



ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



02 a 04
de dezembro 2020

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

Karen Godoi van Mierlo

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção – UTFPR-PG

Renata Bersch

Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção – UTFPR-PG

Mariane Bigarelli Ferreira

Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção – UTFPR-PG

Fabio Neves Puglieri

Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção – UTFPR-PG

Resumo: Conforme a população mundial cresce, 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 que isso ocorra 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.

Biogas production in Brazil and Spain: a comparative study

Abstract: 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.

1. Introdução

Com o aumento da população global e o número de consumidores ativos no mercado, maior é a quantidade de resíduos gerados e maior é a demanda energética. Isso faz com que exista a necessidade de criar um sistema mais sustentável. Neste contexto, é possível implementar a economia circular, um modelo que busca a manutenção de produtos em um ciclo durante o maior tempo possível (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013).

Dentre todos os compostos gerados pela população mundial, pode-se citar a biomassa, a qual pode ser convertida em biogás, por meio de processos de biodigestão. O biogás pode ser utilizado como fonte para geração de energia elétrica, térmica, biofertilizante, entre outros. Este 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).

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). Considerando isso, esta pesquisa tem o objetivo de realizar um estudo comparativo entre a produção de biogás na Espanha e no Brasil, investigando a produção em ambos os países, para discutir as semelhanças, diferenças e oportunidades para o Brasil.

2. Metodologia

A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio de um Roadmap para Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011). As Strings de busca utilizadas para a pesquisa foram: “Biogas” AND “Brazil” e “Biogas” AND “Spain”. Com as palavras chave escolhidas, foram definidas as bases de dados (Scopus e Web of Science) e os critérios utilizados para busca (artigos de revisão e pesquisa, publicados entre 2009 e 2019). Do total de 531 artigos encontrados, 27 foram utilizados.

O estudo de caso consistiu em uma entrevista realizada com um especialista da AEBIG (Associação Espanhola de Biogás). A entrevista foi realizada apenas na Espanha com o intuito de encontrar informações complementares, tendo em vista que o número de estudos que tratam sobre a produção de biogás na Espanha é menor que no Brasil. A entrevista consistiu em 12 perguntas, desde o interesse da Espanha na produção de biogás até as perspectivas, fontes de biomassa, tecnologias mais utilizadas, entre outros aspectos.

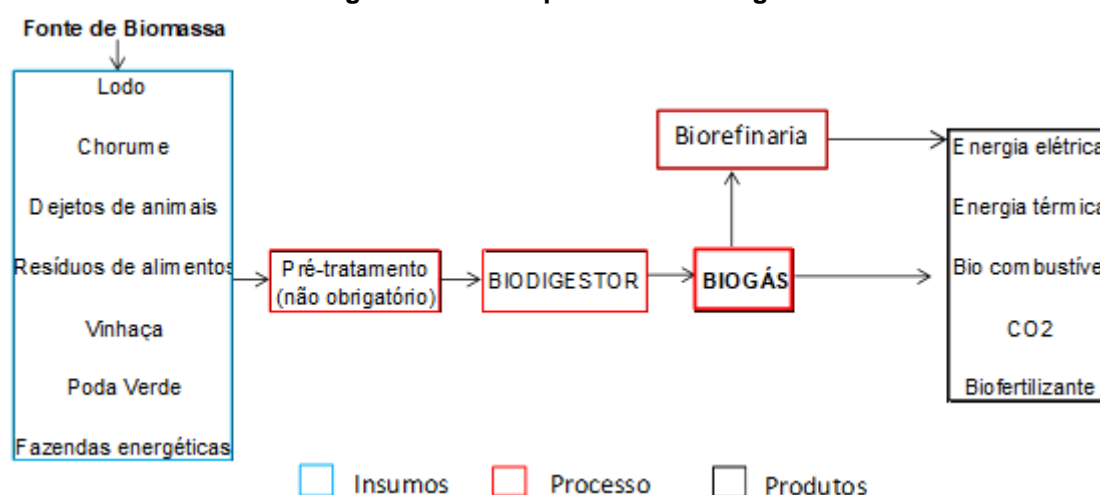
3. Referencial teórico

3.1. Biogás

Fontes renováveis de energia podem auxiliar no combate aos impactos ambientais, visto que são duráveis e não invasivas (GOLDEMBERG, LUCON, 2007). As energias renováveis são aquelas que 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).

Entre os diversos usos da biomassa, pode-se citar a geração de biogás. O biogás 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 (CH₄), 25 a 50% de gás carbônico (CO₂), além de uma pequena quantidade de hidrogênio, amônia e alguns outros gases (SENAI, 2016; FNR, 2010). A Figura 1 mostra uma visão geral da cadeia produtiva do biogás.

Figura 1 - Cadeia produtiva do biogás



Fonte: Adaptado de SENAI (2016), IDAE, (2011)

A primeira etapa da cadeia mostra as fontes de biomassa mais utilizadas. Após definida a biomassa/substrato 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).

Após os pré-tratamentos, a biomassa é direcionada ao biodigestor, onde acontecerá a digestão anaeróbica (biodigestão), que 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, a depender do tipo de biodigestor escolhido e da fonte de biomassa utilizada (LEME; SEABRA, 2017). Os modelos de biodigestores mais utilizados são:

- CSTR (*Continuous-flow Stirred Tank Reactor*): possui fluxo de entrada de biomassa e agitação que trabalham de maneira contínua. Este tipo de biodigestor digere qualquer tipo de biomassa, sua manutenção é pouco complexa e possui um sistema de mistura que trabalha com elevado desempenho (gera grande quantidade de biogás). Uma das

poucas desvantagens desse reator é o tempo de retenção hidráulica, além do alto custo de implementação (SEBIGAS COTICA, 2019; BALTMAN, 2005).

- UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor): utilizado em geral para tratar resíduos de estações de tratamento de esgoto ou efluentes industriais. Entre as vantagens desse biodigestor está a geração de metano ao fim do processo, baixo acúmulo de lodo, não possuindo necessidade de grande área para instalação e nem de altos investimentos, além de não consumir grande quantidade de energia. Como pontos negativos, este tipo de reator requer um maior tempo de retenção hidráulica, também pode gerar maus odores e até mesmo sofrer corrosão (CESA, 2019).
- Canadense (lagoa coberta, da Marinha ou *plug flow*): é o biodigestor mais usado atualmente. Sua base tem formato de 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). É uma tecnologia indicada para solos rasos, possui fácil manutenção e baixo custo, tanto de instalação quanto de produção. Como desvantagens, uma grande área fica exposta ao sol, sofrendo variações de temperatura e, a duração é menor, pois a lona 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 inferior ao CSTR.
- CIGAR: O reator do tipo CIGAR não é muito utilizado. É 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 (XPRT, 2019).

As opções de uso do biogás serão exploradas nos próximos dois tópicos (3.2 e 3.3) com atenção nas realidades brasileira e espanhola.

3.2. Produção de biogás na Espanha

Os dados apresentados nesta seção são provenientes da RBS e têm por objetivo mostrar a realidade da Espanha em relação à produção de biogás. São apresentados os dados da 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.

O primeiro artigo fez uma análise de viabilidade na península Ibérica espanhola. Foram analisados vários tipos de resíduos 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 a biomassa utilizada gerada por produtores próximos da usina. Foi utilizado um reator do tipo contínuo, onde a energia gerada é convertida em energia elétrica para ser utilizada na cidade onde a usina está instalada (MARTÍNEZ et al., 2019).

O segundo artigo abordou a 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 foi o próprio lodo gerado na estação. O acumulador de vapor armazena o vapor na forma de água saturada, reduzindo o uso de biogás pela caldeira. Um reator de hidrólise foi usado para gerar o biogás. A energia gerada foi utilizada na própria estação.

Um caso real em Astúrias apresenta uma planta de geração de biogás. Resíduos agroalimentares, lodo de esgoto e estrume de suínos e vacas foram usados como biomassa no processo. Tais resíduos, líquidos ou semilíquidos, são armazenados em tanques. Após sair do tanque a biomassa é triturada e homogeneizada por um triturador industrial. Por fim, é encaminhada a um digestor termofílico e depois mesofílico (reator

CSTR). O biogás gerado passa por dessulfurização biológica (para redução de H₂S). A finalidade é transformar o biogás em energia elétrica e térmica (RUIZ et al., 2018).

O quarto artigo utilizado aborda um caso real na região da Catalunha. Torrelas et al. (2018) estudam uma fazenda com 920 cabeças de gado leiteiro, que possui uma usina de biogás acoplada. Essa usina 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 utilizado para gerar energia elétrica (vendida para a rede) e térmica (aquecimento de reatores do próprio processo).

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.

Em outro caso, 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 (MARCOS, 2012).

O último artigo encontrado analisou a viabilidade de uma planta piloto, em Cantábria. A biomassa utilizada foi o estrume leiteiro (fração líquida filtrada), vindo de uma fazenda próxima à planta. O biogás foi gerado em digestor CSTR, com bomba de recirculação para manter o conteúdo bem misturado. A energia elétrica gerada teria capacidade para suprir 2% da demanda de Cantábria (RICO, 2011).

3.3. Produção de biogás no Brasil

O primeiro artigo analisou um caso na cidade de São Miguel do Iguaçu, no Paraná. A fazenda trabalha com a produção de porcos, sendo a biomassa os efluentes dessa produção. Foram utilizados biodigestores do tipo canadense (lagoa coberta). O biogás gerado é utilizado para a produção de energia elétrica, sendo parte utilizada na fazenda e o restante vendido à rede (COPEL) (FREITAS et al., 2019).

Outro estudo realizado por Nadaleti (2019) foi uma análise de viabilidade, no estado do Rio Grande do Sul. Tal análise foi feita aplicada em uma indústria de produção de arroz, sendo a biomassa utilizada, as cascas e efluentes provenientes da parbolização do arroz. Um reator UASB foi utilizado para geração do biogás, com finalidade para a geração de energia elétrica e térmica, utilizadas dentro da própria indústria.

Outra análise de viabilidade foi realizada em Itabira, Minas Gerais, em uma estação de tratamento de esgoto. A biomassa utilizada foi o lodo proveniente da estação, sendo o biogás gerado em um reator UASB. O uso do biogás é para geração de energia elétrica, 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 realizaram uma análise de viabilidade em Minas Gerais, em uma fazenda de criação de suínos, de médio porte. A biomassa utilizada foram os resíduos da produção de suínos, sendo o biogás gerado por meio de um lago anaeróbico. A finalidade foi energia elétrica, utilizada para atender as necessidades da própria fazenda.

Outra análise de viabilidade foi feita utilizando plantas da produção de etanol, em distintas regiões do Brasil. A biomassa utilizada foi a vinhaça provinda da cana de açúcar. A tecnologia utilizada para geração de biogás foram reatores UASB, posteriormente o biogás foi enviado a uma unidade de tratamento para remoção do H₂S (ação necessária quando se trata de vinhaça) e por fim o biometano foi convertido em energia elétrica. 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 CO₂ (BERNAL et al., 2017).

Em uma destilaria, foi realizada uma análise sobre a viabilidade da produção de biometano. A biomassa utilizada é 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 H₂S, H₂O e CO₂ devem ser removidos. 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 Minas Gerais um estudo analisou a viabilidade 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 o biogás gerado em um reator UASB. A energia elétrica é utilizada para suprir a demanda da estação e reduzir a emissão de CO₂ para a atmosfera (DOS SANTOS, 2016).

Nogueira et al. (2015) estudaram a viabilidade da vinhaça como fonte de biomassa, no estado do Paraná. O biodigestor de fluxo tubular (plug flow) converte a vinhaça em biogás. Neste processo, a agitação seria realizada por meio de recirculação de biogás. A finalidade foi a geração de energia elétrica, que seria vendida para o fornecedor local de energia (COPEL).

Uma análise de desempenho foi realizada em uma estação de tratamento de esgoto, no 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).

Outro caso real é de uma pequena fazenda 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. Este modelo de digestor serve para suprir as necessidades de pequenos produtores, que fazem parte de um condomínio agro energético de agricultura familiar, sendo assim, o biogás é utilizado para gerar energia elétrica, térmica, entre outros fins (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, além de os resíduos já processados poderem ser utilizados como adubo. Além da emissão evitada de 16,6 toneladas de CO₂.

Walter et al. (2011) analisaram um caso real em uma grande propriedade no estado de São Paulo, onde existe a criação de suínos. A biomassa utilizada é o estrume gerado pelos animais e também o sangue após o abate, sendo a gordura dos animais utilizada

para produzir biodiesel. O biogás é gerado por meio de mini biodigestores, que são que uma vala, revestida e coberta por uma lona, a qual não permite a saída do biogás produzido. A energia elétrica, o biodiesel, a glicerina (usada para fabricar sabão) e biofertilizantes gerados são utilizados para suprir demandas da própria fazenda.

No Ceará, foi avaliada 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. Trata resíduos gerados por 33 pequenas propriedades. A biomassa utilizada é o esterco 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, o que gera uma produção constante de biogás. Os fazendeiros usam o biofertilizante, além de usar fogões movidos a biogás (energia térmica), evitando a emissão de até 2,4 ton de CO₂.

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 H₂S e motor a gás. A biomassa utilizada é a vinhaça da cana de açúcar. Um reator do tipo CIGAR é utilizado para gerar o biogás. A produção final é energia elétrica, a qual é enviada a rede de energia local.

Foram analisadas algumas usinas de pequeno, grande e médio porte pelo Brasil. A análise concluiu que a biomassa sendo a mistura entre estrume de gado, milho e capim (produzidos especificamente para gerar biogás) tem melhor potencial do que o uso exclusivo de estrume. As usinas analisadas possuem reatores do tipo CSTR, sendo a energia elétrica 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 esterco bovino será utilizado como biomassa para a digestão anaeróbica. A DA será realizada por meio de quatro biodigestores do tipo canadense. A finalidade é utilizar a energia elétrica e o biofertilizante para atender a 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 dos resíduos 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. Na segunda propriedade existe apenas um biodigestor também do tipo plug flow, com a finalidade de gerar energia elétrica e tratar os resíduos para disposição final. 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).

4. Resultados e discussões

A partir de todos os dados obtidos, incluindo a revisão bibliográfica e entrevista, foi construído o mapa mostrado na Figura 2.

Figura 2 – 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
  Dejeto suíno	 Lagoa Coberta	 Combustível (biometano)	
  Dejeto bovino	 UASB		
 Resíduos de alimentos	 Plug Flow		
  Frigoríficos	 Modelo Indiano		
 Resíduos de arroz	 CIGAR		
 Vinhaça cana-de-açúcar			
 Indústria de amido de mandioca			
 Dejeto caprino			
 Resíduos de milho			
 Capim			

Fonte: Autoria própria (2020)

Observa-se, de modo geral, que a produção de biogás na Espanha ocorre principalmente em estações de tratamento de águas residuais, ou seja, a partir de lodo de ETA/ETE. A tecnologia mais utilizada, quase que em todos os estudos, foi o reator do tipo CSTR (85,71% dos casos). Já a destinação final é o autoconsumo (energia elétrica e calor) ou venda para concessionária (eletricidade). O uso de biofertilizante foi considerado em apenas um estudo. Já no Brasil, a maior parte dos estudos são análises de viabilidade e são realizados em fazendas que possuem tecnologias para geração de biogás. As fontes de biomassa mais utilizadas são os dejetos da produção de animais (bovino e suíno) e a tecnologia mais utilizada para a digestão anaeróbica foram os reatores do tipo UASB, mais utilizados para gerar biogás a partir de lodo, utilizados em 31,58% dos casos.

No Brasil o biogás foi mais utilizado para gerar energia elétrica. 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 cana-de-açúcar).

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 os 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.). Algo que difere entre os dois países é que 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.

Outro 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

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 conseqüência a redução das emissões.

Para realização da digestão anaeróbia, a tecnologia mais utilizada 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.

Agradecimentos

Esta pesquisa conta com o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

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.

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.

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.

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.

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.

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 CO₂ 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.

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.

EUROTAST. **Estatísticas das energias renováveis**. Disponível em: 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. 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.

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

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.

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.

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.

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.