

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAEL MELHIM ABOU REJAILE

A IMPORTÂNCIA SOCIOAMBIENTAL DO BIOGÁS NA MATRIZ ELÉTRICA
BRASILEIRA

CURITIBA-PR

2023

RAFAEL MELHIM ABOU REJAILE

A IMPORTÂNCIA SOCIOAMBIENTAL DO BIOGÁS NA MATRIZ ELÉTRICA
BRASILEIRA

Artigo apresentado ao curso de MBA em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis, Setor de Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Energias Naturais Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Dhyogo Miléo Taher

CURITIBA-PR

2023

RESUMO

Com a crise petrolífera na década de 70, iniciaram-se as pesquisas por novas fontes de energia. Dentre elas, a geração de energia por meio da biomassa, em especial do biogás, tem ganhado cada vez mais atenção do mundo científico e empresarial; não só por ser uma fonte de energia mais limpa, se comparada aos combustíveis fósseis, mas também por ser produzida a partir do reaproveitamento de resíduos orgânicos e dejetos de humanos e animais. Considerando o grande potencial brasileiro para a produção de biogás a partir da utilização de resíduos agrícolas e urbanos, o presente artigo tem por objetivo analisar a viabilidade de uma participação mais efetiva do biogás na matriz energética brasileira, com especial foco na produção de energia elétrica, dada a sua atual dependência dos recursos hídricos. Diante de um contexto no qual o consumo de energia vem aumentando significativamente a cada ano e, por outro lado, as mudanças climáticas podem afetar os recursos hídricos disponíveis, faz-se urgente pensar em novas possibilidades para a geração de energia elétrica. Desse modo, o presente estudo buscou, por meio de levantamento documental e análise de repertório bibliográfico pertinente a temática, compreender como se dá a produção do biogás, quais os benefícios advindos de sua utilização e qual é o atual panorama de sua participação na matriz elétrica brasileira. Após o desenvolvimento do estudo, concluiu-se que, apesar dos benefícios ambientais, sociais e econômicos, a participação desta modalidade de geração energia ainda é tímida, se comparada ao montante de energia oriundo de usinas hidrelétricas, ou ao grande potencial de biomassa desperdiçada devido ao não aproveitamento dos resíduos da agroindústria, pecuária e saneamento, deixando de utilizar um valor estimado em 44,1 bilhões de metros cúbicos de biogás.

Palavras-chave: Biomassa, Biometano, Crise Energética, Energia Elétrica, Sustentabilidade, Meio Ambiente.

ABSTRACT

With the oil crisis in the 1970s, research began for new sources of energy. Among them, the generation of energy through biomass, especially biogas, has gained increasing attention from the scientific and business world, not only for being a cleaner energy source, if compared to fossil fuels, but also for being produced from the reuse of organic waste and human and animal waste. Considering the great Brazilian potential for biogas production from the use of agricultural and urban waste, this article aims to analyze the feasibility of a more effective participation of biogas in the Brazilian energy matrix, with special focus on the production of electricity, given its current dependence on water resources. In a context in which energy consumption is increasing significantly every year and, on the other hand, climate change can affect the available water resources, it is urgent to think of new possibilities for generating electricity. In this way, the present study sought, by means of a documental survey and the analysis of the bibliographical repertoire pertinent to the theme, to understand how the production of biogas occurs, what the benefits from its use are and what is the current panorama of its participation in the Brazilian electrical matrix. After the development of the study, it was concluded that, despite the environmental, social and economic benefits, the participation of this type of energy generation is still timid, if compared to the amount of energy coming from hydroelectric plants, or the great potential of wasted biomass due to the non-utilization of agro-industry, livestock and sanitation residues, failing to use an estimated 44.1 billion cubic meters of biogas.

Keywords: Biomass, Biomethane, Energy Crisis, Electric Energy, Sustainability, Environment.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil.....	13
FIGURA 2 – Sistema de Biodigestão.....	23
FIGURA 3 – Repartição da Oferta de Outras Renováveis.....	24
FIGURA 4 – Comparativo de Crescimento das Outras Renováveis - 2019/20.....	24

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Matriz Elétrica Brasileira.....	14
GRÁFICO 2 – Oferta Interna de Energia Total.....	25
GRÁFICO 3 – Oferta Interna de Biogás.....	26
GRÁFICO 4 – Participação do Biogás na Oferta Interna.....	26
GRÁFICO 5 – Fontes da Matriz Energética Brasileira.....	29
GRÁFICO 6 – Armazenamento Médio Histórico Dos Reservatórios.....	31

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Atributos do Biogás	20
--------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Setor Elétrico: Evolução da Capacidade Instalada e de Consumo de Energia Elétrica (1963 – 1984).....	30
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABIOGÁS – Associação Brasileira do Biogás

EBA – Associação Europeia de Biogás

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GEE – Gases do Efeito Estufa

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ODS – Objetivos De Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios

PNBB – Programa Nacional do Biogás e Biometano

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

TEP – Tonelada equivalente de petróleo

UNEP – *UN Environment Programme*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
1.2 OBJETIVOS	14
2 METODOLOGIA	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
3.1 METAS BRASILEIRAS DE COMBATE À POLUIÇÃO SEGUNDO OS ODS	17
3.2 ATRIBUTOS DO BIOGÁS E BIOMETANO	18
3.2.1 SUBPRODUTO DO BIOGÁS, IMPORTÂNCIA E APROVEITAMENTO	21
3.2.2 BIODIGESTOR E ETAPAS DO PROCESSO	22
3.3 PARTICIPAÇÃO DO BIOGÁS NA MATRIZ ENERGÉTICA E ELÉTRICA BRASILEIRA NO CENÁRIO ATUAL	23
3.4 SETOR ELÉTRICO, EVOLUÇÃO E CRISE	28
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

A busca por fontes alternativas de energia se tornou uma demanda urgente a todos os países do mundo. Com o aumento da população mundial e o crescimento econômico, o consumo de energia tem aumentado significativamente, o que tem levado a uma maior necessidade de fontes de energia mais limpas e sustentáveis, uma vez que a extração e uso de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, têm causado danos ambientais e contribuído para a crise climática em todo o mundo.

Com a crise do petróleo nos anos 70, a comunidade mundial já havia sido alertada para a importância de se investir em fontes de energia renováveis. Desde então, o biogás tem sido considerado um combustível promissor, por ser produzido a partir do tratamento de resíduos orgânicos como restos de alimentos e dejetos animais¹.

A incorreta destinação de resíduos e dejetos também é outro grave problema da atualidade, causando impactos à saúde, à ordem social e ao meio ambiente. Todos esses resíduos e dejetos descartados na natureza de maneira incorreta podem provocar inúmeros danos aos lençóis freáticos e corpos de água, à vida marinha, ao solo e ao clima de maneira geral.

Além disso, a geração de energia por meio da biomassa, em especial do biogás, demonstra independência de fatores externos, pois é constituída num ciclo de reaproveitamento, sem a necessidade da ação de agentes ambientais, como é o caso das chuvas para o adequado funcionamento das hidrelétricas.

Isto posto, evidenciam-se inúmeros benefícios provenientes da produção e utilização do biogás. No Brasil, a geração de energia por meio do biogás é uma opção promissora para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, bem como alcançar outros benefícios condizentes com as metas de desenvolvimento sustentável, visto que o país é o maior produtor mundial de proteína animal, ou seja, possui grande potencial para produção desse biocombustível.

¹ Embora alguns autores questionem a caracterização do biogás enquanto uma fonte de energia 100% limpa, não há dúvida em relação ao fato de que ela seja “mais” limpa quando comparado a outras fontes de energia comumente utilizadas, como os combustíveis fósseis, por exemplo. Além disso, nos últimos anos, o desenvolvimento tecnológico tem aprimorado o conhecimento técnico para a criação de equipamentos biodigestores com alta taxa de eficiência (MILANEZ *et al.*, 2021).

1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O petróleo é hoje responsável por fornecer a maior parte da energia no mundo. Nesse cenário mundial, a energia obtida por fontes renováveis é quase insignificante, porém, a tendência é que esse quadro se altere no futuro com o aumento dos preços do petróleo (DIETER; STEINHAUSER, 2008).

O consumo de energia no planeta, nos últimos 50 anos, aumentou três vezes e permanece em constante crescimento. Esse aumento de demanda ocorreu majoritariamente em países industrializados e 90% dele foi suprido com combustíveis fósseis (HINRICHS; KLEINBACH, 2003).

Em meados da década de 70, durante a crise do petróleo, foram desenvolvidas pesquisas por novas fontes de energia. No Brasil, em especial, sobre o xisto, álcool e metanol (DEGANUTTI *et al.*, 2002), promovendo a criação, na mesma época, do Proálcool (Programa Nacional do Álcool), que visava uma substituição em larga escala dos derivados do petróleo. No Brasil, segundo o site Biodieselbr (2012), de 1975 a 2000, foram produzidos cerca de 5,6 milhões de veículos movidos a álcool hidratado.

Assim como o Brasil, países emergentes buscaram atingir objetivos e metas de desenvolvimento. Tais países registravam um aumento populacional maior que países industrializados. Sendo assim, esses países passariam a ser responsáveis pela maior parte da nova demanda de energia, que tenderia a triplicar nos próximos 30 anos. (HINRICHS; KLEINBACH, 2003). Por isso, é fundamental a busca por fontes energéticas alternativas, como vento, água, sol e biomassa, para minimizar ao máximo os impactos negativos ambientais e sociais (GADANHA *et al.*, 1991).

A partir dos debates sobre os riscos ambientais e os impactos econômicos provenientes da dependência de combustíveis fósseis, como na crise do petróleo, o biogás, desde 1976, aparece enquanto foco de pesquisa e investimentos, paralelamente a outras fontes alternativas de energia. Conforme Deganutti, o biogás é um combustível renovável e de fonte inesgotável, obtida por meio da decomposição de dejetos orgânicos (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

Segundo a UN Environment Programme (UNEP), os principais gases causadores do efeito estufa que são emitidos pelos dejetos: o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Os dejetos de animais, no campo, assim como o lixo descartado dos grandes centros e o esgoto das cidades são os resíduos

que apresentam um grande potencial de emissão de tais gases (UNEP, 2023). Assim, o biogás chega como uma possível solução para a demanda energética, além de estar agregando uma vantagem significativa ao promover o aproveitamento da biomassa geradora do biogás ao invés dos danos causados pela poluição advinda dos dejetos animais.

Quando pensamos na questão ambiental e nos pilares da sustentabilidade, podemos considerar que todo tipo de energia renovável e limpa, bem como a geração distribuída, são fatores de contribuição para o aprimoramento da sustentabilidade e dos ODS (objetivos de desenvolvimento sustentável).

A Organização das Nações Unidas (ONU) estipulou metas a serem atingidas até o ano de 2030, que se resumem a uma lista de 17 objetivos (ODS), sendo um deles referente à defesa da energia limpa, ou, a saber, ODS 7². Esse ODS visa garantir à população “acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia”. Segundo a Agenda 2030, “Atender às necessidades da economia e proteger o meio ambiente é um dos grandes desafios para o desenvolvimento sustentável” (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2023).

Além desse ODS, que remete diretamente ao fundamento deste trabalho, outros objetivos estipulados pela ONU ganham relevância quando se volta ao caráter socioambiental que, segundo a UNEP, são os principais gases de efeito estufa da geração de energia através do biogás. Cabe citar principalmente o ODS 11, que visa “tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras e sustentáveis” e o ODS 13, que defende “Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e seus impactos” (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2023). Na figura abaixo, vemos os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável estipulados. É notório o quanto esses objetivos são ambiciosos e estão interconectados.

² O ODS 7 estabelece o objetivo de “Garantir acesso à energia barata, confiável e sustentável para todos” (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2023).

FIGURA 1 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil



Fonte : NAÇÕES UNIDAS BRASIL (2023)

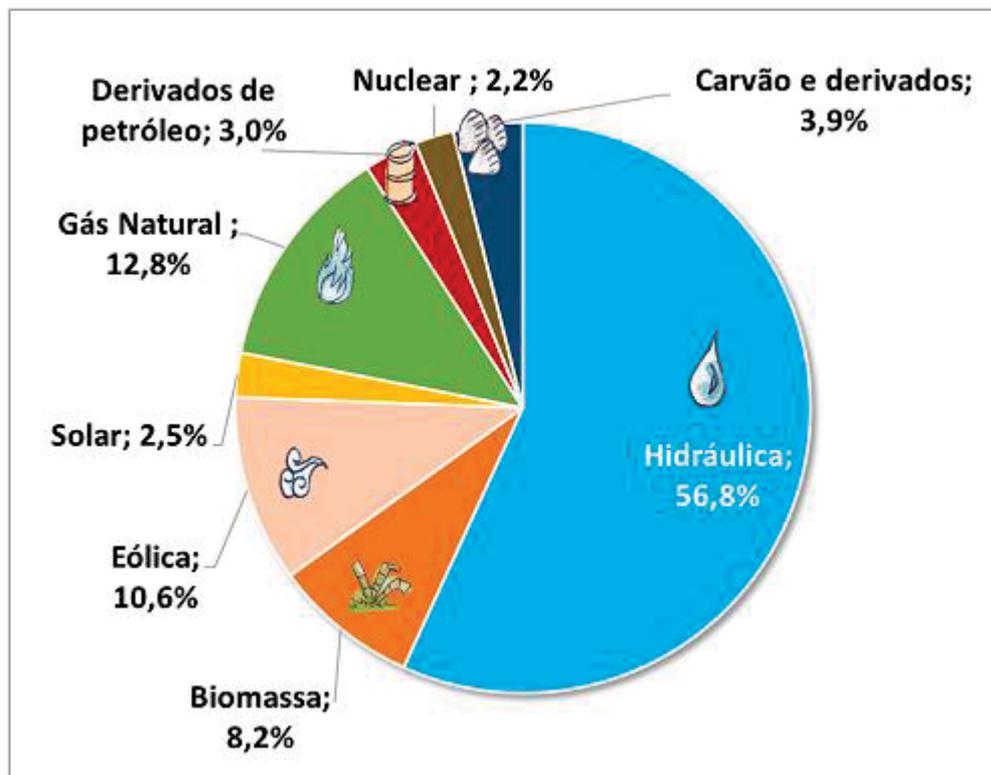
De acordo com o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), no relatório do 2º Inventário de Emissões Atmosféricas em Usinas Termelétricas, publicado em dezembro de 2022, em 2000, existia uma geração de energia em usinas termelétricas de 30,6 TWh. No ano de 2020, essa geração já alcançava 84,8 TWh, ou seja, quase três vezes mais. Ainda segundo o Instituto, há previsão de instalação de mais 8 GWh, entre 2026 e 2030, de termelétricas a gás espalhadas em todas as regiões do Brasil e, até 2040, uma postergação de subsídios e da vida útil de usinas a carvão mineral (IEMA, 2022). De acordo com Raissa Gomes, uma das autoras do trabalho:

O crescimento [da demanda energética] foi alto devido à crise hídrica de 2021, que prejudicou a geração hidrelétrica e fez o setor elétrico brasileiro acionar ainda mais as termelétricas emissoras. Em 2020, as emissões foram menores: de 31,7 milhões de toneladas de CO₂e (IEMA, 2022).

Ressalta-se que, segundo Felipe Barcellos, outro autor do relatório, esse aumento deve continuar, uma vez que “cada vez mais termelétricas entram na matriz elétrica brasileira” (IEMA, 2022). Nesse sentido, confirma-se que o Brasil é um país diferenciado no que se refere à geração de energia menos poluidora, por ter a maior parte da sua energia elétrica gerada por hidrelétricas. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), apresentados no Balanço Energético Nacional, relatório de 2022, nossa matriz elétrica é composta por 56,8% de geração hidráulica, seguida de 12,8% por gás natural e 10,6% eólica (EPE, 2022). Segundo o mesmo relatório, a utilização final de fontes renováveis no Brasil representou um total de 82,9% no ano

de 2020. No Gráfico 1, é possível verificar a subdivisão das fontes da matriz elétrica brasileira:

GRÁFICO 1 – Matriz Elétrica Brasileira



Fonte: EPE (2022)

Com isso, podemos afirmar que o Brasil possui uma matriz elétrica formada por fontes renováveis, mais limpas e menos danosas ao meio ambiente. Porém, como citado acima, e ao que tudo indica, essa energia além de insuficiente para os próximos anos é dependente de fatores externos, como chuvas regulares, por exemplo. No decorrer deste trabalho, serão abordadas as opções para diversificar as fontes energéticas com foco no biogás.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é demonstrar, mediante análise de dados e informações relevantes, a importância socioambiental da geração de energia elétrica por fontes renováveis e as vantagens do biogás nesse cenário, bem como suas fontes e processos de tratamento.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Após a definição do principal objetivo, a partir da introdução e fundamentação teórica, definiu-se os seguintes objetivos específicos a fim de se atingir o objetivo geral: i) reconhecer a realidade brasileira no âmbito das ações e políticas internacionais que visam incentivar a redução da poluição do planeta com a implementação do uso de fontes de energia mais limpas e sustentáveis; ii) identificar os atributos ambientais, sociais e econômicos promovidos pelo aproveitamento da biomassa, apresentando o biogás enquanto uma alternativa para quase todos os combustíveis geradores de energia elétrica; iii) compreender como se dá a atual participação do biogás na matriz elétrica brasileira; iv) apresentar potenciais riscos de manter a matriz elétrica brasileira depende da energia produzida por fontes provenientes de recursos hídricos, ou seja, das hidrelétricas.

2 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foi utilizada a metodologia de revisão, que consistiu em um processo de investigação, seleção e análise de informações, mediante procedimento monográfico. Com base nisso, a pesquisa foi desenvolvida a partir de um levantamento documental e pesquisa bibliográfica de obras relevantes ao tema proposto, nas quais buscou-se informações em fontes confiáveis e atualizadas sobre o assunto em questão. A metodologia aplicada permitiu uma investigação detalhada sobre o tema, possibilitando alcançar os objetivos específicos estabelecidos neste trabalho.

A partir do objetivo de identificar a posição do Brasil no âmbito das políticas internacionais voltadas à redução da poluição ambiental através da utilização de fontes de energia renováveis, buscou-se realizar a análise de documentos produzidos a partir da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), com especial atenção aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Já o objetivo de identificar os atributos ambientais, sociais e econômicos, promovidos pelo aproveitamento da biomassa geradora do biogás e sua utilização enquanto fonte de energia, foi também efetivado por meio de análise documental, tomando por base informações fornecidas pelo PNBB - Programa Nacional do Biogás e Biometano.

Em relação ao objetivo específico de apresentar o biogás enquanto uma alternativa viável para substituição dos combustíveis geradores de energia elétrica, principalmente aos mais danosos ambientalmente, realizou-se uma revisão de literatura produzida por autores que evidenciavam tanto os benefícios do processo de produção de tal fonte como também a grande capacidade brasileira de produção do biogás.

Por fim, com intuito de compreender como se dá a atual participação do biogás na matriz energética brasileira, realizou-se um trabalho de coleta de dados primários sobre a matriz energética brasileira. A partir da análise de gráficos, cobrindo um panorama histórico de até dez anos, procurou-se compreender como se dá a subdivisão da matriz energética brasileira, quais suas principais fontes e dependências, bem como os índices de crescimento na utilização do biogás.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 METAS BRASILEIRAS DE COMBATE À POLUIÇÃO SEGUNDO OS ODS

Desde a adoção da Agenda 2030 pela ONU, todos os países integrantes da entidade foram convocados a adotar medidas que viabilizassem a implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em seu território. O Brasil, não só por ser um dos 51 membros fundadores das Nações Unidas, mas também enquanto um país de dimensões continentais e com grande potencial de conservação ambiental, também aderiu aos ODS para cumprir sua parte na concretização desse plano global de desenvolvimento sustentável. Com esse intuito, o governo brasileiro tomou a seguinte iniciativa:

Para coordenar a implementação da Agenda 2030 no Brasil, foi criada a Comissão Nacional dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, da Secretaria de Governo da Presidência da República (Segov/PR), que atribuiu ao Ipea a função de assessoramento técnico permanente aos seus trabalhos. Foi no cumprimento dessa atribuição que o instituto coordenou, em 2018, o processo de adequação das metas globais à realidade brasileira, considerando as estratégias, os planos e as políticas nacionais que podem promover a garantia do desenvolvimento sustentável na próxima década. (IPEA, 2020, p.5)

As metas brasileiras de redução da poluição buscaram então alinhar-se aos ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), 12 (Consumo e Produção Responsáveis), 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), 14 (Vida na Água) e 15 (Vida Terrestre). A partir desses objetivos, o governo brasileiro procurou promover ações com foco na redução da poluição do ar, da água e do solo, principalmente através de ações que viabilizassem a produção e a utilização de energia limpa.

A fim de garantir a utilização dessas fontes de energia, o governo brasileiro tem incentivado a implementação de fontes de energia renováveis, como eólica, solar e biomassa, a partir de incentivos fiscais e financeiros para estimular a integração dessas fontes à matriz energética brasileira. Por determinação da ONU, na condição de país em desenvolvimento, não cabe ao Brasil arcar com tais custos, recebendo assim auxílio financeiro da OCDE (Organização para a Cooperação e

Desenvolvimento Econômico), auxílio que, em 2017, atingiu o valor bruto de US\$ 875,5 milhões (IPEA, 2020).

3.2 ATRIBUTOS DO BIOGÁS E BIOMETANO

O Programa Nacional de Biogás e Biometano (PNBB), publicado no ano de 2023 pela Associação Brasileira do Biogás (Abiogás), traz uma síntese clara sobre os atributos (ambientais, sociais e econômicos) do biogás. A seguir, destacam-se os principais atributos ambientais de acordo com o documento. Atribui-se maior atenção aos itens 5 e 6, que são de fundamental importância ao se considerar o descarte do resíduo gerado junto ao biogás - o biofertilizante, que será tratado em momento específico:

- 1) Tratamento e valorização de resíduos e efluentes conforme a PNRS;
- 2) Solução para a emissão de metano que ocorre naturalmente quando não há tratamento adequado de resíduos;
- 3) Mitigação das emissões de GEEs pela substituição de combustíveis fósseis;
- 4) Oportunidade de captura e estocagem de CO₂, tornando as emissões do processo negativas;
- 5) Tratamento de resíduos, que também promove melhoria da qualidade da água e solos, inclusive com o retorno do Carbono do digestato para o solo;
- 6) Reciclagem de nutrientes na forma de biofertilizante, substituindo fertilizantes químicos e preservando reservas minerais;
- 7) Melhoria da qualidade do ar das cidades;
- 8) Melhoria das condições em aterros sanitários;
- 9) Geração de créditos e carbono que podem ser utilizados para abatimento de emissões em outros setores (PNBB – Programa Nacional do Biogás e Biometano, 2023).

Além do aspecto ambiental, o biogás apresenta um diferencial social muito grande: as estimativas da Associação Europeia de Biogás (EBA, 2023) mostram que são criados sete empregos permanentes a cada 1MW de potência instalada para a produção de biogás. A maioria desses empregos são gerados em meios rurais, desde a agricultura ou granja, passando pela área de construção, operação, monitoramento,

até a purificação final, levando assim desenvolvimento social para as áreas afastadas dos grandes centros.

Existe ainda a geração de energia, para uso próprio, em locais que não contam com estrutura de energia elétrica fornecida pelas companhias de energia, um diferencial na área social de caráter humano. Outra questão que vale ressaltar sobre o setor de energias renováveis é que esse setor se mostra mais adepto e inclusivo à entrada de mulheres quando comparados aos setores mais tradicionais, como óleo e gás, por exemplo (IRENA, 2019).

Abaixo, os atributos sociais destacados no documento do PNBB (2023):

- 1) Aumento da qualidade de vida da população pela melhoria na qualidade do ar nas cidades e nas condições sanitárias relacionadas à gestão dos resíduos urbanos e rurais;
- 2) Estímulo à geração de empregos e capacitações em diferentes áreas de atuação: operação e construção dos biodigestores, indústria de máquinas, equipamentos e laboratórios de análises químicas;
- 3) Estímulo a outros serviços: gestão e planejamento, vendas, comunicação, análise de dados e tecnologia da informação;
- 4) Estímulo à Pesquisa, Inovação, Ensino e Capacitação;
- 5) Desenvolvimento e inclusão social no interior do país e em áreas rurais;
- 6) Promoção da equidade de gênero em diferentes áreas de atuação e em ambientes rurais.

O biogás pode ser uma alternativa para quase todos os combustíveis geradores de energia, como lenha, óleo combustível e tantos outros. Sua previsibilidade e acesso são mais simples quando comparados a reflorestamento e importação de combustível, por exemplo. Abaixo, parte dos atributos econômicos extraídos do documento PNBB:

- 1) Aumento da segurança energética do país;
- 2) Valorização da indústria nacional, com a utilização de máquinas e equipamentos produzidos no país;
- 3) Redução das importações de máquinas, equipamentos e combustíveis fósseis;
- 4) Aumento da competitividade da indústria nacional com oportunidades de descarbonização a custos mais baixos;

- 5) Estímulo à fabricação nacional de veículos pesados a gás natural/biometano;
- 6) Redução de custos com infraestrutura de transporte, escoamento e importação de combustíveis;
- 7) Redução de custos de insumos e combustíveis para indústrias;
- 8) Uso de resíduos (materiais de baixo valor) e conversão destes em produtos de alto valor agregado (amônia, metanol e hidrogênio verde);
- 9) Geração de emprego e renda, em especial no interior do país;
- 10) Receita adicional com a comercialização de créditos de carbono;
- 11) Alinhamento com políticas de crescimento verde e os objetivos do desenvolvimento sustentável (PNBB, 2023).

O Quadro 1, também retirado do documento do PNBB, sintetiza o panorama sobre os atributos do biogás.

QUADRO 1 - Atributos do Biogás

Atributos do biogás	Benefícios para o setor elétrico
<p>Armazenável</p> <p>Despachável</p> <p>Descentralizado</p> <p>Capacidade de modulação</p> <p>Alta velocidade de resposta ao acionamento para o despacho.</p> <p>Complementariedade</p> <p>Viável desde a microgeração até projetos em grande escala</p> <p>Alto fator de capacidade (acima de 60%)</p>	<p>Atende a interesses da distribuição e da transmissão</p> <p>Atende locais "fins de linha"</p> <p>Redução das perdas e custos</p> <p>Postergação dos investimentos na distribuição</p> <p>Alívio de congestionamento dos sistemas de transmissão</p> <p>Atendimento à ponta de carga do sistema</p> <p>Resposta à demanda e sinais de preço</p> <p>Preenchimento de lacunas decorrentes da intermitência da energia solar e eólica</p> <p>Prestação de serviços ancilares à rede</p> <p>Controle de tensão e suporte de reativo</p> <p>Desoneração da fonte hídrica da prestação de alguns serviços à rede</p> <p>Atuação como Recurso Energético Distribuído</p> <p>Composição em microrredes e usinas virtuais</p>

3.2.1 SUBPRODUTO DO BIOGÁS, IMPORTÂNCIA E APROVEITAMENTO

Os dejetos animais contêm um grande número de contaminantes, por isso são tratados pelos órgãos ambientais como de grande potencial poluidor. Esses dejetos e efluentes causam grande impacto negativo à saúde pública, ao solo, ar e água. Por isso, esses resíduos demandam projetos de tratamento e destinação final. Uma destinação ambientalmente correta é a transformação desse resíduo em fertilizantes, o que evitaria a contaminação do solo e água (GEBLER; PALHARES, 2007).

Sob o aspecto econômico, existe um grande interesse no aumento da produção de rebanhos e a expectativa de elevar a posição do Brasil frente ao mundo. Essa é uma atividade crucial para a indústria nacional (SEGANFREDO, 2007). Mas, por outro lado, o Estado é pressionado a buscar alternativas para solucionar o problema dessa poluição gerada pelos dejetos animais, principalmente dos confinados, de modo que ainda seja possível manter o equilíbrio ambiental e dar continuidade às atividades produtivas (SEGANFREDO, 2007).

Tais dejetos são constituídos de água de bebedouro e de limpeza, urina, fezes, restos de alimentos e demais materiais provenientes dos criatórios. (KONZEN, 1993 *apud* EMBRAPA, 2002). O mau uso ou descarte do material (dejetos), produzido na agropecuária, está diretamente ligado a inúmeros impactos negativos para a população e o meio ambiente. Nesse caso, em especial, a fonte mais abundante é o nitrogênio (N), liberado na atmosfera em forma de amônia, e no solo e água, em forma de nitrato. Este produto quando em excesso na água, da mesma maneira que o fósforo e potássio, são aceleradores para formação de algas, consumidoras de oxigênio e causadoras da eutrofização (GEBLER; PALHARES, 2007).

A digestão de qualquer biomassa gera algum tipo de material ou resíduo. Um exemplo disso, o biofertilizante, é resultado da digestão de dejetos suínos e bovinos. No tópico a seguir, estarão listadas cada fase da biodigestão e será explicado o volume e momento em que é possível se obter esse produto.

O resíduo do biodigestor é obtido em forma líquida e, sendo rico em material orgânico (húmus), possui grande poder fertilizante. O húmus, quando aplicado no solo, diferentemente de fertilizantes sintéticos, faz com que as qualidades físicas, biológicas e químicas do solo sejam melhoradas (SGANZERLA, 1983).

O biofertilizante tem poder corretivo de acidez e favorece a absorção de nutrientes do solo. Sua matéria orgânica tem o poder de condicionar os solos pesados

ou arenosos, permitindo entrada de ar entre as raízes e conseqüente melhores condições de desenvolvimentos da vegetação cultivada (NOGUEIRA, 1986).

Portanto, são inúmeros os benefícios dos biofertilizantes, considerando não só a mitigação dos prejuízos que ele causa ao meio ambiente e a sociedade em geral, quando não aproveitado e simplesmente descartado, mas também com o aumento da produção para uso próprio bem como econômico.

3.2.2 BIODIGESTOR E ETAPAS DO PROCESSO

Utilizado para a fermentação anaeróbia de biomassa através de população de bactérias, o biodigestor é o equipamento responsável pela geração do gás combustível, objeto deste artigo, chamado de biogás. Segundo registros, o mais antigo dos biodigestores está datado de 1857, na Índia, e operava com dejetos equinos (MOTTA, 1986).

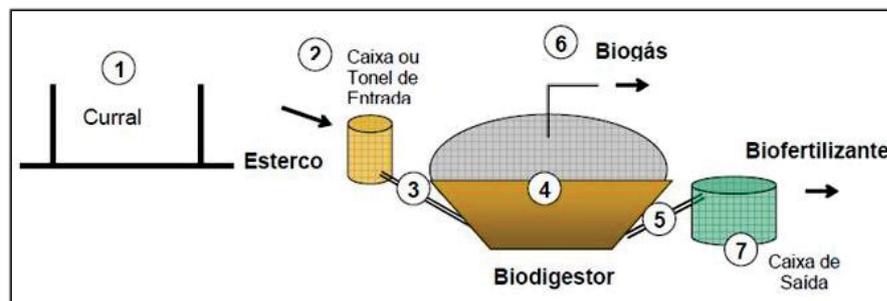
A fermentação anaeróbia da biomassa, ou simplesmente biodigestão, consiste em um processo biológico realizado por bactérias na ausência de oxigênio. Os resultados deste processo são o biogás e o biofertilizante. Na presença de oxigênio, há, majoritariamente, a formação de dióxido de carbono (CO_2). Já na ausência, o biogás produzido é rico em gás metano (CH_4) (ARRUDA *et al.*, 2002).

Dentre as várias reações e etapas que compõem a reação anaeróbia, pode-se destacar 4 etapas básicas: hidrólise, acidificação, acetogênese e metanogênese (CASSINI, 2003). A seguir, são explicadas as etapas de forma detalhada:

- a) Hidrólise: nesta etapa, a biomassa se forma com carboidratos, gorduras e proteínas, e estes são hidrolisados em aminoácidos, monossacarídeos e ácidos graxos de cadeia longa;
- b) Acidificação: aqui, os monômeros são transformados em álcoois e ácidos graxos voláteis;
- c) Acetogênese: a seguir, formam-se ácido acético, dióxido de carbono e hidrogênio, substratos para a produção de metano;
- d) Metanogênese: está é a fase final da degradação anaeróbia, em que são produzidos metano e dióxido de carbono (CASSINI, 2003)

A combinação ideal para extrair o máximo potencial da biodigestão é obtida através do equilíbrio entre as bactérias produtoras de gás metano e as produtoras de ácidos orgânicos. Encontrar esse equilíbrio depende da proporção precisa de água, pH, temperatura, qualidade do material orgânico e biomassa utilizada. Desse modo, a reação resulta na geração mais eficiente de biogás.

FIGURA 2 – Sistema de Biodigestão



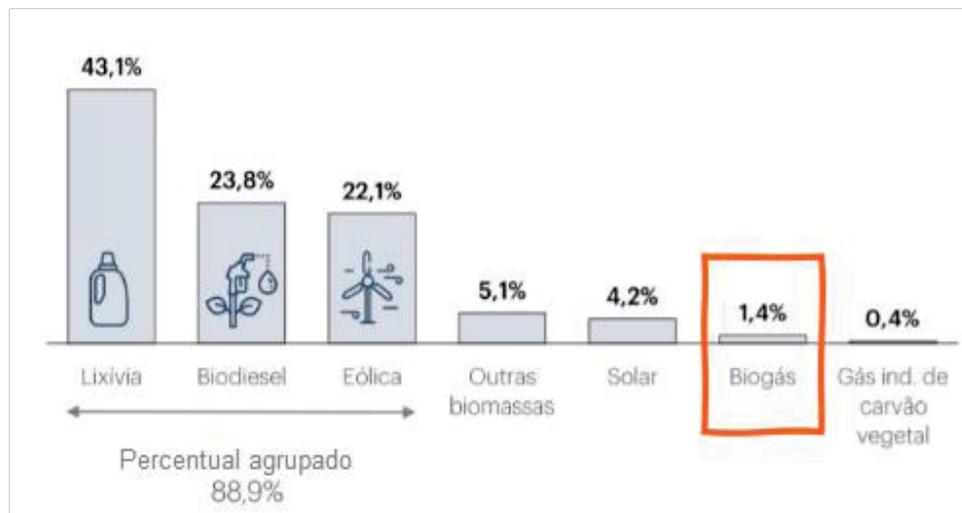
Fonte: TORRES *et al.* (2012)

3.3 PARTICIPAÇÃO DO BIOGÁS NA MATRIZ ENERGÉTICA E ELÉTRICA BRASILEIRA NO CENÁRIO ATUAL

Segundo o documento Panorama Atual do Biogás / 2021, em material disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Energética no VIII Fórum do Biogás (EPE, 2021), empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, existem sete categorias de fontes de energia consideradas “Outras renováveis”, as quais representam 7,7% do total da matriz. A *lixívia*³ tem a maior participação, seguida por biodiesel e energia eólica, que juntas representam quase 90% do total da produção de energia advinda dessas fontes, conforme apresentado na figura a seguir:

³ A *lixívia* utilizada na geração de energia, também conhecida como “licor negro”, é um composto rico em sódio e matéria orgânica, produzida no cozimento da madeira para a extração da celulose. *In*: BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **A Indústria de Papel e Celulose no Brasil e no Mundo: Panorama Geral** (2023).

FIGURA 3 - Repartição da Oferta de Outras Renováveis



Fonte: EPE (2021)

Por outro lado, a partir do exposto no mesmo documento, tal qual evidenciado nos dados da Figura 4, é possível notar que o biogás, enquanto matriz energética, apresenta o segundo maior crescimento (15,7%) no biênio 2019-2020, ficando atrás apenas da energia solar.

FIGURA 4 - Comparativo de Crescimento das Outras Renováveis - 2019/20 (índices em mil tep⁴)

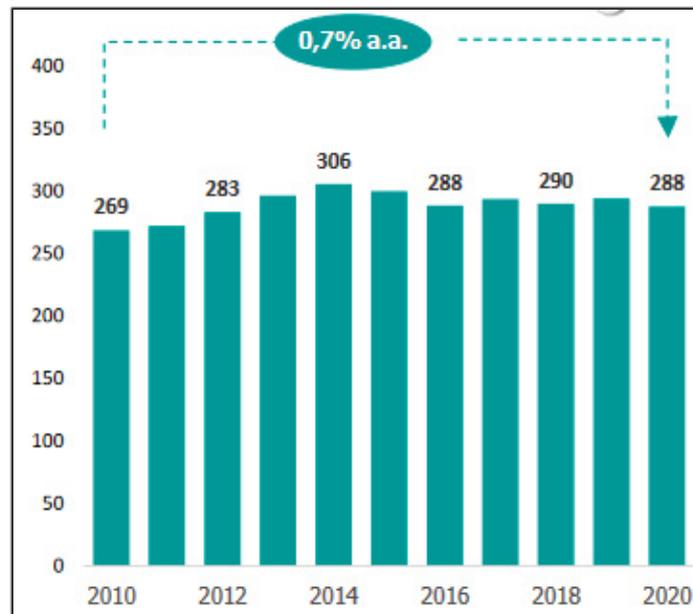
Outras renováveis (10 ³ tep)	2019	2020	Δ 20/19
Lixívia	8.948	9.576	7,0%
Biodiesel	4.878	5.300	8,6%
Eólica	4.815	4.906	1,9%
Outras biomassas ¹	1.149	1.139	-0,9%
Solar	572	924	61,5%
Biogás	269	311	15,7%
Gás industrial de carvão vegetal	81	85	4,3%
Total	20.712	22.241	7,4%

Fonte: EPE (2021)

⁴ A tep é uma unidade de medida utilizada para mensurar diferentes fontes de energia com base no poder calorífico em relação a cada energético de petróleo, de 10800 kcal/kg. In: BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Nota técnica COBEN 09: Fatores de Conversão** (2021).

A partir do gráfico abaixo (Gráfico 2), pode-se comparar a oferta interna de energia nos últimos 10 anos. Verifica-se que houve uma variação relativamente baixa (0,7% ao ano) em relação ao crescimento na oferta total de energia.

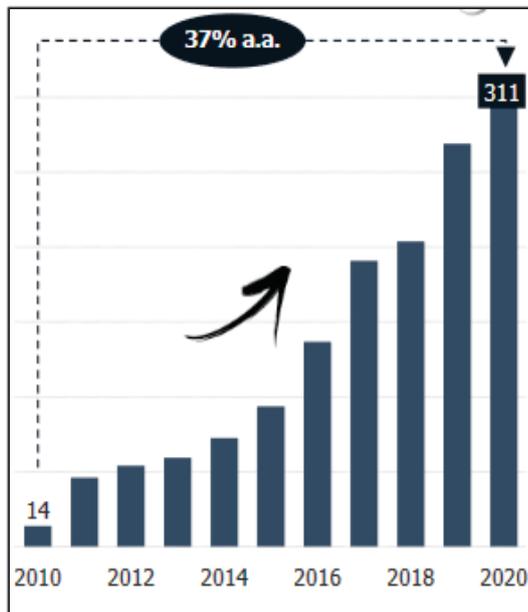
GRÁFICO 2 – Oferta Interna de Energia Total (índices em milhões de tep)



Fonte EPE (2021)

Entretanto, conforme constatado no Gráfico 3, a oferta interna de biogás, no mesmo período, apresentou um aumento de 37% ao ano, ainda que a oferta interna total tenha se mantido praticamente estável - como pode-se observar anteriormente. Isso pode indicar que o biogás, no período, foi importante no suporte do fornecimento de energia.

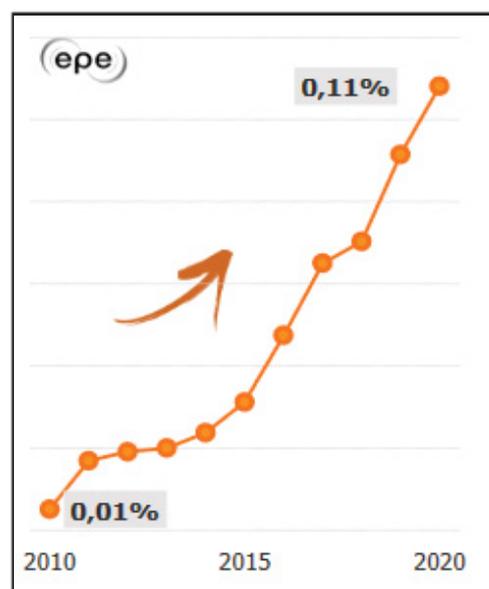
GRÁFICO 3 – Oferta Interna de Biogás (índices em mil tep)



Fonte: EPE (2021)

O Gráfico 4, por sua vez, tomando por base o mesmo período de 10 anos, aponta para um crescimento de 0,11% de participação do biogás em relação ao crescimento da oferta interna total de energia.

GRÁFICO 4 – Participação do Biogás na Oferta Interna



Fonte EPE (2021)

Embora ambos os gráficos apresentados (Gráfico 3 e 4) tenham evidenciado um significativo aumento na oferta do biogás, o país ainda está muito longe de usufruir

de todo o seu potencial. No Brasil, existem diversas fontes de biogás, como os resíduos da produção agropecuária, os resíduos urbanos e os efluentes das estações de tratamento de esgoto. Além disso, o país tem a capacidade instalada para produzir biogás a partir de biomassas renováveis, como a cana-de-açúcar; o bagaço da cana-de-açúcar, por sinal, representava em 2016, 78,2% das fontes de biomassa destinadas a geração de energia elétrica, totalizando uma produção de 11.008.691 KW (TERRA E CIA, 2016).

No âmbito da participação do biogás na matriz elétrica brasileira, segundo matéria publicada no Jornal da USP em 2022, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) indica que a potência outorgada para utilização de biomassa na produção de energia elétrica é de 8,83%. Esse percentual é equivalente a 14.019.781 KW (FERRAZ, 2022). Um percentual modesto quando considerado todo o potencial de produção de biogás do Brasil.

Conforme a Abiogás, estimasse que por ano o Brasil deixa de utilizar, aproximadamente, 44,1 bilhões de metros cúbicos de biogás, devido ao não aproveitamento dos resíduos da agroindústria, pecuária e saneamento. Com tal montante seria possível produzir 120 milhões de m³/dia de biometano, o equivalente a 19 GW da capacidade instalada para a produção de energia elétrica, ou seja, daria para “suprir 34,5% da demanda por energia elétrica ou substituir 70% do consumo de diesel do país”(PNBB, 2023).

Todo esse biogás, quando transformado em energia, entraria como substituto de outras fontes, além de trazer ganhos reais aos suinocultores ou agricultores em áreas ativas. Entretanto, a falta de infraestrutura adequada, a falta de incentivos do governo e a falta de investimentos são alguns dos principais obstáculos que impedem o país de aproveitar todo o potencial do biogás.

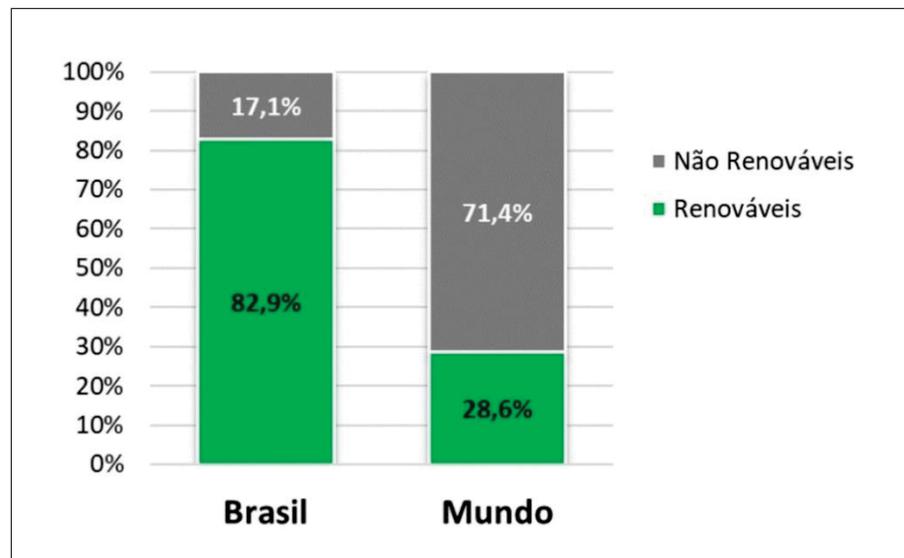
O biogás pode representar uma parcela relevante de fornecimento de energia gerada no campo e fora dele. Essa prática reduziria assim o uso de outras matérias utilizadas na produção de energia. Dentre várias, as mais utilizadas são recursos hídricos, madeira, gás derivado de petróleo (fóssil) e diversas outras culturas alimentares (BARRERA, 1993).

3.4 SETOR ELÉTRICO, EVOLUÇÃO E CRISE

Dentre tantos requisitos básicos para a sobrevivência com dignidade e desenvolvimento é, sem dúvida, na eletricidade que se encontra um dos recursos mais importantes. É por meio dela que se viabiliza desde o básico para a maior parte da população (iluminação, a utilização de aparelhos eletroeletrônicos), assim como possibilita o funcionamento de grandes indústrias. Com o desenvolvimento tecnológico, a eletricidade se tornou hoje acessível não só nos espaços urbanos, alcançando os mais variados e distantes locais e proporcionando qualidade de vida a quem a utiliza. Em 2019, foi realizado pelo IBGE a PNAD (Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios). Esse estudo constatou que 99,8% da população é servida de energia elétrica (IBGE, 2019). Este percentual demonstra o quanto a população em geral é dependente da eletricidade, ressaltando a relevância de manter seu fornecimento adequado em todo o território nacional.

A energia elétrica pode ser obtida das mais diversas formas. No Brasil, conforme apresentado anteriormente, a principal forma de produção da eletricidade é através da força das águas (hidrelétricas). A geração hidráulica totaliza 56,8%, seguida pelo gás natural, 12,8%, e eólica, 10,6%. Esses valores indicam que a matriz elétrica brasileira se caracteriza por ser predominantemente oriunda de um conjunto de fontes renováveis, bem acima da média mundial. Segundo dados do EPE, referentes ao ano de 2020, 82,9% da energia elétrica brasileira é proveniente de fontes renováveis, enquanto a média mundial é de apenas 28,6%, conforme se verifica no gráfico abaixo.

GRÁFICO 5 – Comparativo de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo – 2020



Fonte: EPE (2021)

A possibilidade de poder contar com grande parte da sua matriz elétrica gerada a partir de fontes renováveis deveria representar, além de orgulho para o Brasil, um motivo de segurança para sua população, afinal, são fontes renováveis advindas do próprio país. Porém, a segunda suposição não se verifica na prática. No início dos anos 2000, foi registrada no Brasil uma crise eletroenergética gravíssima, na qual ocorreram apagões programados: medidas impostas pelos órgãos competentes para racionamento, como redução de iluminação pública, nas indústrias e comércios. Após essa crise, várias mudanças operacionais foram realizadas. Entretanto, algo que não mudou foi a fonte majoritária de geração de energia, sendo as hidrelétricas as principais responsáveis pela energia elétrica do país. No ano de 2022, aproximadamente 20 anos após a maior crise eletroenergética, a matriz elétrica continua sendo sustentada, conforme visto, principalmente pela força das águas; o que acarreta também na sua dependência das oscilações climáticas.

E o problema eletroenergético tende a se agravar ainda mais, não só pelo aumento populacional mas também pela disseminação da aquisição e uso de equipamentos eletrônicos - considerando que seja mantido o atual padrão de dependência das mesmas fontes na geração de eletricidade. De acordo com o demonstrado na Tabela 1, a qual apresenta uma comparação entre a capacidade instalada - ou seja, a capacidade máxima de produção de energia por usinas hidrelétricas e termelétricas - e o consumo total (industrial e não) da sociedade

brasileira, a partir de um panorama histórico de mais de 20 anos, verifica-se que essa produção sempre esteve aquém das necessidades reais do país. Ou seja, em um contexto de maior exigência de produção de energia elétrica, ante o aumento no consumo, tal qual tem se verificado na sociedade atual, seja pelo aumento da população ou pelo maior uso de eletroeletrônicos, não há como imaginar que essa demanda será atendida.

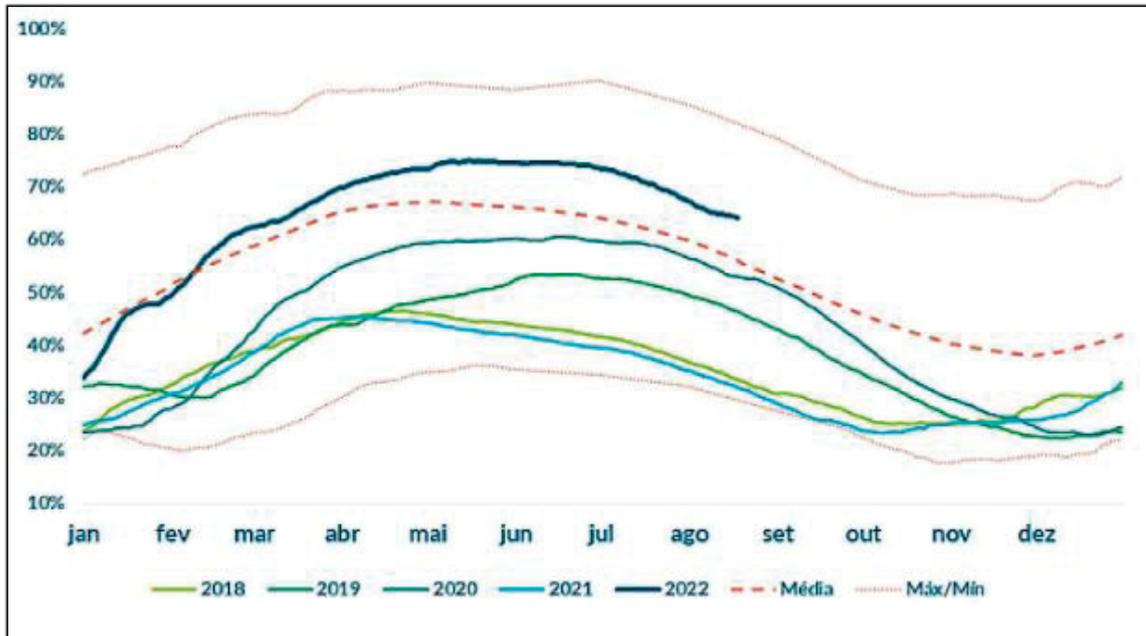
TABELA 1 - Setor Elétrico: Evolução da Capacidade Instalada e de Consumo de Energia Elétrica (1963 – 1984)

Ano	Capacidade instalada (MW)			Consumo (GWh)		
	Total	Hidráulica	Térmica	Total	Industrial	Não Industrial
1963	6.355	4.479	1.876	22.818	11.555	11.063
1964	6.840	4.894	1.846	23.521	11.958	11.563
1965	7.411	5.391	2.020	24.268	12.108	12.160
1966	7.566	5.524	2.042	26.494	13.596	12.898
1987	8.042	5.787	2.255	27.988	13.881	14.127
1968	8.555	8.183	2.372	31.399	16.116	15.283
1969	10.262	7.857	2.405	34.201	17.266	16.935
1970	11.233	8.828	2.405	37.673	19.345	18.328
1971	12.670	10.244	2.426	42.487	22.094	20.393
1972	13.249	10.721	2.528	47.374	25.024	22.350
1973	15.354	12.495	2.859	52.842	28.532	24.310
1974	17.526	14.265	3.241	58.741	31.674	27.067
1975	19.056	16.150	2.906	66.013	35.616	30.397
1976	20.827	17.670	3.157	75.267	41.748	33.519
1977	22.491	19.263	3.198	83.989	46.526	37.463
1978	25.300	21.740	3.580	93.899	52.438	41.261
1979	27.970	24.265	3.705	104.825	58.791	46.034
1980	31.141	27.014	4.133	115.874	64.287	51.587
1681	35.734	31.452	4.282	119.710	64.303	55.407
1982	38.989	32.975	6.014	132.115	72.914	59.201
1983	39.584	33.484	6.120	141.415	77.150	64.285
1984	41.662	35.524	6.138	157.128	89.068	68.060

Fonte: Silva (2021, p. 57-59)

Sendo assim, é provável que esse contexto de uma produção deficitária possa se agravar ainda mais, exigindo que se busque o quanto antes outras fontes de geração de energia elétrica, principalmente não atreladas a mudanças climáticas. No Gráfico 6, pode-se observar o elevado índice de variação nos reservatórios brasileiros, tanto no decorrer dos meses (conforme as estações) quanto no comparativo entre anos (período compreendido entre 2018 e 2022), afetado por fatores climáticos, principalmente a escassez de chuvas.

GRÁFICO 6 – Armazenamento Médio Histórico dos Reservatórios



Fonte: CAMERGE, 2022.

Essa oscilação nos níveis hídricos tem um impacto direto na produção de energia elétrica, já que, conforme exposto anteriormente, maior parte da energia produzida no Brasil vem de hidrelétricas. A falta de água nos reservatórios gera uma série de desafios para as empresas do setor elétrico que precisaram, imediatamente, implementar medidas emergenciais para garantir o fornecimento de energia sem afetar a economia do país. A mais comum é submeter a população a regimes de racionamento mediante o aumentando das bandeiras tarifárias. Ou seja, onerasse a população pela falta de alternativas à matriz brasileira. Mais uma razão, para se adotar um planejamento estratégico urgente de modo minimizar a dependência da setor hídrico para a produção de energia elétrica.

Apesar do cenário de risco ao setor, a superação dos obstáculos para uma ampla participação do biogás na matriz elétrica brasileira parece longe de realizar-se. A falta de infraestrutura em algumas regiões (linhas de transmissão e ligações à rede), os custos iniciais dos projetos de implantação (que podem ser mais elevados do que os de fontes tradicionais), a instabilidade econômica dificultando a atração de investimentos externos (mesmo que instigados por iniciativas internacionais de proteção ambiental) e até a influência da indústria de combustíveis fósseis nas

demandas e políticas governamentais podem ser alguns dos agentes responsáveis pelo atraso em uma mais efetiva utilização do biogás.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O biogás é um biocombustível gerado a partir da decomposição de matérias orgânicas como resíduos agrícolas, dejetos de animais confinados, rejeitos industriais, esgoto sanitário e lixo urbano. O biogás pode ser convertido em biometano, um combustível renovável utilizado em veículos, máquinas agrícolas e indústrias, substituindo os combustíveis fósseis como o petróleo e o gás natural, bem como para produzir energia elétrica e térmica de forma renovável e limpa.

O Brasil é reconhecido por seu grande potencial para a produção de biogás, mas, apesar disso, o país ainda não se beneficia desse recurso. O mau aproveitamento desse biocombustível é um problema não só pelo desperdício de uma excelente fonte de energia limpa e renovável, mas também por se perder a oportunidade de resolver outro problema ambiental grave: o descarte inadequado de dejetos e rejeitos.

A demanda de energia do Brasil é crescente, e a produção de biometano poderia gerar empregos e renda em regiões rurais, que muitas vezes são negligenciadas pelo desenvolvimento econômico. Além disso, a produção de biogás seria uma excelente forma de mitigar as emissões de gases de efeito estufa, ajudando o Brasil a cumprir suas metas de redução de emissões estabelecidas nas Agendas Ambientais como a Agenda 2030.

Apesar desses benefícios, e de outros levantados neste estudo, o desafio a ser enfrentado para a produção de biogás no Brasil é grande. A falta de infraestrutura adequada, os tímidos incentivos do governo e os poucos investimentos em pesquisas e produção são alguns dos principais obstáculos que impedem o país de melhor aproveitar todo o seu potencial na geração do biogás.

REFERÊNCIAS

- ABIOGÁS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS. **PNBB: Programa Nacional do Biogás e Biometano**. Disponível em: https://uploads-ssl.webflow.com/632ab10950c5e334290bfadf/6390dd3aaa9ca8211589e557_PNBB.pdf. Acesso em: 10 abr. 2023.
- ARAÚJO, Rafael Barros de. **Biogás do Futuro e o Futuro do Biogás**. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: https://uploads-ssl.webflow.com/632ab10950c5e334290bfadf/6390dd2186e981661bb69111_painel-02-rafael-barros.pdf. Acesso em: 25 mar. 2023.
- ARRUDA, Mariliz H.; AMARAL, Lúcio de P.; PIRES, Odair P. J.; BARUFI, Charles R. V. Dimensionamento de Biodigestor para Geração de Energia Alternativa. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça/SP: Ed da FAEF, ano 1, n. 2, p. 3, dez. 2002. Disponível em: <http://www.revista.inf.br/agro02/notas/notatecnica01.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2012.
- BARRERA, P. **Biodigestores: Energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. São Paulo: Ícone, 1993.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **A Indústria de Papel e Celulose no Brasil e no Mundo: Panorama Geral**. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/a-industria-de-papel-e-celulose-no-brasil-e-no-mundo-panorama-geral>. Acesso: 01 abr. 23.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Nota técnica COBEN 09: Fatores de Conversão**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/balanco-energetico-nacional/1-sobre-o-ben/1-12-nota-tecnica-coben-09-fatores-de-conversao-pdf/pdf/view>. Acesso em: 05 abr. 2023.
- CAMERGE. **Monitoramento do mercado**. Camerge: Florianópolis, 2022. Disponível em: <http://camerge.com.br/monitoramento-do-mercado/>. Acesso em: 23 ago. 2022.
- CASSINI, Sérgio Túlio. (coord.). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás** – PROSAB. Vitória: ABES; RIMA, 2003.
- DEGANUTTI, R.; PALHACI, Maria do Carmo Jampaulo Plácido; ROSSI, Marco A.; TAVARES; Roberto; SANTOS, Claudemilson dos. Biodigestores Rurais: Modelo Chinês, Indiano e Batelada. In: **Encontro de Energia Meio Rural**, 4, 2002. Anais eletrônicos. Campinas, SP: UNESP, 2002.
- DIETER, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources**. Weinheim: Wiley-VCH, 2008.
- EBA - EUROPEAN BIOGAS ASSOCIATION. **Biogas simply the best**. Disponível em: <https://www.europeanbiogas.eu/biogas-simply-the-best/>. Acesso em: 01 abr. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2022**: ano base 2021. Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf. Acesso em: 25 mar. 2023.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Matriz Energética e Elétrica: ABCDEnergia**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 8 mar. 2023.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2021**: ano base 2020. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 28 mar. 2023.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021**: ano base 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio_2021.pdf. Acesso em: 05 abr. 2023.

FERRAZ, Jr. **Série Energia**: Geração de energia através do biogás já representa 8,9% da matriz elétrica no Brasil. USP, Campus Ribeirão Preto. Julho, 2022. Disponível: <https://jornal.usp.br/?p=541075>. Acesso em: 25 abr. 2023

GADANHA, C.D.; MOLIN, J.P.; COELHO, J. L. D.; YAHN, C. H.; TOMIMORI, S. M. A. W. **Máquinas e implementos agrícolas no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991.

GBLER, L.; PALHARES, J. C. P. **Gestão Ambiental na Agropecuária**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**: Unidades da Federação. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 10 dez. 2011.

IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente. **Emissões de gases de efeito estufa de usinas termelétricas cresceram 75%**. Instituto de Energia e Meio Ambiente, dez. 2022. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-de-usinas-termelétricas-cresceram-75-20221215>. Acesso em: 6 abr. 2023.

IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente. **Segundo Inventário de Emissões Atmosféricas em Usinas Termelétricas**: geração de eletricidade, emissões e lista de empresas proprietárias das termelétricas a combustíveis fósseis do Sistema

Interligado Nacional. 2022. Disponível em: <http://energiaeambiente.org.br/produto/2o-inventario-de-emissoes-atmosfericas-em-usinas-termeletricas>. Acesso em: 6 abr. 2023.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Cadernos ODS: ODS 17 - Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável**. Governo Federal, 2020. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/200408_Cadernos_ODS_17.pdf. Acesso em: 22 fev. 2023.

IRENA. **Renewable Energy: A Gender Perspective**. 2019. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2019/Jan/Renewable-Energy-A-Gender-Perspective>. Acesso em: 03 abr. 2023.

MILANEZ, Artur Yabe; *et al.* **Biogás: Evolução recente e potencial de uma nova fronteira de energia renovável para o Brasil**. BNDES, Set., Rio de Janeiro, v. 27, n. 53, p. 177-216, mar. 2021. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/20801/1/PR_Biogas_215276_P_BD.pdf. Acesso em: 26 abr. 2023.

MOTTA, F. S da. **Produza sua energia: biodigestores anaeróbios**. Recife: Sete, 1986.

MOTTA, Kenia Unfer. **Avaliação da Geração de Biogás de um Biodigestor de Dejetos Bovinos e Suínos**. 2012. 127 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) - Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial. UFPR, Universidade Federal do Paraná; SENAI; UNIVERSITÄT STUTTGART (Alemanha), Curitiba.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Nações Unidas Brasil, 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>. Acesso em: 1º abr. 2023.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: A alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986.

PROÁLCOOL - Programa Brasileiro de Álcool. **Biodieselbr**, 29 jan. 2006 atual. 4 mar. 2012. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/proalcool/proalcool/programa-etanol>. Acesso em: 31 mar. 2023.

SEGANFREDO, M. A. **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

SGANZERLA, E. **Biodigestor: uma solução**. Porto Alegre: Agropecuária, 1983.

SILVA, B. G. **Evolução do setor elétrico brasileiro no contexto econômico nacional: uma análise histórica e econométrica de longo prazo**. 2011. 162 f. Dissertação (Mestrado - Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

TERRA & CIA. **Biomassa representa 8,8% da matriz elétrica do Brasil.** Nova Cana. Publicado em 25 Jul 2016. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/biomassa-representa-8-8-matriz-eletrica-brasil-250716>. Acesso em: 31 abr. 2023.

TORRES *et al.* **Fundamentos de implantação de biodigestores em propriedades rurais.** Educação Ambiental em Ação, Revista EA, Número 40, 4 jun. 2012. Disponível em <https://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1248>. Acesso em: 2 abr. 2023.

UN Environment Programme – UNEP. **Sustainable Development Goals.** 2023. Disponível em <https://www.unep.org>. Acesso em: 1º abr. 2023.