



Revista
Técnico-Científica



CONTRIBUIÇÕES DA BIOMASSA PARA A MATRIZ ENERGÉTICA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE ASPECTOS TECNOLÓGICOS, POLÍTICOS E PROSPECTIVOS

Aldeni Barbosa da Silva¹, Ana Karine Pereira Quirino², Jéssica Aparecida Santos Lira³, Janaina Moreira de Brito⁴, Avaetê de Lunetta e Rodrigues Guerra⁵

¹ Pós-doutor em Ciências do Solo. Doutor em Agronomia. Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Areia. Professor do Instituto Federal da Paraíba, Campus Esperança; ² Técnica em Sistemas de Energia Renovável pelo Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Campus Esperança; ³ Técnica em Sistemas de Energia Renovável pelo Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Campus Esperança; ⁴ Graduada em Biologia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus Areia; ⁵ Doutorando em Ciência, Tecnologia e Sociedade pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

RESUMO: A crescente demanda por energia e os desafios associados às mudanças climáticas têm intensificado o debate sobre a necessidade de diversificação das matrizes energéticas, com maior participação de fontes renováveis. Nesse contexto, a biomassa destaca-se como uma alternativa estratégica, devido à sua versatilidade, disponibilidade e potencial de contribuição para a redução das emissões de gases de efeito estufa. O presente artigo teve como objetivo analisar as contribuições da biomassa para a matriz energética, a partir de uma revisão bibliográfica com enfoque nos aspectos tecnológicos, políticos e prospectivos. A metodologia adotada consiste em uma pesquisa qualitativa, de caráter descritivo e exploratório, baseada na análise de artigos científicos, livros, relatórios técnicos e documentos institucionais nacionais e internacionais. Os resultados da revisão indicam que a biomassa possui papel relevante na geração de energia elétrica, térmica e de biocombustíveis, especialmente em países com elevada disponibilidade de recursos agroindustriais e florestais. Observa-se que os avanços tecnológicos têm ampliado a eficiência e a diversidade das rotas de conversão energética da biomassa, embora ainda existam desafios relacionados aos custos, à logística e à sustentabilidade do uso da terra. No âmbito das políticas públicas, verifica-se que instrumentos regulatórios e incentivos governamentais são fundamentais para a consolidação da biomassa na matriz energética, bem como para a mitigação de impactos socioambientais. Quanto às perspectivas futuras, a literatura aponta que a biomassa tende a assumir papel ainda mais relevante na transição energética e na economia de baixo carbono, desde que haja investimentos contínuos em inovação e planejamento integrado. Conclui-se que

a biomassa representa uma fonte promissora, cuja expansão deve ser orientada por critérios técnicos, ambientais e sociais.

Palavras-chave: Biomassa; Matriz energética; Energia renovável; Políticas públicas.

CONTRIBUTIONS OF BIOMASS TO THE ENERGY MATRIX: A BIBLIOGRAPHICAL REVIEW ON TECHNOLOGICAL, POLITICAL AND PROSPECTIVE ASPECTS

ABSTRACT: The growing demand for energy and the challenges associated with climate change have intensified the debate on the need to diversify energy matrices, with greater participation of renewable sources. In this context, biomass stands out as a strategic alternative due to its versatility, availability, and potential contribution to the reduction of greenhouse gas emissions. This article aimed to analyze the contributions of biomass to the energy matrix through a bibliographic review focusing on technological, political, and prospective aspects. The methodology adopted consists of qualitative research with a descriptive and exploratory approach, based on the analysis of scientific articles, books, technical reports, and national and international institutional documents. The results of the review indicate that biomass plays a significant role in the generation of electrical and thermal energy, as well as biofuels, especially in countries with high availability of agro-industrial and forest resources. It is observed that technological advances have increased the efficiency and diversity of biomass energy conversion routes, although challenges related to costs, logistics, and land-use sustainability remain. In terms of public policies, regulatory instruments and government incentives are essential for consolidating biomass within the energy matrix and mitigating socio-environmental impacts. Regarding future perspectives, the literature indicates that biomass is likely to assume an even more prominent role in the energy transition and the low-carbon economy, provided that continuous investments in innovation and integrated planning are made. It is concluded that biomass represents a promising energy source, whose expansion should be guided by technical, environmental, and social criteria.

Keywords: Biomass; Energy matrix; Renewable energy; Public policies.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia, associada às preocupações com as mudanças climáticas, a segurança energética e o esgotamento de fontes fósseis, tem impulsionado a busca por fontes renováveis e sustentáveis em escala global. Nesse contexto, a biomassa destaca-se como uma alternativa estratégica, por sua capacidade de conversão em diferentes formas de energia, como eletricidade, calor e

biocombustíveis, além de seu potencial para reduzir emissões de gases de efeito estufa quando manejada de forma sustentável (GOLDEMBERG, 2010).

A biomassa pode ser definida como toda matéria orgânica de origem vegetal ou animal passível de aproveitamento energético, incluindo resíduos agrícolas, florestais, agroindustriais e urbanos. Sua utilização energética apresenta vantagens relevantes, como a valorização de resíduos, a descentralização da geração de energia e a promoção do desenvolvimento regional, especialmente em áreas rurais. Entretanto, o aproveitamento da biomassa envolve desafios tecnológicos, logísticos e ambientais que demandam planejamento integrado e políticas públicas consistentes (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2023).

No âmbito da matriz energética, a biomassa desempenha um papel singular quando comparada a outras fontes renováveis, como a solar e a eólica, devido à sua capacidade de geração contínua e ao potencial de armazenamento. Em países como o Brasil, a biomassa representa uma parcela significativa da oferta interna de energia, sobretudo por meio da cana-de-açúcar, do uso da lenha e do carvão vegetal. Essa participação confere ao país uma matriz relativamente mais limpa em comparação com a média mundial, evidenciando a relevância estratégica dessa fonte (EPE, 2023).

Do ponto de vista tecnológico, o aproveitamento energético da biomassa envolve diferentes rotas de conversão, que podem ser classificadas em processos termoquímicos, bioquímicos e físicos. Tecnologias como combustão direta, gaseificação, pirólise e digestão anaeróbia têm sido amplamente estudadas e aplicadas, com diferentes níveis de maturidade tecnológica. A escolha da rota mais adequada depende do tipo de biomassa disponível, da escala do empreendimento e dos objetivos energéticos e ambientais pretendidos (DEMIRBAS, 2009).

Apesar dos avanços tecnológicos, a expansão do uso da biomassa para fins energéticos está fortemente condicionada ao arcabouço institucional e às políticas públicas adotadas em cada país. Instrumentos como incentivos fiscais, leilões de energia, metas de descarbonização e programas de apoio à pesquisa e inovação são fundamentais para viabilizar projetos e reduzir riscos para investidores. No Brasil, políticas como o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel e o RenovaBio

têm contribuído para o fortalecimento da biomassa no setor energético (BRASIL, 2017).

As políticas públicas voltadas à biomassa também desempenham um papel central na mitigação de impactos socioambientais associados à expansão dessa fonte. Questões relacionadas ao uso da terra, à segurança alimentar, à conservação da biodiversidade e às condições de trabalho ao longo da cadeia produtiva exigem atenção contínua. Dessa forma, a formulação de políticas integradas e baseadas em evidências científicas é essencial para garantir que os benefícios da biomassa superem seus potenciais riscos (IPCC, 2022).

No que se refere às perspectivas futuras, a biomassa tende a assumir um papel ainda mais relevante no contexto da transição energética e da economia de baixo carbono. O avanço de tecnologias como a bioenergia com captura e armazenamento de carbono (BECCS) e a produção de biocombustíveis avançados amplia as possibilidades de contribuição da biomassa para a neutralidade climática. Contudo, a concretização desse potencial depende de investimentos em inovação, infraestrutura e governança energética (IEA, 2022).

Diante desse cenário, torna-se fundamental sistematizar o conhecimento existente sobre o uso da biomassa na matriz energética, considerando seus aspectos tecnológicos, políticos e prospectivos. Assim, este artigo teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica da literatura científica e institucional sobre as contribuições da biomassa para a matriz energética, buscando identificar avanços, desafios e tendências futuras, de modo a subsidiar o debate acadêmico e a formulação de políticas públicas no setor energético.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, com abordagem descritiva e exploratória, desenvolvida por meio de uma revisão bibliográfica. Esse tipo de metodologia é adequado para a análise e sistematização do conhecimento já produzido sobre determinado tema, permitindo a identificação de

conceitos, tendências, lacunas e perspectivas futuras a partir de fontes secundárias confiáveis (GIL, 2017).

A revisão bibliográfica foi conduzida de forma narrativa, buscando reunir e analisar publicações relevantes relacionadas às contribuições da biomassa para a matriz energética, com ênfase nos aspectos tecnológicos, políticos e prospectivos. Esse tipo de revisão possibilita uma visão ampla do tema, sem a rigidez metodológica das revisões sistemáticas, sendo amplamente utilizada em estudos exploratórios no campo das ciências sociais aplicadas e energéticas (LAKATOS; MARCONI, 2017).

A coleta de dados foi realizada a partir de fontes científicas e institucionais, incluindo artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, livros, relatórios técnicos, documentos oficiais e legislações pertinentes. As bases de dados consultadas compreenderam, principalmente, Google Scholar, SciELO, ScienceDirect e Web of Science, além de publicações de organismos oficiais como a Empresa de Pesquisa Energética, a Agência Internacional de Energia e o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (PEREIRA et al., 2018).

Após a seleção, os materiais foram submetidos a uma leitura exploratória, seguida de leitura analítica e interpretativa, com o objetivo de identificar ideias centrais, convergências e divergências entre os autores. As informações extraídas foram organizadas em categorias temáticas correspondentes aos eixos do estudo: aspectos tecnológicos, políticas públicas e perspectivas futuras da biomassa na matriz energética (BARDIN, 2016).

Por fim, a análise dos dados baseou-se na interpretação crítica do conteúdo revisado, buscando estabelecer relações entre os diferentes enfoques encontrados na literatura e discutir suas implicações para o planejamento energético e a transição para sistemas mais sustentáveis. Essa etapa permitiu a construção de uma síntese teórica capaz de contribuir para o avanço do debate acadêmico e para o subsídio à formulação de políticas públicas no setor energético (PEREIRA et al., 2018).

REVISÃO DE LITERATURA

USO DA BIOMASSA PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA

Biomassa é todo material orgânico de origem vegetal ou animal que pode ser utilizado como fonte de energia. Por ser derivada de processos biológicos contínuos, é considerada uma fonte de energia renovável. Entre as mais comuns estão resíduos agrícolas, florestais e urbanos, os quais podem ser convertidos de várias formas, sendo que as mais frequentes são: a queima, a digestão anaeróbica e a gaseificação (SANTOS et al., 2022).

A biomassa pode ser classificada em três tipos: a de origem vegetal, gerada a partir de resíduos agrícolas, de jardim, de alimentos e lodo de esgoto; a de origem animal, como dejetos e gordura animal; e a de origem industrial, proveniente especialmente de fábricas de papel, alimentos e madeira, proporcionando eficiência energética e redução do desperdício. Alguns exemplos incluem resíduos sólidos urbanos, resíduos de construção e demolição e resíduos industriais não perigosos. O uso da biomassa, além de ser uma fonte de energia renovável que contribui significativamente para o meio ambiente, também auxilia no manejo sustentável de resíduos, evitando o acúmulo em aterros e reduzindo a emissão de gases de efeito estufa (ECOGEN, 2023).

A conversão de biomassa em energia ocorre predominantemente por meio da termelétricidade, utilizando o mesmo funcionamento das termelétricas convencionais, apenas alterando o combustível fóssil (petróleo, gás natural ou carvão mineral) por biomassa. A biomassa pode ser convertida por processos químicos, físicos e biológicos, variando conforme sua origem e características. Entre os métodos utilizados, destacam-se a combustão (tradicional e aplicada em sistemas de cogeração), a pirólise (conversão térmica sem oxigênio), e a gaseificação (que transforma biomassa sólida em gás de síntese por oxidação incompleta). Nos processos bioquímicos, a fermentação alcoólica é usada na produção de etanol, especialmente no Brasil, enquanto a digestão anaeróbica gera biogás e subprodutos aproveitáveis como fertilizantes. Além disso, a compressão mecânica de grãos oleaginosos resulta na extração de óleos vegetais, que podem ser utilizados como

combustível em motores adaptados ou transformados em biodiesel (MEDEIROS; NUNES, 2023).

A biomassa possui diversas aplicações energéticas, sendo amplamente utilizada para a geração de energia elétrica, térmica e na produção de biocombustíveis. Em usinas termoelétricas, por exemplo, a queima de biomassa gera calor que é convertido em eletricidade. Além disso, em processos industriais, a biomassa é empregada para produção de calor e vapor, contribuindo para a eficiência energética de diversos setores. No setor de transportes, destaca-se a fabricação de biocombustíveis, como o etanol, derivado da cana-de-açúcar, e o biodiesel, obtido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais. O uso da biomassa também se estende ao ambiente doméstico, especialmente em áreas rurais, onde é utilizada para aquecimento e cocção. Essas múltiplas aplicações evidenciam a versatilidade da biomassa como fonte de energia renovável (JHA et al., 2022).

A biomassa tem papel relevante na matriz energética brasileira, principalmente devido à utilização da cana-de-açúcar para produção de etanol e eletricidade, representando uma parcela significativa da energia gerada no país. Em 2014, o etanol da cana-de-açúcar, junto com lenha e carvão vegetal, compuseram uma fração importante da oferta total de energia e de eletricidade. Entre as diversas rotas de uso da biomassa, destaca-se a produção de etanol como a mais tecnologicamente viável e economicamente significativa, devido à longa tradição do cultivo da cana no Brasil. Esse processo utiliza a sacarose fermentada para gerar etanol combustível, com o bagaço da cana fornecendo energia térmica e elétrica para o funcionamento das usinas, que, muitas vezes, ainda exportam excedentes para a rede elétrica. O alto rendimento energético da cana, aliado à evolução tecnológica no campo e na indústria, resultou em um balanço energético positivo, tornando o etanol brasileiro altamente sustentável e competitivo frente aos combustíveis fósseis. O país também avança na produção de biodiesel a partir de óleos vegetais, embora essa rota ainda enfrente desafios em termos de escala e rendimento (GOLDENBERG, 2016).

A BIOMASSA NA MATRIZ ENERGÉTICA

A busca por fontes renováveis de energia tem se intensificado nas últimas décadas, impulsionada pelas crescentes preocupações ambientais, mudanças climáticas e esgotamento dos recursos fósseis. Nesse contexto, a biomassa surge como uma alternativa promissora dentro da matriz energética, devido à sua capacidade de gerar energia a partir de recursos naturais renováveis, como resíduos agrícolas, florestais, urbanos e culturas energéticas (CAVALETT; ORTEGA, 2009). Diferentemente dos combustíveis fósseis, a biomassa pode ser considerada uma fonte de carbono neutro, pois o CO₂ liberado durante sua queima é aproximadamente igual ao que foi absorvido pelas plantas durante o crescimento (SANTOS et al., 2015).

O Brasil possui grande potencial para a produção e utilização de biomassa, devido à sua extensão territorial, diversidade climática e forte base agrícola. A cana-de-açúcar, por exemplo, é amplamente utilizada para a produção de bioetanol e bioeletricidade, enquanto subprodutos como o bagaço e a palha são utilizados para a cogeração de energia nas usinas (GOLDEMBERG, 2008). Além da cana, outras fontes como resíduos da indústria madeireira, óleos vegetais e resíduos orgânicos urbanos vêm sendo incorporadas à matriz energética de forma gradual, contribuindo para a descentralização da produção de energia (OLIVEIRA et al., 2012).

A biomassa pode ser utilizada para gerar energia por meio de diversos processos, como combustão direta, gaseificação, pirólise e digestão anaeróbica. Cada método possui características específicas e pode ser mais adequado para diferentes tipos de matéria-prima e objetivos energéticos. A combustão direta é o processo mais comum, sendo amplamente empregado em caldeiras para geração de calor e eletricidade. Já a digestão anaeróbica tem ganhado destaque para o tratamento de resíduos orgânicos e produção de biogás, uma mistura rica em metano que pode ser usada como substituto do gás natural (BAUEN et al., 2004).

Do ponto de vista ambiental, o uso da biomassa contribui significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa, desde que manejada de forma sustentável. Além disso, a valorização dos resíduos orgânicos reduz o impacto ambiental do descarte inadequado e promove a economia circular. No entanto, é

importante considerar os possíveis impactos indiretos, como o uso de grandes áreas para cultivo de culturas energéticas, o que pode competir com a produção de alimentos e alterar ecossistemas naturais (SEARCHINGER et al., 2008).

A inclusão da biomassa na matriz energética também possui uma dimensão socioeconômica relevante. A cadeia produtiva da biomassa gera empregos nas áreas rurais e industriais, estimula a inovação tecnológica e favorece o desenvolvimento regional, especialmente em áreas afastadas dos grandes centros urbanos. Além disso, o aproveitamento energético de resíduos urbanos pode representar uma solução eficiente para problemas de gestão de resíduos sólidos nas cidades (SILVA; LIMA, 2016). Tais características tornam a biomassa uma alternativa estratégica para a diversificação da matriz energética e para a promoção da sustentabilidade energética no longo prazo (ROSILLO-CALLE, 2007).

No Brasil, os dados mais recentes indicam que a biomassa representa uma parcela significativa da matriz energética, especialmente no setor de bioenergia. Em 2023, a biomassa correspondeu a cerca de 9% da matriz elétrica nacional, com destaque para a cogeração a partir do bagaço de cana e resíduos florestais (EPE, 2023). A tendência é que esse número cresça com o avanço de tecnologias mais eficientes, políticas públicas de incentivo e maior integração entre os setores agrícola, florestal e energético (ANEEL, 2021).

Diante disso, a biomassa desempenha um papel fundamental na transição para uma matriz energética mais limpa, renovável e descentralizada. Seu uso racional contribui para a mitigação das mudanças climáticas, geração de empregos, valorização de resíduos e fortalecimento da segurança energética. No entanto, o seu potencial só poderá ser plenamente explorado com políticas públicas adequadas, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, além da adoção de práticas sustentáveis na produção e uso dos recursos biomássicos. A inserção crescente da biomassa na matriz energética brasileira e mundial é, portanto, uma estratégia essencial para garantir um futuro energético mais resiliente e sustentável (DEMIRBAS, 2007).

POLÍTICAS PÚBLICAS

A ampliação da participação da biomassa na matriz energética depende de políticas públicas consistentes, capazes de integrar objetivos sociais, econômicos e ambientais em um mesmo plano estratégico. A biomassa, quando adequadamente incentivada, contribui não apenas para a diversificação da matriz energética, mas também para a redução da dependência de combustíveis fósseis. O planejamento estatal tem papel fundamental na promoção de tecnologias limpas e no fortalecimento de cadeias produtivas associadas ao uso energético de resíduos, resíduos agrícolas, florestais e urbanos. Dessa forma, políticas bem estruturadas orientam investimentos, criam segurança regulatória e impulsionam a transição energética sustentável (IEA, 2022).

No contexto global, organismos internacionais têm destacado a necessidade de ampliar incentivos públicos para fontes renováveis, especialmente em países em desenvolvimento. A biomassa, por sua versatilidade, se destaca como uma das alternativas renováveis mais promissoras, sendo capaz de gerar eletricidade, calor e combustíveis líquidos ou gasosos. Para isso, instrumentos regulatórios como subsídios, créditos fiscais, tarifas feed-in e programas de pesquisa e desenvolvimento são essenciais para superar barreiras tecnológicas e de mercado. Quando governos adotam políticas claras e duradouras, a biomassa tende a se tornar mais competitiva frente às fontes convencionais, contribuindo para a segurança energética e o crescimento econômico sustentável (UNEP, 2022).

A relevância das políticas públicas torna-se ainda mais evidente ao considerar que o uso da biomassa possui impactos ambientais diretamente dependentes da forma como é gerida. Diretrizes governamentais adequadas garantem que a produção energética a partir de biomassa esteja alinhada ao manejo sustentável dos recursos naturais, reduzindo riscos como desmatamento, competição com a produção de alimentos e emissões indiretas de carbono. Assim, legislações e mecanismos de fiscalização promovem práticas agrícolas e florestais responsáveis, garantindo que o uso da biomassa contribua de fato para a mitigação das mudanças climáticas e para o cumprimento de metas internacionais de descarbonização (IPCC, 2021).

No Brasil, o papel das políticas públicas é particularmente expressivo, uma vez que o país possui uma matriz energética que já conta com significativa participação de fontes renováveis, incluindo biomassa oriunda do setor sucroenergético, resíduos agrícolas e florestais. Programas como o RenovaBio, instituído pela Lei nº 13.576/2017, têm fortalecido o mercado de biocombustíveis ao estabelecer metas de descarbonização e estimular a produção sustentável. Além disso, políticas como o Plano Nacional de Energia (PNE) e a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) integram a biomassa como elemento estratégico no avanço da transição energética brasileira, reforçando sua importância socioeconômica (BRASIL, 2017).

Outro aspecto relevante é o papel das políticas públicas no fortalecimento da infraestrutura necessária para o aproveitamento energético da biomassa. Investimentos em logística, tecnologias de conversão, redes de distribuição e centros de pesquisa possibilitam a expansão sustentável da biomassa em diferentes regiões do país. O apoio governamental reduz custos de implantação, facilita a transferência tecnológica e viabiliza a inserção de pequenos produtores e cooperativas no mercado energético. Assim, políticas adequadas impulsionam o desenvolvimento regional e geram oportunidades econômicas, especialmente em áreas rurais que dependem de atividades agroindustriais (FAO, 2020).

As políticas públicas também são essenciais para promover a integração entre setores, como agricultura, meio ambiente, energia e desenvolvimento regional. Uma governança integrada permite que a biomassa seja utilizada de forma eficiente, evitando desperdícios e ampliando o valor agregado dos resíduos e subprodutos agroindustriais. A implementação de programas intersetoriais proporciona maior sinergia entre cadeias produtivas, como no caso da utilização de resíduos de madeira, restos de colheita e dejetos animais para geração de biogás e bioenergia. A articulação entre diferentes esferas governamentais fortalece a economia circular e amplia os benefícios sociais e ambientais da biomassa (OECD, 2021).

Apesar dos avanços, ainda existem desafios significativos para a consolidação da biomassa na matriz energética. Barreiras como instabilidades regulatórias, falta de financiamento de longo prazo, baixa capacitação técnica e desigualdades regionais dificultam a expansão das tecnologias de conversão. Dessa forma, políticas públicas

devem ser continuamente aprimoradas, com foco na simplificação de normas, ampliação de linhas de crédito, apoio à inovação e promoção de parcerias público-privadas. Com estratégias eficazes, a biomassa pode desempenhar papel ainda mais expressivo na segurança energética e na descarbonização do setor energético latino-americano (ECLAC, 2021).

Em síntese, políticas públicas robustas e bem estruturadas são determinantes para o avanço da biomassa como componente estratégico da matriz energética. Ao promover segurança regulatória, sustentabilidade ambiental, inovação tecnológica e inclusão socioeconômica, o Estado desempenha papel central na transição para modelos energéticos mais limpos e resilientes. A biomassa, quando apoiada por políticas adequadas, torna-se instrumento fundamental para alcançar metas climáticas, reduzir desigualdades e fortalecer a soberania energética das nações, consolidando seu papel no desenvolvimento sustentável contemporâneo (UNEP, 2023).

PERSPECTIVAS FUTURAS

O crescimento da demanda por energia limpa e sustentável impulsiona a busca por fontes renováveis capazes de substituir ou complementar os combustíveis fósseis. Nesse contexto, a biomassa destaca-se como uma das mais promissoras alternativas, devido à sua ampla disponibilidade, potencial de reaproveitamento de resíduos e capacidade de geração descentralizada de energia (DEMIRBAS, 2009). Além de oferecer uma solução viável para diversificar a matriz energética, o uso da biomassa contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e promove o desenvolvimento regional, especialmente em países com forte vocação agrícola e florestal, como o Brasil (COELHO; GOLDEMBERG, 2013).

O aproveitamento energético da biomassa está em constante evolução, impulsionado por avanços tecnológicos que aumentam a eficiência dos processos de conversão, como gaseificação, pirólise e digestão anaeróbica. Tais processos possibilitam o uso de diversos tipos de biomassa, incluindo resíduos agrícolas, florestais, urbanos e industriais, de forma mais limpa e eficiente. A perspectiva futura

é de que tecnologias de segunda e terceira geração, como o etanol celulósico e os biocombustíveis algais, assumam papel central na transição energética mundial (CHERUBINI, 2010).

As projeções globais indicam que a biomassa poderá responder por uma parcela crescente da matriz energética até 2050, especialmente no setor de bioenergia e cogeração. Relatórios da Agência Internacional de Energia (IEA) apontam que a biomassa moderna pode representar até 20% do consumo total de energia primária em cenários sustentáveis, desde que o seu uso seja feito de forma responsável e com controle ambiental adequado (IEA, 2021). Nesse cenário, políticas públicas, incentivos financeiros e marcos regulatórios claros serão fundamentais para garantir o uso sustentável da biomassa como fonte energética (REN21, 2023).

A descentralização da produção energética é outra tendência relevante que favorece o uso da biomassa, principalmente em comunidades rurais e regiões isoladas. Pequenas centrais de geração a partir de resíduos agrícolas ou florestais podem atender à demanda local, reduzir perdas na transmissão e promover segurança energética. Além disso, a geração distribuída baseada em biomassa pode ser integrada a sistemas híbridos com energia solar e eólica, ampliando a confiabilidade do fornecimento energético em regiões de baixa infraestrutura (CARVALHO et al., 2020).

No Brasil, as perspectivas futuras apontam para a ampliação do uso da biomassa como parte de uma estratégia de transição energética e descarbonização da economia. O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2032) prevê aumento da participação da bioeletricidade e dos biocombustíveis na matriz energética nacional. O aproveitamento do bagaço e da palha da cana-de-açúcar, os resíduos da silvicultura e o biogás oriundo de resíduos sólidos urbanos e efluentes agroindustriais são algumas das fontes que devem ser priorizadas nos próximos anos (EPE, 2023).

Apesar do potencial, existem desafios que precisam ser superados para que a biomassa atinja sua plena contribuição energética. Entre os principais entraves estão os altos custos de investimento inicial, a logística de coleta e transporte da biomassa, e a necessidade de padronização e certificação dos insumos energéticos. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento, capacitação técnica e infraestrutura

são fundamentais para viabilizar economicamente os projetos e garantir o suprimento sustentável da matéria-prima (ROSILLO-CALLE, 2007).

A internacionalização do mercado de biomassa também é uma tendência que pode impulsionar a cadeia produtiva. A exportação de pellets de madeira da América do Sul para a Europa e Ásia, por exemplo, mostra-se promissora frente às metas de redução de emissões desses continentes. Com regulamentações ambientais mais rígidas e o fechamento gradual de usinas a carvão, a substituição por biomassa sólida torna-se uma estratégia viável para países industrializados que não possuem abundância de recursos renováveis (BAUEN et al., 2004).

Portanto, as perspectivas futuras do uso da biomassa na produção energética são promissoras, especialmente diante da urgência por soluções sustentáveis e renováveis que substituam os combustíveis fósseis. A biomassa apresenta vantagens significativas, como a possibilidade de reaproveitamento de resíduos, geração distribuída e redução das emissões de carbono. Contudo, para que esse potencial se concretize plenamente, é necessário superar desafios técnicos, econômicos e logísticos, por meio de políticas públicas eficazes, apoio à inovação tecnológica e incentivo ao desenvolvimento de cadeias produtivas locais. O cenário futuro aponta para uma biomassa mais integrada aos sistemas energéticos modernos, mais limpa, eficiente e fundamental para a construção de uma matriz energética diversificada e sustentável (CHERUBINI, 2010).

CONCLUSÕES

A biomassa ocupa uma posição estratégica na matriz energética, especialmente no contexto da transição para sistemas energéticos mais sustentáveis e de baixo carbono. Sua versatilidade, aliada à possibilidade de aproveitamento de resíduos e à geração descentralizada de energia, confere à biomassa um papel relevante tanto do ponto de vista ambiental quanto socioeconômico, conforme evidenciado pela literatura analisada.

No que se refere aos aspectos tecnológicos, observou-se que existem diversas rotas de conversão energética da biomassa, com diferentes níveis de maturidade e eficiência. Tecnologias consolidadas, como a combustão direta e a produção de biocombustíveis tradicionais, coexistem com soluções emergentes, como a gaseificação avançada e a bioenergia com captura e armazenamento de carbono. Apesar dos avanços, desafios relacionados à eficiência energética, custos de implementação e logística de suprimento ainda limitam a expansão em larga escala dessas tecnologias.

A análise das políticas públicas demonstrou que o fortalecimento da biomassa na matriz energética depende fortemente de instrumentos regulatórios, incentivos econômicos e planejamento de longo prazo. Experiências nacionais e internacionais indicam que políticas consistentes são fundamentais para reduzir riscos, estimular investimentos e garantir que o uso da biomassa ocorra de forma sustentável, minimizando impactos socioambientais negativos e promovendo benefícios econômicos e sociais.

Quanto às perspectivas futuras, a literatura aponta que a biomassa tende a assumir um papel ainda mais relevante no enfrentamento das mudanças climáticas e na diversificação da matriz energética. O avanço tecnológico, aliado à integração com outras fontes renováveis e a políticas alinhadas às metas de descarbonização, pode ampliar significativamente sua contribuição. Contudo, esse potencial só será plenamente alcançado mediante investimentos contínuos em pesquisa, inovação e governança energética, bem como pela adoção de estratégias que conciliem segurança energética, sustentabilidade ambiental e desenvolvimento social.

Dessa forma, conclui-se que a biomassa representa uma alternativa energética promissora, mas que sua consolidação na matriz energética requer uma abordagem integrada entre tecnologia, políticas públicas e planejamento prospectivo. Espera-se que este estudo contribua para o aprofundamento do debate acadêmico e sirva como subsídio para formuladores de políticas e pesquisadores interessados no papel da biomassa na construção de sistemas energéticos mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 4. ed. Brasília: ANEEL, 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 11 out. 2025.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Balanco energético nacional 2023: ano base 2022**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2023.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BAUEN, A. et al. **Bioenergy – a sustainable and reliable energy source: a review of status and prospects**. London: IEA Bioenergy, 108 p., 2004.
- BRASIL. **Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 dez. 2017.
- CARVALHO, M. A. B. et al. Potencial de geração de energia elétrica a partir da biomassa no Brasil: uma abordagem geográfica. **Revista Brasileira de Energia Renovável**, Natal, v. 9, n. 3, p. 154–174, 2020.
- CAVALETT, O.; ORTEGA, E. Biomassa: panorama atual e perspectivas futuras. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 180–193, jan./mar. 2009.
- CHERUBINI, F. The biorefinery concept: using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. **Energy Conversion and Management**, Amsterdam, v. 51, n. 7, p. 1412–1421, 2010.
- COELHO, S. T.; GOLDEMBERG, J. Energia renovável e desenvolvimento sustentável: uma avaliação do potencial da biomassa. **Novos Estudos CEBRAP**, São Paulo, n. 95, p. 57–73, 2013.
- DEMIRBAS, A. Importance of biomass energy sources for Turkey. **Energy Policy**, Oxford, v. 35, n. 8, p. 4242–4250, 2007.
- DEMIRBAS, A. **Biofuels: securing the planet's future energy needs**. London: Springer, 2009.
- ECLAC – Economic Commission for Latin America and the Caribbean. **Renewable Energy for Sustainable Development in Latin America**. Santiago: United Nations, 2021.

- ECOGEN. 2023. **4 Tipos de Biomassa: quais as opções Disponíveis?** Disponível em: <https://www.ecogenbrasil.com.br/tipos-de-biomassa/>. Acesso em: 01/06/2025.
- EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2050**. Rio de Janeiro: EPE, 2023.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of Food and Agriculture 2020: Innovation in Agriculture**. Rome: FAO, 2020.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- GOLDEMBERG, J. The Brazilian biofuels industry. **Biotechnology for Biofuels**, v. 1, n. 6, 2008.
- GOLDEMBERG, J. **Energia e desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Blucher, 2010.
- GOLDEMBERG, J. Atualidade e Perspectivas no Uso de Biomassa para Geração de Energia. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, 14 p., 2016.
- IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2021**. Paris: IEA, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/>. Acesso em: 11 out. 2025.
- IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2022**. Paris: IEA, 2022.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: Mitigation of Climate Change**. Geneva: IPCC, 2021.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- JHA, S; NANDA, S.; ACHARYA, B.; DALAI, A. K. Uma revisão da conversão termoquímica de biomassa residual em biocombustíveis. **Energias**, v. 15, n. 17, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en15176352>. Acesso em: 03/06/25.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- MEDEIROS, M. F.; NUNES, L. A. S. **Uso de biomassa na geração de energia**. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO – UFRSA. CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Trabalho de Conclusão de Curso. 11p., 2023. Disponível em:

<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/3f087433-aed2-4561-a888-8cd4c7921756/content>. Acesso em: 01/06/2025.

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. **Green Growth Studies: Energy and Resource Efficiency**. Paris: OECD Publishing, 2021.

OLIVEIRA, L. E.; ROSA, L. P.; MACEDO, I. C. Biomassa como fonte de energia no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 207–226, 2012.

PEREIRA, J. C. et al. **Metodologia da pesquisa científica**. Santa Maria: UFSM, 2018.

REN21 – RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21st CENTURY. **Renewables 2023 Global Status Report**. Paris: REN21, 2023. Disponível em: <https://www.ren21.net/>. Acesso em: 11 out. 2025.

ROSILLO-CALLE, F. et al. **The Biomass Assessment Handbook: Bioenergy for a Sustainable Environment**. London: Earthscan, 288 p., 2007.

SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, D. R. de; COELHO, S. T. Energia da biomassa no Brasil: evolução histórica, situação atual e perspectivas futuras. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 91–112, 2015.

SANTOS, M. S. M.; SILVA, C. J.; CRUZ, S. H.; BATISTOTE, M.; CARDOSO, C. A. L. Energy cultures and sustainability in biofuel production. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 9, n. 1, p. e6719, 8 p., 2022.

SEARCHINGER, T. et al. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. **Science**, Washington, DC, v. 319, n. 5867, p. 1238–1240, 2008.

SILVA, J. F.; LIMA, M. A. Biomassa e seus impactos positivos na matriz energética brasileira. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 12, n. 26, p. 115–125, 2016.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Global Waste Management Outlook 2022**. Nairobi: UNEP, 2022.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Emissions Gap Report 2023**. Nairobi: UNEP, 2023.