion%20Jornada%20PTEHPC.pdf](https://www.pteco2.es/Uploads/docs/3.%20J.Rubio_RENOVAGAS_Presentacion%20Jornada%20PTEHPC.pdf)>. Acesso em 06 nov. 2019.

RICO, C.; RICO, J. L.; TEJERO, I.; MUÑOZ, N.; GÓMEZ, B. Anaerobic digestion of the liquid fraction of dairy manure in pilot plant for biogas production: Residual methane yield of digestate. **Waste Management**. V. 31, p. 2167-2173, 2011.

ROSA, A. P. et al. Assessing the potential of renewable energy sources (biogas and sludge) in a full-scale UASB-based treatment plant. **Renewable Energy**. V. 124, p. 21-26, 2018.

RUIZ, D.; SAN MIGUEL, G.; CORONA, B.; GAITERO, A.; DOMÍNGUEZ, A. Environmental and economic analysis of power generation in a thermophilic biogas plant. **Science of the Total Environment**. V. 633, p. 1418-1428, 2018.

SEBIGAS COTICA. **Biodigestor CSTR – Reator de fluxo e agitação contínuos**. Disponível em: < <http://sebigascotica.com.br/tecnologia/cstr-biodigestor>>. Acesso em: 24 out. 2019.

SENAI. **Oportunidades da Cadeia Produtiva de Biogás para o Estado do Paraná**. Paraná: Curitiba: Senai/PR. 2016. ISBN 978-85-5520-015-1.

TORRELLAS, M., et al. Different approaches to assess the environmental performance of a cow manure biogas plant. **Atmospheric Environment**. V. 177, p. 203-213, 2018.

VANTI, C. V. M.; LEITE, L. C.; BATISTA, E. A. Monitoring and control of the processes involved in the capture and filtering of biogas using FPGA embedded fuzzy logic. **IEEE latin america transactions**. V. 13, p. 2232-2238, 2015.

VIEIRA, M. M. F. V. **A comparative study on quality management in the brazilian and the Scottish prison service**. 1996. Tese (Doutorado PhD on Business Studies) – Scotland, University of Edinburg, Edimburgo, 1996.

WALTER BORGES DE OLIVEIRA, S. V.; LEONETI, A. B.; MAGRINI CALDO, G. M.; BORGES DE OLIVEIRA, M. M. Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property. **Biomass and bioenergy**. V. 35, p. 2608-2618, 2011.

XPRT. **Covered in Ground Anaerobic Reactor (CIGAR)**. Disponível em: < <https://www.energy-xprt.com/services/covered-in-ground-anaerobic-reactor-cigar-201949>>. Acesso em: 24 out. 2019.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia da pesquisa**. 2. Ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2011.



## **APÊNDICE A - Questionário de Pesquisa**

As perguntas a seguir fazem parte da entrevista realizada com Francisco Repullo Almagro, membro da AEBIG. Tais perguntas são discutidas no tópico 4 deste trabalho.

1. Qual é o grau de interesse de um agricultor ou pecuarista no uso de resíduos gerados para produzir biogás?
2. Qual é o grau de interesse de uma indústria no uso de resíduos gerados para produzir biogás?
3. Qual é o tamanho médio dos agricultores ou pecuaristas na Espanha? Se forem pequenos, estes tem interesse em investir em tecnologias mais modernas e caras? Esses produtores se organizam para ter volume e introduzir biodigestores? Como?
4. Quais as fontes de biomassa mais utilizadas ou que possuem maior potencial?
5. Qual tecnologia para geração de biogás é mais utilizada na Espanha?
6. Qual o enfoque do uso de biogás? Venda direta do biogás? Geração de biometano? Geração de energia? Venda de CO<sub>2</sub>? Venda de biofertilizantes? Entre outros.
7. Que perspectivas ou tendências existem na Espanha para o biogás em relação ao mercado? Existe perspectiva de crescimento?
8. Existem leis sobre a fabricação ou uso do biogás? Como funciona? Existe alguma lei relacionada com incentivos fiscais, transporte de resíduos, animais mortos, etc?
9. Existe alguma previsão de um maior investimento em tecnologia?
10. Quanto ao desenvolvimento de novas tecnologias, como esta a Espanha?
11. Existem informativos, guias ou estudos sobre biogás na Espanha? Se sim, poderia me enviar alguns para complementar as pesquisas?
12. Os agricultores, pecuaristas e donos de indústria tem alto interesse em produzir biogás ou querem apenas tratar os resíduos para disposição final? Os produtores vêm a produção de biogás como um modelo de negócio rentável?

**APÊNDICE B - Artigos obtidos por meio da RBS**

**Quadro 5 – Informações dos artigos selecionados sobre o Brasil por meio da RBS**

<b>Nº</b>	<b>Nome do artigo</b>	<b>Autores</b>	<b>Ano</b>	<b>Journal</b>
1	The Brazilian Market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study	F.F. Freitas , S.S. De Souza <sup>a,*</sup> , L.R.A. Ferreirac , R.B. Ottoc , F.J. Alessiod , S.N.M. De Souzae  O.J. Venturinia , O.H. Ando Juniorb	2019	Renewable and Sustainable Energy Reviews
2	Utilization of residues from rice parboiling industries in southern Brazil for biogas and hydrogen-syngas generation: Heat, electricity and energy planning	Willian Cezar Nadaleti	2019	Renewable energy
3	Assessing the potential of renewable energy sources (biogas and sludge) in a full-scale UASB-based treatment plant	A.P. Rosa a, *, C.A.L. Chernicharo b , L.C.S. Lobato b, R.V. Silva b, R.F. Padilha b, J.M. Borges c	2018	Renewable Energy
4	Electricity generation from biogas on swine farm considering the regulation of distributed energy generation in brazil: a case study for Minas Gerais	Adriano da S. Antônio, Delly Oliveira Filho, Samuel C. da Silva	2018	Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering
5	Vinasse biogas for energy generation in Brazil: An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO2 emissions	Andressa Picionieri Bernal, Ivan Felipe Silva dos Santos, Ana Paula Moni Silva, Regina Mambeli Barros, Erwin Martuscelli Ribeiro	2017	Journal of Cleaner Production
6	Technical-economic assessment of different biogas upgrading routes from vinasse anaerobic digestion in the Brazilian bioethanol industry	Rodrigo Marcelo Leme, Joaquim E.A. Seabra	2016	Energy.
7	Effects of stirring on cassava effluent treatment in an anaerobic horizontal tubular pilot reactor with support medium – A Review	Osvaldo Kuczman, Maria Hermínia Ferreira Tavares, Simone Damasceno Gomes, Luciana Pagliosa Carvalho Guedes, Geovane Grisotti	2017	Renewable and Sustainable Energy Reviews
8	Economic and CO2 avoided emissions analysis of WWTP biogas recovery and its use in a small power plant in Brazil	Ivan Felipe Silva dos Santos, Nathália Duarte Braz Vieira, Regina Mambeli Barros, Geraldo Lucio Tiago Filho, Davi Marcelo Soares, Lucas Velloso Alves	2016	Sustainable Energy Technologies and Assessments

**Quadro 5 (Cont.) – Informações dos artigos selecionados sobre o Brasil por meio da RBS**

<b>Nº</b>	<b>Nome do artigo</b>	<b>Autores</b>	<b>Ano</b>	<b>Journal</b>
9	Exploring possibilities of energy insertion from vinasse biogas in the energy matrix of Paraná State, Brazil	Carlos Eduardo Camargo Nogueira, Samuel Nelson Melegari de Souza, Viviane Cavaler Micuanski, Ricardo Lessa Azevedo	2015	Renewable and Sustainable Energy Reviews
10	Monitoring And Control Of The Processes Involved In The Capture And Filtering Of Biogas Using Fpga-Embedded Fuzzy Logic	C. V. M. Vanti, L. C. Leite and E. A. Batista	2015	IEEE latin america transactions
11	Performance of up-flow anaerobic digester in solids removal and biogas production	Angelo G. Mari, Deonir Secco, Aírton Kunz, Thiago Edwiges, Alvaro Mari Junior, Elisandro P. Frigo, Helton J. Alves	2014	Journal of Food, Agriculture and Environment
12	Production potential of biogas in sugar and ethanol plants for use in urban buses in Brazil	Samuel Nelson Melegari de Souza, Augustinho Borsoi, Reginaldo Ferreira Santos, Deonir Secco, Elisandro Pires Frigo and Marcelo José da Silva	2012	Journal of Food, Agriculture and Environment
13	Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property	Sonia Valle Walter Borges de Oliveira, Alexandre Bevilacqua Leoneti, Glauco Mateus Magrini Caldo, Marcio Mattos Borges de Oliveira	2011	Biomass and bioenergy
14	Biogas/photovoltaic hybrid power system for decentralized energy supply of rural areas	Borges Neto, M.R., Carvalho, P.C.M., Carioca, J.O.B., Canafístula, F.J.F	2010	Energy Policy
15	Assessment of Collective Production of Biomethane from Livestock Waste for Urban Transportation Mobility in Brazil and the United States	Janaina Camile Pasqual, Harry Alberto Bollmann, Christopher A. Scott, Thiago Edwiges, Thais Carlini Baptista	2018	Energies
16	ADM1 Modelling of large-scale covered in-ground anaerobic reactor treating sugarcane vinasse	Marcelo Leite Conde Elaiuy, Aiduan Li Borrion, Davide Poggio, Julia Anna Stegemann, Edson Aparecido Abdul Nour	2018	Water Science & Technology
17	Technical assessment of mono-digestion and co-digestion systems for the production of biogas from anaerobic digestion in Brazil	Jean Agustin Velásquez Piñas, Osvaldo José Venturini, Electo Eduardo Silva Lora, Orly Denisse Calle Roalcaba	2018	Renewable energy

**Quadro 5 (Cont.) – Informações dos artigos selecionados sobre o Brasil por meio da RBS**

Nº	Nome do artigo	Autores	Ano	Journal
18	Economic and financial viability of digester use in cattle confinement for beef	Stela B. Montoro, David F. L. Santos, Jorge de Lucas Junior	2017	Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering
19	Gas emission and efficiency of an engine-generator set running on Biogas	Samuel N. M. De souza, Anderson m. Lenz, Ivan werncke, Carlos E. C. Nogueira, Jhonatas Antonelli, Juliano de Souza	2016	Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering

Fonte: Autorial Própria (2019)

**Quadro 6 – Informações dos artigos selecionados sobre a Espanha por meio da RBS**

Nº	Nome do artigo	Autores	Ano	Journal
1	GIS-based model for determining the optimal potential of co-digestion mixtures in the Spanish Iberian Peninsula	A. González-Martínez, M. de Simón-Martín, A.M. Díez Suárez, Á. de la Puente-Gil, M.Á. Ramos Malmierca and L. Álvarez-de Prado	2019	Renewable Energy and Power Quality Journal
2	Enhancing the efficiency of thermal hydrolysis process in wastewater treatment plants by the use of steam accumulation	García-Cascallana, J., Borge-Díez, D., Gómez, X	2019	International Journal of Environmental Science and Technology
3	Environmental and economic analysis of power generation in a thermophilic biogas plant	D. Ruiz, G. San Miguel, B. Corona, A. Gaitero, A. Domínguez	2018.	Science of the Total Environment
4	Different approaches to assess the environmental performance of a cow manure biogas plant	Marta Torrellas, Laura Burgos, Laura Tey, Joan Noguerol, Victor Riau, Jordi Palatsi, Assumpció Antón, Xavier Flotats, August Bonmatí	2018	Atmospheric Environment
5	Energy self-sufficiency through hybridization of biogas and photovoltaic solar energy: an application for an Iberian pig slaughterhouse	A. González-González, M. Collares-Pereira, F. Cuadros, T. Fartaria	2013	Journal of Cleaner Production
6	Environmental treatment of slaughterhouse wastes in a continuously stirred anaerobic reactor: Effect of flow rate variation on biogas production	A. Marcos, A. Al-Kassir, F. López, F. Cuadros, P. Brito	2012	Fuel Processing Technology
7	Anaerobic digestion of the liquid fraction of dairy manure in pilot plant for biogas production: Residual methane yield of digestate	Carlos Rico, José Luis Rico, Iñaki Tejero, Noelia Muñoz, Beatriz Gómez	2011	Waste Management

Fonte: Autorial Própria (2019).