

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: A PRODUÇÃO DE BIOGÁS E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Data de submissão: 08/09/2023

Data de aceite: 02/10/2023

Camila Bonatto de Melo

Graduada em Engenharia de Energia,
Universidade Federal da Integração
Latino-Americana
Foz do Iguaçu, Paraná
<http://lattes.cnpq.br/7202644577046730>

Marciana Pierina Uliana

Docente da Universidade Federal da
Integração Latino-Americana
Foz do Iguaçu, Paraná
<http://lattes.cnpq.br/5189593236727694>
<https://orcid.org/0000-0003-4370-1619>

Andréia Cristina Furtado

Docente da Universidade Federal da
Integração Latino-Americana
Foz do Iguaçu, Paraná
<http://lattes.cnpq.br/0969254728157087>
<https://orcid.org/0000-0003-1407-5989>

RESUMO: O crescimento populacional está diretamente associado com a ampliação da produção nas agroindústrias, aumentando a demanda por energia e, conseqüentemente, a geração de resíduos principalmente em ambientes rurais, onde pode ocorrer a destinação inadequada ou a ausência de tratamento desses resíduos geram impactos ambientais negativos.

Uma alternativa viável para o tratamento desses resíduos é a adoção da digestão anaeróbia para a produção de biogás e posteriormente para a geração de energia elétrica. No entanto, a geração de biogás nas propriedades rurais de pequeno porte enfrentam desafios, como a falta de assistência técnica e a adoção de práticas inadequadas. Para superar tais obstáculos, a implementação de condomínios cooperativos de agroenergia emerge uma alternativa viável. É relevante sublinhar que a implementação de tais condomínios concorre para a realização e aplicação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Estes objetivos ostentam uma extensa amplitude, abarcando desde a imperatividade de provisão de saneamento básico e acesso universal à fonte de energia limpa, até o estabelecimento de cidades e comunidades sustentáveis, promoção do consumo responsável e empreendimento de ações de combate à mudança climática global. Nesse contexto, o presente capítulo oferece uma revisão acerca da produção de biogás em pequenas propriedades rurais em consonância com os ODS, abrangendo também projetos de digestão anaeróbia de resíduos agropecuários, contribuindo para o aprimoramento substancial de uma

determinada região.

PALAVRAS-CHAVE: energia, sustentabilidade, biogás, ODS.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT: BIOGAS PRODUCTION AND THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

ABSTRACT: Population growth is directly associated with the expansion of production in agro-industries, increasing the demand for energy and, consequently, the generation of waste, especially in rural environments, where improper disposal or lack of treatment of this waste can generate negative environmental impacts. A viable alternative for treating this waste is to use anaerobic digestion to produce biogas and then generate electricity. However, the generation of biogas on small farms faces challenges, such as the lack of technical assistance and the adoption of inadequate practices. To overcome these obstacles, the implementation of cooperative agro-energy condominiums is a viable alternative. It is important to emphasize that the implementation of such condominiums contributes to the achievement and application of the Sustainable Development Goals (SDGs). These goals have a broad scope, ranging from the imperative of providing basic sanitation and universal access to clean energy sources, to establishing sustainable cities and communities, promoting responsible consumption and undertaking actions to combat global climate change. In this context, this chapter offers a review of biogas production on small farms in line with the SDGs, also covering anaerobic digestion projects for agricultural waste, contributing to the substantial improvement of a given region.

KEYWORDS: energy, sustainability, biogas, SDGs.

1 | INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização humana, a natureza é explorada para atender as necessidades dos humanos sem considerar a finitude desses recursos. Com o aumento da população e conseqüentemente o avanço das práticas agrícolas e industriais, é crescente a demanda por energia, o que impacta diretamente o meio ambiente.

Segundo Pasqual *et al.*, (2018), a segurança alimentar, hídrica e energética são fatores interdependentes que devem ser abordados de forma sustentável e equitativa. Nesse contexto, a geração de energia a partir de resíduos orgânicos, como os provenientes da pecuária, da indústria alimentícia e dos resíduos sólidos urbanos, tem sido uma alternativa promissora para reduzir os impactos ambientais e contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Em 2021 as energias renováveis vivenciaram mais um ano recorde, 12,6% da capacidade de geração de energia global é atribuída às fontes renováveis (REN21, 2023). No contexto energético brasileiro, de acordo com os dados de um estudo da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) junto com a ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) de 2023, a matriz elétrica do Brasil é predominantemente baseada em fontes renováveis. Conforme ilustrado no Gráfico 1, 50,5% da eletricidade

gerada provém de fontes hídricas, seguida pela solar com 15%, eólica com 12,1%, gás natural 8,1%, biomassa e biogás em conjunto representam 7,7% da geração total, 4% petróleo e outros fósseis e representando o restante de 2,6% está o carvão mineral, nuclear e a importação de energia elétrica. Entretanto, é importante notar que a atual dependência das hidrelétricas, as quais estão intrinsecamente ligadas aos regimes pluviométricos, expõe a vulnerabilidade energética do país (EPE, 2021).

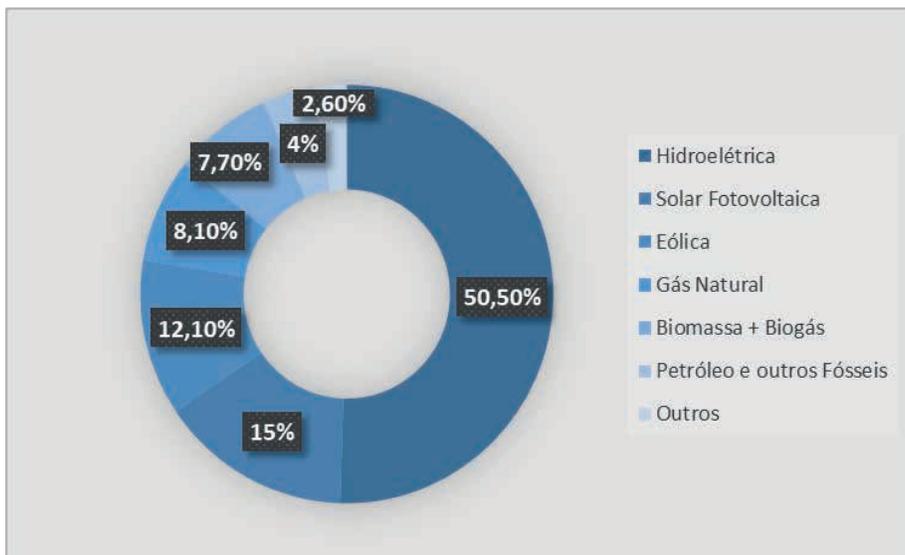


Gráfico 1 - Matriz Elétrica Brasileira de 2023.

Fonte: Adaptado de ABSOLAR e ANEEL, 2023.

Com o propósito de mitigar tais desafios e evitar impactos adversos no fornecimento de energia elétrica, foi implantado em 2001 o Programa de Incentivos para Fontes de Energia Elétrica (PROINFA). Este programa tem como objetivo promover a geração de energia elétrica proveniente de fontes renováveis, como eólica, solar, biomassa e hidrelétrica em pequena escala (FREITAS *et al.*, 2019).

Segundo projeções da Associação Brasileira do Biogás (ABiogás) o potencial teórico de produção de biogás brasileiro é estimado em 84,6 bilhões de metros cúbicos por ano, suficiente para suprir 40% da demanda interna de energia elétrica e 70% do consumo de diesel (ABIÓGÁS, 2021).

Embora todas as fontes renováveis desempenhem papéis de relevância no contexto energético brasileiro, a obtenção de biogás, tem ganhado atenção nos últimos anos. No entanto, o biogás obtido de dejetos provenientes da pecuária tem se destacado (SILVA *et al.*, 2022).

Uma vez que estes resíduos nas agroindústrias são gerados em grande quantidade, podem levar à contaminação do solo e das águas. Então uma forma sustentável de

tratar estes resíduos é aproveitar essa biomassa, produzindo biogás e obtendo energia de fonte renovável minimizando a utilização de combustíveis fósseis. O interesse em produzir biogás dessa biomassa é grande, pois além de evitar contaminação ambiental, pode ser convertido na geração térmica, veicular a até mesmo elétrica (LEÓN & MARTÍN, 2016).

O aproveitamento energético dos resíduos da agroindústria para a geração de biogás, traz diversos benefícios, o principal deles é tornar a energia mais acessível, confiável e sustentável, contemplando as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (LINS *et al.*, 2022). Nessa conjuntura, segundo a ONU 2021, é válido afirmar que a produção de biogás, em conjunto com as ODS, contribui com o Objetivo 2 - Fome zero e Agricultura Sustentável, aumentando a sustentabilidade e produtividade agrícola, diminuindo custos ao agricultor. Objetivo 3 - Saúde e Bem Estar, permitindo uma melhora na saúde pública ao diminuir casos de doenças resultantes de resíduos mal dispostos e não tratados.

Objetivo 7 - Energia Limpa e Sustentável, garantindo energia proveniente de fonte renovável, sustentável e confiável. Objetivo 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis, proporcionado aos condomínios agropecuários sustentabilidade na produção de energia através da produção de biogás. Objetivo 14 - Vida na Água, garantindo o tratamento adequado de resíduos permitindo assim a conservação da vida na água. E por fim o Objetivo 15 - Vida Terrestre, gerando biogás a partir de dejetos agropecuários, reduzindo a contaminação do solo e águas com o uso inadequado dos dejetos.

Com isso, a geração e o uso do biogás atrelados com os ODS é possível ser uma forma de remediar ou diminuir problemas tanto locais como regionais, cooperando para o progresso de uma região.

2 | BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA

A biomassa se refere à quantidade total de matéria orgânica acumulado em um espaço específico, englobando tanto organismos vegetais quanto animais e seus resíduos. Vale ressaltar que os resíduos provenientes de animais são considerados uma fonte de energia potencialmente explorável, contudo, quando não gerenciados de maneira adequada, podem acarretar impactos significativos no meio ambiente (AVACI *et al.*, 2013).

Nesse contexto, as tecnologias que apresentam maior promessa no que se refere a utilização da biomassa residual de origem animal para a geração de energia podem proporcionar um uso mais eficiente dos recursos disponíveis nas atividades agrícolas. Além disso, essa abordagem tende a reduzir a necessidade de transferir renda para outras partes e a minimizar o consumo de energia proveniente de fontes externas, como discutido por Esperancini *et al.*, (2007).

A exploração dos resíduos de origem animal tem o potencial de viabilizar a concepção de soluções que são simultaneamente ecologicamente responsáveis e economicamente viáveis, oferecendo oportunidades de empreendimento e fontes adicionais de renda para

as propriedades rurais, tanto de forma individual quanto coletiva com condomínios de geração de agroenergias (SCHUCH, 2012).

Conforme observado por Pereira *et al.*, (2008), a biomassa residual animal assume uma relevância significativa na suinocultura. Isso se deve ao fato que a concentração e confinamento de animais ocorrem com maior frequência nesse segmento. Nesse contexto, surge a oportunidade de explorar o potencial do biogás como fonte de energia, transformando assim um desafio ambiental em um recurso econômico e social valioso.

De acordo com Chen *et al.*, (2016), a produção de biogás a partir da biomassa possibilita sua utilização como combustível, substituindo, assim, as fontes tradicionais de combustíveis fósseis empregadas na geração de energia. Adicionalmente, em comparação com os combustíveis provenientes de fontes não renováveis, como o diesel e a gasolina, o biogás demonstra uma atrativa viabilidade de mercado.

3 | BIOGÁS

Nos últimos anos, o biogás deixou de ser considerado meramente como um subproduto resultante da decomposição anaeróbica e passou a ser objeto de extensas investigações. Essas pesquisas foram impulsionadas pelo crescimento vigoroso da economia e pelo substancial aumento dos preços dos combustíveis fósseis. O objetivo central é desenvolver novas modalidades de geração de energia que concorram para a redução da dependência de recursos naturais não renováveis (COSTA e KUNZ, 2006).

No contexto brasileiro, a adoção de fontes de energia renovável, incluindo o biogás, foi substancialmente incentivada pela implementação do programa *RenovaBio*, criado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). O principal objetivo é promover a produção sustentável de biocombustíveis no Brasil, com ênfase na criação de um mercado competitivo e na manutenção do equilíbrio econômico e financeiro das empresas envolvidas (MILANEZ *et al.*, 2018).

3.1 Produção de biogás e digestão anaeróbia

O biogás é um produto gasoso resultante da fermentação anaeróbia da matéria orgânica, incluindo biomassa animal e vegetal (GONZALEZ *et al.*, 2009). Esse processo envolve complexos processos metabólicos, nos quais diversos microrganismos convertem a matéria orgânica em CH_4 e CO_2 , e outros gases. A digestão anaeróbica oferece vantagens como a baixa produção de resíduos sólidos, eficiência energética, capacidade de lidar com cargas orgânicas elevadas e operação com tempos de retenção de sólidos prolongados e tempos de retenção hidráulica curtos, conforme destacado por Santos *et al.*, (2019).

A biodigestão anaeróbia é reconhecida como uma alternativa viável que pode

estimular investimentos nas áreas rurais, sobretudo na geração de biogás (SCHUCH, 2012). Na biodigestão anaeróbica, o biogás é liberado e insumos orgânicos, como o biofertilizante, são produzidos (GASPAR, 2003).

A composição do gás é predominantemente constituída por metano e dióxido de carbono, com composição típica de 60% e 40% em volume, respectivamente. O biogás também contém quantidades reduzidas de hidrogênio, gás sulfídrico, oxigênio, amônia e nitrogênio. No entanto, é importante salientar que a composição do biogás pode variar consideravelmente devido a fatores como as características da biomassa residual, temperatura, umidade, acidez, ausência de oxigênio, critérios de fermentação, tipo de biodigestor e sua operação, tornando difícil uma definição precisa (MONTROYA *et al.*, 2013).

A digestão anaeróbia de resíduos da agroindústria em biodigestores projetados possibilita a produção de biogás que pode ser aproveitado como combustível. O biogás apresenta um elevado poder calorífico, não gera gases tóxicos durante a queima e constitui uma excelente alternativa para a gestão de resíduos orgânicos. Além disso, como subproduto, o processo produz um lodo que se revela um valioso biofertilizante (PECORA, 2006).

O poder calorífico do biogás tende a diminuir à medida que as proporções de contaminantes na sua composição aumente. De forma geral, o poder calorífico inferior (PCI) situa-se em torno de 5.000 kcal/m³ a 60% de metano e 40% de dióxido de carbono (COSTA e KUNZ, 2006).

3.2 Utilização do biogás

A adoção do biogás como uma fonte de energia é altamente recomendável tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. O potencial energético do biogás está intrinsecamente ligado à sua concentração de metano. O poder calorífico superior (PCS) do biogás é 13.270,41 kcal kg⁻¹, refletindo em um poder calorífico inferior (PCI) de 11.959,39 kcal kg⁻¹ (SCHLEY *et al.*, 2010).

Após o tratamento, o biogás pode ser empregado na geração de energia elétrica, produção de calor ou energia térmica, energia mecânica, bem como na produção de biometano, CO₂ e hidrogênio. A determinação da aplicação específica para o biogás requer uma análise prévia das necessidades energéticas tanto da instalação em questão quanto das áreas do entorno. Isso implica a consideração de informações relacionadas ao tipo de energia utilizada, sua quantidade, custo e demanda. Por meio dessa análise, torna-se viável a tomada de decisão a respeito do arranjo técnico mais adequado para a otimização do aproveitamento energético do biogás (CIBIOGÁS, 2018).

No âmbito brasileiro, a aplicação energética mais difundida é a geração de energia elétrica. No ano de 2022, as plantas de biogás com infraestrutura para a geração de eletricidade representaram cerca de 86% das plantas em operação no país, sendo o volume destinado para essa aplicação o correspondente a 2,08 bilhões de Nm³/ano, logo

72% do biogás total produzido no país é destinado para esta aplicação (CIBIOGÁS, 2023).

Nesse contexto, o emprego do biogás como uma alternativa de energia assume uma importância considerável. O biogás, sendo uma fonte renovável, apresenta a vantagem de gerar menos poluentes atmosféricos em comparação com os combustíveis convencionais. No entanto, sua aplicação enfrenta desafios associados à medição de suas propriedades, tais como poder calorífico, vazão e composição, além da exigência de purificação para atender a determinados propósitos (OKAMURA, 2013).

3.3 Panorama do biogás no Brasil

O emprego do biogás como recurso energético no Brasil remonta a um período de, pelo menos, quatro décadas, quando foi inicialmente incorporado ao paradigma da “Revolução Verde” na década de 1970. Na última década, o biogás tem assumido uma posição significativa como fonte de energia no contexto nacional, sendo tal tendência impulsionada pelo estímulo proporcionado pelo mercado de créditos de carbono, cujo propósito reside na mitigação das emissões de metano, componente do biogás que contribui no efeito estufa (SILVA e MEZZARI, 2022).

Em 2022, houve um aumento de 15% no número de plantas de biogás em operação e 22% de aumento no volume de biogás produzido, em comparação ao ano anterior (CIBIOGÁS,2023). O Brasil possui 936 plantas de biogás, destas 885 plantas estão em operação produzindo 2,8 bilhões Nm³/ano de biogás, porém o potencial teórico de produção de biogás brasileiro é de 84,6 bilhões Nm³/ano, ou seja, apenas 3,3% do potencial é realmente explorado (ABIOGÁS, 2021). Os cinco estados que contaram com o maior número de plantas de biogás, em operação, em 2022 foram: Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina, Goiás e São Paulo. O Gráfico 2 apresenta os valores de plantas em operação do ranking.

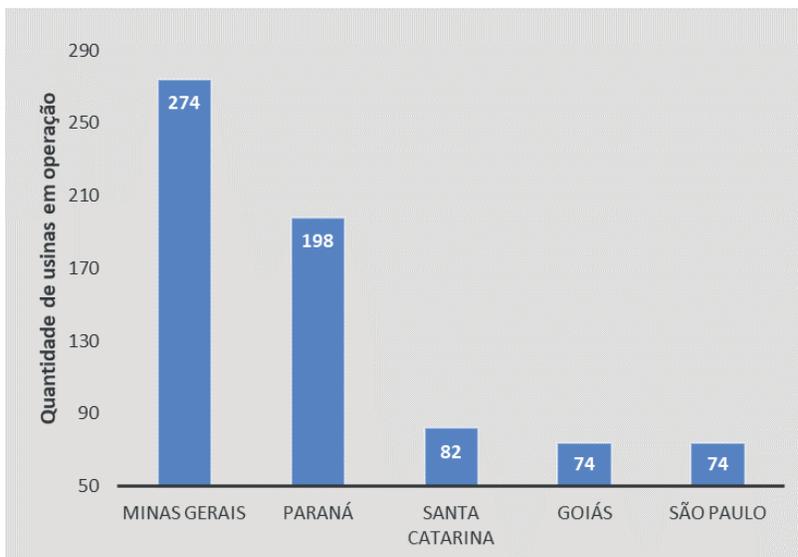


Gráfico 2: Estados com maior número de plantas de biogás em operação no Brasil em 2021.

Fonte: Adaptado de CIBiogás, 2023.

Minas Gerais ocupa o primeiro lugar no ranking dos estados contando com 274 unidades em operação, ou seja, 30,96% do total nacional, produzindo 312,7 milhões Nm^3/ano . O Paraná, segundo estado no ranking, conta com 198 plantas em operação, o que corresponde a 22,37% do total nacional. Em termos de volume de biogás, o estado produziu o equivalente a 271 milhões Nm^3/ano em 2021 (CIBIOGÁS, 2023).

Santa Catarina e Goiás contabilizaram 82 e 74 plantas de biogás, respectivamente. Em Santa Catarina houve um aumento de 17% no número de plantas em operação, enquanto Goiás registrou um incremento de 16% no número de plantas em operação, em relação ao ano anterior de 2021. Isso é reflexo, principalmente, da implantação de unidades de grande porte nos setores agropecuários e de saneamento (CIBIOGÁS, 2023).

Quando se trata de volume de biogás e sua equivalência energética, os cinco estados com maior produção são: São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Paraná e Pernambuco, como evidenciado na Gráfico 3.

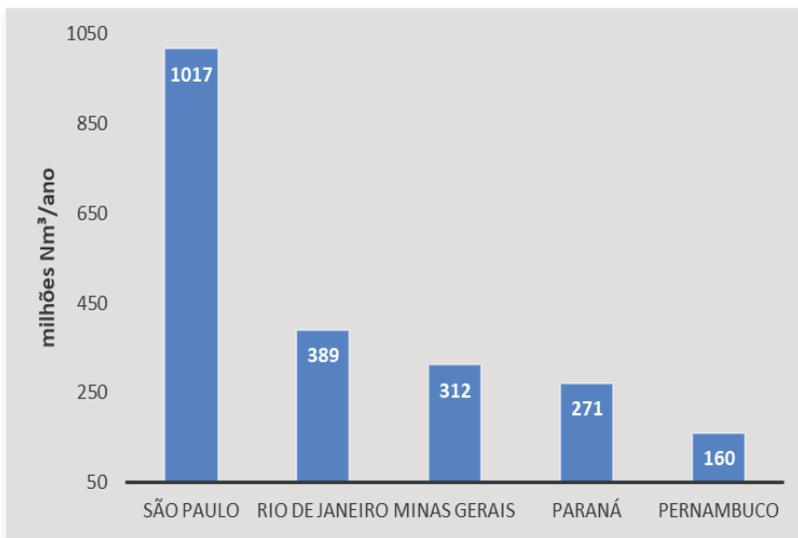


Gráfico 3 : Ranking dos estados com maior produção de biogás no Brasil em 2022.

Fonte: Adaptado de CIBiogás, 2022.

São Paulo mantém a frente dos demais estados com mais que o dobro da produção do Rio de Janeiro, que ocupa a segunda posição no ranking. Isso se justifica devido à São Paulo possuir um número maior de unidades de grande porte, que aproveitam, principalmente, resíduos da indústria e do setor de saneamento. Em termos de número de plantas, o estado conta com 74 unidades em operação e contribui para a produção de 35% do volume de biogás do país, que equivalem 1017 bilhões de metros cúbicos por ano (CIBIOGÁS, 2023).

O Rio de Janeiro, com apenas 12 plantas em operação, foi responsável por 13,90% do biogás produzido em 2022, a maior parcela das plantas do estado, 90%, estão instaladas no setor de saneamento, sendo grandes plantas de produção de biometano e usinas de geração de energia elétrica. Pernambuco também se destaca, gerando energia a partir de 160 milhões de metros cúbicos por ano, provenientes de seis plantas de biogás instaladas no setor de saneamento (CIBIOGÁS, 2023).

Em 2022, o setor agropecuário foi responsável por 77% das plantas de biogás em operação no país, com uma produção de 275 milhões Nm³/ano de biogás. Enquanto o setor industrial obteve um crescimento de 23% em relação ao ano anterior, já a produção de biogás nestas unidades cresceu 26% em relação ao ano de 2021. No setor de saneamento houve um aumento de 32% no número de plantas de biogás mapeadas totalizando 91 plantas, valor acima do crescimento médio dos últimos três anos. O volume de biogás produzido pelas plantas em operação do setor de saneamento também cresceu a uma taxa de 23% em 2022 (CIBIOGÁS, 2023).

4 | CONDOMÍNIOS AGROENERGÉTICOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Várias ações públicas e privadas direcionadas à produção de energia proveniente do agronegócio brasileiro estão em andamento, a fim de aproveitar esse potencial energético dos resíduos agrícolas, em especial os dejetos de animais, para a produção de biogás na agricultura familiar (CIBIOGÁS, 2020). A qual corresponde a 77,4% dos estabelecimentos agropecuários no Brasil (IBGE, 2017). Já no estado do Paraná, 85% das propriedades rurais correspondem à agricultura familiar (CASTANHO, 2021).

Condomínios agroenergéticos são arranjos empresariais coletivos construídos para trazer economia de escala e viabilizar a produção de energia em pequenas e médias organizações rurais promovendo a economia local (PORTO et al., 2021). Essas pequenas propriedades apresentam algumas limitações na produção de biogás, pois não tem assistência técnica adequada, vazamento de biogás, manuseio inadequado de biodigestores (BRUUN *et al.*, 2014). Estas dificuldades poderiam ser reduzidas com o aumento da escala de produção e implementação de inovações tecnológicas em condomínios cooperativos de agroenergia (PORTO *et al.*, 2021).

No Brasil, os condomínios agroenergético ainda estão em fase de desenvolvimento, porém já existem algumas disposições legais criadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para incentivar esta prática. A resolução REN nº 482/2012 (ANEEL, 2012) modificada pela REN 687/2015 (ANEEL, 2015), prevê que o consumidor brasileiro poderá gerar eletricidade para consumo próprio a partir de fontes renováveis, e também pode fornecer o excedente para outros consumidores.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que o acelerado crescimento da sociedade contemporânea, em conjunto com os avanços nas esferas econômica e agrícola, resultou no uso indispensável de energia, porém, sua geração pode provocar impactos e danos ambientais negativos, principalmente quando provém de fontes de combustíveis fósseis, o que impulsionou a busca por fontes de energia renovável.

A matriz elétrica brasileira, predominantemente baseada em fontes renováveis, evidencia os esforços do país na transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável. No entanto, a dependência das hidrelétricas expõe a vulnerabilidade energética diante de variações pluviométricas. Logo, em busca de outras soluções é fortemente considerada a utilização do biogás obtido do manejo dos resíduos orgânicos produzidos nas agroindústrias para a geração de energia, contudo, a produção de biogás em pequenas propriedades rurais enfrenta desafios.

Para superar tais obstáculos, a implementação de condomínios cooperativos de agroenergia emerge uma alternativa viável, além de acarretar uma série de vantagens, sendo a mais significativa tornar a energia mais acessível, confiável e ecologicamente

sustentável, alinhando-se, assim, com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Em suma, a produção e utilização do biogás em condomínios cooperativos de agroenergia, em alinhamento com os ODS, são uma estratégia viável para enfrentar os desafios energéticos e ambientais no Brasil, contribuindo para a promoção de práticas agrícolas sustentáveis e desenvolvimento de áreas rurais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), editais de fomento 77/2022/PRPPG e 90/2022/PRPPG, ao Programa de Bolsa Institucional da UNILA (PROBIU)

REFERÊNCIAS

ABIÓGÁS. Associação Brasileira de Biogás e Biometano. **ABiogás divulga novo potencial do biogás para o mercado brasileiro**. São Paulo: ABiogás, 2021.

ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) e ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Panorama do solar fotovoltaico no Brasil e no Mundo**. Infográfico ABSOLAR. São Paulo, 2023.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 04 set. 2023.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 04 set. 2023.

AVACI, A. B., et al. **Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.17, n.4, p.456-462, 2013.

BRUUN, L.S., et al., **Small-scale household biogas digesters: an option for global warming mitigation or a potential climate bomb?** Renewable and Sustainable Energy Reviews. v.33, p. 736–741, 2014.

CATANHO, Lucas. **A relevância da agricultura familiar no Paraná**. Folha de Londrina, 07 ago. 2021. Disponível em: <https://www.folhadelondrina.com.br/folha-rural/a-relevancia-daagriculturafamiliar-no-parana-3095035e.html?d=1>.

CIBIOGÁS. Centro Internacional de Energias Renováveis. **Relatório Técnico: N° 001/2023 – Panorama do biogás no Brasil em 2022**. Foz do Iguaçu, CIBiogás, 2023.

CIBIOGÁS. Centro Internacional de Energias Renováveis. **Nota Técnica: N° 02/2020 – Panorama do biogás no Brasil em 2019**. Foz do Iguaçu, 2020.

CIBIOGÁS. Centro Internacional de Energias Renováveis. **Nota Técnica: N° 001/2018 – Produção de biogás a partir da biodigestão de dejetos suínos em fase de terminação no Oeste do Paraná.** Foz do Iguaçu, 2018.

CHEN, C., et al. **Challenges in biogas production from anaerobic membrane bioreactors.** *Renewable Energy*, v. 98, p. 120-134, 2016.

COSTA, R.; KUNZ, A. **Partida e operação de reator UASB em escala de bancada para remoção de carga orgânica em dejetos de suínos.** In: JORNADA DE INICIAÇÃO.2006

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **BEN 2022: relatório síntese: ano base 2021.** Rio de Janeiro, 2021.

ESPERANCINI, M. S. T., et al. **Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo.** *Revista de Engenharia Agrícola*, v.27, n.1, 2007.

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.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo – PR.** 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2003.

GONZÁLEZ, C., et al. **Comparison of combustion properties of simulated biogas and methane.** *C.T.F Cienc. Technol*, v.3, n.5, Bucaramanga, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017.** Resultado definitivo. Rio de Janeiro, 2017

LEÓN, E.; MARTÍN, M. **Optimal production of power in a combined cycle from manure based biogas.** *Energy Conversion and Management*, v. 114, p. 89–99, 2016.7

LINS, L. P.; PADILHA, J. C.; FURTADO, A. C.; MITO, J. Y. de L. **O aproveitamento energético do biogás como ferramenta para os objetivos do desenvolvimento sustentável.** *Interações (Campo Grande)*, [S. l.], v. 23, n. 4, p. 1275–1286, 2022. DOI: 10.20435/inter.v23i4.3704. Disponível em: <https://interacoes.uccb.br/interacoes/article/view/3704>. Acesso em: 7 set. 2023.

MILANEZ et al. **Biogás de resíduos agroindustriais: Panorama e Perspectivas.** *BNDES Setorial* 47, p. 221-276, 2018.

MONTOYA, J. P. G., et al. **Effect of biogas enriched with hydrogen on the operation and 88 performance of a diesel-biogas dual engine.** v. 5, n. 2, p.61-72, 2013.

OKAMURA, L. A. **Avaliação e melhoria do poder calorífico do biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS [ONU]. **The 17 goals** [s.l.], 2021. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>. Acesso em: 07 set. 2023.

PASQUAL, J. C. et al. **Assessment of collective production of biomethane from livestock waste for urban transportation mobility in Brazil and the United States.** *Energies*, v. 11, n. 4, p. 1–19, 2018.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de caso.** Universidade de São Paulo, 2006.

PEREIRA, B. D., et al. **Eficiência técnica na suinocultura: efeitos dos gastos com meio ambiente e da renúncia fiscal.** *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12 n.2, Campina Grande, 2008.

PORTO, B.H.C., et al. **Socio environmental impacts of biogas production in a cooperative agroenergy condominium.** *Biomass and Bioenergy*, v.13, p. 0961-9534, 2021.

REN21: RENEWABLES NOW. **Renewables Global Status Report.** Paris, 2023. Disponível em: 89 <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>. Acesso em: 05 set. 2023.

SANTOS, A.B., *et al.* **Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais.** Fortaleza: Imprece, 2019

SCHLEY, P., BECK, M., UHRIG, M., SARGE, S.M., RAUCH, J., HALOUA, F., FILTZ, J.R., HAY, B., YAKOUBI, M., ESCANDE, J., BENITO, A., CREMONESI, P.L. **Measurements of the calorific value of methane with the new GERG reference calorimeter.** *International Journal of Thermophysics*. v. 31, p. 665-679, fev. 2010

SCHUCH, S. L. M. **Condomínio de agroenergia: Potencial de disseminação na atividade agropecuária.** 2012. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

SILVA, E. et al. **Lab-scale and economic analysis of biogas production from swine manure.** *Renewable Energy*, v. 186, p. 350-365, 2022.

SILVA, M. L. B. da., MEZZARI, M. P. **Tratamento e purificação de biogás.** In: KUNZ, A., STEINMETZ, R. L. R., AMARAL, A. C. do. *Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato.* 2a ed. Concórdia: Sbera: Embrapa, 2022, 69-93.