

O BIOGÁS COMO COMBUSTÍVEL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Wevergton Lopes **Hermesdorff**¹, Alexandre Sylvio Vieira da **Costa**²

(1 – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, wevergton.lh@ufvjm.edu.br, <https://orcid.org/0000-0001-8284-5055>; 2 – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, alexandre.costa@ufvjm.edu.br, <https://orcid.org/0000-0001-7251-7816>)

Resumo: O Brasil é líder mundial em energia renovável com mais de 90% de sua geração proveniente de fontes como hidrelétricas, biomassa, solar e eólica, entretanto o país ainda enfrenta desafios para atender à crescente demanda energética, especialmente devido à vulnerabilidade do sistema hidroelétrico às variações climáticas. Neste contexto o biogás surge como uma solução promissora na diversificação da matriz energética, elevando a segurança de fornecimento. Sendo gerado a partir da decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos, é uma fonte de energia versátil sendo utilizada na geração de eletricidade, calor e biometano. O Brasil possui um enorme potencial de produção de biogás estimado, em 44,1 bilhões de metros cúbicos por ano, volume que poderia gerar 19 GW de eletricidade ou substituir 70% do consumo de diesel no país. Apesar dos avanços, a logística de transporte do biogás e a infraestrutura de transmissão de energia ainda representam obstáculos para a viabilidade econômica de alguns projetos. Como investimentos em pesquisa, desenvolvimento tecnológico e infraestrutura são cruciais para impulsionar o setor, com políticas públicas e investimentos adequados, o biogás pode desempenhar um papel fundamental na transição do Brasil para uma matriz energética mais sustentável e segura.

Palavras-chave: Biogás; Eletricidade; Brasil; Sustentabilidade.

BIOGAS AS A FUEL FOR ELECTRICITY GENERATION IN BRAZIL

Abstract: Brazil is a world leader in renewable energy, with over 90% of its electricity generation coming from sources such as hydroelectric, biomass, solar, and wind power. However, the country still faces challenges in meeting its growing energy demand, particularly due to the hydroelectric system's vulnerability to climate variability. Biogas has emerged as a

promising solution for diversifying the energy matrix and enhancing energy security. Produced from the anaerobic decomposition of organic waste, it is a versatile energy source that can be used to generate electricity, heat, and biomethane. Brazil holds enormous potential for biogas production, estimated at 44.1 billion cubic meters per year—a volume capable of generating 19 GW of electricity or replacing 70% of the nation's diesel consumption. Despite this progress, biogas transportation logistics and energy transmission infrastructure remain significant obstacles to the economic viability of some projects. Investments in research, technological development, and infrastructure are crucial for advancing the sector. With appropriate public policies and investments, biogas is poised to play a key role in Brazil's transition toward a more sustainable and secure energy matrix.

Keywords: Biogas; Electricity; Brazil, Sustainability

EL BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN BRASIL

Resumen: Brasil es líder mundial en energías renovables, con más del 90% de su generación eléctrica proveniente de fuentes como la hidroeléctrica, la biomasa, la solar y la eólica. Sin embargo, el país sigue enfrentando desafíos para satisfacer la creciente demanda de energía, especialmente debido a la vulnerabilidad del sistema hidroeléctrico a la variabilidad climática. El biogás ha surgido como una solución prometedora para diversificar la matriz energética y reforzar la seguridad energética. Producido a partir de la descomposición anaeróbica de residuos orgánicos, es una fuente de energía versátil que puede utilizarse para generar electricidad, calor y biometano. Brasil posee un enorme potencial de producción de biogás, estimado en 44.100 millones de metros cúbicos al año, un volumen que podría generar 19 GW de electricidad o sustituir el 70% del consumo de diésel del país. A pesar de los avances, la logística del transporte del biogás y las infraestructuras de transmisión de energía siguen representando obstáculos para la viabilidad económica de algunos proyectos. La inversión en investigación, desarrollo tecnológico e infraestructuras es crucial para potenciar el sector. Con políticas públicas e inversiones adecuadas, el biogás está llamado a desempeñar un papel fundamental en la transición de Brasil hacia una matriz energética más sostenible y segura.

Palabras clave: Biogás; Electricidad; Brasil; Sostenibilidad.

1. Introdução

O Brasil é reconhecido mundialmente por sua capacidade de produção de energia elétrica utilizando fontes renováveis, principalmente as hidroelétricas, entretanto o consumo de energia tende a aumentar a cada ano. Quando observamos pela perspectiva energética, estamos vivenciando um nível de investimentos substanciais no desenvolvimento de tecnologias de geração de energias limpas, visando ao atendimento do sistema de produção, substituindo gradativamente o modelo energético baseado em combustíveis fósseis (Robles-Iglesias et al., 2023; Sharma et al., 2020).

Enquanto a demanda mundial por energia aumenta a cada ano, inúmeros investimentos em pesquisa são realizados visando o atendimento da demanda da população que cresce diretamente com o desenvolvimento econômico global. No entanto, fontes de energia oriundas dos combustíveis fósseis que são a base energética de muitos países, estão sendo gradualmente substituídas por fontes de energia mais limpas e sustentáveis (Robles-Iglesias et al., 2023; Sharma et al., 2020).

O aumento da demanda por energia juntamente com a crescente preocupação com as mudanças climáticas, tem estimulado a busca por fontes de energia renováveis e sustentáveis (Kabeyi & Olanrewaju, 2022; Syahri et al., 2022). Assim, os biocombustíveis ganham destaque nesse dinâmico e importante cenário, recebendo importantes investimentos em desenvolvimento e pesquisa na busca de melhoramentos de processos, rendimento e novas formas de obtenção.

Quando analisamos o ciclo de produção dos biocombustíveis de forma resumida, a entrega do mesmo ao consumidor final, depende de uma cadeia complexa, iniciando pela seleção e produção da cultura fornecedora de biomassa e a sua colheita com a captação e direcionamento de resíduos orgânicos para então estar apta aos processos termoquímicos de produção. Posteriormente, o biocombustível passa por etapas de limpeza e controle de qualidade, sendo então transportado para distribuição ao consumidor.

A produção de biocombustíveis é dependente da oferta de biomassa (animal ou vegetal) para seus processos. Assim, a preocupação com a gestão ambiental deve iniciar no campo, ou seja, no plantio, respeitando normativas quanto ao uso da água, do cultivar, das técnicas e tecnologias, do manejo dos defensivos e da adubação, finalizando na emissão dos gases provenientes da combustão do combustível, respeitando limites internacionais de emissão.

É importante lembrar que, atualmente, a maior parte da demanda mundial de energia é baseada no uso de combustíveis fósseis, que são responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa (GEE) e pela poluição do ar e do meio ambiente, condições que vem sendo combatidas (Kumar & Strezov, 2021).

Nesse contexto, o biogás é fundamental na produção de energia elétrica, apresentando uma alternativa sustentável e eficiente em relação às fontes de energia tradicionais. Gerado pela decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos, como restos de alimentos, esterco e resíduos agrícolas, o biogás é uma fonte renovável que ajuda consideravelmente na redução das emissões de gases de efeito estufa (Abiogás, 2022; Caetano et al., 2022).

No que tange o Brasil, o país investe em energia renovável há décadas, mesmo antes do mundo perceber que aumentar a implantação da capacidade renovável seria uma ferramenta crucial para lidar com as mudanças climáticas. Em 2023, mais de 90% da geração de energia do Brasil foi de energia renovável, com predominância de hidreletricidade e energia de biomassa, complementada por solar e eólica, cuja participação cresceu significativamente nos últimos anos. Entretanto, o Brasil ainda é a exceção que confirma a regra prevaiente (Irena et al., 2024).

Diante da realidade apresentada, é crucial a busca por fontes alternativas, limpas e renováveis de energia para suprir a demanda crescente por eletricidade e ainda garantir a preservação do meio ambiente e a melhoria da sua qualidade, atendendo, inclusive, às leis e às convenções nacionais e internacionais, com respeito ao desenvolvimento social e econômico.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 O setor elétrico no Brasil

Até a década de 1990, o setor elétrico brasileiro era um monopólio estatal, entretanto ocorreu uma queda no desempenho do sistema e redução dos investimentos. Inspirado pela privatização de setores elétricos em outros países, o Brasil iniciou reformas que incluíram a desregulamentação, a restrição de controles de preços e a privatização de serviços públicos. Em 1995, uma crise hídrica agravou a situação, ameaçando um apagão. Entre 1995 e 1999, 16 empresas públicas de distribuição foram privatizadas (Mendonça & Dahl, 1999).

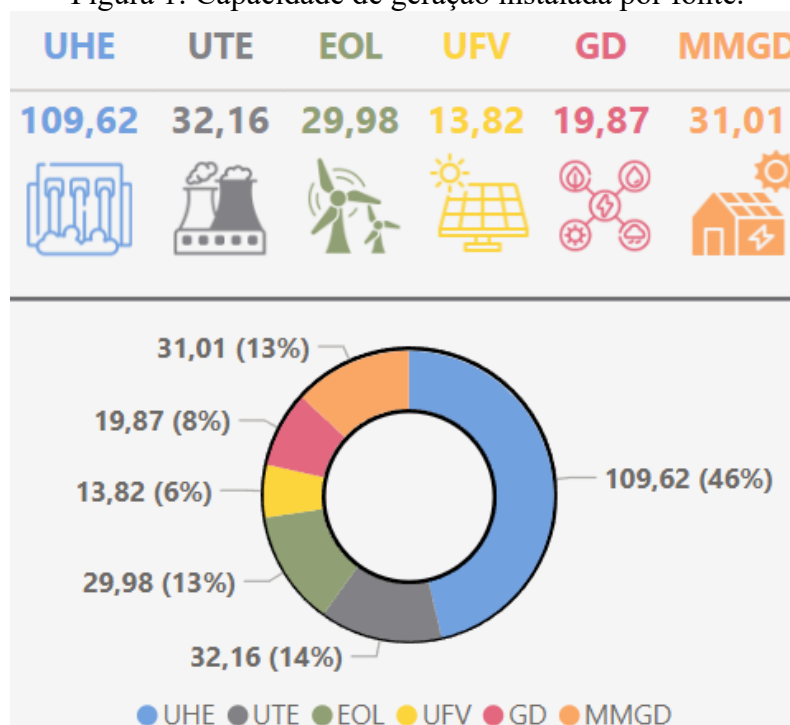
Apesar da considerável produção de energia elétrica no Brasil, diversas áreas distantes dos grandes centros não possuem atendimento da rede. Desta forma foram lançadas iniciativas

governamentais como o Programa Luz Para Todos (LPT) em 2003, que visa o fornecimento de eletricidade mesmo em regiões remotas da Amazônia, e o Programa Mais Luz para Amazônia (MLA), que também foca em soluções de energia de baixo carbono, incluindo o uso de biomassa residual e outras opções como a solar, a eólica e a hídrica para sistemas híbridos apoiados por bateria solar-hidro-eólica (Hampl, 2024). Atualmente as novas metas do MLA pretendem fornecer acesso à eletricidade das unidades consumidoras do meio rural até 2026 e das mais de 226 mil unidades consumidoras na Amazônia Legal até 2028 (IEMA, 2023b).

Até os anos 2000, o sistema era eminentemente hidrelétrico, com apoio marginal de usinas termoelétricas em situações de baixa afluência. Em decorrência da escassez de água, houve a necessidade de diversificar a matriz energética por meio de outras fontes de energia, optando pela contratação regulamentada de usinas termoelétricas movidas a óleo combustível, acelerando a capacidade de geração e equilibrando oferta e demanda de energia elétrica, além de incentivar a inserção de fontes renováveis (Fonseca et al., 2024).

Atualmente a capacidade de geração por usinas hidroelétricas (UHE) está na casa dos 46%, conforme pode ser observado na Figura 1, assim como a participação das Usinas Termoelétricas (UTE), Usinas Foto Voltaicas (UFV), Geração Distribuída (GD) e Micro e Mini Geração Distribuída (MMGD).

Figura 1: Capacidade de geração instalada por fonte.



Fonte: Adaptado de ONS (2024a).

No Brasil o consumidor pode, a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, produzir sua própria energia elétrica, e ainda, fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade, para posterior compensação na tarifa do consumo de energia verificado (ANEEL, 2023).

A grande capacidade de geração por meio do sistema hidroelétrico deixa o país vulnerável às sazonalidades pluviométricas, dessa forma várias pesquisas estão se dedicando em procurar alternativas para amenizar o problema, incluindo o processo de armazenamento de energia potencial durante a estação chuvosa, quando há excesso de fluxo no rio, ou quando há excesso de energia na rede, bombeando água para um reservatório superior. A técnica de Armazenamento de Energia Hídrica com Bombas Sazonais (SPHS) corresponde a um reservatório de armazenamento paralelo a um rio principal, com um reservatório inferior ao existente (Weber et al., 2024).

A capacidade instalada de geração de eletricidade no Brasil foi expandida em 9,4% no período entre 2022 e 2023, com a maior contribuição de usinas de geração hidráulica (45,7%). Porém, a maior expansão proporcional ocorreu na geração solar, que fechou o ano de 2023 com um aumento de 54,8% em relação ao ano anterior, o que corresponde a uma expansão de 13,4 GW de plantas de geração solar. No que diz respeito à eletricidade gerada, no ano de 2023 foram produzidos 708 TWh, correspondendo a um crescimento de 4,6% entre 2022 e 2023. Neste período, os movimentos de destaque foram a queda da geração térmica proveniente de gás natural (-7,9%) e de derivados de petróleo (-19,3%), ocorrida em função da estabilidade do regime hídrico e do aumento da geração solar (+68,1%) e eólica (+17,4%) (EPE, 2024b).

Ao longo dos anos, os impactos ambientais da escassez de chuvas têm se refletido nas quedas acentuadas dos níveis dos reservatórios. Apesar dos investimentos em geração e transmissão de energia elétrica, a população ainda enfrenta um atendimento insuficiente. No Brasil, a demanda por energia elétrica cresce continuamente, gerando uma pressão significativa sobre o sistema nacional de geração (Bisognin et al., 2023).

De acordo com o Plano da Operação Energética 2022/2026, na avaliação do atendimento à demanda do referido espaço temporal, pode haver comprometimento e ser necessário fazer uso de montantes de geração termoelétrica acima daqueles definidos para o atendimento energético, fora do previsto em simulações anteriores (ONS, 2022).

Com a crescente preocupação ambiental pela dependência e os problemas causados pelo uso de combustíveis fósseis, novas formas de produção e consumo de energia têm sido observadas. Portanto, há um grande esforço para desenvolver cada vez mais alternativas para atender a demanda de energia com externalidades mínimas. Essa visão afeta diretamente os agentes que operam usando fontes poluentes, as usinas termoeletricas (Fonseca et al., 2024).

O Brasil tem um potencial de produção de biogás que não se compara a qualquer outro país do mundo e, exclusivamente, a partir de resíduos orgânicos que garante o aumento da oferta de energia sem a necessidade de plantar ou inutilizar áreas de cultivo, apresentando-se como parte da solução de curto e médio prazos para a descarbonização do país, consolidando-se como grande produtor de energia limpa, renovável e a preço competitivo (Abiogás, 2022).

2.2 Energia renovável e sustentabilidade

Quanto às emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes da geração elétrica no Brasil, houve redução de 6% entre 2022 e 2023. Das 38,9 milhões de toneladas de CO₂ emitidas em 2023, 51,4% foram provenientes da geração em Autoprodutores, 42,9% foram emitidos por meio da geração no Sistema Interligado Nacional (SIN) e 5,7% das emissões associadas aos Sistemas Isolados (EPE, 2024b).

Como tendência mundial, tem-se experimentado um contexto cada vez mais restrito quanto as formas de produção até então vigentes interferindo em toda cadeia produtiva, inclusive no meio rural, na tentativa de mitigar os efeitos negativos desses processos no meio ambiente, sem prejudicar a economia e a sociedade.

Considerando-se estas perspectivas, em 2015 a Cúpula das Nações Unidas estabeleceu metas a serem alcançadas até 2030, conhecidas como Agenda 2030, que inclui 17 objetivos globais, também chamados de Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que traça caminhos significativos nas áreas de sustentabilidade, educação e direitos humanos, apresentando metas que podem ser adaptadas à realidade nacional. Assim, é fundamental que os governantes decidam como integrar esses objetivos na gestão de cada país. Portanto, o desenvolvimento sustentável é definido como aquele que busca atender às necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das futuras gerações (Engelmann, 2020). Além disso, a Comissão Europeia definiu a meta de neutralidade de carbono até 2050, tendo como estratégia a diversificação de fontes de energia renováveis e mais eficientes no contexto de segurança energética. Essa diretriz conduz à um contexto de transição energética, do sistema

baseado em combustíveis fósseis para o sistema de energias limpas e renováveis (Rusmanis et al., 2022).

O Brasil tem um marco histórico primoroso quando o assunto é a utilização de combustíveis renováveis, sendo que o ano de 1975 foi a criação do Proálcool pelo decreto 12.539, impulsionando a expansão da oferta dos produtos derivados da cana, com enfoque na produção do etanol veicular como alternativa ao combustível fóssil, principalmente após a crise do petróleo de 1973. Apesar da criação de alternativas visando substituir parte da gasolina utilizada na frota nacional de veículos leves, já se conhecia o seu menor potencial poluidor, fato corroborado pelo Balanço Energético Nacional do ano de 2021 (EPE, 2021).

O modelo de produção de energia por meio dos combustíveis fósseis, se baseia na conhecida Economia Linear (EL) de produção, onde as matérias primas são recursos finitos, conduzindo a um aumento do consumo de recursos, em muitos casos advindo dos modelos extrativistas, promovendo a degradação do meio ambiente. Além disso, possuem um alto nível de geração de resíduos, demandando esforços para seu reaproveitamento ou descarte seguro, mas que nem sempre é realizado (Leitão, 2015).

Para tentar contornar os problemas apresentados no modelo anterior, e ainda garantir saúde econômica do empreendimento, a proposta da Economia Circular (EC) vem ganhando força, pois se baseia na utilização de resíduos de uma indústria para sanar ou amenizar problemas em outra, gerando desenvolvimento de novos produtos e processos, bem como nas possibilidades de estabelecimento de novos negócios a partir destes resíduos (Singh et al., 2022).

Para efeito de comparação entre a economia linear e a economia circular, o esquema da Figura 2 demonstra o fluxo dos resíduos gerados pelos sistemas de produção, onde no sistema linear eles são depositados no meio ambiente, gerando impactos ambientais não desejados, enquanto que no sistema circular, os rejeitos retornam ao sistema como novos recursos produtivos (Borschiver & Souza Tavares, 2022).

Figura 2: Comparativo entre economia linear e economia circular



Fonte: Sauv e et al. (2016), adaptado por Borschiver & Tavares (2022)

Nesse contexto a produ o de biogás por meio de resíduos org nicos e de forma sustentável está inserido dentro do conceito de EC, principalmente quando se pensa em uma biorrefinaria responsável pela capta o e transforma o dos resíduos de outros processos produtivos (Farrell et al., 2020; Maria et al., 2023).

No quesito da Nota de Eficiência Energético-Ambiental (NEEA), das unidades certificadas no Brasil para produ o de energia elétrica, para cada tipo de biocombustível, além da faixa entre os valores mínimos e máximos, até julho de 2024, o biometano (oriundo do biogás) e o biodiesel apresentavam as notas mais altas, demonstrando sua importância na busca do atendimento de normas ambientais (EPE, 2024a).

No âmbito legal, o Brasil conta com o marco regulatório do RenovaBio, que estabelece metas anuais de descarboniza o para o setor de combustíveis, além de redirecionar recursos financeiros da indústria de combustíveis fósseis para a produ o e uso de biocombustíveis, sendo que suas metas são obrigatórias para os distribuidores, mas ainda voluntário para os produtores, que são incentivados a participar do programa (Kanda et al., 2022).

2.3 A energia da biomassa

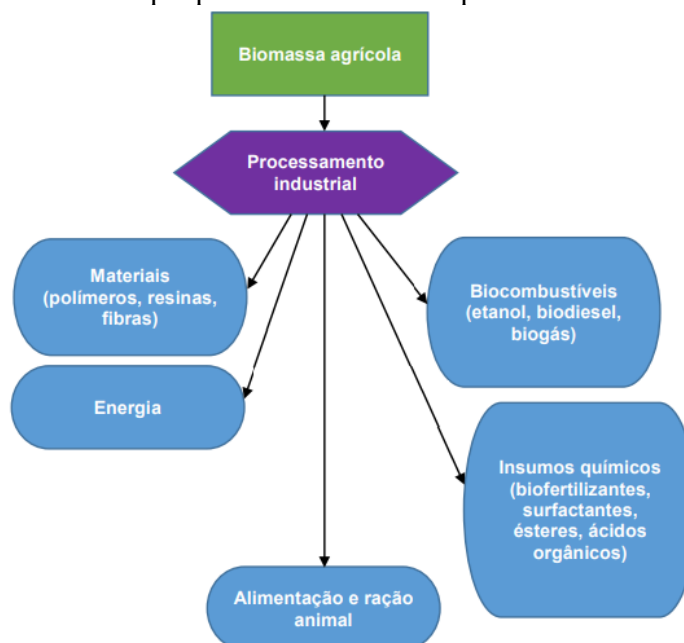
O Brasil, com a sua grande extensão territorial e com suas ótimas condi es climáticas e de solo,   o país, como poucos no mundo, totalmente apto para a produ o de biomassa com fins alimentícios, químicos e energéticos. Dessa forma, o uso de biocombustíveis no país, além de constituir uma importante op o para a diminui o da dependência dos derivados de petróleo com ganhos ambientais, representa um novo mercado para diversas culturas (Costa & Oliveira, 2021).

A produção de biocombustíveis depende essencialmente do uso de matérias-primas de origem biológica, que possuam características relevantes para o processo produtivo. A biomassa é uma fonte de energia renovável capaz de gerar combustíveis que podem substituir os de origem fóssil (Wang et al., 2017).

Assim, a biomassa é a matéria-prima fundamental utilizada em processos termoquímicos ou bioquímicos de conversão, com o objetivo de gerar calor e energia. (Vuppaladadiyam et al., 2023). Ainda, os autores afirmam que a caracterização das mesmas é de grande importância para a determinação do potencial de produção e dos melhores processos para produção do biocombustível.

A biomassa agrícola (dedicada ou residual) destinada aos modernos sistemas de aproveitamento na produção de novos produtos como biocombustíveis, bioenergia, biopolímeros, dentre outros, proporciona benefícios socioeconômicos e ambientais à nossa sociedade (Vaz Júnior, 2020). A Figura 3 ilustra a ampla variedade de produtos resultantes do setor agroindustrial, que origina diversas cadeias de valor, incluindo materiais variados, insumos químicos para a agricultura, energia, biocombustíveis e alimentos para animais.

Figura 3: Produtos que podem ser obtidos a partir da biomassa agrícola.



Fonte: Adaptado de Vaz Júnior (2020)

Para Dhyani e Bhaskar (2018) biomassa é um termo genérico empregado para designar a biomassa animal (zoomassa) e a biomassa vegetal (fitomassa), sendo que esta última possui

característica lignocelulósica e se refere à matéria vegetal seca, fonte de energia renovável abundante e de baixo custo, formada por celulose, hemicelulose e lignina.

A biomassa lignocelulósica é uma fonte renovável de materiais neutros em carbono que podem ser usados para produzir biocombustíveis e outros produtos químicos intermediários. Embora a sua composição varie em função da fonte, ela normalmente consiste em 40 a 60% de celulose, 20 a 40% de hemicelulose e 10 a 24% de lignina (Mujtaba et al., 2023). Contém ainda pectina e proteína, bem como extrativos (taninos, lipídios, resinas, esteroides, terpenos, terpenoides, flavonoides e compostos fenólicos).

Atualmente, no Brasil, produz-se uma grande quantidade de biomassa lignocelulósica proveniente de resíduos de culturas vegetais, como bagaço de cana, sabugos de milho, casca de arroz, palhas, folhas e galhos. Esses resíduos, resultantes da produção de etanol e alimentos, bem como do processamento de madeira, possuem um significativo potencial energético (Raymundo, 2022).

Geralmente a biomassa é constituída de três de polímeros orgânicos: de celulose, com cerca de 50% em base seca; de hemicelulose, com aproximadamente 10 a 30% em madeiras e 20 a 40% em biomassa herbácea em base seca; e de lignina com 20 a 40 % em madeiras e 10 a 40% em biomassa herbácea em base seca (Sharma et al., 2015).

Esses autores ainda afirmam que outros componentes fazem parte da biomassa lignocelulósica, sendo, geralmente, moléculas orgânicas menores ou polímeros (proteínas, ácidos, sais) e minerais (compostos inorgânicos como metais alcalinos, potássio, cálcio, sódio, silício, fósforo e magnésio e cloro). Os teores desses compostos inorgânicos variam de menos de 1% em madeiras a 15% em biomassa herbácea e matéria-prima e até 25% em resíduos agrícolas e florestais.

2.4 Biocombustíveis

A procura por alternativa de suprimento da demanda com combustíveis renováveis tem papel crucial na preservação ambiental e melhoria da qualidade do ar, além de atender aos rigorosos critérios legais que permeiam a moderna atividade econômica mundial.

A produção de biocombustíveis requer a utilização de matérias-primas de origem biológica que apresentem características relevantes para o processo. Desse modo, a biomassa é uma fonte de energia renovável capaz de gerar combustíveis que podem substituir os de origem fóssil (Wang et al., 2017).

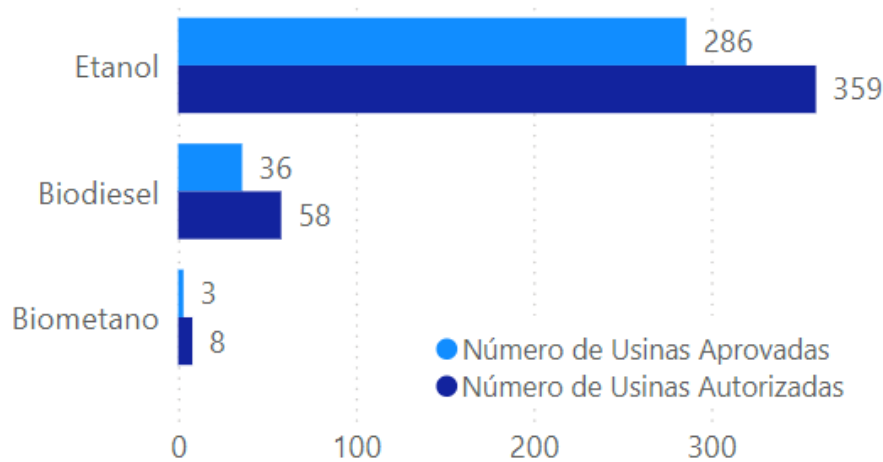
O Brasil é um dos grandes produtores e consumidores de biocombustíveis do mundo, sendo que em 2022, o consumo de etanol apresentou um aumento de 1,6% em relação a 2021, o equivalente a 30,4 milhões de metros cúbicos. Contudo o biodiesel teve uma redução de 6,5% no mesmo período, fato justificado pela manutenção do percentual de mistura de 10%, em volume, no diesel (EPE, 2023).

Quando observamos a taxa de emissão média das usinas termelétricas conectadas ao SIN, verificou-se que os valores aumentaram de 582 tCO₂e/GWh em 2021 para 637 tCO₂e/GWh em 2022 causada, principalmente pela maior participação de usinas a carvão na geração de eletricidade devido à escassez hídrica de 2021 (IEMA, 2023a).

Ainda, a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) reconhece a importância estratégica dos biocombustíveis na matriz energética nacional, destacando a segurança do abastecimento de combustíveis e a necessidade de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE), estabelecendo metas anuais de redução de intensidade de carbono (gCO₂/MJ) da matriz energética de transporte (EPE, 2024a).

Conforme preconizado pela ANP, uma usina autorizada está apta a exercer a atividade de produção do biocombustível, enquanto a usina certificada é uma usina autorizada que conquistou o certificado de produção eficiente de biocombustíveis e está apta a solicitar os Créditos de Descarbonização (CBIO). De acordo com o painel dinâmico da ANP (Figura 4), o etanol continua sendo o grande representante dos biocombustíveis brasileiro, possuindo 645 produtores aprovados, sendo que 359 deles já estão enquadrados para obter CBIOs. O biodiesel detém 94 produtores aprovados, dentre eles 36 aptos a obtenção de CBIOs. Em relação ao biometano, até o presente momento apenas 11 unidades possuem aprovação, destas, oito já podem solicitar a missão de CBIOs (ANP, 2024).

Figura 4: Produtores de biocombustíveis no Brasil



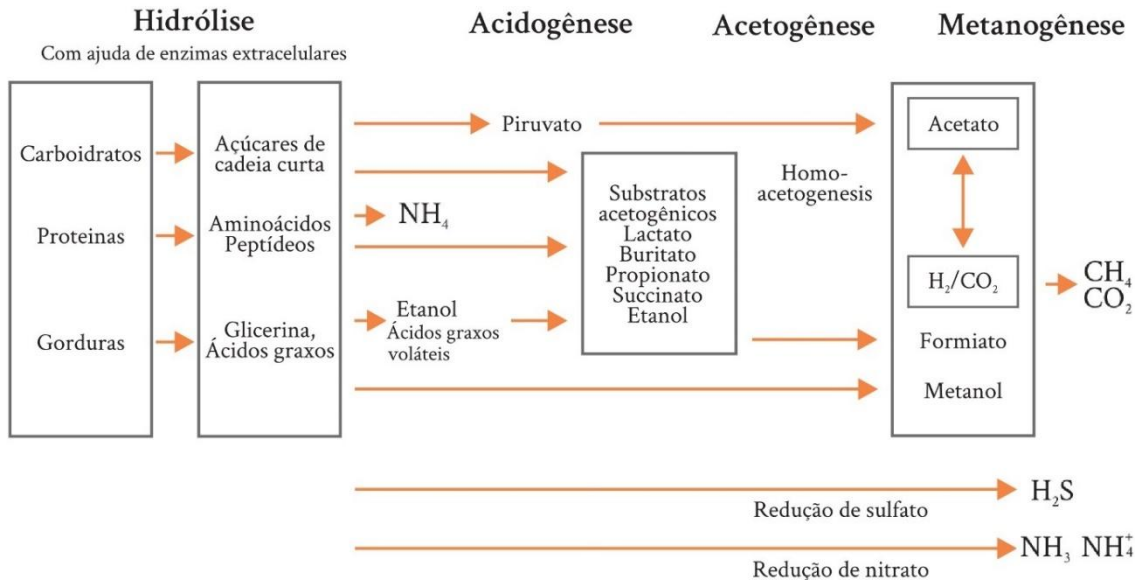
Assim como os demais biocombustíveis, o biometano produzido a partir do biogás pode ser utilizado como substituto do gás natural nas mais diversas aplicações (EPE, 2024a). Um estudo realizado por Bermudo Neto (2022) demonstrou que o biometano produzido a partir da vinhaça se mostrou como a melhor alternativa em substituição ao diesel empregado nos caminhões e demais equipamentos com a tecnologia “Dual-Fuel”, utilizados na produção de etanol, com ótimos resultados econômicos, ambientais e no balanço energético.

2.4.1 BIOGÁS

O biogás é uma fonte de energia versátil com diversas aplicações, incluindo geração de eletricidade e calor, produção de biometano e como matéria-prima para a indústria química, sendo produzido através da decomposição anaeróbica de matéria orgânica, como resíduos agrícolas, esterco animal e lodo de esgoto (Abiogás, 2022; de Araujo & Oliveira, 2023; Ge et al., 2023).

A digestão anaeróbica, processo gerador do biogás, é uma tecnologia bem estabelecida utilizada para o tratamento de resíduos e na produção de energia renovável (Caetano et al., 2022). O processo envolve quatro etapas principais, sendo elas a hidrólise, a acidogênese, a acetogênese e a metanogênese (Abiogás, 2022). A Figura 5 apresenta um fluxograma do processo da digestão anaeróbica.

Figura 5: Fundamentos básicos da digestão anaeróbica



Fonte: Adaptado de Kunz, Steinmetz & Amaral (2022).

De forma resumida, na hidrólise, as moléculas orgânicas complexas, como carboidratos, proteínas e lipídios, são quebradas em moléculas menores e solúveis em água, condição necessária para fermentação pelas bactérias acidogênicas, responsáveis por produzir ácidos graxos voláteis (AGVs), álcoois e dióxido de carbono. Posteriormente as bactérias acetogênicas, farão a conversão dos AGVs e álcoois em acetado, hidrogênio e dióxido de carbono. Os dois primeiros compostos servirão de matéria prima para as bactérias metanogênicas na produção do metano (Kunz et al., 2022; Mihi et al., 2024).

Assim, basicamente, o biogás é formado por uma mistura de gases, sendo o metano (CH_4) com concentração variando de 50 a 70% e o dióxido de carbono (CO_2) que responde por 25 a 50%, e são os componentes majoritários da mistura (de Araujo & Oliveira, 2023).

Entretanto, deve-se atentar que diferentes substratos possuem diferentes potenciais de produção de metano, influenciados pela sua composição química, como teores de carbono, de nitrogênio, de lignina, dentre outros (Li et al., 2013; Syahri et al., 2022). O rendimento de biogás pode atingir cerca de 65,5% em peso, com um valor calorífico de $2,88 \text{ MJ Nm}^{-3}$ (Ge et al., 2023).

Além dos componentes já citados, o biogás ainda pode conter hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2), amônia (NH_3), sulfeto de hidrogênio (H_2S) e vapor de água (H_2O), que são

considerados contaminantes e podem causar problemas de corrosão em equipamentos, além de reduzir a qualidade do biogás para algumas aplicações (Abiogás, 2022).

O controle adequado da temperatura, do pH, do tempo de retenção hidráulica (TRH) e da taxa de carregamento orgânico (TCO) também influenciam significativamente a produção de biogás, desta forma as condições ótimas para cada etapa do processo devem ser mantidas para garantir a atividade microbiana e a estabilidade do sistema (Syahri et al., 2022).

A produção de biogás pode ser realizada em biodigestores, que são sistemas projetados para otimizar o processo de digestão anaeróbica, assim, o tipo e o design do biodigestor, bem como os parâmetros operacionais, como temperatura e tempo de retenção hidráulica, influenciam significativamente a produção de biogás (Abiogás, 2022).

Quando necessário, pode ocorrer a etapa de purificação do biogás, que normalmente é realizado por meio de processos de lavagem ou adsorção, para aumentar a concentração de metano, dando origem ao biometano (Caetano et al., 2022; de Araujo & Oliveira, 2023).

De acordo com a ANP, somente no ano de 2024, até outubro, foram autorizadas mais oito unidades produtoras de biometano, capazes de produzir 614.681 Nm³/d, sendo a maioria das unidades localizadas no estado de São Paulo. Ainda, daquelas que estão em construção e/ou em processo de autorização totalizando 29 unidades, responderão por um volume adicional de até 937.088 Nm³/d quando estiverem operantes (ANP, 2024).

Para o futuro próximo no Brasil, é esperado um avanço da participação do setor dos biocombustíveis, alavancada pelos avanços regulatórios e pelas políticas públicas que melhoram seu destaque, refletindo em novos investimentos de novas unidades de produção em construção e aumento da demanda por aqueles setores que buscam a descarbonização de suas atividades. Outro fator importante é que o Brasil aproveita apenas uma pequena parte do seu potencial de produção, podendo se colocar como grande produtor mundial (EPE, 2024a).

2.5 O biogás como energia elétrica

Enquanto o mercado brasileiro de gás é caracterizado pelo monopólio estatal, o setor de energia é gerido pela Agência Nacional de Regulamentação do Setor Elétrico (ANEEL) em três esferas: mercado regulamentado, mercado livre e geração distribuída. Basicamente, o biogás é usado, principalmente, para geração de energia elétrica em termoeletricas, que é distribuída pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), podendo os consumidores gerar eletricidade (limitado

a 5 MW) e fornecer o seu excedente à rede elétrica, sendo recompensados por toda energia injetada na rede (Kanda et al., 2022; ONS, 2024a).

Na geração térmica, a biomassa ocupa papel importante no panorama energético nacional, sendo que em 2022 não houve variação significativa em relação ao ano anterior, inclusive o bagaço de cana continua sendo o combustível mais utilizado com 72%, enquanto a parcela de outras biomassas tem se mantido estável (EPE, 2023). Ainda, as demais biomassas representaram 1,0% da matriz elétrica em 2022, o mesmo registrado no ano anterior. Destacam-se a participação do licor negro (66,5%), em grande parte impulsionado pelo crescimento de produção do setor de celulose nos cinco últimos anos, o biogás (16%) e os resíduos florestais (13,4%).

É inegável a importância das usinas térmicas a biomassa, principalmente quando se avalia o enorme potencial ainda pouco explorado de resíduos florestais e agrícolas, entretanto seu custo ainda é um desafio. Uma térmica a biogás de pequeno porte de 20 MW tem menor atratividade de contratação pela ONS, por razões logísticas, como o transporte do biogás para a usina e a transmissão da energia produzida, do que uma térmica a gás natural (IEMA, 2024).

Além disso, o biogás é um biocombustível flexível, pois pode ser destinado tanto para a geração de eletricidade quanto de biometano, proporcionando um aumento de atratividade dos projetos (Abiogás, 2022). Vale ressaltar que o avanço tecnológico e legal, além de investimentos em infraestrutura podem reverter essa restrição logística, inclusive a ONS planeja, que até 2028, sejam realizados investimentos na ordem de R\$ 48,982 bilhões, desse montante quase a metade será destinada ao sistema de transmissão (ONS, 2024b).

No país os sistemas de produção de biogás são essencialmente locais e vinculados a unidades industriais específicas, assim como aterros sanitários ou agronegócios, além de contextos regionais relacionados à produção, à distribuição e ao uso de biogás que se diferem consideravelmente, principalmente entre os estados brasileiros (Kanda et al., 2022).

Estima-se que anualmente o Brasil descarte cerca de 44,1 bilhões de metros cúbicos de biogás, considerando os resíduos da agroindústria, pecuária e saneamento, volume que poderia gerar 19 GW de capacidade instalada para a produção de energia elétrica ou 120 milhões de m³/dia de biometano, o equivalente a 34,5% da demanda por energia elétrica ou substituir 70% do consumo de diesel no país (Abiogás, 2022).

O biogás tem se tornado cada vez mais importante no cenário energético do país, ampliando sua participação na oferta interna de energia. As perspectivas para os próximos anos

continuam otimistas, apoiadas em avanços regulatórios e em políticas públicas que elevam sua relevância (EPE, 2024a).

Conforme relatório da ANEEL a respeito dos dados de geração distribuída, para produtores com faixa de potência de até 5MW, foram selecionados quatro formatos de fonte de geração de eletricidade a partir de biogás (Floresta, Resíduo Animal - RA, Resíduos Urbanos - RU e Resíduos Agroflorestais - AGR), totalizando, até agosto de 2024, 531 unidades de geração distribuída, sendo responsáveis pela geração de 137.668,7 kW de potência (ANEEL, 2024).

Observando a Tabela 1 verifica-se que a região sudeste detém a maior quantidade de unidades geradoras e capacidade instalada de geração de energia elétrica a partir do biogás, sendo responsável por 47,11% da produção, seguida pela região sul, com 28,67% da produção e posteriormente pela região centro oeste com 16,25%.

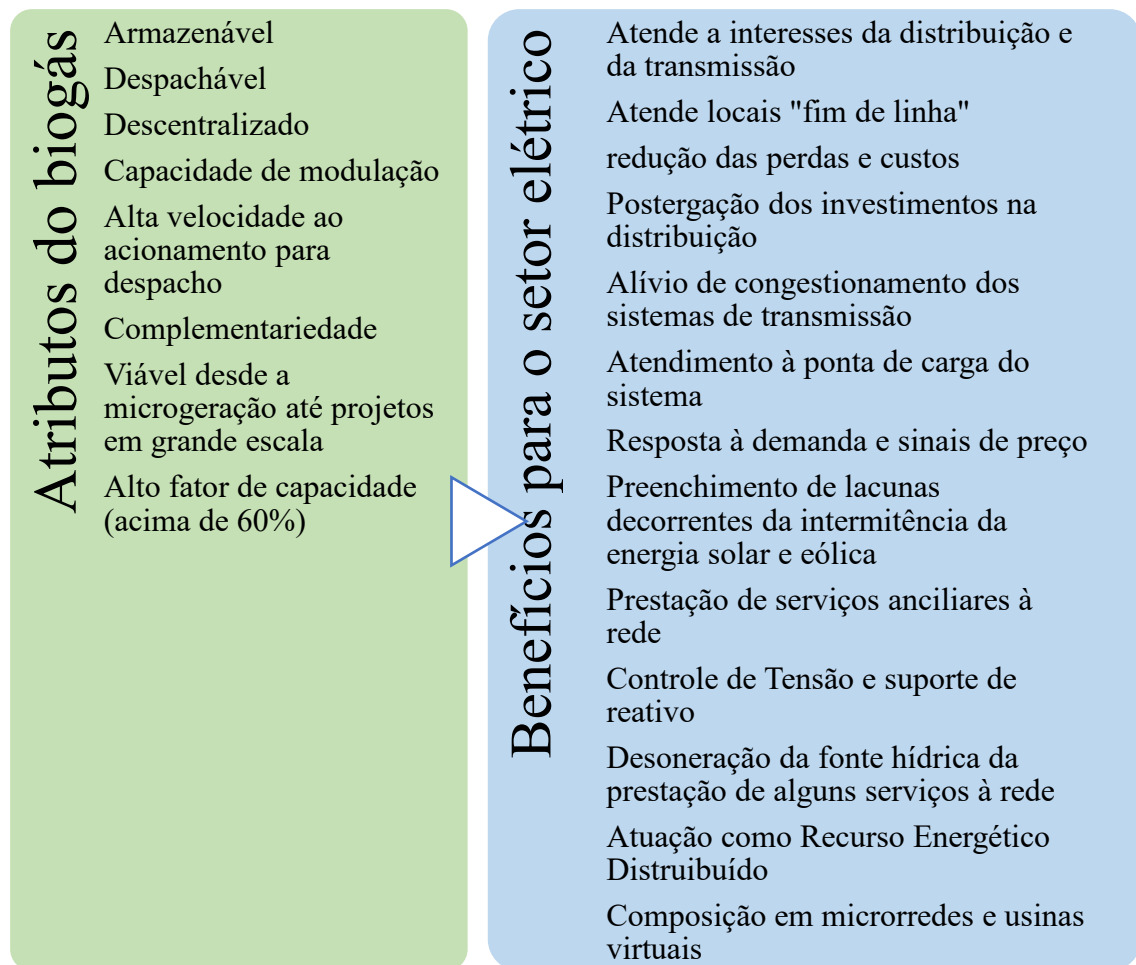
Tabela 1: Descritivo das usinas termoeletricas movidas a biogás

Região	Qtd GD	UCs Rec Créditos	Pot. Instalada (kW)
Centro Oeste	78	125	22.369,47
Nordeste	12	327	8.298,70
Norte	5	5	2.674,00
Sudeste	251	6.617	64.860,42
Sul	185	4.146	39.466,14
Total	531	11.220	137.668,73

Fonte: EPE (2024a)

O Programa Nacional do Biogás e Biometano, elaborada pela Abiogás (2022), realizou um levantamento sobre os principais atributos do biogás e quais benefícios ele poderia oferecer ao setor elétrico, conforme pode ser observado na Figura 6.

Figura 6: Atributos do biogás e benefícios para o setor elétrico



Fonte: Adaptado de Abiogás (2022).

Considerando-se o RenovaBio, na média, o biometano detém a melhor nota de eficiência energético-ambiental dentre os biocombustíveis, rendendo mais Créditos de Descarbonização (CBIOS) por megajoule (MJ) comercializado comparado ao etanol e o biodiesel, obtendo uma NEEA média de 77,72 gCO₂e/MJ e com 100% do volume produzido elegível para utilização, podendo gerar, conforme o RenovaBio, um incremento de receita entorno de R\$ 0,32 por Nm³ de biometano, considerando o preço do CBIO em R\$ 113,67 (ANP, 2024; EPE, 2024a).

É importante destacar que as termelétricas continuarão a ter um papel significativo na matriz elétrica nas próximas décadas, especialmente em situações extremas de escassez hídrica, quando o uso de combustíveis fósseis para geração de eletricidade se tornará mais restrito (IEMA, 2024).

3. Considerações finais

- Apesar dos avanços, alguns desafios ainda precisam ser superados para que o biogás e/ou biometano atinjam todo o seu potencial no Brasil. A logística de transporte do biogás e a infraestrutura de transmissão de energia ainda podem representar obstáculos para a viabilidade econômica de alguns projetos. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, bem como em infraestrutura, são essenciais para impulsionar o setor.
- Em suma, o biogás se apresenta como peça chave na busca por uma matriz elétrica mais sustentável, segura e diversificada no Brasil. O aproveitamento do vasto potencial do país para a produção desses biocombustíveis, aliado a políticas públicas e investimentos adequados, permitirá ao Brasil consolidar-se como líder mundial na produção de energia limpa e renovável, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e para o desenvolvimento socioeconômico.

4. Referências

- Abiogás. (2022). *PNBB Programa Nacional do Biogás e Biometano*. https://cdn.prod.website-files.com/632ab10950c5e334290bfadf/6390dd3aaa9ca8211589e557_PNBB.pdf
- ANEEL. (2023). *Dicionário de Metadados do conjunto de dados (Versão: 1.0 Data: 25-8-2023)*. <https://dadosabertos.aneel.gov.br>
- ANEEL. (2024, outubro 21). *Geração distribuída*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2VmMmUwN2QtYWFiOS00ZDE3LWI3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxIiw%20idCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>
- ANP. (2024). *Painel Dinâmico RenovaBio*. RenovaBio. <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio>
- Bermudo Neto, A. (2022). *Substituição do Diesel por biometano, em caminhões e colhedoras, utilizando sistema “dual-fuel”*. Associação Brasileira do Biogás. <https://abiogas.org.br/biblioteca>

- Bisognin, C., Gonçalves, C. L., & Correa, K. E. S. (2023). ANÁLISE E PREVISÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA MENSAL DO BRASIL. Em *Open Science Research X* (p. 1941–1953). Editora Científica Digital. <https://doi.org/10.37885/230111738>
- Borschiver, S., & Souza Tavares, A. (2022). *Catalisando a economia circular conceitos, modelos de negócios e sua aplicação em setores da economia*. <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/17358>
- Caetano, B. C., Santos, N. D. S. A., Hanriot, V. M., Sandoval, O. R., & Huebner, R. (2022). Energy conversion of biogas from livestock manure to electricity energy using a Stirling engine. *Energy Conversion and Management: X*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100224>
- Costa, B. J., & Oliveira, S. M. M. de. (2021). *Dossiê Técnico: Biodiesel*. <https://www.respostatecnica.org.br/busca/producao-de-biodiesel/304/dossie>
- de Araujo, G. J. F., & Oliveira, S. V. W. B. de. (2023). Economic, energetic and environmental analysis of the utilization of swine manure in Brazil: Opportunities and challenges. *Energy Strategy Reviews*, 47, 1–28. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101089>
- Dhyani, V., & Bhaskar, T. (2018). A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass. *Renewable Energy*, 129, 695–716. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.035>
- Engelmann, W. (2020). *Sistema do direito, novas tecnologias, globalização e o constitucionalismo contemporâneo: desafios e perspectivas*. (1º ed). Casa Leiria. <https://doi.org/10.29327/529171>
- EPE. (2021). *Balanco Energético Nacional 2021*. Balanço Energético Nacional 2021. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2021>
- EPE. (2023). *Análise de conjuntura dos biocombustíveis - Ano 2022*. <http://www.mme.gov.br><http://www.epe.gov.br>
- EPE. (2024a). *Análise de conjuntura dos biocombustíveis - Ano 2023*. <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-834/NT-EPE-DPG-SDB-2024-03_ACBios_Ano2023.pdfw.epe.gov.br

- EPE. (2024b). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2024*. Empresa de Pesquisa Energética.
- Farrell, C. C., Osman, A. I., Doherty, R., Saad, M. M., Zhang, X., Murphy, A., Harrison, J., Vennard, A. S. M., Kumaravel, V., Al-Muhtaseb, A. H., & Rooney, D. W. (2020, agosto 1). Technical challenges and opportunities in realising a circular economy for waste photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109911>
- Fonseca, A. J. da S., Castro, R., Ramos, D. S., Mello, J. C. de O., Rocha, L. C. S., Gehrke, C. S., Santos Júnior, E. P., Sousa, W. L., & Coelho Junior, L. M. (2024). Decommissioning of a fuel oil-fired thermoelectric power plant in Brazil - Economic feasibility under certain and risk conditions. *Sustainable Futures*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100332>
- Ge, Y., Tao, J., Wang, Z., Chen, C., Liang, R., Mu, L., Ruan, H., Rodríguez Yon, Y., Yan, B., & Chen, G. (2023). Simulation of integrated anaerobic digestion-gasification systems using machine learning models. *Bioresource Technology*, 369. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128420>
- HAMPL, N. (2024). Energy systems for Brazil's Amazon: Could renewable energy improve Indigenous livelihoods and save forest ecosystems? Em *Energy Research and Social Science* (Vol. 112). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103491>
- IEMA. (2023a). *3º Inventário de emissões atmosféricas em usinas termelétricas - Ano-base 2022*. <https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2023/10/3-inventario-ute-iema-2023.pdf>
- IEMA. (2023b). *Análise dos recursos disponíveis e necessários para universalizar o acesso à energia elétrica na Amazônia Legal*. https://energiaeambiente.org.br/produto_tipo/publicacoes
- IEMA. (2024). *Integração de energias renováveis ao sistema elétrico brasileiro*. https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2024/08/notas_integracao_energia_renovavelIEMA.pdf

- Irena, COP28, COP29, & Government of Brazil, F. (2024). *Delivering on the UAE Consensus: Tracking progress toward tripling renewable energy capacity and coupling energy efficiency by 2030*. <https://www.irena.org/Publications>
- Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2022). Biogas Production and Applications in the Sustainable Energy Transition. *Journal of Energy*, 2022, 1–43. <https://doi.org/10.1155/2022/8750221>
- Kanda, W., Zanatta, H., Magnusson, T., Hjelm, O., & Larsson, M. (2022). Policy coherence in a fragmented context: the case of biogas systems in Brazil. *Energy Research and Social Science*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102454>
- Kumar, R., & Strezov, V. (2021). Thermochemical production of bio-oil: A review of downstream processing technologies for bio-oil upgrading, production of hydrogen and high value-added products. Em *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 135). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110152>
- Kunz, A., Steinmetz, R. L. R., & Amaral, A. C. Do. (2022). *Fundamentals of anaerobic digestion, biogas purification, use and treatment of digestate* (1ª). Embrapa Suínos e Aves. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1141297/fundamentals-of-anaerobic-digestion-biogas-purification-use-and-treatment-of-digestate>
- Leitão, A. (2015). *Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. Circular economy: a new management philosophy for the XXI st century*. <https://repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/21110>
- Li, Y., Zhang, R., Liu, G., Chen, C., He, Y., & Liu, X. (2013). Comparison of methane production potential, biodegradability, and kinetics of different organic substrates. *Bioresource Technology*, 149, 565–569. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.063>
- Maria, M. P., Torres, N. H., Nascimento, V. R. S., Chagas, T. S. A., Saratale, G. D., Mulla, S. I., Bharagava, R. N., Cavalcanti, E. B., & Ferreira, L. F. R. (2023). Current advances in the brewery wastewater treatment from anaerobic digestion for biogas production: A systematic review. Em *Environmental Advances* (Vol. 13). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100394>
- Mendonça, A. F., & Dahl, C. (1999). *The Brazilian electrical system reform*.

- Mihi, M., Ouhammou, B., Aggour, M., Daouchi, B., Naaim, S., El Mers, E. M., & Kousksou, T. (2024). Modeling and forecasting biogas production from anaerobic digestion process for sustainable resource energy recovery. *Heliyon*, 10(19). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38472>
- Mujtaba, M., Fraceto, L., Fazeli, M., Mukherjee, S., Savassa, S. M., Araujo de Medeiros, G., do Espírito Santo Pereira, A., Mancini, S. D., Lipponen, J., & Vilaplana, F. (2023). Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: A review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics. *Journal of Cleaner Production*, 136815. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136815>
- ONS. (2022). *Plano da operação energética 2022/2026 - PEN 2022: Relatório das condições de atendimento*. https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/NT-ONS%20DPL%200102-2022_PEN%202022%20-%20Condi%C3%A7%C3%B5es%20de%20Atendimento.pdf
- ONS. (2024a). *Operador Nacional do Sistema Elétrico. O que é o SIN*. <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>
- ONS. (2024b). *Plano de operação elétrica de médio prazo do SIN Ciclo 2024 - 2028*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYjE4YjM4ZjMtNDg3MS00NTNhLTgxN2UtZDljZmI5YmQ1MTljIiwidCI6IjNhZGVhZGZjLTkzM2UtNDkxMS1hZTFiLTljMmZIN2I4NDQ0OCIsImMiOiR9>
- Raymundo, L. M. (2022). *Desenvolvimento do processamento por pirólise rápida de resíduos ligno-celulósicos para melhoria do bio-óleo* [Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/255321>
- Robles-Iglesias, R., Naveira-Pazos, C., Fernández-Blanco, C., Veiga, M. C., & Kennes, C. (2023). Factors affecting the optimisation and scale-up of lipid accumulation in oleaginous yeasts for sustainable biofuels production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 171, 113043. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113043>
- Rusmanis, D., Yang, Y., Lin, R., Wall, D. M., & Murphy, J. D. (2022). Operation of a circular economy, energy, environmental system at a wastewater treatment plant. *Advances in Applied Energy*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2022.100109>

- Sharma, A., Pareek, V., & Zhang, D. (2015). Biomass pyrolysis - A review of modelling, process parameters and catalytic studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1081–1096. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.193>
- Singh, E., Mishra, R., Kumar, A., Shukla, S. K., Lo, S.-L., & Kumar, S. (2022). Circular economy-based environmental management using biochar: Driving towards sustainability. *Process Safety and Environmental Protection*, 163, 585–600.
- Syahri, S. N. K. M., Hasan, H. A., Abdullah, S. R. S., Othman, A. R., Abdul, P. M., Azmy, R. F. H. R., & Muhamad, M. H. (2022). Recent Challenges of Biogas Production and its Conversion to Electrical Energy. *Journal of Ecological Engineering*, 23(3), 251–269. <https://doi.org/10.12911/22998993/146132>
- Vaz Júnior, S. (2020). *Aproveitamento de resíduos agroindustriais Uma abordagem sustentável*. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126255/1/S-VAZ-Aproveitamento-de-resi769duos-agroindustriais.pdf>
- Vuppaladadiyam, A. K., Varsha Vuppaladadiyam, S. S., Sikarwar, V. S., Ahmad, E., Pant, K. K., S, M., Pandey, A., Bhattacharya, S., Sarmah, A., & Leu, S.-Y. (2023). A critical review on biomass pyrolysis: Reaction mechanisms, process modeling and potential challenges. *Journal of the Energy Institute*. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2023.101236>
- Wang, S., Dai, G., Yang, H., & Luo, Z. (2017). Lignocellulosic biomass pyrolysis mechanism: A state-of-the-art review. Em *Progress in Energy and Combustion Science* (Vol. 62, p. 33–86). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2017.05.004>
- Weber, N. de A. B., Hunt, J. D., Zakeri, B., Schneider, P. S., Parente, F. S. A., Marques, A. D., & Pereira Junior, A. O. (2024). Seasonal pumped hydropower storage role in responding to climate change impacts on the Brazilian electrical sector. *Journal of Energy Storage*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111249>

Publisher: Universidade Federal de Jataí. Instituto de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFJ. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores: Wevergton Lopes Hermsdorff: Pesquisa bibliográfica, escrita e levantamento de dados; Alexandre Sylvio Vieira da Costa: Revisão, edição crítica e escrita.

Declaramos ainda ciência das Diretrizes Gerais da Geoambiente On-line.

Financiamento: Programa de Apoio Financeiro à Qualificação (PROFIQUALI) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

Conflito de interesse: Os autores declaram que não possuem interesses financeiros ou não financeiros relevantes relacionados a este trabalho.