

Energias renováveis em cidades: Perspectivas de uso do biogás no Brasil

Letícia Moraes Neres

Mestra, Universidade Nove de Julho – UNINOVE, SP, Brasil.

leticianeresbio@uni9.edu.br

Heidy Rodriguez Ramos

Professora Doutora, Universidade Nove de Julho – UNINOVE, SP, Brasil.

heidyrr@uni9.pro.br

RESUMO

Um dos grandes desafios para o presente e o futuro das cidades, são novas fontes energéticas que permitam boa eficiência e baixo impacto ambiental. Neste sentido, o presente estudo analisou o biogás, fonte de energia oriunda da decomposição da matéria orgânica. Um ensaio teórico foi realizado a partir de pesquisa bibliográfica, com o objetivo de apresentar o cenário atual das diferentes perspectivas de produção e aplicação do biogás no Brasil, nas áreas urbanas e rurais do país. Os resultados observados evidenciaram que, em áreas rurais, o insumo para a produção do biogás provém sobretudo da criação animal, e que a forma de utilização é direcionada para a obtenção principalmente de energia térmica. Em áreas urbanas, praticamente toda a produção de biogás é realizada em aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto, dada a grande quantidade de matéria orgânica excedente da atividade de tratamento do lixo. Entretanto, ainda que o país contabilize índices relativamente importantes de produção e uso do biogás, ficou claro a partir do arcabouço teórico analisado que, não somente a quantidade gerada é muito baixa para os potenciais de geração no Brasil, como ainda há a evidente falta de tecnologias em relação aos biodigestores, além de uma fraca legislação de fomento ao biogás brasileiro, que levaram à conclusão de que a produção de biogás no país caminha a passos muito lentos. O estudo é limitado em relação ao detalhamento dos entraves observados, e, portanto, foi sugerido que estudos futuros busquem a análise aprofundada destas barreiras.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás.Cidades. Brasil.

1. Introdução

A geração e utilização de energia em todo o mundo há muitas décadas tem sido alvo de discussões e ações globais associadas com os impactos ambientais causados por essas atividades, desde a extração de matérias-primas, cuja maioria são recursos naturais não renováveis, até a instalação das estruturas geracionais do produto energético, além da utilidade propriamente dita, que em diversos contextos estão relacionados com emissão de poluentes (OMER, 2008).

Segundo Calvillo, Sánchez-Miralles e Villar (2016), as discussões modernas associadas com a cadeia energética mundial recaem sobre o contexto importante da constituição de cidades inteligentes. Os autores explicitam que esse tema é de grande complexidade, visto que há uma dificuldade muito relevante em delimitar as mesmas escalas de eficiência energética para regiões distintas. Outro grande desafio para o futuro das populações humanas é a gestão do lixo. Segundo Singh (2019), o aumento populacional acelerado que segue em crescente escala, conflitando com as dificuldades dos países em controlarem os impactos da produção de resíduos, tenderá a acentuar cada vez mais a necessidade por novas formas de gerir esses materiais, dada a lógica de que, quanto maior a quantidade de pessoas, maior a quantidade de dejetos produzidos.

O Brasil é um país referência no que tange à utilização de diversos tipos de biomassa para a produção energética (SANTOS; NASCIMENTO; ALVES, 2017). Esses autores ressaltam a diversidade de resíduos orgânicos utilizados para essa geração, sendo o principal a cana-de-açúcar para a produção do etanol, chegando até os resíduos urbanos. Genovese, Udaeta e Galvão (2006) destacam que dentro dos potenciais de fontes energéticas oriundas desses materiais, o biogás no contexto brasileiro aponta para a possibilidade de usufruir de diversos benefícios para a complementação das matrizes energéticas renováveis nacionais. Os autores ainda apontam as vantagens em áreas rurais do país, dadas as qualidades ambientais e econômicas desse subproduto.

Portanto, o presente estudo teve por objetivo analisar o panorama teórico atual acerca das principais formas de aplicação do biogás em regiões urbanas e rurais do Brasil, bem como

apresentar as normativas vigentes que respaldam o fomento a esta fonte na matriz energética nacional.

O presente estudo apresenta um referencial teórico a respeito dos principais temas que posicionam o biogás na discussão da reforma energética das cidades. Posteriormente, os procedimentos metodológicos são comentados. As etapas seguintes são compostas pelos resultados da pesquisa bibliográfica, os quais são divididos em diferentes tópicos, e ao final são expostas as considerações finais, bem como limitações do estudo e propostas de pesquisas futuras.

2. Referencial Teórico

No que tange à discussão desse tema no conceito das cidades inteligentes, Albino, Berardi e Dangelico (2015) frisam que, para atingir matrizes energéticas eficientes e sustentáveis, é interessante a diversificação das matérias-primas usadas para esse fornecimento, além de uma reestruturação da forma com a qual a energia é distribuída, e também a integração dessa logística com o planejamento de outras estruturas importantes para a dinâmica das cidades. Nesse sentido, Perea-Moreno, Hernandez-Escobedo e Perea-Moreno (2018) explicam que de 1977 a 2017 houve um crescimento expressivo na quantidade de pesquisas acerca de mapeamentos e estudos de caso, relacionados com soluções palpáveis para os gargalos que a modernização ambientalmente correta da oferta de energia enfrenta ao longo do tempo.

A International Energy Agency (IEA) apresentou por meio do documento World Energy Balances: Overview, que a principal fonte energética utilizada no mundo foi o petróleo (31,5%), seguido do carvão (26,9%) e do gás natural (22,8%). As três principais fontes são fósseis, e as energias renováveis representaram apenas 13,9% da matriz energética mundial, sendo a mais relevante os biocombustíveis com 9,3% (IEA, 2018a).

Nesse contexto, Kamyab, Klemeš, Fan e Lee (2020) discorrem sobre a oferta energética no mundo, defendendo a reorganização das matrizes energéticas partindo do princípio dos sistemas de energia inteligentes. Segundo os autores, para o desenvolvimento dessa logística é essencial elucidar as características de cada tipo de fonte existente na matriz energética local e quais os principais setores demandantes de energia. Além disso, ainda apontam para a inevitabilidade de serem considerados os níveis de redução de CO₂ emitidos nessas matrizes, e também para a magnitude da influência dos principais *stakeholders* participantes dessa cadeia no processo de criação desse novo sistema.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2021, com base no ano de 2020, as energias não renováveis representam a maior parcela de fontes utilizadas no país, considerando todas as fontes disponíveis e setores demandantes de energia. Ainda assim, cabe destacar a presença da biomassa da cana (19,1%) na matriz energética brasileira, cuja utilização fica atrás somente do petróleo e seus derivados (33,1%). Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), a região com a maior gama de energias renováveis em sua matriz é a Centro-Oeste, com 58% da sua matriz local sendo renovável, seguida pelo Sul (40,7%), Sudeste (40,5%), Norte (38,7%) e Nordeste (36,5%) (MME, 2017). A figura 1 apresenta os dados referentes à oferta interna de energia brasileira no ano de 2020.

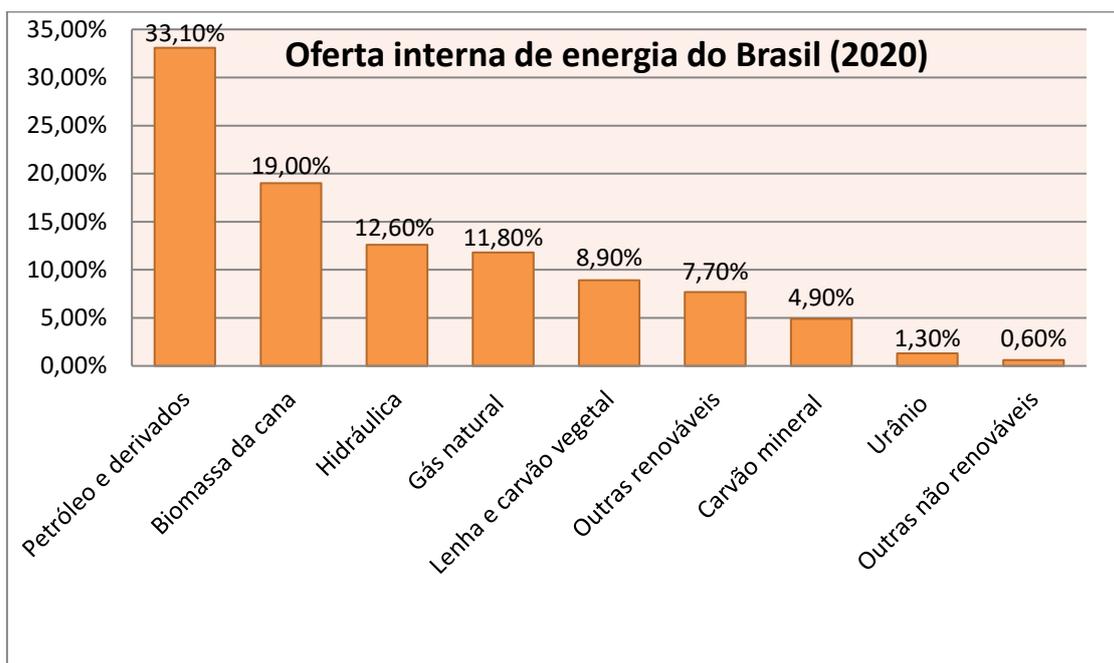


Figura 1. Oferta interna de energia do Brasil em 2019.

Fonte: Adaptado de “Balanço Energético Nacional” – Ministério de Minas e Energia & EPE – Relatório Síntese – Empresa de Pesquisa Energética, 2020, p.16.

Segundo Bellote et al. (2018) o Brasil constantemente busca modernizar os procedimentos de extração das propriedades energéticas de diversos tipos de biomassa, principalmente oriundas do setor sucroenergético para a geração do etanol. Nesse sentido, Tolmasquim (2016) afirma que a geração energética a partir da cana-de-açúcar é influenciada por fatores ambientais, de sazonalidade do próprio ciclo de vida do vegetal. Explica ainda, que em relação ao biogás, os aspectos sazonais não têm a mesma influência dadas as possibilidades de uso de diferentes tipos de substratos.

O BEN (2020) não contemplou o biogás como sendo uma fonte produzida e utilizada em quantidade relevante o suficiente para ser registrado em gráficos. A informação presente no relatório a respeito do biogás está relacionada com a quantidade de plantas de produção no país em operação, que no ano de 2019 ficou em torno de 186.

3. Metodologia

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica acerca dos temas de produção de biogás, caracterização e aplicação (no contexto urbano e rural) e tecnologias de produção e a legislação no Brasil. Esta abordagem metodológica tem por objetivo investigar detalhadamente determinados tópicos de estudo a partir de um conjunto de literaturas que sejam pertinentes ao objeto de estudo, e pertinentes em relação ao objetivo de pesquisa (PIZZANI et al., 2012).

Para a presente pesquisas, foram feitas buscas nas bases de dados Science Direct, Web of Science e Scopus. Foram utilizados os seguintes conjuntos de palavras-chave: “biogás”, “biogás utilização Brasil rural” e “biogás utilização Brasil urbano”.

4. Resultados

4.1 Benefícios do reaproveitamento dos resíduos orgânicos

De acordo com Das et al. (2019), há uma gama relevante de oportunidades para o reaproveitamento de resíduos orgânicos, no sentido de transformá-los visando ganhos financeiros e ambientais, a curto e longo prazo. No contexto de cidades inteligentes, há a premissa de explorar os impactos ambientais relacionados com a destinação final dos resíduos a ponto de torná-los base de novas soluções e ideias, como a pesquisa realizada por Cucchiella, D’Adamo e Gastaldi (2017), a qual explorou alternativas de modificar a gestão dos resíduos em Abruzzo, na Itália, a partir da criação de espaços de geração de energia a partir dos dejetos produzidos na região.

A gestão de resíduos abre a oportunidade de reaproveitamento de dejetos descartados em áreas urbanas e rurais nas cidades, conforme discorrem Kiyasudeen et al. (2016). Segundo os autores, os resíduos orgânicos podem ser convertidos em energia térmica, e essa prática permite não só criar uma nova fonte energética limpa, como também diminuir a quantidade de lixo despejado na natureza.

Ainda nesse contexto, Pleissner (2018) salienta que os benefícios do reaproveitamento de resíduos orgânicos estão direcionados para a produção descentralizada de energia elétrica, bem como para a mitigação da poluição atmosférica e do solo pela prática do aterramento. O autor explica que o processo natural da decomposição desses materiais emite gases poluentes, e o espaço destinado para os aterros demanda o desmatamento de grandes áreas verdes, além do perigo iminente de substâncias nocivas que percolam pelas camadas do solo. Outra vantagem considerável é o reaproveitamento do digestato subproduto proveniente do substrato aplicado em práticas de digestão anaeróbia para a produção do biogás, e que se mostrou eficiente na adequação de parâmetros químicos e físicos do solo, como apresentado por Castro et al. (2017) para a fertilização e recuperação de frações de solo.

4.2 Caracterização do biogás e suas aplicações

O biogás é altamente inflamável, originado a partir da decomposição anaeróbia de matéria orgânica, processo no qual bactérias com metabolismo adaptado para a funcionalidade com a ausência do oxigênio passam a fermentar esse material, criando como subproduto o metano, componente químico principal do biogás em interação constante com dióxido de carbono e outros gases e nutrientes (WEILAND, 2010).

A biodigestão é um processo natural do meio ambiente, uma vez que determinados organismos se alimentam ou retiram dessas substâncias, nutrientes para suas atividades metabólicas por meio de processos de fermentação sem a presença do oxigênio, caracterizando desta forma a biodigestão anaeróbia (DEGANUTTI et al., 2002). Os

biodigestores são equipamentos compostos basicamente por uma câmara impermeável e selada na qual esse ciclo acontece de forma controlada. Os formatos desses aparatos dependem de forma geral da quantidade de substrato orgânico que são capazes de receber (FRIGO et al., 2015).

Nesse sentido, é importante destacar a diferença entre o biogás para o biometano. Ryckebosch, Drouillon e Vervaeren (2011) explicam que o biometano é o produto purificado do biogás, e esse processo consiste basicamente em retirar componentes químicos como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), o dióxido de carbono (CO_2), hidróxido de amônia (NH_3) e até mesmo a água. Os autores explicam que essa “limpeza” pode prevenir problemas relacionados com o desgaste dos equipamentos de geração, armazenamento e distribuição do gás, uma vez que, a depender do objetivo de uso, as etapas de combustão podem gerar impactos de diversas vertentes, inclusive nocivos por perigo de explosões.

A digestão anaeróbia, processo que dá origem ao biogás, tem 4 etapas principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, respectivamente.

Na hidrólise, o metabolismo das bactérias produzem certas enzimas que começam a decompor a matéria orgânica, passando a convertê-la em moléculas menores e mais simples. Compostos como carboidratos, moléculas de gordura e proteínas passam, portanto, a serem convertidas em açúcares, aminoácidos e ácidos graxos (ACHINAS; ACHINAS; EUVERINK, 2017).

A segunda etapa, acidogênese, consiste na absorção das substâncias geradas na hidrólise por bactérias caracterizadas como fermentativas e acidogênicas, uma vez que a partir de sua atividade metabólica são excretados ácidos graxos, álcool, minerais e ácidos láticos, entre outros tipos de compostos (SOARES; FEIDEN; TAVARES, 2017).

A acetogênese é constituída por processos nos quais bactérias de metabolismo acetogênico convertem ácidos graxos e outros produtos oriundos da acidogênese, transformando-os em moléculas de ácido acético, dióxido de carbono e hidrogênio (LOHANI; HAVUKAINEN, 2018).

Última etapa da digestão anaeróbia, a metanogênese tem como particularidade a baixa tolerância a mudanças bruscas do ambiente no qual o processo está acontecendo, e se dá pela conversão do hidrogênio, do ácido acético, água e dióxido de carbono em metano, sendo este último o principal subproduto da digestão anaeróbia e o principal composto do biogás (VALIJANIAN et al., 2018).

De acordo com a Associação Brasileira de Biogás e Metano (ABiogás), o biogás é uma fonte energética que detém características relevantes para a modernização da matriz energética nacional, uma vez que a produtividade por meio dos biodigestores é totalmente controlável e previsível (ABiogás, 2016). Nesse sentido, a versatilidade da aplicação de biodigestores se destaca como um ponto positivo, visto que o material orgânico que irá alimentar a produção não precisa ser necessariamente de alimentos descartados em lixos domiciliares, podendo ser utilizado também fezes de animais e outros tipos de matéria orgânica.

Apesar das diversas vantagens, o biogás ainda é uma fonte que carece de estruturação em diversas vertentes, esbarrando em uma série de entraves importantes que impedem sua disseminação de forma mais acentuada, conforme explicam Nevzorova e Kutcherov (2019). De acordo com os autores, a qualidade e a quantidade de biogás produzido é altamente

influenciado pelas condições em que esta geração e posterior utilização se dão, fato que torna o biogás dependente da avaliação e controle de variáveis, que, além de não serem totalmente conhecidas, são complexas de controlar.

4.2.1 Aplicação no meio rural

Um estudo realizado por Ortiz, Pfaff e Dienst (2017) aponta que a maior difusão da produção de biogás no contexto rural de países em desenvolvimento de forma geral perpassa por alguns critérios essenciais. O mais comum, segundo os autores, é que o aproveitamento do biogás se dê para fins domésticos como gás de cozinha, criação de animais e produção agrícola. Para aumentar os ganhos sustentáveis a partir dessa prática é necessário que novas tecnologias sejam acessíveis aos moradores dessas áreas, e que essa população seja capaz de traçar planos estratégicos de integração logística, a partir do seu cultivo, até a geração e utilização final do biogás para potencializar os benefícios.

Na Europa a produção do biogás a partir dos biodigestores está concentrada em fazendas. O reaproveitamento dos resíduos orgânicos para a transformação em energia é fruto de políticas de escalas temporais diferentes (curto, médio e longo prazo), visando principalmente tornar os países europeus sustentáveis e eficientes no que se refere às matrizes energéticas nacionais, como explicam Garcia et al. (2019).

No Brasil, a pesquisa realizada por Freitas et al. (2019) investigou a possibilidade de produção do biogás em uma fazenda no Paraná a partir de dejetos de suínos. Os autores observaram que o biogás produzido era de qualidade satisfatória, diminuindo em paralelo as emissões de CO₂ na atmosfera. O estudo feito por Bernal et al. (2017) foi direcionado para a geração de biogás oriundo da vinhaça. Para os autores, as propriedades do gás gerado mostraram condições favoráveis para o uso como biometano, indo de encontro ao benefício do reaproveitamento de grandes quantidades de vinhaça excedentes da produção da cana de açúcar no país.

A pesquisa de Moura et al. (2017) permitiu observar que o projeto estudado em uma chácara em Minas Gerais, com biodigestor alimentado por dejetos de bovinos, apresentou boa viabilidade econômica principalmente no que tange o retorno financeiro de investimento, evidenciando a possibilidade de autonomia energética de produtores rurais com a utilização do biogás. Em contrapartida, Ribeiro et al. (2018) observaram que um projeto para produção de biogás em fazenda cujo substrato foi composto de dejetos de aves não apresentou bons parâmetros de custo-benefício, dado que a produção de energia elétrica projetada a partir do uso do biogás gerado no estudo não foi atrativo do ponto de vista financeiro e econômico, atestando a importância do contexto de produção.

4.2.2 Aplicação no meio urbano

A China é um país modelo no que diz respeito à quantidade de plantas de biogás distribuídas pelo país. Nas áreas urbanas, a geração do biogás obtida principalmente em estações de tratamento de esgoto e a partir de resíduos industriais com o reaproveitamento sendo conduzido para as próprias edificações adjuntas aos locais, conforme apresentado por

Deng et al. (2017), que também salientam a crescente adoção de tecnologias para produção do biogás a partir de resíduos orgânicos residenciais em algumas cidades do país asiático, como Chongqing desde 2009 e Beijing, desde 2012.

No Brasil, a geração de biogás em áreas urbanas é fortemente ligada a aterros sanitários, com uma série de técnicas diferentes em projetos diversos, como apresenta o estudo de Nascimento et al. (2019). De acordo com a pesquisa, os aterros que captam o gás para a produção de energia elétrica estão concentrados principalmente no estado de São Paulo, e a eletricidade produzida é injetada em redes da AES Eletropaulo e da Companhia Piratininga de Força e Luz (CPFL). Neste contexto, cabe destacar que em áreas urbanas a produção e o uso do biogás está essencialmente relacionada com a estrutura do saneamento básico local, uma vez que a quantidade de resíduos, sua composição e forma de tratamento irá embasar toda a cadeia produtiva do gás, sendo estritamente importante todo o investimento feito neste tipo de serviço (OLIVEIRA; NEGRO, 2019).

Na cidade de Pouso Alegre, no estado de Minas Gerais, Raimundo et al. (2017) fizeram projeções econômicas com base em aspectos como o custo de produção, o valor estimado da energia que o biogás tem potencial de produzir, e a quantidade de energia utilizada em estação de tratamento de esgoto do município. Foi considerado um biodigestor do tipo convencional, sem detalhamento, e um biodigestor do tipo UASB. Os autores afirmam que os resultados apontaram para inviabilidade de um projeto que incluía distribuição energética para além da estação de tratamento, porém, verificaram que existem condições para reaproveitamento energético em uso interno nas instalações da ETE da cidade quando a geração foi simulada no reator UASB.

Em Campinas – SP, foi estimado o custo-benefício de um projeto para captação do biogás no aterro da cidade levando em consideração estimativas de produção de resíduos, de aumento populacional, de disponibilidade orçamentária e de flutuação financeira entre os anos de 2018 e 2038, no qual os autores identificaram boas oportunidades de produção do biogás de aterro (FREITAS et al., 2019).

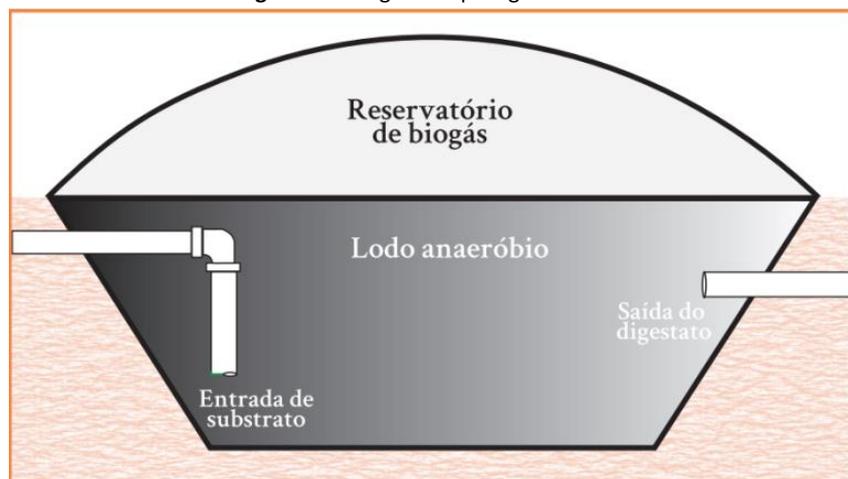
4.3 Tecnologias de produção

Parte das tecnologias acerca da produção do biogás vêm dos tipos de biodigestores utilizados. Uma vez que o substrato é a base da digestão anaeróbia e conseqüentemente, da produção do gás, biodigestores com sistemas próprios de agitação prestam um papel de muita influência na capacidade geradora de uma planta de biogás, e nesse contexto, equipamentos como os do tipo Continued Stirred Tank Reactor (CSTR), são observados como estruturas capazes de receber substratos mais diversificados, dado que alguns desses reatores são fabricados com sistema de agitação interno, poupando etapas de pré-tratamento dos resíduos (KRESS et al., 2018).

Amaral, Steinmetz e Kunz (2019) explicam que, no Brasil, os principais biodigestores utilizados são dos tipos lagoa coberta, Upflow Stirred Tank Reactor (UASB) e CSTR. Os autores afirmam que o tipo lagoa coberta é constituído de uma cobertura sobre uma escavação no solo no qual o substrato é colocado, sendo constantemente utilizado em propriedades rurais. O biodigestor UASB é comumente alimentado por substratos em forma de lodo, é formado por

uma estrutura cilíndrica, na qual o substrato entra por canos no interior do equipamento e a digestão anaeróbia acontece. A figura 2 ilustra um biodigestor tipo lagoa coberta.

Figura 2: Biodigestor tipo lagoa coberta.



Fonte: Recuperado de “Os biodigestores” - Amaral, Steinmetz & Kunz (2019).

Sahota et al. (2018) descrevem tecnologias para refinar o biogás em biometano de maneira mais sustentável. Os autores citam alguns métodos, como o de absorção física pelo uso da água em depurador, absorção por reação de solvente químico rico em aminas, que aderem e reagem ao sulfeto de hidrogênio (H_2S) e ao dióxido de carbono (CO_2). Além disso, comentam ainda que há algumas tecnologias emergentes, tais como a separação criogênica do metano (que gera altos custos de operação e de energia, mas com índices altíssimos de concentrações de metano ao final do processo), movimentação de substratos lodosos para a absorção do CO_2 , assim como a integração de diversos métodos aplicados paralelamente, quando possível.

No que tange a distribuição, o biogás pode ser introduzido nos canais de distribuição comuns de gás, sendo importante, no entanto, observar a quantidade produzida e a ser distribuída, à fim de verificar se é viável a criação de uma nova rede de disponibilidade caso necessário (ADNAN et al., 2019). Gustafsson et al. (2020) observam, em contrapartida, que variáveis relevantes precisam ser previamente consideradas, como a distância da rede de distribuição, impactos ambientais e viabilidade econômica, ressaltando que para distribuição de grandes distâncias é interessante investir na liquefação do gás.

4.5 Legislação voltada para a geração de biogás e biometano no Brasil

No dia 26 de dezembro de 2017, foi instituída a lei nº 13.576/17, a qual dispõe a Política Nacional de Biocombustíveis – o RenovaBIO. Essa normativa é parte integrante da Política Energética Nacional, sobre incentivos relacionados à produção de energia elétrica e outros subprodutos a partir da biomassa para a integração de fontes renováveis na matriz energética nacional (Lei n. 13.576, 2017).

As resoluções da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) nº 482/12 e nº 687/15 representam um marco na legislação de incentivo a utilização de energias renováveis

para produzir eletricidade, entre eles a biomassa (ALTOÉ et al., 2017). A resolução nº 482/12 constitui os sistemas de acesso a micro e minigeração distribuída e de compensação por energia produzida em pequenas unidades geradoras de eletricidade. Ou seja, estabelece que um determinado consumidor, em caso de produção elétrica oriunda de determinadas fontes renováveis, pode ceder parte de sua distribuição para a rede local e posteriormente ser recompensado com tipos diferentes de créditos (ANEEL, 2016). Em formato de revisão desta norma, foi promulgada a resolução nº 687/15, a qual teve por objetivo adequar aspectos e estabelecer normativas novas para ampliar as possibilidades de unidades de micro e minigeração distribuída, autorizando a produção elétrica proveniente de quaisquer fontes renováveis, além de orientações para a organização de consórcios, cooperativas, aumento do prazo para a utilização dos créditos, possibilidade de utilização dos créditos em diferentes instalações de um mesmo titular, entre outros benefícios (ANEEL, 2018).

5. Considerações finais

O biogás é uma fonte relativamente emergente no Brasil, de forma geral. Em determinadas localidades do território nacional, é inexplorada. Em outras regiões, é instrumento de geração energética na prática para variados setores. Diversas pesquisas científicas atestaram o potencial de produção e uso do biogás pelo país. Entretanto, permanecem até a atual data, as dificuldades de incluir essa fonte nas matrizes energéticas locais, dados justamente a entraves que, diante da disparidade de informações comentada, podem ser considerados de uma forma geral como desconhecidos.

O ensaio teórico desenvolvido no presente estudo buscou apresentar o cenário atual a respeito das principais aplicações do biogás no país. Observou-se uma diferença relevante entre as técnicas de produtividade desta fonte em áreas urbanas e rurais brasileiras. Nas grandes metrópoles, a matéria orgânica provém, em sua grande maioria, de resíduos de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto. Neste ponto, cabe destacar as possibilidades de redirecionamento destes dejetos para o reaproveitamento energético, pontuado pelos autores.

Em áreas rurais, ficaram evidentes as diferentes formas de reuso dos dejetos de criação animal para produção de biogás, fato que é oportuno para produtores agrícolas, uma vez que a geração do biogás local oferece uma fonte energética térmica para fins variados.

Em relação à realidade tecnológica, o Brasil ainda carece de melhores biodigestores, tanto em cidades quanto no campo, além de esbarrar em dificuldades, sobretudo financeiras, no que diz respeito à conversão do biogás em biometano. A legislação brasileira vigente para fomento ao biogás é constituída de normativas locais, sem um plano nacional de inserção desta fonte na matriz energética nacional. As resoluções ANEEL nº 482/12 e 687/15, bem como o RenovaBIO, representam avanços importantes, mas ainda aquém das possibilidades produtivas no Brasil.

Portanto, o presente artigo permite concluir que a produção do biogás no Brasil segue a passos lentos, distantes do potencial de geração disponível. Os projetos de produção em operação, tanto em áreas urbanas e rurais, apresentam sucessos e falhas ainda não analisados

com maior profundidade e travam maiores avanços, reflexo da falta de consenso entre os principais atores envolvidos na logística de fomento ao biogás em território brasileiro.

O presente estudo apresenta limitações em relação à especificação dos entraves associados com a produção e o uso do biogás no Brasil. Portanto, sugere-se que estudos futuros busquem aprofundar a identificação desses obstáculos, bem como seus contextos e formas de superá-los.

Financiamento: Este estudo foi financiado no Brasil pelo CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Bolsa de Produtividade em Pesquisa.

6. Referências

- Achinas, S., Achinas, V., & Euerink, G. J. W. (2017). A technological overview of biogas production from biowaste. *Engineering*, 3(3), 299-307. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917304228>> Acesso em: 03 ago. 2021.
- Adnan, A. I., Ong, M. Y., Nomanbhay, S., Chew, K. W., & Show, P. L. (2019). Technologies for biogas upgrading to biomethane: a review. *Bioengineering*, 6(4), 92. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2306-5354/6/4/92>> Acesso em: 03 ago. 2021.
- Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of urban technology*, 22(1), 3-21. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10630732.2014.942092>>. Acesso em: 03 ago. 2021.
- Altoé, L., Costa, J. M., Oliveira Filho, D., Martinez, F. J. R., Ferrarez, A. H., & Viana, L. D. A. (2017). Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. *Estudos Avançados*, 31(89), 285-297. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ea/a/vPxbFKL9Jvwg559c6cgCZWp/?lang=pt>>. Acesso em: 03 ago. 2021.
- Amaral, A. C., Steinmetz, R. L. R., & Kunz, A. (2019). Os biodigestores. **Embrapa Suínos e Aves-Capítulo em livro científico (ALICE)**.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2018). *Geração Distribuída*. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=14461914&_101_type=content&_101_groupId=656827&_101_urlTitle=geracao-distribuida-introduc-1&inheritRedirect=true> Acesso em 12 jun. 2021.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2016). *Micro e Minigeração Distribuída – Sistema de Compensação de Energia Elétrica*. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>> Acesso em: 03 ago. 2021.
- Associação Brasileira de Biogás e do Biometano - ABiogás (2016). **Renovabio – Biocombustíveis 2030**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=868dc2f2-d486-14dc-2b3b-3aa0d0007f4d&groupId=36224> Acesso em: 03 ago. 2021.
- Bellote, A. F. J., Andrade, G. D. C., Molinari, H. B. C., Rocha, J. D., da Silva, M. L. B., Steinmetz, R. L. R., & Favaro, S. P. (2018). Biomassa e sua participação na matriz energética brasileira. **Embrapa Territorial-Capítulo em livro científico (ALICE)**.
- Bernal, A. P., dos Santos, I. F. S., Silva, A. P. M., Barros, R. M., & Ribeiro, E. M. (2017). Vinasse biogas for energy generation in Brazil: An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO2 emissions. *Journal of cleaner production*, 151, p. 260-271. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617304997>> Acesso em: 01 jun. 2021.

BRASIL. Lei n.13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBIO) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm>. Acesso em 03 ago. 2021.

Calvillo, C. F., Sánchez-Miralles, A., & Villar, J. (2016). Energy management and planning in smart cities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 55, 273-287. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115012125>>. Acesso em 03 ago. 2021.

Castro, L., Escalante, H., Jaimes-Estévez, J., Díaz, L. J., Vecino, K., Rojas, G., & Mantilla, L. (2017). Low cost digester monitoring under realistic conditions: Rural use of biogas and digestate quality. **Bioresourcetchnology**, 239, p. 311-317. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417306740>>. Acesso em: 03 ago. 2021.

Cucchiella, F., D'Adamo, I., & Gastaldi, M. (2017). Sustainable waste management: Waste to energy plant as an alternative to landfill. **Energy Conversion and Management**, 131, 18-31. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S019689041631007X>> Acesso em: 03 ago. 2021.

Das, S., Lee, S. H., Kumar, P., Kim, K. H., Lee, S. S., & Bhattacharya, S. S. (2019). Solid waste management: Scope and the challenge of sustainability. **Journal of cleaner production**, 228, 658-678. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619314209>>. Acesso em: 03 ago. 2021.

Deganutti, R; Palhaci M. C. J. P.; Rossi, M.; Tavares, R.; Santos, C.(2002). Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. *In.*: **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**. Deng, L., Liu, Y., Zheng, D., Wang, L., Pu, X., Song, L., ... & Long, Y. (2017). Application and development of biogas technology for the treatment of waste in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 70, 845-851. Recuperado de: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116310528>>. Acesso em: 05 mai. 2021.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2020). *Balanço Energético Nacional*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf>, Acesso em 31 mai. 2021.

Freitas, F. F., Souza, S. S., Ferreira, L. R. A., Otto, R. B., Alessio, F. J., De Souza, S. N. M., ... & Junior, O. A. (2019). The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 101, 146-157. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118307391>>. Acesso em 13 jun. 2021.

Freitas, L. C. F., Santiago, Y. C., de Souza Ribeiro, N., Marques, T. E., Pinto, J. A., Mogollón, D. I. N., & Silva, A. T. Y. L. (2019). Avaliação econômica e do potencial energético do biogás de aterro em Campinas-SP. *Research, Society and Development*, 8(6). Disponível em: <<https://www.rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/788/899>> Acesso em: 13 jun. 2021.

Frigo, K. D. A., Feiden, A., Galant, N. B., Santos, R. F., Mari, A. G., & Frigo, E. P. (2015). Biodigestores: seus modelos e aplicações. **Acta Iguazu**, 4(1), 57-65. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/12528/8708>>. Acesso em: 03 ago. 2021.

Garcia, N. H., Mattioli, A., Gil, A., Frison, N., Battista, F., & Bolzonella, D. (2019). Evaluation of the methane potential of different agricultural and food processing substrates for improved biogas production in rural areas. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 112, 1-10. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119303533>>. Acesso em: 03 ago. 2021.

Genovese, A. L., Udaeta, M. E. M., & Galvao, L. C. R. (2006). Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. **Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural**.

Gustafsson, M., Cruz, I., Svensson, N., & Karlsson, M. (2020). Scenarios for upgrading and distribution of compressed and liquefied biogas—Energy, environmental, and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, 256, 120473. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620305205>>. Acesso em: 13 jun. 2021.

International Energy Agency – IEA (2018). **World Energy Balances: Overview**. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>>. Acesso em 03 ago. 2021.

Kamyab, H., Klemeš, J. J., Van Fan, Y., & Lee, C. T. (2020). Transition to sustainable energy system for smart cities and industries. *Energy*, 207. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220312111>>. Acesso em 03 ago. 2021.

Kiyasudeen, K., Ibrahim, M. H., Quaik, S., & Ismail, S. A. (2016). An introduction to anaerobic digestion of organic wastes. In: *Prospects of organic waste management and the significance of earthworms* (1a ed., Cap. 2, pp. 23-44). Springer, Cham.

Kress, P., Nägele, H. J., Oechsner, H., & Ruile, S. (2018). Effect of agitation time on nutrient distribution in full-scale CSTR biogas digesters. *Bioresourcetechnology*, 247, 1-6. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417316036>>. Acesso em 09 jun. 2021.

Lohani, S. P., & Havukainen, J. (2018). Anaerobic digestion: factors affecting anaerobic digestion process. In: *Waste Bioremediation* (pp. 343-359). Springer, Singapore.

Ministério de Minas e Energia – MME (2016). *Região Centro-Oeste tem a maior proporção de renováveis na Matriz Energética*. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/-/asset_publisher/pdAS9lcdBICN/content/regiao-centro-oeste-tem-a-maior-proporcao-de-renovaveis-na-matriz-energeti-1?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Ftodas-as-noticias%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_pdAS9lcdBICN%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_101_INSTANCE_pdAS9lcdBICN_cur%3D34%26_101_INSTANCE_pdAS9lcdBICN_keyw_ords%3D%26_101_INSTANCE_pdAS9lcdBICN_advancedSearch%3Dfalse%26_101_INSTANCE_pdAS9lcdBICN_delta%3D30%26_r_p_564233524_resetCur%3Dfalse%26_101_INSTANCE_pdAS9lcdBICN_andOperator%3Dtrue>. Acesso em 31 mai. 2021.

Moura, R. S., Carpio, R. C., de Carvalho Macedo, C. F., Pinheiro, D. S., Figueiredo, L. S., & Júnior, L. C. F. (2017). Análise da viabilidade do uso de biodigestores em propriedades rurais. *For Science*, 5(3). Recuperado de: <<http://forscience.ifmg.edu.br/forscience/index.php/forscience/article/view/282>>. Acesso em 11 jun. 2021.

Nascimento, M. C. B., Freire, E. P., Dantas, F. D. A. S., & Giansante, M. B. (2019). Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano no Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24(1), 143-155. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/jesa/a/xLRVKFv9p46XTX563ztCfJ/?lang=pt>>. Acesso em 13 jun. 2021.

Nevzorova, T., & Kutcherov, V. (2019). Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: A state-of-the-art review. *Energy Strategy Reviews*, 26, 100414. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X19301075>>. Acesso em 31 mai. 2021.

Oliveira, L. G. S., & Negro, S. O. (2019). Contextual structures and interaction dynamics in the Brazilian Biogas Innovation System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 462-481. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119301236>>. Acesso em 13 jun. 2021.

Omer, A. M. (2008). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(9), 2265-2300. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032107000834>>. Acesso em 03 ago. 2021.

Ortiz, W., Pfaff, J., & Dienst, C. (2017). Understanding the diffusion of domestic biogas technologies. Systematic conceptualisation of existing evidence from developing and emerging countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 1287-1299.

Perea-Moreno, M. A., Hernandez-Escobedo, Q., & Perea-Moreno, A. J. (2018). Renewable energy in urban areas: Worldwide research trends. *Energies*, 11(3), 577. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/11/3/577>>. Acesso em 03 ago. 2021.

Pizzani, L., da Silva, R. C., Bello, S. F., & Hayashi, M. C. P. I. (2012). A arte da pesquisa bibliográfica na busca do conhecimento. RDBCI: *Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação*, 10(2), 53-66. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/1896/pdf_28>. Acesso em 29 mai. 2021.

Pleissner, D. (2018). Recycling and reuse of food waste. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, 13, 39-43. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452223618300051>>. Acesso em 03 ago. 2021.

Raimundo, D. R., Pedreira, J. R., Sousa, L. C., Córdova, M. E. H., Miranda, R. T., & Cañote, S. J. B. (2017). ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES, APLICADOS À CIDADE DE POUSO ALEGRE-MG. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, 6(5).

Ribeiro, E. M., Mambeli Barros, R., Tiago Filho, G. L., Dos Santos, I. F. S., Sampaio, L. C., Dos Santos, T. V., ... & de Freitas, J. V. R. (2018). Feasibility of biogas and energy generation from poultry manure in Brazil. **Waste Management & Research**, 36(3), 221-235. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X17751846>>. Acesso em 10 jun. 2021

Ryckebosch, E., Drouillon, M., & Vervaeren, H. (2011). Techniques for transformation of biogas to biomethane. **Biomass and bioenergy**, 35(5), 1633-1645. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953411001085>>. Acesso em 03 ago. 2021.

Sahota, S., Shah, G., Ghosh, P., Kapoor, R., Sengupta, S., Singh, P., ... & Thakur, I. S. (2018). Review of trends in biogas upgradation technologies and future perspectives. **Bioresource Technology Reports**, 1, 79-88. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X18300021>>. Acesso em 03 ago. 2021.

Santos, G. H. F., Do Nascimento, R. S., & Alves, G. M. (2017). Biomassa como energia renovável no Brasil. **Revista Uningá Review**, 29(2). Disponível em: <<http://revista.uninga.br/index.php/uningareviews/article/view/1966>>. Acesso em 03 ago. 2021.

Singh, A. (2019). Managing the uncertainty problems of municipal solid waste disposal. **Journal of environmental management**, 240, 259-265.

Tolmasquim, M. T. (2016). **Energia Renovável – Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. EPE: Rio de Janeiro.

Valijanjan, E., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Sulaiman, A., & Chisti, Y. (2018). Biogas production systems. In: **Biogas** (pp. 95-116). Springer, Cham. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-77335-3_4>. Acesso em 13 jun. 2021.

Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. **Applied microbiology and biotechnology**, 85(4), 849-860. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-009-2246-7>>. Acesso em 03 ago. 2021.