

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO
ESCOLA DE GOVERNO PAULO NEVES DE CARVALHO
ESPECIALIZAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA,
PLANEJAMENTO E GESTÃO GOVERNAMENTAL

**A POLÍTICA DE DESCARBONIZAÇÃO DO ESPÍRITO SANTO PARA A
TRANSIÇÃO ENERGÉTICA COM O DESENVOLVIMENTO DO BIOMETANO**

Fernanda Furtado Orletti

Leonardo Gariglio Daher

Louise Bussolotti

VITÓRIA – ES

2023

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO
ESCOLA DE GOVERNO PAULO NEVES DE CARVALHO
ESPECIALIZAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA,
PLANEJAMENTO E GESTÃO GOVERNAMENTAL

**A POLÍTICA DE DESCARBONIZAÇÃO DO ESPÍRITO SANTO PARA A
TRANSIÇÃO ENERGÉTICA COM O DESENVOLVIMENTO DO BIOMETANO**

Fernanda Furtado Orletti

Leonardo Gariglio Daher

Louise Bussolotti

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Especialização em
Administração Pública, Planejamento e
Gestão Governamental, da Escola de
Governo Professor Paulo Neves de
Carvalho, da Fundação João Pinheiro.

Orientador: Renato Teixeira Brandão

VITÓRIA – ES

2023

1. Introdução

A Terra está enfrentando uma crise climática sem precedentes, impulsionada principalmente pelo aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, este resultante das atividades humanas. As mudanças climáticas estão afetando os ecossistemas, a biodiversidade, os recursos naturais e, o que é mais preocupante, a vida das populações mais vulneráveis. A busca por alternativas sustentáveis na matriz energética tem sido uma prioridade em todo o mundo, impulsionada pelo crescente reconhecimento dos impactos das mudanças climáticas.

No campo econômico, os cortes de fornecimento de gás russo para a Europa, em virtude da guerra Rússia-Ucrânia, acarretaram no aumento dos preços da energia e criaram um risco para a economia global impulsionando a transição energética. De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), órgão ligado à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), composta por diversos governos, entre eles os Estados Unidos, países da Europa, Japão, China e Índia, estima-se que as novas políticas definidas para a transição energética devem levar ao investimento global em energia limpa a superar os US\$ 2 trilhões por ano até 2030.

Este estudo aborda o contexto das mudanças climáticas e destaca a urgência de uma transição energética justa, com destaque ao fomento do biometano no Espírito Santo, como uma resposta necessária e moralmente imperativa a essa crise.

Nesse contexto, o biometano emerge como uma promissora fonte de energia limpa, contribuindo significativamente para a descarbonização e o desenvolvimento sustentável. No Espírito Santo essa temática se enquadra dentro do escopo da Lei Estadual n.º 9.531/2010, que institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC), seguida do Decreto Estadual n.º 5.387-R, de 05 de maio de 2023, que cria o Programa Capixaba de Mudanças

Climáticas com o objetivo de coordenar e integrar ações e políticas públicas voltadas à mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

Este artigo irá explorar mais a fundo os desafios e as oportunidades associados à transição energética justa, analisando o programa de mudanças climáticas e as metas que precisam ser alcançadas, bem como os compromissos assumidos pelo Governo do Estado do Espírito Santo. Abordará também a importância do biometano para o alcance das metas de redução das emissões de gases de efeito estufa, as diversas formas de extração do biogás, a transformação de nossos sistemas de energia e economias de forma a assegurar um futuro sustentável e equitativo.

2. Contexto das Mudanças Climáticas e a Necessidade de uma Transição Energética Justa

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ONU Meio Ambiente) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) em 1988, com o objetivo de fornecer aos formuladores de políticas avaliações científicas regulares sobre a mudança do clima, suas implicações e possíveis riscos futuros, bem como para propor opções de adaptação e mitigação, tem sido uma autoridade de destaque na avaliação das mudanças climáticas. Os relatórios publicados têm consolidado evidências científicas esmagadoras de que o planeta está aquecendo devido às atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento.

O relatório especial do IPCC de 2018 alertou que, para evitar os piores impactos, devemos limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (IPCC, 2018). O relatório do IPCC sobre Energias Renováveis destaca a importância da bioenergia na mitigação das mudanças climáticas.

As consequências das mudanças climáticas já são visíveis em todo o mundo, desde eventos climáticos extremos, como furacões e secas, até o

aumento do nível do mar e a acidificação dos oceanos. Além disso, essas mudanças têm impactos diretos na segurança alimentar, no acesso à água potável e na estabilidade econômica e política de diversas nações (IPCC, 2021).

Diante dessa crise climática, a transição energética se destaca como uma estratégia essencial. A transição energética envolve a migração de sistemas de energia baseados em combustíveis fósseis para fontes de energia limpa e renovável, como solar, eólica e hidrelétrica. No entanto, a mera transição energética não é suficiente. É crucial que essa transição seja acima de tudo justa.

A justiça na transição energética implica em garantir que as comunidades mais afetadas pelas mudanças climáticas e pelas políticas de mitigação não sejam prejudicadas. A inclusão de grupos marginalizados, a proteção dos direitos trabalhistas e a criação de oportunidades econômicas equitativas são princípios centrais da transição energética justa (Sovacool et al., 2020). Podemos observar políticas que estão sendo desenvolvidas nessa área, como o Fundo para uma Transição Justa da União Europeia. Instituído pelo Regulamento (UE) 2021/1056 do Parlamento Europeu e do Conselho da UE, de 24 de junho de 2021, trata-se de um instrumento financeiro que se insere no âmbito da política de coesão e visa prestar apoio aos territórios que enfrentam graves desafios socioeconômicos decorrentes do processo de transição para uma economia com impacto neutro no clima. O Fundo facilitará a aplicação do Pacto Ecológico Europeu, cujo objetivo é a consecução da neutralidade climática da União até 2050. É executado em regime de gestão partilhada, o que significa uma cooperação estreita com as autoridades nacionais, regionais e locais.

Contudo, para poderem ter acesso ao apoio concedido pelo Fundo para uma Transição Justa, os Estados Membros têm de apresentar planos territoriais de transição justa. Esses planos delineiam domínios de intervenção específicos, baseando-se para tal nos impactos econômicos e sociais da transição. Nomeadamente, os planos devem ter em conta as perdas de

emprego esperadas e as necessidades decorrentes da transformação dos processos de produção nas instalações industriais que apresentam uma maior intensidade de emissões de gases com efeito de estufa¹.

O Governo Federal após votação aberta na plataforma governamental Brasil Participativo, plataforma do governo federal que coleta propostas e votos da população para o Plano Plurianual (PPA) 2024-2027, inseriu a criação de um Fundo Soberano para impulsionar a transição energética justa. A proposta foi a segunda mais votada no segmento de energia e foi uma iniciativa da Federação Única dos Petroleiros (FUP).

A Organização das Nações Unidas (ONU) em seu “Relatório sobre os Países Menos Desenvolvidos- 2022”, mobiliza o mundo a apoiar o grupo de 46 nações que engloba cerca de 1,1 bilhão de pessoas que vivem nesses territórios, no caminho de uma transição de baixo carbono justa, equilibrada e sustentável. Um ponto relevante desse relatório é que a contribuição destes países para as emissões de CO2 tem sido mínima. Em 2019, o total esteve 4% abaixo do lançamento global de gases do efeito estufa, mas em 50 anos, cerca 69% das mortes mundiais causadas por catástrofes relacionadas com o clima ocorreram nessas realidades. O apelo aos países é que usem formas de produção sustentáveis e invistam mais na construção de novas capacidades produtivas e na expansão das já existentes. Outra medida a ser tomada é a de agregar mais valor e concatenações produtivas entre setores em nível nacional. Assim, essa “transformação estrutural verde” irá reduzir a pobreza e aumentar a resiliência para que as nações do grupo das nações menos desenvolvidas possam melhor gerir, se adaptar e responder aos riscos climáticos.

No contexto das mudanças climáticas, fontes de energia alternativa e renovável ganham destaque. O biometano, uma forma de gás natural renovável produzido a partir da biomassa orgânica, emerge como uma solução

¹ [Fundo para uma Transição Justa | Fichas temáticas sobre a União Europeia | Parlamento Europeu \(europa.eu\)](#)

promissora. A produção de biometano envolve a captura e utilização de gases de efeito estufa de curto prazo, como o metano (CH₄), emitidos durante a decomposição de resíduos orgânicos (Energigas, 2021). Além disso, o biometano pode ser utilizado como combustível limpo em diversos setores, incluindo transporte e geração de energia.

Uma transição energética justa com a inclusão do biometano requer políticas e estratégias que garantam a equidade no acesso a seus benefícios, considerem os impactos em comunidades locais e respeitem os direitos das partes interessadas, incluindo trabalhadores e proprietários de terras. Além disso, a sustentabilidade ambiental deve ser priorizada na produção de biomassa para a geração de biometano (Wang et al., 2019).

O desenvolvimento do biometano contribui para o atingimento de diversas metas estabelecidas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas. Os ODS são um conjunto de 17 metas transversais, lançadas em setembro de 2015, como parte da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, representando um compromisso global para desafios urgentes, como a pobreza, a fome, a saúde, a educação, a desigualdade de gênero, a água limpa, o saneamento, a paz e a justiça, entre outros, de maneira sustentável. O Brasil tem a oportunidade de intensificar seus esforços na implementação dos ODS, não apenas como parte de um compromisso global, mas também para garantir um futuro mais promissor para as gerações atuais e futuras. Considerando a temática da transição energética com o desenvolvimento do biometano, segue abaixo alguns dos ODS que podem ser impactados positivamente:

1. ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável: utilização de resíduos hoje considerados lixo transformando-os em ativos financeiros para os agricultores.

2. ODS 7 - Energia Limpa e Acessível: o biometano é uma fonte de energia renovável produzida a partir de resíduos orgânicos, o que contribui para a diversificação da matriz energética e redução da dependência de combustíveis fósseis.

3. ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura: o desenvolvimento de tecnologias relacionadas à produção, purificação e distribuição do biometano pode impulsionar a inovação na indústria de energia e infraestrutura.

4. ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis: o uso do biometano como combustível para veículos ou na rede de gás contribui para reduzir as emissões de gases de efeito estufa nas áreas urbanas, promovendo cidades mais limpas e sustentáveis.

5. ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis: a produção de biometano a partir de resíduos orgânicos apoia práticas de consumo e produção sustentáveis, incentivando a gestão eficiente dos recursos e a redução de resíduos.

6. ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima: a substituição de combustíveis fósseis pelo biometano ajuda a reduzir as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para mitigar as mudanças climáticas.

7. ODS 15 - Vida Terrestre: a produção de biometano a partir de resíduos orgânicos pode ajudar a diminuir a quantidade de resíduos depositados em aterros sanitários, contribuindo para a preservação dos ecossistemas terrestres.

8. ODS 17 - Parcerias e Meios de Implementação dos Objetivos: o desenvolvimento do biometano requer colaboração entre governos, setor privado e sociedade civil, promovendo parcerias para atingir metas comuns de sustentabilidade.

3. Os compromissos oficiais do Governo do Estado do Espírito Santo

O Espírito Santo aderiu oficialmente às campanhas “Race to Zero” (Corrida para o Zero), uma iniciativa global que visa unir governos, empresas, organizações sem fins lucrativos e a sociedade civil em prol de um futuro mais sustentável, e ao “Race to Resilience” (Corrida para a Resiliência) da ONU, comprometendo-se com a realização de ações visando a neutralização de emissões de gases de efeito estufa até 2050 e a resiliência climática. Dos compromissos assumidos pelo Espírito Santo, conforme decreto nº 4938-R de 02 de agosto de 2021, estava o de aprovar o Plano Estadual de Mudanças

Climáticas, a atualização do Inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE) e o Plano Estratégico para Ações Emergenciais (PEAE).

O Programa Capixaba de Mudanças Climáticas, no âmbito do Poder Executivo Estadual, foi estabelecido por meio do Decreto N° 5387-R, datado de 05 de maio de 2023. Dentro desse contexto, o “Plano de Descarbonização e Neutralização de Emissões de GEE do Espírito Santo” se destaca como uma ferramenta de suma importância para o acompanhamento dos compromissos do Espírito Santo. Ele delinea o percurso a ser seguido para atingir a neutralidade de carbono, identificando as estratégias e projetos a serem implementados, além de discutir os meios de financiamento para apoiar as mudanças necessárias na matriz energética, transporte, processos industriais e outras atividades correlatas.

O plano define quatro áreas temáticas fundamentais para a execução de ações que conduzam à descarbonização da economia do Espírito Santo: “(i) Energia & Indústria; (ii) Transportes; (iii) Resíduos; e (iv) Agropecuária, Florestas e Uso do Solo (AFOLU).” (Espírito Santo. Plano de Descarbonização e Neutralização de Emissões de GEE do Espírito Santo. 2022. p. 121).

Com base no diagnóstico realizado, foram identificadas 04 (quatro) políticas estratégicas que devem ser aplicadas em todas as áreas temáticas, servindo como instrumentos para alcançar a meta de neutralizar as emissões globais do Espírito Santo até 2050:

1. Minimização das Emissões;
2. Aumento da Eficiência;
3. Mecanismos de Compensação de Emissões;
4. Remoção e Captura de GEE.

“Enquanto as políticas 1 e 2 tem seu objetivo facilmente relacionado à rota para uma economia livre de carbono, é importante definir mais claramente o papel das políticas 3 e 4, visto que em muitas situações um empreendimento ou setor responsável por emissões de GEE pode decidir criar seu próprio

projeto de remoção ou captura de GEE (um projeto de reflorestamento, por exemplo). Neste caso, as atividades de Compensação de Emissões e as atividades de Remoção e Captura de GEE se confundem e são internalizadas pelo empreendimento, ou seja, o próprio empreendimento compensa internamente as suas emissões, reduzindo suas emissões globais líquidas.”(Espírito Santo. Plano de Descarbonização e Neutralização de Emissões de GEE do Espírito Santo. 2022. p. 137-139).

Com base nessas Políticas Estratégicas, foram desenhadas Diretrizes para cada área temática, levando em consideração o inventário de emissões existente, vocações, potencialidades, limitações e características socioeconômicas do Estado em cada uma delas. No total foram identificadas 22 Diretrizes, divididas nas quatro linhas temáticas, que resultaram em 50 estratégias delineadas para atingir a meta de neutralização das emissões globais do Espírito Santo até 2050.

Dentro da área temática de Energia & Indústria, uma das diretrizes é o emprego de biocombustíveis e novos combustíveis, que é o tema que vamos aprofundar no presente estudo.

As estratégias abordadas para essa diretriz são:

1. Fomentar produção de hidrogênio;
2. Fomentar produção de biogás e biometano a partir dos resíduos;
3. Gás natural como combustível de transição para combustíveis renováveis.

No ano de 2013 o governo estadual realizou a publicação do Atlas de Bioenergia do Espírito Santo, através de um acordo de cooperação técnica entre a Agência de Regulação dos Serviços Públicos do Espírito Santo (ARSP), o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) e a Companhia Espírito Santense de Saneamento (Cesan). O atlas retrata o potencial da biomassa do Estado do Espírito Santo e sua viabilidade para a geração de energia através do biogás, com mapas

geoprocessados, acerca da disponibilidade de cada tipo de biomassa por município do Estado. O município capixaba com maior potencial energético de bioenergia é Linhares.

BIOMASSA	Potencial [KW]
Bagaço de Cana-de-açúcar (30 KWh/tc)*	4.014
Carvão (eficiência de 15%)	322
Lenha (eficiência de 15%)	396
Resíduo de Madeira em Tora (eficiência de 15%)	3.071
Cacau (casca)	510
Café (casca de grão)	300
Coco (casca)	133
Milho (palha)	120
Biogás do efluente líquido bovino	22.484
Biogás do efluente líquido equino	981
Biogás do efluente líquido suíno	338
Biogás do efluente líquido caprino e ovino	15
Biogás do efluente líquido das aves	2.303
Biogás dos efluentes líquidos domésticos e comerciais **	758
Biogás dos resíduos sólidos urbanos em 2010 ***	60

* Eficiência do processo de geração (Kilowattora/tonelada de cana);
 ** 60% do efluentes gerados sendo tratados: Projeto Águas Limpas;
 *** 53% dos resíduos sólidos são coletados na região Sudeste,
 dado elaborado pela COPE/UFPRJ com dados do Censo IBGE e ABRELPE 2009.
 Fontes: IBGE - Censo 2010, Área do município, Efluentes Líquidos Animais,
 Silviculturas, Lavoura permanente, Lavoura Temporária,
 Efluentes Líquidos Domésticos e Comerciais, Resíduos Sólidos Urbanos;
 EDP - Consumo de Energia elétrica em 2010;

Figura 1. Atlas de bioenergia do Espírito Santo.



Figura 2. Atlas de bioenergia do Espírito Santo.

4. Conceito biogás e biometano

De acordo com o livro Tecnologias de produção e uso do biogás e biometano: “O biogás é uma mistura gasosa combustível composta principalmente de metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂), derivada da atividade biológica durante a decomposição de resíduos orgânicos em meio anaeróbico (sem a presença de oxigênio). A composição do biogás varia de acordo com o

substrato a ser degradado e com as condições físicas e químicas que influenciam no processo da biodigestão anaeróbia. De acordo com Wereko-Brobby & Hagen (2000), a composição volumétrica típica do biogás é cerca de 60% CH₄ , 35% CO₂ e 5% de outros gases: nitrogênio, amônia, gás sulfídrico, monóxido de carbono e oxigênio, entre outros.”(Coelho et. al, Tecnologias de Produção e Usos do Biometano, 2018, p. 7)

Já o biometano “ é utilizado para identificar a mistura gasosa resultante do processo de limpeza, purificação ou upgrading do biogás, no qual são retirados, principalmente, umidade, CO₂ , H₂S, siloxanos (no biogás de aterro e ETE) e outros contaminantes a nível de traços. As vantagens do biometano sobre o biogás é que ele possui características físico-químicas semelhantes às do gás natural, fato que o credencia a substituir este combustível em seus diversos usos, com a vantagem de ser produzido a partir de matéria orgânica residual e renovável. Somado a isso, o poder calorífico do biometano é maior que o do biogás, fato que torna o seu transporte e armazenamento mais competitivo que o do biogás por apresentar maior densidade energética que o biogás.” (Coelho et. al, Tecnologias de Produção e Usos do Biometano, 2018, pag. 85)

A Resolução ANP nº 886, de 29 de setembro de 2022, estabelece a especificação e as regras para aprovação do controle da qualidade do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais, a ser comercializado no território nacional. Em seu artigo 2º, são apresentadas as definições de biogás e biometano, vejamos:

Art. 2º Para os fins desta Resolução ficam estabelecidas as seguintes definições:

I - biogás: gás bruto obtido da decomposição biológica de resíduos orgânicos;

II - biometano: gás constituído essencialmente de metano, derivado da purificação do biogás;

Assim como o biogás, o biometano pode ser utilizado em uma variedade de aplicações, como a produção de eletricidade, o aquecimento e até mesmo como combustível veicular. Devido à sua pureza, o biometano pode ser injetado em conjunto ao gás natural fóssil na mesma rede já existente, sem causar prejuízos ao sistema.

O biogás e o biometano são considerados formas de energia renovável porque são produzidos a partir de matéria orgânica em processo de decomposição, que é uma fonte naturalmente renovável. Além disso, seu uso contribui para a redução de emissões de gases de efeito estufa, pois evita a liberação de metano na atmosfera durante o processo de decomposição da matéria orgânica.

Durante a 26ª Conferência das Partes (COP26) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), realizada no Reino Unido em novembro de 2021, o Governo Federal aderiu, junto com mais de 100 países, ao esforço global para reduzir em 30% as emissões de metano até 2030 em relação aos níveis de 2020. Em conjunto com as metas estabelecidas e as diversas aplicações do biometano foi instituído pelo Governo Federal o Programa Nacional de Redução de Metano de Resíduos Orgânicos – Metano Zero. O foco de atuação está voltado para o aproveitamento energético e como combustível de resíduos ou produtos orgânicos como fontes de biogás e biometano. Destaque é dado aos resíduos sólidos urbanos e agrícolas, provenientes, por exemplo de: aterros sanitários, produção de cana-de-açúcar, suinocultura, criação de aves, indústria de laticínios, entre outros. Dentre outras medidas de incentivo ao uso do biometano e biogás, que contribuirão para o crescimento verde, citamos as linhas de crédito e financiamento específicas de agentes financeiros públicos e privados para o desenvolvimento de ações e atividades, incluindo-se as de:

- a) implantação de biodigestores;
- b) implantação de sistema de purificação de biogás, produção e compressão de biometano;

- c) criação de pontos e corredores verdes para abastecimento de veículos pesados movidos a biometano, tais como ônibus, caminhões e implementos agrícolas, contribuindo para a redução de gases de efeito estufa e para a melhoria da qualidade do ar;
- d) implantação de tecnologias que permitam a utilização de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de emissões de gases de efeito estufa em motores de combustão interna de ciclo Otto ou diesel, atendidas as normas fixadas pelos órgãos competentes;
- e) alavancagem da utilização ou desenvolvimento da tecnologia veicular;
- f) desoneração tributária para infraestruturas relacionadas com projetos de biogás e biometano.

Portanto, essas fontes de energia desempenham um papel importante na mitigação das mudanças climáticas e na transição para uma matriz energética mais sustentável, com planos de governo bem definidos em nível federal a serem projetados em projetos e ações efetivas.

5. O ciclo de produção do biometano

O ciclo do biometano é um processo que envolve a produção, purificação e utilização do biogás como fonte de energia renovável e sustentável. O biogás é uma mistura de gases, principalmente metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), que é produzida a partir da decomposição de matéria orgânica, como resíduos agrícolas, resíduos orgânicos de alimentos, esgoto e outros resíduos orgânicos. O biometano é uma forma purificada e aprimorada do biogás, com alto teor de metano, geralmente acima de 90%, tornando-o adequado para uso como combustível, seja para geração de eletricidade, aquecimento ou como combustível veicular.

O ciclo do biometano é composto por várias etapas interligadas, que são essenciais para transformar o biogás em biometano utilizável. As etapas principais do ciclo do biometano incluem:

1. **Produção de Biogás:** A primeira etapa envolve a coleta de resíduos orgânicos, como esterco animal, resíduos de plantas e alimentos, em biodigestores. Esses biodigestores promovem a decomposição anaeróbica da matéria orgânica pelos microrganismos, resultando na produção de biogás.
2. **Limpeza do Biogás:** O biogás produzido contém impurezas, como sulfeto de hidrogênio (H₂S) e compostos orgânicos voláteis, que precisam ser removidos para melhorar a qualidade do biogás. Isso é feito por meio de sistemas de purificação, como absorção química ou processos de membrana.
3. **Transformação em Biometano:** Após a limpeza, o biogás é enriquecido em metano, aumentando seu teor para mais de 90% de metano, o que resulta no biometano.
4. **Armazenamento:** O biometano pode ser armazenado para uso futuro em reservatórios ou tanques.
5. **Distribuição e Uso:** O biometano purificado pode ser injetado na rede de gás natural, usado para gerar eletricidade em usinas de cogeração, ou utilizado como combustível para veículos movidos a gás natural comprimido (GNC) ou gás natural liquefeito (GNL).

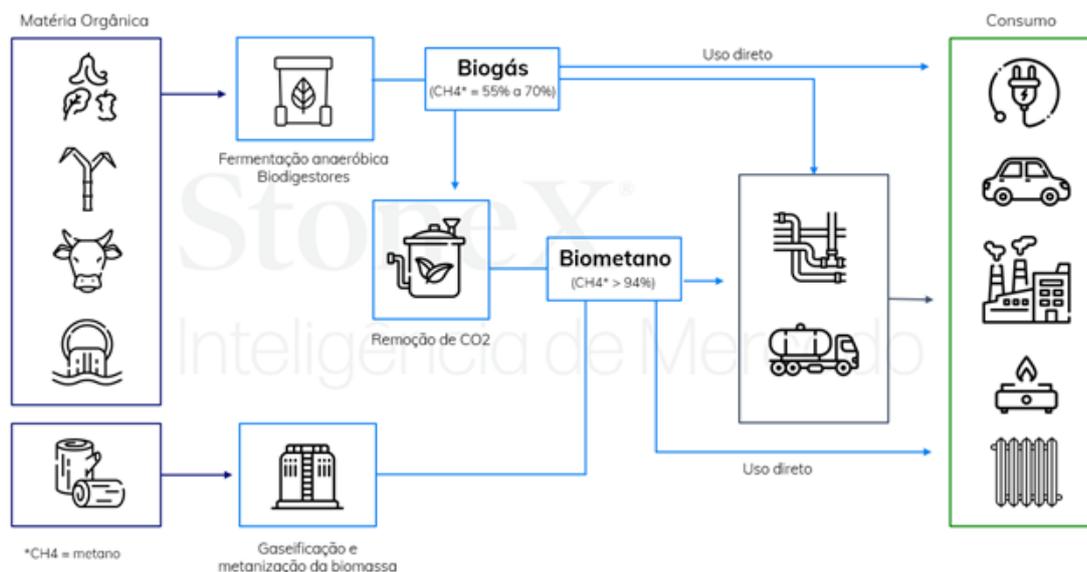


Figura 3. Ciclo do Biometano. Fonte: IEA. Elaboração Stone X.

6. Pioneirismo do Brasil na Produção de Biometano

O Brasil tem se destacado como um pioneiro na produção de biometano, aproveitando suas vastas áreas agrícolas e expertise na produção de biogás.

A produção de biometano no Brasil remonta às primeiras experiências na década de 1970, quando a tecnologia de produção de biogás a partir de resíduos orgânicos começou a ser explorada. No entanto, a verdadeira revolução na produção de biometano no país ocorreu nos últimos anos, com o aumento da conscientização sobre questões ambientais e a necessidade de buscar fontes de energia mais limpas e renováveis.

O sucesso do Brasil na produção de biometano é em grande parte atribuído à implementação de políticas públicas e regulamentações sólidas e progressivas. O Programa Nacional de Biogás e Metano (PNBM), lançado em 2018, desempenhou um papel fundamental na promoção da produção de biometano no Brasil. Este programa estabeleceu metas ambiciosas para a produção e utilização de biometano, incentivando a pesquisa e desenvolvimento, bem como a criação de um mercado sustentável para o biometano.

O governo brasileiro também ofereceu incentivos financeiros, como subsídios e linhas de financiamento específicas, para promover o desenvolvimento da indústria de biometano. Isso atraiu investimentos e estimulou a expansão da produção em todo o país.

Nesse contexto, se destacam algumas vantagens observadas:

1. **Ampla Disponibilidade de Matéria-Prima:** O país possui vastos recursos de biomassa, incluindo resíduos agrícolas, dejetos animais e lixo orgânico, que são ideais para a produção de biometano. Essa disponibilidade de matéria-prima sustentável é um dos fatores-chave do sucesso.
2. **Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa:** A produção e uso de biometano ajudaram a reduzir as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para o compromisso do Brasil no combate às mudanças climáticas.
3. **Energia Renovável e Autossuficiência:** O biometano desempenha um papel importante na busca do Brasil pela autossuficiência energética e no aumento da participação de energias renováveis em sua matriz energética.
4. **Exportação de "Know-How":** O Brasil se tornou um líder no desenvolvimento de tecnologias de produção de biometano e compartilhou seu conhecimento com outros países interessados em promover essa fonte de energia limpa.

O Brasil está na vanguarda da produção de biometano, aproveitando seus recursos naturais e o compromisso com políticas de sustentabilidade. Com um histórico de inovação e compromisso contínuo com a pesquisa e desenvolvimento, o Brasil continua a desempenhar um papel vital na promoção do biometano como uma alternativa limpa e renovável aos combustíveis fósseis.

7. Perfil de emissões do estado e potencial de mitigação

O biometano desempenha um papel essencial no esforço global para atingir as metas de descarbonização, abrangendo vários eixos dos programas de transição energética e sustentabilidade do Estado. As fontes de energia renovável têm o potencial de revolucionar a forma como a energia é produzida e utilizada, além de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas. Citamos, alguns exemplos da importância do biometano no contexto das metas de descarbonização:

1. Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa: o biometano é gerado a partir da decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos, impedindo a liberação de metano, um potente gás de efeito estufa, para a atmosfera;
2. Diversificação da Matriz Energética: o biometano oferece uma oportunidade valiosa para diversificar a matriz energética, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. Essa diversificação aumenta a resiliência do sistema energético e diminui os impactos negativos das flutuações de preços dos combustíveis. O estudo de Di Lucia et al. (2015) explora como o biometano pode ser injetado na rede de gás natural, diversificando as fontes de gás;
3. Economia Circular e Gestão de Resíduos: a produção de biometano a partir de resíduos orgânicos contribui para uma economia circular, reduzindo a quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários. Isso não apenas gera energia, mas também promove a gestão sustentável de resíduos. O artigo de Rajagopal et al. (2013) explora a inibição da digestão anaeróbica devido ao excesso de amônia, um desafio relacionado à gestão de resíduos;
4. Fomento ao Uso Sustentável da Terra: a produção de culturas energéticas para produção de biometano pode ser realizada de forma a promover o uso sustentável da terra, evitando a conversão de terras férteis em terras de cultivo de biocombustíveis. A European Biogas

Association (EBA) (2018) destaca o biogás como uma alternativa sustentável na produção de gás verde;

5. Estímulo à Inovação e Tecnologias Sustentáveis: o desenvolvimento contínuo de tecnologias para a produção e purificação de biogás e biometano é uma área de inovação em rápido crescimento. Wall et al. (2019) discutem como o biogás pode ser usado como um sistema de armazenamento de energia flexível e como combustível de transporte, destacando o potencial de inovação na área.

O Estado do Espírito Santo possui um perfil de emissões de GEE diferenciado do padrão nacional, e corresponde a 1,4% das emissões do Brasil (dados de 2020, SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa). No Brasil, ao contrário do Espírito Santo, muito em virtude do desmatamento da floresta amazônica, a contribuição das emissões do setor de Mudanças do Uso da Terra e Florestas é bastante acentuada. As principais contribuições para as emissões de GEE no ES vêm dos setores Processos Industriais (31%) e de Energia (32%). Característica essa de origem do próprio desenvolvimento de mercado estabelecido no estado, com forte predominância da indústria do aço e exploração de minério e petróleo.

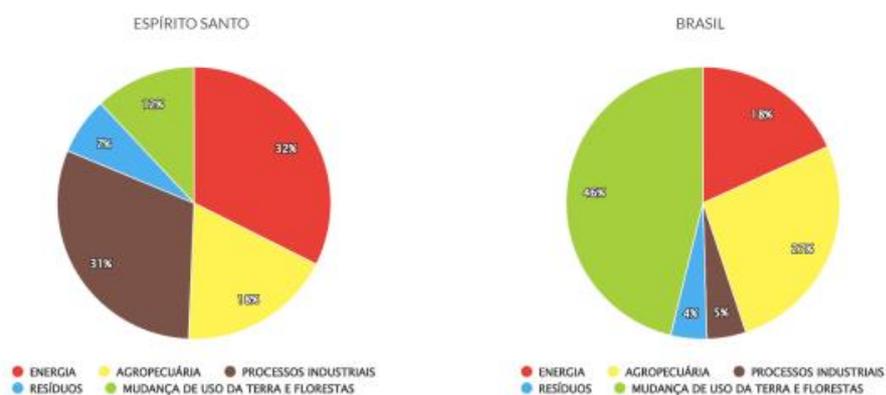


Figura 4. Participação relativa dos setores fonte nas emissões de GEE do Espírito Santo e do Brasil (escpo 1), no ano de 2020. Fonte: SEEG.

Realizando o agrupamento dos setores Agropecuária, Mudanças do Uso da Terra e Florestas, denominado-o assim de AFOLU, percebe-se que este grupo responde por 73% das emissões brasileiras, mas apenas 30% das emissões do ES. O setor de AFOLU é o único atualmente no estado

responsável pela captura de GEE. Assim, considerando então os setores AFOLU, Energia e Processos Industriais o Espírito Santo possui uma divisão quase que igualitária de 30% por setor. Se faz necessária uma análise de fatores que possam mitigar as emissões de GEE para o atingimento dos compromissos realizados pelo estado.

Considerando as vertentes do Programa Capixaba de Mudanças Climáticas (transporte, resíduos, energia e AFOLU), é possível constatar que a produção e utilização de gás contribui nas quatro vertentes do Programa sendo assim de grande importância para a mitigação das emissões de GEE.

No setor de transporte podemos ter a utilização de biogás como combustível de veículos de passageiros, coletivos e frotas de logística. Além disso, o biogás tem potencial de substituição de até 70% de todo o consumo de óleo diesel do Brasil. O biogás gera ainda uma economia entre 20% e 30%, quase R\$1 por litro equivalente de diesel (fonte: Abiogás).

No setor de energia e indústria, o biogás é uma alternativa para redução do consumo pelo Estado de energia proveniente do Sistema Interligado Nacional (SIN). Além disso, o biogás é o primeiro passo para produção de biometano e hidrogênio, que são duas estratégias do plano de descarbonização.

Em AFOLU a estratégia do plano de descarbonização que prevê a adoção do uso de fertilizantes organominerais pode ser contemplada por meio de produção dos fertilizantes de biodigestores.

O Espírito Santo ainda tem a possibilidade de realizar a desativação e consequentemente o fechamento de um aterro sanitário após o término de sua vida útil, em paralelo a produção de biogás. Além do uso de resíduos agrícolas para produção de biogás e biometano. Assim, a parte de resíduos no Programa Capixaba de Mudanças Climáticas seria contemplada de maneira eficiente trazendo benefício também para as políticas regionais de resíduos sólidos.

Fica clara a importância da necessidade do desenvolvimento de políticas públicas na área de fomento para produção e utilização do biogás e do biometano, considerando sua relevância para o atingimento das metas em todas as vertentes do Programa Capixaba de Mudanças Climáticas.

Em resumo, o biometano é uma peça fundamental no quebra-cabeça da descarbonização, oferecendo benefícios substanciais em relação à redução de emissões, diversificação da matriz energética, promovendo a economia circular, uso sustentável da terra e estímulo à inovação. A integração eficaz dessa fonte de energia nas políticas energéticas e práticas do mundo real desempenha um papel vital na construção de um futuro mais limpo, sustentável e resiliente.

8. A regulamentação para utilização do biometano na rede de distribuição

Segundo o Decreto Federal nº 10.712/2021, o biometano é considerado equiparável tecnicamente ao gás natural e pode ser submetido a regulamentação semelhante, desde que esteja em conformidade com as especificações técnicas definidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP.

No estado do Espírito Santo, a utilização do biometano na rede está sujeita às disposições da Resolução ARSP nº 065, datada de 29 de junho de 2023. Essa resolução estabelece as condições relativas à distribuição do biometano através do sistema de distribuição de gás canalizado do estado.

Essas regulamentações estabelecem critérios e diretrizes para a distribuição de biometano, com o objetivo de fomentar o desenvolvimento por meio da comercialização e distribuição desse recurso energético via sistema de distribuição de gás canalizado de maneira segura e contínua.

Assim, o Espírito Santo dispõe de requisitos e critérios para a distribuição de biometano, e uma vez que essas regulamentações estejam em vigor, podem promover o desenvolvimento, facilitar a comercialização e

garantir a distribuição confiável e segura desse importante recurso energético através do sistema de distribuição de gás canalizado.

9. Como fomentar o ciclo do biometano

Fomentar o ciclo do biogás e biometano exige um esforço coordenado de governos, empresas e sociedade civil. A transição para essas fontes de energia mais limpas e renováveis pode desempenhar um papel importante na redução das emissões de gases de efeito estufa e no desenvolvimento de uma matriz energética mais sustentável. A Agência Internacional de Energia (AIE) publicou em 2021 um roteiro para que os setores alcancem emissões líquidas zero de gases de efeito estufa até 2050. O estudo, denominado *Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector*, indica que é necessário uma transformação sem precedentes na produção, transporte e uso da energia, sendo o investimento total anual necessário em energia projetado pela IEA de US\$ 5 trilhões até 2030, o que acrescentaria 0,4 pontos percentuais ao ano no crescimento do PIB global. Dentre as soluções apontadas pelo estudo destaca-se a utilização da bioenergia e o desenvolvimento de tecnologias para a captura de CO₂.

O investimento necessário precisa ser debatido entre os atores da equação que se quer zerar, para isso é fundamental o papel dos governos na transição energética. Investimentos considerados de longo prazo não acontecem imediatamente sem que ocorra alguma intervenção nos modelos atuais. A mudança de todo um modelo de economia com base na transição energética precisa de fundamentos com vantagens para todos para que os resultados esperados sejam alcançados.

Em um estudo desenvolvido pela SustainAbility em parceria com a GlobeScan em 2012, *The 2012 Sustainability Leaders | Report*, reuniu a opinião de aproximadamente 800 especialistas de 74 países para entender as visões futuras sobre o papel da colaboração nos desafios da sustentabilidade, entre representantes do poder público, ONG's, empresas e academia. A participação do governo em iniciativas relacionadas ao desenvolvimento

sustentável é fundamental para os especialistas ouvidos no estudo. Seja por meio da presença explícita ou implícita, da regulação ou de parcerias público-privadas, a vasta maioria dos especialistas acredita na necessidade de envolvimento do setor público para o sucesso da agenda no setor. Considerando as dimensões geográficas brasileiras, e as significativas disparidades regionais, ter uma governança colaborativa é essencial para o alcance das metas.

Os incentivos fiscais são instrumentos da Política Nacional de Desenvolvimento Regional (PNDR), que visam estimular a formação do capital fixo e social em regiões menos desenvolvidas, com o objetivo de gerar emprego e renda e estimular o desenvolvimento econômico e social. Essa medida favorece a diversificação da economia regional, a geração de empregos e o aumento da arrecadação tributária em longo prazo. Além disso, a presença de novas empresas pode impulsionar o surgimento de cadeias produtivas locais e estimular a inovação tecnológica. Contudo, é essencial que essas políticas sejam constantemente aprimoradas e monitoradas para garantir que alcancem seus objetivos de forma sustentável e equitativa, promovendo um desenvolvimento mais equilibrado e inclusivo em todo o território brasileiro (FIGUEREDO, 2023).

A seguir estão listadas algumas estratégias para promover o ciclo do biometano:

- Desenvolvimento de Infraestrutura: investir na expansão da infraestrutura é fundamental, isso inclui a criação de novas instalações de tratamento de resíduos orgânicos e a expansão das redes de coleta de biogás, podendo ser feito com base nas diretrizes mencionadas no estudo da Agência Internacional de Energia (AIE) sobre a promoção do biogás;
- Incentivos Fiscais e Subsídios: estabelecer políticas de incentivos fiscais e subsídios específicos para a produção de

biogás e biometano é uma forma eficaz de atrair investidores e estimular o crescimento do setor.

- **Conscientização Pública:** lançar campanhas de conscientização pública é fundamental para aumentar a aceitação e a demanda por biogás e biometano.
- **Parcerias Estratégicas:** promover a colaboração entre governos, indústrias, organizações não governamentais e instituições acadêmicas é essencial para impulsionar a inovação.
- **Investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D):** o estímulo à pesquisa e desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para a produção e purificação de biometano é crucial. Isso pode ser feito em cooperação com instituições acadêmicas e centros de pesquisa.

Essas ideias, juntamente com políticas integradas e ações concretas, podem contribuir significativamente para o fomento do ciclo do biometano, consolidando essa fonte de energia como parte fundamental de um futuro sustentável.

A regulamentação recente do combustível biometano no Brasil em 2020 pela ANP o equiparando ao gás natural (autorizando a comercialização em postos para uso veicular, a injeção em gasodutos misturado ao gás natural, e geração elétrica e térmica) já traz avanços, mas ainda contamos com poucas e pequenas usinas produzindo o biometano. De acordo com a ABiogás, existem 670 usinas de biogás em operação no Brasil e atualmente há somente 3 plantas para geração de biometano. Nesse sentido, vale observar que, na Europa, segundo dados European Biogas Association (EBA), existem 18.943 usinas de biogás e 725 usinas de biometano. Ainda segundo a ABiogás, o biogás tem potencial para deslocar 34,5% da demanda de energia elétrica do país, que é de 482TWh, enquanto o biometano pode deslocar 70% da demanda de diesel nacional, que é de 67 bilhões de litros.

A ANP disponibiliza de forma interativa a visualização dos dados de produção de biometano oriundos das declarações dos agentes via Sistema de Informações de Movimentação de Produtos (Simp). O Painel Dinâmico de Produtores de Biometano apresenta o mapa dinâmico com os dados de localização de todos os produtores de biometano regulados pela ANP, capacidades autorizadas de produção, além de informações relativas à produção regional e matéria-prima, com possibilidade de aplicação de filtros por período. As tabelas com a base de dados utilizados também foram disponibilizadas.

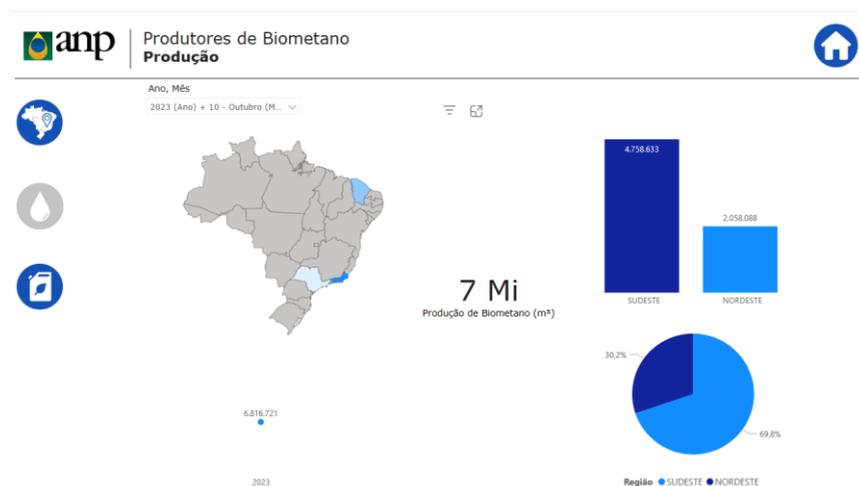


Figura 5. Produção de Biometano por região. Fonte: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-e-mapa-dinamicos-de-produtores-de-combustiveis-e-derivados/painel-dinamico-de-produtores-de-biometano>

A Usina Hidrelétrica de Itaipu, hidrelétrica binacional localizada no Rio Paraná, na fronteira entre o Brasil e o Paraguai, possui a primeira planta de produção de biometano brasileira a partir de mistura de esgoto, restos orgânicos e poda de grama, toda a produção é destinada ao abastecimento da frota da empresa. O investimento foi da ordem de R\$3,5 milhões, e desde 2017 já processou 550 toneladas de resíduos, de acordo com o Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás). Além do biometano, a unidade também produz biofertilizantes para a fertirrigação de gramas ou áreas degradadas.

10. A importância do biometano para o desenvolvimento regional

O Decreto Federal nº 10.936/2022, que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal n.º 12.305/2010, harmoniza e unifica previsões legais, e ao mesmo tempo ratifica determinações e conceitos já trazidos pela PNRS, visando ao adequado gerenciamento de resíduos sólidos em território nacional. O decreto confere maior clareza e segurança jurídica, determina responsabilidades, simplifica e desburocratiza a criação de planos e acordos setoriais, incentiva o desenvolvimento técnico-científico, a inovação e o empreendedorismo do setor de resíduos para atrair novos investimentos privados. Nesse contexto, novos projetos poderão ser implementados de maneira mais eficiente e eficaz no território brasileiro.

Dentre os novos investimentos privados que necessitam ser fomentados encontra-se a produção de energia, que tem no resíduo agrícola no Espírito Santo uma promissora fonte de desenvolvimento. Somada a possibilidade de realizar geração distribuída de energia², temos um fator de alto potencial para a promoção do desenvolvimento regional capixaba, além de um benefício econômico para quem empreende, e principalmente com impacto ambiental positivo.

O ES tem um potencial de produção de 522 milhões m³/ano de biometano, sendo 91,7 milhões m³/ano relacionado ao setor sucroenergético, 3,7 milhões de m³/ano relacionado à produção agrícola, 390 milhões m³/ano relacionado a proteína animal e 36,6 milhões m³/ano relacionado ao setor de saneamento. De acordo com a Abiogás estima-se que em 2030 o Brasil pode chegar a 32 milhões de m³/dia a um investimento de R\$50 bilhões.

A interiorização do gás, com a geração situada próxima ao centro de consumo, bem como uma oferta pulverizada de mercado, possibilita a injeção de biometano na rede de distribuição juntamente com gás natural, ou mesmo a expansão da rede de distribuição realizada utilizando-se caminhões que

² A geração distribuída é uma modalidade de geração de energia elétrica que tem como característica a proximidade dos geradores junto aos seus consumidores, também, denominado de geração junto a carga ou em suas proximidades

levam o gás produzido na propriedade rural até a rede mais próxima. O desenvolvimento rural a partir da instalação de biodigestores gera produtos que favorecem o desenvolvimento econômico da propriedade rural, transformando o resíduo em ativo econômico.

O biodigestor rural pode reduzir a contaminação das águas e dos solos por dejetos animais, a emissão de gases de efeito estufa e ainda aumentar a renda do produtor. Um importante subproduto é possível de ser ofertado em conjunto com a energia limpa e renovável, que são os biofertilizantes, que possuem alto valor agregado para a agricultura.

Uma outra vertente para a geração do biometano se dá a partir de resíduos sólidos urbanos (RSU), que é um desafio crescente nas áreas urbanas, à medida que as populações urbanas aumentam. A disposição inadequada de resíduos em aterros sanitários pode levar a problemas ambientais, como a liberação de metano (CH₄), um gás de efeito estufa potente, e à contaminação do solo e das águas subterrâneas (IBGE, 2019).

A produção de biometano a partir de RSU envolve várias etapas, incluindo a coleta seletiva de resíduos orgânicos, sua digestão anaeróbica e a purificação do biometano para alcançar a qualidade do gás natural (IBAMA, 2017). Tecnologias avançadas, como a digestão em fase única e a purificação por membranas, estão sendo desenvolvidas para tornar o processo mais eficiente (Rajagopal et al., 2013).

A transformação de RSU em biometano não apenas reduz as emissões de gases de efeito estufa, mas também contribui para a gestão sustentável de resíduos, reduzindo a pressão sobre aterros sanitários e evitando a contaminação ambiental (Xie, Hong, Lin, & Cai, 2016). Além disso, o biometano produzido a partir de resíduos pode ser uma fonte de energia local, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis.

Como vantagem, o biometano, quando comparado a outras fontes renováveis (ex.: solar e eólica), não é intermitente e garante assim a produção em escala variada e de forma descentralizada.

O Biometano é uma das fontes de produção do hidrogênio verde. No contexto mundial de descarbonização da economia e da mitigação das mudanças climáticas, o hidrogênio tem despontado como uma importante alternativa à utilização de combustíveis fósseis, diferenciando-se dos vetores energéticos tradicionais pela não emissão de gás carbônico como subproduto de seu consumo. Assim, o hidrogênio só poderá ser denominado sustentável, ou hidrogênio verde, quando for produzido por produção tipo "emissão neutra de carbono", ou seja, quando a produção de hidrogênio é realizada sem emissão de gás carbônico.

A produção de hidrogênio verde envolve a eletrólise da água, na qual a energia elétrica é usada para separar a água em hidrogênio e oxigênio. Isso pode ser feito de forma centralizada ou descentralizada, com o hidrogênio sendo armazenado e distribuído para várias aplicações. A eletrólise de alta temperatura e a eletrólise alcalina são algumas das tecnologias mais comuns usadas na produção de hidrogênio verde.

O hidrogênio verde tem uma ampla gama de aplicações, incluindo transporte, armazenamento de energia, indústria, aquecimento residencial e geração de energia elétrica. É especialmente relevante em setores difíceis de eletrificar, como a aviação e o transporte de carga pesada. A utilização de hidrogênio verde pode reduzir significativamente as emissões de CO₂, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas.

Além do fato da produção ser livre de emissão de gás carbônico o hidrogênio verde é de fácil armazenamento, o que permite sua utilização posterior em outros usos e em momentos diferentes aos de sua produção, e pode ser transformado em eletricidade ou combustíveis sintéticos e ser utilizado com finalidades comerciais, industriais ou de mobilidade.

O mercado da produção do hidrogênio pode ser tanto o interno brasileiro quanto o internacional, os maiores produtores de gás carbônico mundiais estão em busca desse mercado em países como o Brasil. Podemos citar o exemplo da União Europeia, que anunciou investimento de 2 bilhões de euros (R\$10,5 bilhões) na produção de hidrogênio verde no Brasil, como parte dos planos do bloco europeu de buscar reduzir a dependência e o uso de combustíveis fósseis.

A produção de hidrogênio verde a partir de biometano está em crescimento e tem sido explorada em várias partes do mundo. No entanto, a implementação em larga escala ainda enfrenta desafios técnicos e econômicos. O desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e a criação de políticas de apoio são fundamentais para acelerar a transição para o hidrogênio verde a partir de biometano (IEA, 2019).

No Espírito Santo, com o objetivo de incentivar a produção, o armazenamento e o uso de hidrogênio sustentável, foi criado o Programa de Geração de Energias Renováveis da cadeia do Hidrogênio Sustentável - GERAR Hidrogênio, instituído através do Decreto N.º5416-R, de 28 de junho de 2023. O fomento da produção de hidrogênio sustentável no Estado torna a produção de biometano atraente e competitiva para os investidores, sendo mais uma alternativa de mercado para a sua aplicação.

11. Conclusão

A busca por soluções sustentáveis para a crescente demanda energética global e a redução das emissões de gases de efeito estufa tornaram a transição energética um desafio incontornável do século XXI. O Espírito Santo, como um estado brasileiro comprometido com a redução das emissões e o desenvolvimento sustentável, pode se valer da produção de biometano como uma peça-chave em sua política de descarbonização e na transição para fontes de energia mais limpas.

O investimento em fontes de energia renovável e a promoção do biometano como uma fonte de energia limpa contribui para a redução das emissões de carbono e para a diversificação da matriz energética. Além disso, o desenvolvimento do biometano proporciona uma série de benefícios econômicos e ambientais para o estado, como a geração de empregos locais, a redução dos resíduos orgânicos e a diminuição da dependência de combustíveis fósseis.

A política de descarbonização do Espírito Santo com o desenvolvimento do biometano representa um passo importante em direção a uma matriz energética mais sustentável. O estado demonstra liderança ao promover a produção de biogás como parte integrante de sua estratégia de transição energética. Essa abordagem não apenas reduz as emissões de gases de efeito estufa, mas também cria oportunidades econômicas locais e contribui para a segurança energética.

Para o sucesso dessa política, é fundamental que o Espírito Santo invista em pesquisa, infraestrutura e educação, envolvendo a comunidade e o setor privado em suas ações. A política de descarbonização do Espírito Santo com o desenvolvimento do biometano é um modelo promissor que pode servir de inspiração para um futuro mais limpo e sustentável.

Neste cenário, a descarbonização do Espírito Santo com o desenvolvimento do biometano não seria apenas uma conquista local, mas uma contribuição valiosa para a luta global contra as mudanças climáticas e a construção de um mundo mais verde e sustentável.

Assim, é fundamental que o Espírito Santo continue a se posicionar como um líder nesse movimento, colaborando com outras regiões e nações na busca por um futuro mais limpo, mais verde e mais sustentável para as gerações presentes e futuras.

REFERÊNCIAS:

Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo – ASRP-ES, Nota Técnica ARSP/DE/GGN N° 02/2023.

Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo – ASRP-ES, RESOLUÇÃO ARSP N° 065, de 29 de junho de 2023.

Agência Internacional de Energia (AIE). Promoting biogas and biomethane production: Lessons from Germany.

Angelidaki, I., & Ellegaard, L. (2003). Anaerobic biogas production from food-industrial wastewaters: a review. *Process Biochemistry*, 38(8), 1005-1018.

Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABiogás). "Biogás e Biometano: Uma Indústria Brasileira." 2020. Disponível em: <https://abiogas.org.br/publicacoes/>.

Associação Brasileira do Biogás - ABiogás. Mapa Potencial de Biogás no Brasil. Disponível em: <https://abiogas.org.br/potencial-do-biogas-no-brasil>

Associação Global de Biogás e Biometano. Policy Recommendations for Biogas Development in Europe.

Brasil, Decreto Federal N° 10.712/2021.

Brasil, Decreto Federal N° 10.936/2022.

Brazil. (2018). Programa Nacional de Biogás e Metano (PNBM). Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético.

Centro Internacional de Energias Renováveis. <https://cibiogas.org/o-cibiogas/>

Di Lucia, L., Pari, L., & Petruccelli, R. (2015). "Biogas upgrading to biomethane and its grid injection." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1372-1386.

Energigas. (2021). Biogas and biomethane. Recuperado de <https://energigas.se/en/biogas-and-biomethane/>

European Biogas Association. (2018). Biogas: The Pathway to 2030. Retrieved from <https://european-biogas.eu/publications/brochures-reports/>

European Biogas Association (EBA) (2018). "Biogas: Pathway to European Green Gas."

Fasihi, M., Iora, P., & Pilavachi, P. A. (2018). A review of existing and future methods for hydrogen production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(Pt. 3), 3029-3046.

Figueredo (2023). A importância dos incentivos fiscais para o desenvolvimento regional brasileiro. Extraído de: <https://jus.com.br/artigos/105230/a-importancia-dos-incentivos-fiscais-para-o-desenvolvimento-regional-brasileiro>.

Ghosh, S., Holliger, C., & Meyer, T. (2016). Biogas production from waste materials. In *Bioenergy Research: Advances and Applications* (pp. 241-273). Elsevier.

GlobeScan, SustainAbility Survey. The 2012 Sustainability Leaders | Report. Extraído de: <https://globescan.com/2012/03/28/the-2012-sustainability-leaders-report-2/>

<https://gbio.webhostusp.sti.usp.br/sites/default/files/anexosnoticias/livro-tecnologias-producao-uso-biogas-biometano.pdf>

<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/climaozoniodesertificacao/ProgramaMetanoZero.pdf>

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). (2017). *Manual de boas práticas em biogás e biometano*. Brasília: Autor.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2019). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017*. Rio de Janeiro: Autor.

IPCC. (2018). Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/sr15/>

IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N.

Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, et al. (eds.)]. Cambridge University Press.

IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (2011). Chapter 8: Bioenergy.

IEA. (2021). Biogas and Biomethane. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/biogas-and-biomethane>

IEA Bioenergy. Biogas from Municipal Organic Waste: A Sourcebook for the Production and Use of Biogas from Organic Waste in Urban Areas.

Lindorfer, H., & Weiss, W. (2019). Upgrading of biogas to biomethane - Development of a CO₂-based assessment method for biogas upgrading processes. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 35, 100556.

Moraes, B. S., Zaiat, M., Bonomi, A., de Camargo Penteado, A. L., & de Aquino, S. F. (2015). Biogas purification processes for biomethane production in Brazil: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 161-169.

Plano plurianual 2024-2027: mensagem presidencial/Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria Nacional de Planejamento. -- Brasília: Secretaria Nacional de Planejamento/MPO, 2023. 228 p.: il.

Rahman, M. M., Veziroğlu, T. N., & Nijegorodov, N. (2008). Hydrogen as an energy carrier and its production by nuclear power. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(6), 1608-1620.

Rajagopal, R., Massé, D. I., & Singh, G. (2013). "A critical review on inhibition of anaerobic digestion process by excess ammonia." *Bioresource Technology*, 143, 632-641.

Rajagopal, R., Masse, D. I., Singh, G., & Kumar, A. (2013). Anaerobic digestion of solid organic waste: An overview of research status and perspectives. *Bioresource Technology*, 100, 2771-2782.

Reis Júnior, Neyval Costa; Prata Junior, Ademir Abdala; Siman, Renato Ribeiro; Jannuzzi, Gilberto De Martino; Pezzopane; José Eduardo et al. - Plano de Descarbonização e Neutralização das Emissões de GEE do Espírito Santo, Relatório Técnico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 2022.

Resolução ANP nº 886, de 29 de setembro de 2022.

Sovacool, B. K., et al. (2020). Sociotechnical transitions for deep decarbonization. *Energy Research & Social Science*, 70, 101552. doi:10.1016/j.erss.2020.101552.

Universidade de Stanford. Biogas and biomethane as an important part of the future sustainable bio-based economy.

Wall, D., O'Connor, D., & Murphy, J. D. (2019). "Biogas as a flexible energy storage and transportation fuel in a low-carbon energy system." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109290.

Wang, M., et al. (2019). Sustainable biogas production and utilization from sewage.