

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN
BRAZIL WITH THE DIGITAL BIOECONOMY

José Mário Marassato

marassato@outlook.com

Mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação da
Universidade Federal de Roraima

Emerson Clayton Arantes

emerson.arantes@ufrr.br

Docente da Universidade Federal de Roraima

Georgia Patrícia da Silva Ferko

geoufpe@yahoo.com.br

Docente da Universidade Federal de Roraima

RESUMO

A bioeconomia digital tem sido uma estratégia essencial para a promoção do desenvolvimento sustentável, alinhando a conservação ambiental ao crescimento econômico. Este artigo tem como objetivo investigar o papel da bioeconomia digital no desenvolvimento sustentável, com ênfase no contexto brasileiro. A metodologia utilizada baseia-se em revisão bibliográfica e estudo de caso de iniciativas já implementadas no país. Os resultados indicam que o uso da tecnologia em suas múltiplas possibilidades pode reduzir barreiras estruturais e aumentar a eficiência da bioeconomia digital promovendo inovação em vários setores. O papel da tecnologia na bioeconomia, analisando sua capacidade de fortalecer negócios sustentáveis, amplia o acesso a mercados e conecta empreendedores a investidores e consumidores. O uso

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

da tecnologia pode ser um vetor transformador, possibilitando a integração de cadeias produtivas sustentáveis por meio de portais digitais, inteligência artificial e análise de dados. No Brasil, o setor enfrenta desafios como a falta de infraestrutura, acesso limitado a mercados, dificuldades na captação de recursos e capacitação de recursos humanos. Conclui-se que o investimento em infraestrutura tecnológica e políticas públicas de incentivo à digitalização é fundamental para o fortalecimento da bioeconomia no país, consolidando-a como um modelo econômico alternativo com vistas a reduzir o desperdício e otimizar o uso dos recursos disponíveis.

Palavras-chave: Bioeconomia; Tecnologia; Sustentabilidade; Inovação Digital.

ABSTRACT

Digital bioeconomy has been an essential strategy for promoting sustainable development, aligning environmental conservation with economic growth. This article aims to investigate the role of digital bioeconomy in sustainable development, with an emphasis on the Brazilian context. The methodology used is based on a bibliographic review and a case study of initiatives already implemented in the country. The results indicate that the use of technology in its multiple applications can reduce structural barriers and increase the efficiency of the digital bioeconomy, fostering innovation across various sectors. The role of technology in the bioeconomy is analyzed in terms of its ability to strengthen sustainable businesses, expand market access, and connect entrepreneurs with investors and consumers. Technology can serve as a transformative vector, enabling the integration of sustainable production chains through digital platforms, artificial intelligence, and data analysis. In Brazil, the sector faces challenges such as a lack of infrastructure, limited market access, difficulties in securing financial resources, and workforce training. The study concludes that investment in technological infrastructure and public policies to encourage digitalization is essential for strengthening the country's bioeconomy, consolidating it as an alternative economic model aimed at reducing waste and optimizing the use of available resources.

Keywords: Bioeconomy; Technology; Sustainability; Digital Innovation.

1 INTRODUÇÃO

A bioeconomia é definida como a produção, utilização e conservação de recursos biológicos, incluindo conhecimentos, ciência, tecnologia e inovação relacionados, para fornecer informações, produtos, processos e serviços em todos os setores econômicos, visando uma economia sustentável. No contexto brasileiro, a bioeconomia apresenta-se como uma estratégia promissora para conciliar desenvolvimento econômico e conservação ambiental, especialmente na região Amazônica, que detém uma das maiores biodiversidades do planeta (PAMPLONA, 2021).

A bioeconomia emerge como uma abordagem estratégica que integra a utilização sustentável dos recursos biológicos com o desenvolvimento econômico, visando à conservação ambiental e à promoção do bem-estar social. No contexto brasileiro, a bioeconomia apresenta um potencial significativo devido à extensa biodiversidade existente.

A bioeconomia digital é um modelo de desenvolvimento que integra as tecnologias digitais como ferramentas para promover a sustentabilidade e a criação de novos produtos, serviços e processos inovadores. Este conceito engloba a valorização dos recursos naturais, a preservação da biodiversidade e a adoção de práticas de economia circular, que visam reduzir o desperdício e otimizar o uso dos recursos disponíveis. A convergência entre biotecnologia e digitalização tem o potencial de transformar profundamente setores fundamentais da economia, criando um ciclo produtivo mais eficiente e sustentável. Esse modelo de bioeconomia, ao incorporar a digitalização, cria novas oportunidades para o crescimento econômico, ao mesmo tempo que diminui o impacto ambiental das atividades humanas.

A aplicação de tecnologias avançadas, como portais digitais, inteligência artificial e análise de dados, desponta como uma solução promissora para superar essas barreiras. Essas ferramentas tecnológicas podem facilitar a integração das cadeias produtivas sustentáveis, aprimorar a eficiência operacional e fomentar a inovação no setor (SGOBBE, 2024). Além disso, a digitalização permite conectar empreendedores a investidores e consumidores, ampliando o acesso a mercados e promovendo a inclusão social (FERRO, 2006).

Este trabalho tem como objetivo investigar o papel da bioeconomia digital no desenvolvimento sustentável, com ênfase no contexto brasileiro. A metodologia utilizada

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

baseia-se em revisão bibliográfica e estudo de caso de iniciativas já implementadas. A pesquisa busca analisar como as inovações tecnológicas podem fortalecer negócios sustentáveis, facilitar a captação de recursos e promover a conservação ambiental.

A relevância deste estudo reside na necessidade de identificar estratégias eficazes que aliem desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental, contribuindo para a formulação de políticas públicas e práticas empresariais que impulsionem a bioeconomia digital no Brasil. Ao explorar o potencial das tecnologias digitais, espera-se fornecer subsídios para a construção de um modelo econômico mais sustentável e resiliente, alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2015).

2 O PAPEL DA TECNOLOGIA NA BIOECONOMIA DIGITAL

A bioeconomia e o desenvolvimento sustentável estão diretamente interligados, pois a bioeconomia propõe um modelo de produção que utiliza os recursos biológicos de forma renovável e eficiente, minimizando impactos ambientais e garantindo a regeneração dos ecossistemas. Esse conceito se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente no que se refere à conservação da biodiversidade, promoção de energia limpa, incentivo ao consumo responsável e erradicação da pobreza (ONU, 2015).

A bioeconomia se apresenta como uma alternativa estratégica para reduzir o desmatamento e a degradação ambiental, ao mesmo tempo em que gera oportunidades econômicas sustentáveis para comunidades tradicionais e pequenos produtores. Além disso, iniciativas voltadas para a bioeconomia podem estimular a pesquisa científica e o desenvolvimento de novas tecnologias, impulsionando a inovação e a competitividade do país no cenário global (SGOBBE, 2024).

Destarte a bioeconomia é um modelo de desenvolvimento que tem como base o uso sustentável dos recursos biológicos, com o objetivo de criar valor econômico a partir de biomassa, produtos renováveis e ecossistemas naturais. Esse conceito está profundamente ligado à ideia de um futuro mais verde e sustentável, no qual as atividades humanas sejam menos dependentes de fontes de energia não renováveis, como os combustíveis fósseis. A

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

bioeconomia propõe, ainda, a implementação de práticas de economia circular, onde os resíduos e subprodutos de um processo produtivo são reutilizados em outros ciclos produtivos, promovendo a minimização de desperdícios e otimizando o uso de recursos. Esse modelo busca equilibrar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental e o bem-estar das futuras gerações, criando novas oportunidades para uma produção mais eficiente e sustentável, sem comprometer os ecossistemas (FAO, 2018).

Por outro lado, a bioeconomia digital emerge como uma evolução desse modelo, ao integrar as tecnologias digitais ao uso de recursos biológicos. A digitalização permite a criação de sistemas mais eficientes e inovadores, capazes de transformar radicalmente a maneira como gerenciamos os recursos naturais e a produção de bens e serviços. A utilização de tecnologias como inteligência artificial, *big data*, Internet das Coisas (IoT), e computação em nuvem, entre outras, tem um grande potencial para acelerar a implementação de práticas mais sustentáveis dentro da bioeconomia. A digitalização torna possível o monitoramento em tempo real de ecossistemas e processos produtivos, a automação de diversas atividades, a análise de grandes volumes de dados para otimizar a utilização de recursos e a redução de desperdícios (COMISSÃO EUROPEIA, 2018).

Além disso, a bioeconomia digital também facilita a transição para uma economia circular mais robusta, já que as tecnologias digitais ajudam a rastrear e otimizar o fluxo de materiais e energia ao longo de cadeias produtivas, tornando os processos mais transparentes e eficientes. Por exemplo, sensores IoT aplicados à agricultura podem monitorar o solo, o clima e o crescimento das culturas, permitindo uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e do uso de fertilizantes, o que não só aumenta a produtividade, mas também reduz o impacto ambiental (CLERCQ, 2018). Na área da bioinformática e genômica, as tecnologias digitais possibilitam o processamento de grandes volumes de dados biológicos, acelerando o desenvolvimento de novas soluções na medicina e biotecnologia, além de contribuir para o aprimoramento de processos agrícolas e de produção de bioenergia (CASATI *et al.*, 2021).

A bioeconomia digital propõe um futuro mais sustentável e equilibrado ao utilizar tecnologias digitais, computação em nuvem e outras inovações digitais para impulsionar práticas mais verdes em setores como a agricultura, a gestão florestal e a indústria. De acordo com a Comissão Europeia (2018), a implementação dessas tecnologias ajuda na transformação da bioeconomia tradicional em uma bioeconomia digitalmente integrada, que

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

será mais capaz de responder aos desafios ambientais e socioeconômicos do futuro. A digitalização permite o monitoramento em tempo real de sistemas biológicos, a automação de processos e a análise de grandes volumes de dados, o que torna a produção de alimentos, materiais e energia mais eficiente e menos poluente.

Esse modelo oferece diversas vantagens, não apenas para o meio ambiente, mas também para a sociedade. Primeiramente, ele contribui para a criação de um futuro mais equitativo e ambientalmente consciente, ao promover práticas que protejam os ecossistemas enquanto atendem às necessidades humanas. Além disso, o conceito de economia circular ganha destaque nesse contexto, já que a bioeconomia digital pode facilitar a implementação de sistemas de reutilização e reciclagem de recursos, essencialmente transformando resíduos em novos produtos e energia.

A aplicação de tecnologias digitais pode, por exemplo, melhorar a rastreabilidade de produtos ao longo da cadeia de suprimentos, assegurando que os recursos naturais sejam utilizados de maneira mais responsável e eficiente. Outro aspecto relevante é que a bioeconomia digital também gera novos modelos de negócios, potencializando a criação de atividades econômicas circulares. Isso significa que os resíduos de um processo produtivo podem se tornar insumos para outros processos, criando um ciclo de vida mais fechado e sustentável para os produtos. Essa transformação resulta em benefícios sociais e ambientais coletivos, pois a integração de tecnologias digitais permite uma melhor gestão de recursos, redução de emissões de carbono e maior transparência nos processos produtivos.

As aplicações da bioeconomia digital se estendem a várias áreas-chave. Na agricultura, por exemplo, tecnologias como a inteligência artificial e sensores IoT são usadas para monitorar o crescimento das culturas, prever condições climáticas e otimizar o uso de água e fertilizantes. Isso não apenas aumenta a produtividade das lavouras, mas também reduz os impactos ambientais negativos, como o uso excessivo de produtos químicos e a degradação do solo (CLERCQ, 2018).

A gestão florestal também se beneficia enormemente da digitalização, pois o uso de drones, sensores e sistemas de monitoramento remoto permite um acompanhamento mais preciso e eficiente da saúde das florestas, facilitando o combate ao desmatamento ilegal e a gestão sustentável dos recursos florestais (TIOSSI, 2021).

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

Na bioinformática e genômica, a bioeconomia digital abre novas possibilidades para a medicina personalizada e o desenvolvimento de terapias inovadoras, por meio do processamento de grandes volumes de dados biológicos e genéticos. Essas tecnologias permitem avanços na criação de novos medicamentos e tratamentos, além de melhorar a produção de alimentos e biocombustíveis por meio da engenharia genética (CASATI *et al.*, 2021).

A nanotecnologia, por sua vez, contribui com a criação de novos materiais e soluções mais eficientes e sustentáveis para a indústria, ao desenvolver produtos com propriedades únicas que ajudam a reduzir a quantidade de recursos necessários e a diminuir os impactos ambientais (ROCO *et al.*, 2019).

Em áreas como a química de renováveis e a robótica, a bioeconomia digital promove inovações que ajudam a substituir processos e materiais derivados de fontes fósseis por alternativas mais sustentáveis. A robótica, por exemplo, tem o potencial de automatizar processos industriais e agrícolas, otimizando o uso de recursos e reduzindo o desperdício. Além disso, a pesquisa em química de renováveis se beneficia da digitalização, permitindo o desenvolvimento de novos produtos e processos mais eficientes e ecológicos a partir de fontes renováveis (FINK, 2020).

Toma-se como premissa que a bioeconomia digital não é apenas uma tendência tecnológica, mas uma revolução necessária para enfrentar os desafios globais de sustentabilidade e desenvolvimento econômico. Ao integrar soluções digitais em diversos setores, ela permite uma gestão mais eficiente dos recursos naturais, reduz os impactos ambientais e promove uma economia circular mais consistente. A aplicação de tecnologias digitais, aliada à bioeconomia, abre novas perspectivas para a inovação, beneficiando não apenas as gerações atuais, mas também as futuras.

3 METODOLOGIA

A pesquisa adotada é qualitativa já é apropriada para explorar fenômenos complexos em contextos específicos, permitindo uma análise detalhada das interações sociais e dos processos envolvidos (SILVA, 2022).

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

Para a coleta de dados, foi realizada uma revisão bibliográfica contemplando artigos acadêmicos, relatórios institucionais e documentos oficiais que abordam a interseção entre bioeconomia, tecnologia e sustentabilidade. A seleção das fontes considerou a relevância e a atualidade das publicações, priorizando estudos que oferecessem informações e resultados sobre o tema. A análise dos dados seguiu os princípios da análise de conteúdo, permitindo a identificação de categorias temáticas e a interpretação dos achados à luz do referencial teórico adotado (SOUZA, 2018).

Adicionalmente, foram examinados estudos de caso de iniciativas que integraram tecnologias digitais em cadeias produtivas sustentáveis. A escolha por estudos de caso se justifica pela possibilidade de compreender as particularidades e os desafios enfrentados na implementação de soluções tecnológicas no contexto da bioeconomia nacional (YIN, 2010).

É importante ressaltar que, embora a pesquisa qualitativa não busque generalizações estatísticas, ela proporciona uma compreensão aprofundada dos fenômenos estudados, oferecendo subsídios valiosos para a formulação de políticas públicas e estratégias empresariais (GUERRA *et al.*, 2024). As limitações inerentes a este método incluem a subjetividade na interpretação dos dados e a dependência do contexto específico das iniciativas analisadas.

4 OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA BIOECONOMIA DIGITAL NO BRASIL

O Brasil possui características únicas que favorecem a expansão da bioeconomia digital, como sua ampla biodiversidade e uma agricultura desenvolvida. Esses fatores proporcionam uma base para o desenvolvimento de bioproductos e serviços inovadores. Conforme apontado pelo Instituto EKOS Brasil, o país tem potencial para gerar energia a partir de fontes renováveis e experiências bem-sucedidas em biocombustíveis, posicionando-se de forma estratégica no cenário global da bioeconomia (EKOS, 2021).

Uma das estratégias mais promissoras para fortalecer a bioeconomia no Brasil está na valorização da Amazônia como centro de inovação e desenvolvimento sustentável. Instituições como os Institutos Agni e Arapyaú defendem a região como referência global em soluções de bioeconomia, promovendo uma economia descarbonizada e inclusiva.

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

Para consolidar esse protagonismo, é necessário investir em ciência, tecnologia e inovação (CT&I), integrando o conhecimento científico local, regional e internacional com a sabedoria tradicional dos povos da floresta. A implementação de políticas públicas e planos estratégicos alinhados com essa visão pode fortalecer a bioeconomia na região, incentivando a formação de pesquisadores, a criação de novos negócios sustentáveis e o aumento da competitividade do setor. Além disso, o fortalecimento da relação entre pesquisa e mercado, aliado à especialização da mão de obra local, é essencial para expandir as atividades da bioeconomia na Amazônia, tornando o Brasil um líder global no uso sustentável da biodiversidade (MCTIC, 2023).

Figura 1 - Alavancas para o Sistema de CT&I na Amazônia

ALAVANCAS PARA O SISTEMA DE CT&I NA AMAZÔNIA

Proposta de agenda prioritária para engajamento da sociedade civil, governos e empresas, voltada especialmente para aumentar o valor da bioeconomia.

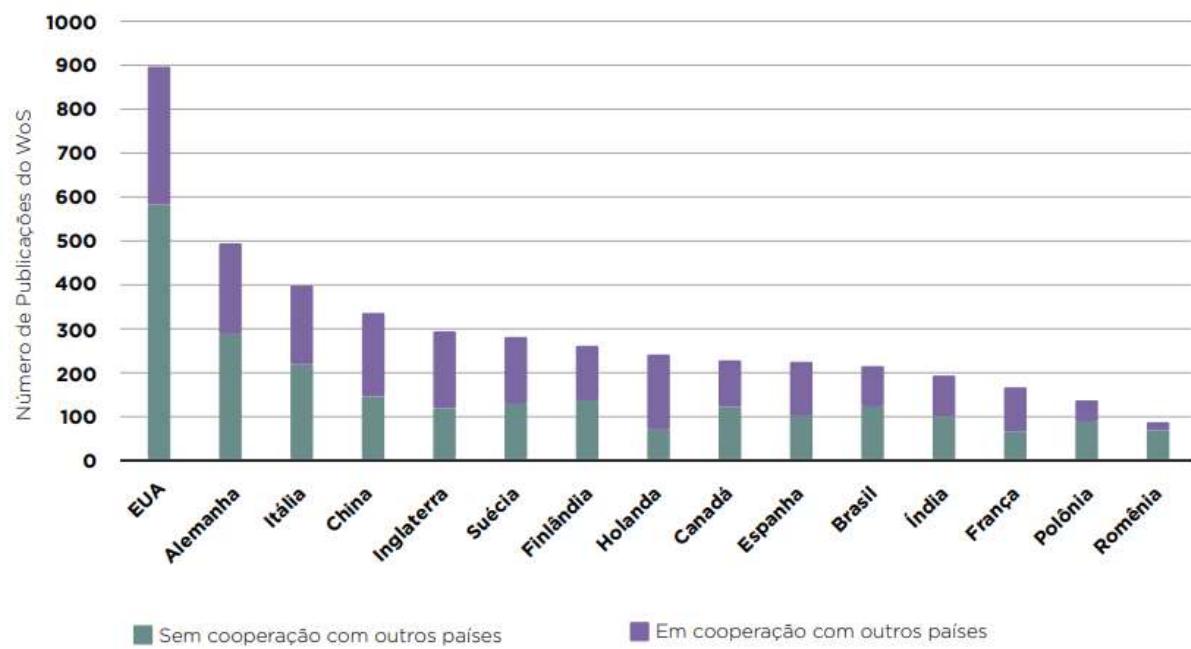


Fonte: MCTIC (2023).

A experiência internacional também apresenta resultados que precisam ser observados como exemplos. Países como a Alemanha têm utilizado portais digitais para conectar os diversos *stakeholders* da bioeconomia, promovendo a inovação e o desenvolvimento sustentável. A comparação com essas experiências internacionais destaca a importância de políticas públicas que incentivem a digitalização e a inovação no setor, assim como reforça o estudo realizado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2021).

Figura 2 - Países com o maior número de publicações sobre bioeconomia

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL



Fonte: CGEE (2021).

A integração de tecnologias digitais, como inteligência artificial e *big data*, pode otimizar processos produtivos e promover a eficiência na utilização de recursos biológicos. Essa digitalização facilita a rastreabilidade de produtos, aumentando a transparência e a confiança dos consumidores. Além disso, a criação de *clusters* de bioeconomia pode potencializar os recursos de determinadas regiões, promovendo a especialização e a integração entre setores (EMBRAPA, 2023).

O governo brasileiro tem demonstrado compromisso com o desenvolvimento da bioeconomia por meio de diversas iniciativas. A criação da Estratégia Nacional de Bioeconomia, instituída pelo Decreto nº 12.044, estabelece diretrizes para coordenar e implementar políticas públicas destinadas ao setor, promovendo o uso sustentável da biodiversidade e incentivando a bioindustrialização alinhada às políticas industriais vigentes (BRASIL, 2024).

Além disso, o Projeto de Lei Complementar (PLP) 150/22 propõe a instituição de uma política nacional específica para desenvolver a bioeconomia no país, definindo princípios e diretrizes para sua implementação (CÂMARA, 2023). Essas iniciativas refletem a intenção governamental de posicionar o Brasil como protagonista na bioeconomia de alta tecnologia,

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

aproveitando suas características únicas para impulsionar a reindustrialização em bases sustentáveis (MCTIC, 2023).

Para que a bioeconomia digital prospere, é imprescindível investir em infraestrutura tecnológica que suporte a inovação e a competitividade. A modernização da infraestrutura de pesquisa e inovação, aliada a estímulos ao empreendedorismo e à interação público-privada, são passos fundamentais para direcionar investimentos e ampliar a base científica e tecnológica do país (EMBRAPA, 2023).

Nesse contexto, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) têm desempenhado papéis cruciais ao estimular a inovação em bioeconomia e outros setores, financiando projetos que buscam desenvolver tecnologias sustentáveis e de alto valor agregado (BNDES, 2022).

As universidades, startups e empresas desempenham papéis fundamentais no desenvolvimento da bioeconomia digital no Brasil. As universidades são centros de conhecimento que promovem pesquisas avançadas e formam profissionais qualificados, essenciais para a inovação no setor. As startups, por sua vez, introduzem agilidade e inovação disruptiva, transformando descobertas acadêmicas em soluções comerciais viáveis. Empresas estabelecidas contribuem com recursos e expertise para escalar essas inovações. A colaboração entre esses atores, facilitada por políticas públicas que incentivam a transferência de tecnologia, é vital para o avanço sustentável da bioeconomia no país (ABBI, 2024).

Um exemplo dessa sinergia é observado no apoio de universidades à criação de startups de biotecnologia, fornecendo infraestrutura e conhecimento necessários para o desenvolvimento de inovações no setor. Além disso, iniciativas como a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) promovem parcerias entre instituições de pesquisa e empresas, facilitando a transferência de tecnologia e impulsionando a bioeconomia digital (STARTUPS, 2022).

No Brasil, iniciativas como a Plataforma Bioeconomia Brasil – Sociobiodiversidade, desenvolvida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), exemplificam o uso de portais digitais para promover a bioeconomia. Essa plataforma busca integrar informações sobre produtos da sociobiodiversidade, facilitando o acesso a mercados e fomentando cadeias de valor sustentáveis. Segundo o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), a bioeconomia no Brasil apresenta vantagens como a megadiversidade e a

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

agricultura tropical avançada, mas também enfrenta desafios relacionados à inovação e à integração de tecnologias digitais (CGEE, 2021).

A adoção de portais digitais tem se mostrado uma estratégia eficaz para impulsionar a bioeconomia no Brasil, facilitando o acesso a mercados e promovendo a integração entre os diversos atores do setor. Essas plataformas digitais permitem que produtores, pesquisadores, investidores e consumidores se conectem de forma mais eficiente, compartilhando informações e estabelecendo parcerias estratégicas. De acordo com Silva e Melro (2023), a integração de diferentes campos de conhecimento, incluindo biotecnologia e bioecologia, é fundamental para potencializar um modelo econômico baseado em insumos biológicos que preserve a biodiversidade.

A integração de tecnologias avançadas tem se mostrado fundamental para impulsionar a bioeconomia sustentável no Brasil. Ferramentas digitais têm otimizado processos produtivos, monitorado recursos naturais em tempo real e desenvolvido novos produtos e serviços baseados na biodiversidade. Essas inovações tecnológicas permitem uma gestão mais eficiente dos recursos biológicos, promovendo práticas agrícolas sustentáveis e aumentando a competitividade no mercado global. Por exemplo, a adoção de sistemas de informação verde tem facilitado o monitoramento em tempo real das condições de produção, permitindo ajustes precisos e oportunos que resultam em maior eficiência e sustentabilidade (FONSECA *et al.*, 2019).

A aplicação dessas tecnologias pode potencializar cadeias produtivas sustentáveis, promovendo maior eficiência e competitividade no mercado global (FERRO, 2006). Além disso, a digitalização facilita a rastreabilidade de produtos, garantindo maior transparência e confiança por parte dos consumidores (PAMPLONA, 2021).

Essas plataformas facilitam a comunicação entre produtores, pesquisadores, investidores e consumidores, promovendo a troca de conhecimentos e a formação de parcerias estratégicas (SGOBBE, 2024). Iniciativas como a Plataforma Digital dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, gerenciada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), exemplificam o uso de portais digitais para monitorar e divulgar indicadores relacionados à sustentabilidade (CRUZ, 2022).

A expansão da bioeconomia digital no Brasil também apresenta uma série de desafios e que precisam ser cuidadosamente analisados para promover um desenvolvimento

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

sustentável e inclusivo. Um dos principais desafios para a expansão da bioeconomia digital no Brasil é a necessidade de um ambiente regulatório claro e eficiente. A ausência de regulamentações específicas pode dificultar a inovação e a implementação de novas tecnologias no setor. De acordo com o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), é fundamental desenvolver políticas públicas que incentivem a bioeconomia, estabelecendo diretrizes claras para a atuação dos diversos atores envolvidos (CGEE, 2021).

Além disso, a conservação ambiental é uma preocupação central. A exploração sustentável dos recursos biológicos requer práticas que não comprometam a biodiversidade e os ecossistemas. A Fundação Getúlio Vargas (FGV) destaca que, apesar dos avanços no uso de bioinssumos, ainda há desafios significativos relacionados à capacitação técnica e à necessidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento para garantir práticas sustentáveis (CROPLIFE, 2024).

Não obstante há necessidade de um marco regulatório inovador e adequado para a bioeconomia, além do fortalecimento da base científica e tecnológica (EMBRAPA, 2023). Superar essas barreiras requer um esforço conjunto entre governo, iniciativa privada e sociedade civil para criar um ambiente favorável à inovação e ao desenvolvimento sustentável.

Destarte a aplicação de tecnologias tem potencializado cadeias produtivas sustentáveis. A digitalização facilita a rastreabilidade de produtos, garantindo maior transparência e confiança por parte dos consumidores. Além disso, a utilização de sistemas agroflorestais (SAFs) integrados com tecnologias digitais tem se mostrado viável para a agricultura familiar, oferecendo alternativas à agricultura convencional e contribuindo para a conservação ambiental (SILVA, 2017).

A tecnologia desempenha um papel na promoção de uma bioeconomia sustentável no Brasil. A adoção de inovações tecnológicas não apenas otimiza a produção e distribuição, mas também contribui para a conservação ambiental e o desenvolvimento socioeconômico. Para maximizar esses benefícios, é fundamental que haja um esforço conjunto entre governo, setor privado e sociedade civil para superar os desafios existentes e promover um ambiente propício à inovação tecnológica no campo da bioeconomia (PAMPOLHA, 2021).

Entretanto, a implementação dessas tecnologias enfrenta desafios significativos, como a necessidade de investimentos em infraestrutura tecnológica e capacitação profissional. A falta de acesso a tecnologias avançadas e a carência de conhecimento técnico podem limitar a adoção dessas inovações por pequenos produtores e comunidades tradicionais. Portanto, é essencial que políticas públicas sejam direcionadas para fomentar a inclusão digital no setor agrícola, promovendo treinamentos e facilitando o acesso a tecnologias emergentes.

O desenvolvimento da bioeconomia no Brasil depende significativamente de políticas públicas que incentivem a inovação e a sustentabilidade. O Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Bioeconomia (PACTI Bioeconomia), elaborado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), tem como objetivo produzir e aplicar conhecimentos científicos e tecnológicos para a promoção de benefícios sociais, econômicos e ambientais, fomentando a inovação e provendo condições para a inserção estratégica da bioeconomia brasileira no cenário global (MCTIC, 2018).

Além disso, investimentos em infraestrutura tecnológica e capacitação profissional são fundamentais para criar um ambiente propício ao desenvolvimento da bioeconomia digital. Parcerias entre governo, setor privado e instituições de pesquisa podem acelerar a implementação de soluções tecnológicas que atendam às necessidades específicas do país, promovendo um modelo econômico mais sustentável e inclusivo (PAMPLONA, 2021).

5 CONCLUSÃO

O Brasil possui características únicas que favorecem a expansão da bioeconomia digital, como sua ampla biodiversidade e uma agricultura desenvolvida. Esses fatores proporcionam uma base para o desenvolvimento de bioproductos e serviços inovadores. A integração de tecnologias digitais, como inteligência artificial e *big data*, pode otimizar processos produtivos e promover a eficiência na utilização de recursos biológicos, facilitando a rastreabilidade de produtos e aumentando a transparência e a confiança dos consumidores (EKOS, 2021).

A bioeconomia digital no Brasil apresenta desafios e oportunidades que demandam estudos e práticas para promover seu desenvolvimento sustentável. Entre os principais desafios estão as questões regulatórias e ambientais. A ausência de um marco regulatório

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

específico para a bioeconomia digital pode dificultar a inovação e a implementação de novas tecnologias no setor. Além disso, a exploração sustentável dos recursos biológicos requer práticas que não comprometam a biodiversidade e os ecossistemas, exigindo políticas públicas que conciliem desenvolvimento econômico e conservação ambiental (WILLERDING, 2020).

Para superar os desafios e aproveitar as oportunidades quanto ao uso da tecnologia para o desenvolvimento sustentável da bioeconomia, é recomendável desenvolver um marco regulatório específico que forneça segurança jurídica e estimule investimentos no setor da bioeconomia digital. Além disso, é fundamental investir em pesquisa e desenvolvimento, promovendo a colaboração entre universidades, centros de pesquisa e o setor privado para fomentar a inovação e a sustentabilidade. Fortalecer as políticas públicas que incentivem a bioeconomia, alinhando-as com as necessidades do mercado e as peculiaridades regionais do Brasil, também se mostra essencial. Por fim, promover a capacitação técnica dos profissionais envolvidos garantirá que estejam preparados para lidar com as novas tecnologias e práticas sustentáveis (SGOBBE, 2024).

Ao abordar esses aspectos, o Brasil, por ter em seu território a maior floresta tropical do planeta, pode consolidar sua posição como um dos líderes na bioeconomia digital, promovendo um desenvolvimento econômico sustentável e inclusivo.

REFERÊNCIAS

ABBI - Associação Brasileira de Bioinovação. **Um plano para a bioeconomia.** Disponível em: <<https://abbi.org.br/noticias/artigo-um-plano-para-a-bioeconomia/>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **BNDES e Embrapii estimulam inovação em bioeconomia e outros setores.** Disponível em: <<https://www.bnDES.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bnDES-e-embrapii-estimulam-inovacao-em-bioeconomia-e-outros-setores>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

BRASIL - Governo Federal. **Decreto nº 12.044, de 5 de junho de 2024 - Estratégia Nacional de Bioeconomia.** Brasília, DF. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/sbc/dpeb/estrategia-nacional-de-bioeconomia>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Projeto cria política nacional para desenvolver bioeconomia no Brasil.** Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/935240-projeto-cria-politica-nacional-para-desenvolver-bioeconomia-no-brasil>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

CASATI, Diego Gomez *et al.* *Applications of Bioinformatics and Genomics in Biotechnology.* Santa Fe, Argentina: Springer: 2021.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Bioeconomia no Brasil e no Mundo: panorama da produção científica.** Disponível em: <<https://bioeconomiafea.usp.br/wp-content/uploads/2021/06/2021-CGEE-Bioeconomia-no-Brasil-e-no-Mundo-Boletim-Tematico.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

CLERCQ, Matthieu; VATS, Anshu; BIEL, Alvaro. *Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology.* New York, USA: Oliver Wyman, 2018.

COMISSÃO EUROPEIA. *A sustainable bioeconomy for Europe.* Disponível em: <<https://op.europa.eu/pt/publication-detail/-/publication/edace3e3-e189-11e8-b690-01aa75ed71a1>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

CROPLIFE. **Avanço científico e desafios regulatórios são cruciais para a expansão dos bioinsumos no Brasil.** Disponível em: <<https://croplifebrasil.org/avanco-cientifico-e-desafios-regulatorios-sao-cruciais-para-a-expansao-dos-bioinsumos-no-brasil-aponta-fgv/>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

CRUZ, D. K. A.; NÓBREGA, A. A.; MONTENEGRO, M. M. S.; PEREIRA, V. O. M. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e as fontes de dados para o monitoramento das metas no Brasil.** Brasília, DF: Epidemiologia e Serviços de Saúde, v. 31, n. 1, 2022.

EKOS. **As tendências e os desafios da Bioeconomia no Brasil e no mundo.** Disponível em: <<https://www.ekosbrasil.org/as-tendencias-e-os-desafios-da-bioeconomia-no-brasil-e-no-mundo>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Bioeconomia na Amazônia precisa de novos modelos de negócios.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/82741279/bioeconomia-na-amazonia-precisa-de-novos-modelos-de-negocios>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Breve Panorama da Bioeconomia no Brasil.** Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1146725/1/Breve-Panorama-da-Bioeconomia-no-Brasil-Capitulo-2.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of the World's Forests 2018.* Disponível em: <<https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1147749/>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

FERRO, A. F. P.; BONACELLI, M. B. M.; ASSAD, A. L. D. **Oportunidades tecnológicas e estratégias concorrentes de gestão ambiental: o uso sustentável da biodiversidade brasileira.** Campinas, SP: Gestão & Produção, v. 13, n. 3, p. 375-386, 2006.

FINK, Johannes Karl. *The Chemistry of Bio-based Polymers.* Estíria, Áustria: Wiley-VCH, 2020.

FONSECA, E. P. R.; CALDEIRA, E.; RAMOS FILHO, H. S.; OLIVEIRA, L. B.; PEREIRA, A. C. M.; VILELA, P. S. *Agro 4.0: A Green Information System for Sustainable Agroecosystem Management.* New York, EUA: Arxiv Cornell University, 2019.

GUERRA, Avaetê de Lunetta Rodrigues *et al.* **Pesquisa qualitativa e seus fundamentos na investigação científica.** Esperança, PB: Revista De Gestão E Secretariado, v. 15, n. 7, 2024.

MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Bioeconomia pode impulsionar reindustrialização brasileira em bases verdes.** Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2023/02/bioeconomia-pode-impulsionar-reindustrializacao-brasileira-em-bases-verdes>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Bioeconomia.** Disponível em: <https://repositorio.mctic.gov.br/bitstream/mctic/4355/1/2018_plano_acao_ciencia_tecnologia_inovacao_bioeconomia.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).** Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

PAMPLONA, Leonardo; SALARINI, Julio; KADRI, Nabil. **Potencial da bioeconomia para o desenvolvimento sustentável da Amazônia e possibilidades para a atuação do BNDES.** Rio de Janeiro, RJ: Revista do BNDES, n. 56, p. 55-92, 2021.

ROCO, M. C. *et al.* *Nanotechnology: A Strategic Perspective.* Bucareste, Romênia: Springer Nature, 2019.

SGOBBE, Vinicius. **Bioeconomia: uma abordagem biotecnológica para o desenvolvimento sustentável.** Araraquara, SP: Repositório Institucional UNESP, 2024.

SILVA, D. C.; JÚNIOR, F. R. F. M.; SILVA, T. M. R.; NUNES, J. B. C. **Características de pesquisas qualitativas: estudo em teses de um programa de pós-graduação em educação.** Fortaleza, CE: Educação em Revista, v. 38, 2022.

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL COM A BIOECONOMIA DIGITAL

SILVA, G. C. N.; MELRO, A. F. **Análise bibliométrica da produção científica sobre bioeconomia no Brasil: uma visão panorâmica.** Goiânia, GO: Repositório Dspace, 2023.

SILVA, R. F. B.; MOURA, E. G.; ALMEIDA, D. L.; SOUZA, H. N. **Sistemas Agroflorestais como Estratégia de Adaptação aos Desafios das Mudanças Climáticas no Brasil.** Ponta Grossa, PR: Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 55, n. 1, p. 91-108, 2017.

SOUZA, Rogério. **A importância de fundamentos robustos em metodologia científica.** São Paulo, SP: Jornal Brasileiro de Pneumologia, v. 44, n. 5, 2018.

STARTUPS. **Startups e universidades: Como criar conexões para fomentar a inovação.** Disponível em: <<https://startups.com.br/negocios/startups-e-universidades-como-criar-conexoes-para-fomentar-a-inovacao/>>. Acesso em: 22 nov. 2024.

TIOSSI, Fabiano Martin; SIMON, Alexandre Tadeu. **Economia Circular: suas contribuições para o desenvolvimento da Sustentabilidade.** São José dos Pinhais, PR: *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, 2021.

WILLERDING, A. L.; SILVA, L. R.; SILVA, R. P.; ASSIS, G. M. O.; PAULA, E. V. C. M. **Estratégias para o desenvolvimento da bioeconomia no estado do Amazonas.** Manaus, AM: Ambiente e Desenvolvimento, 2020.

YIN, Robert Kuo-zuir. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Porto Alegre, RS: Bookman, v.4, 2010.