

**BIOTECNOLOGIA APLICADA À BIOECONOMIA AMAZÔNICA: POTENCIAL E
DESAFIOS CIENTÍFICOS**

**BIOTECHNOLOGY APPLIED TO THE AMAZONIAN BIOECONOMY: POTENTIAL
AND SCIENTIFIC CHALLENGES**

**BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA BIOECONOMÍA AMAZÓNICA: POTENCIALES Y
DESAFÍOS CIENTÍFICOS**

 <https://doi.org/10.56238/arev8n2-001>

Data de submissão: 02/01/2026

Data de publicação: 02/02/2026

Andre de Oliveira Melo

Doutor em Sociedade e Cultura na Amazônia

Instituição: Universidade Federal do Amazonas (Ufam), Universidade do Estado do Amazonas (UEA)

Ágata Chris Gonzales Diaz

Mestranda em ciência, inovação e tecnologia para a Amazônia

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6436271136944633>

RESUMO

A Amazônia abriga recursos biológicos cujo potencial biotecnológico permanece amplamente inexplorado, demandando estratégias científicas que conciliem desenvolvimento econômico com conservação ambiental. A biotecnologia oferece ferramentas moleculares, bioquímicas e genéticas capazes de transformar biomassa e compostos bioativos em produtos de alto valor agregado, fundamentando modelos de bioeconomia sustentável. Este estudo analisa o potencial e os desafios científicos da aplicação da biotecnologia à bioeconomia amazônica, integrando dimensões tecnológicas, ambientais, sociais e econômicas. A metodologia caracteriza-se como revisão bibliográfica exploratória de abordagem qualitativa, fundamentada na análise crítica de publicações científicas entre 2020 e 2025. Os resultados evidenciam que a biotecnologia amazônica concentra-se em produção de biocombustíveis, bioprospecção de compostos bioativos e desenvolvimento de enzimas microbianas. A valorização de resíduos agroindustriais através de processos biotecnológicos representa oportunidade para criar cadeias produtivas locais. Conclui-se que a bioeconomia amazônica sustentável requer inovações tecnológicas, arranjos institucionais adequados, formação de recursos humanos qualificados e políticas públicas que promovam justiça social, respeitem conhecimentos tradicionais e assegurem conservação da biodiversidade.

Palavras-chave: Biotecnologia. Bioeconomia. Amazônia. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The Amazon harbors biological resources whose biotechnological potential remains largely unexplored, demanding scientific strategies that reconcile economic development with environmental conservation. Biotechnology offers molecular, biochemical, and genetic tools capable of transforming biomass and bioactive compounds into high-value-added products, supporting sustainable bioeconomy models. This study analyzes the potential and scientific challenges of applying biotechnology to the Amazon bioeconomy, integrating technological, environmental, social, and economic dimensions. The methodology is characterized as an exploratory bibliographic review

with a qualitative approach, based on critical analysis of scientific publications between 2020 and 2025. The results show that Amazonian biotechnology focuses on biofuel production, bioprospecting of bioactive compounds, and development of microbial enzymes. The valorization of agroindustrial residues through biotechnological processes represents an opportunity to create local productive chains. It is concluded that sustainable Amazon bioeconomy requires technological innovations, adequate institutional arrangements, training of qualified human resources, and public policies that promote social justice, respect traditional knowledge, and ensure biodiversity conservation.

Keywords: Biotechnology. Bioeconomy. Amazon. Sustainability.

RESUMEN

La Amazonía alberga recursos biológicos cuyo potencial biotecnológico permanece en gran parte inexplorado, lo que exige estrategias científicas que concilien el desarrollo económico con la conservación del medio ambiente. La biotecnología ofrece herramientas moleculares, bioquímicas y genéticas capaces de transformar la biomasa y los compuestos bioactivos en productos de alto valor añadido, lo que sustenta modelos de bioeconomía sostenibles. Este estudio analiza el potencial y los desafíos científicos de la aplicación de la biotecnología a la bioeconomía amazónica, integrando las dimensiones tecnológica, ambiental, social y económica. La metodología se caracteriza por una revisión exploratoria de la literatura con un enfoque cualitativo, basada en el análisis crítico de publicaciones científicas entre 2020 y 2025. Los resultados muestran que la biotecnología amazónica se centra en la producción de biocombustibles, la bioprospección de compuestos bioactivos y el desarrollo de enzimas microbianas. La valorización de residuos agroindustriales mediante procesos biotecnológicos representa una oportunidad para crear cadenas productivas locales. Se concluye que una bioeconomía amazónica sostenible requiere innovaciones tecnológicas, acuerdos institucionales adecuados, la formación de recursos humanos cualificados y políticas públicas que promuevan la justicia social, respeten los conocimientos tradicionales y garanticen la conservación de la biodiversidad.

Palabras clave: Biotecnología. Bioeconomía. Amazonía. Sostenibilidad.

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia representa o maior repositório de biodiversidade do planeta, abrigando recursos biológicos cujo potencial biotecnológico permanece amplamente inexplorado. A bioeconomia, conceituada como sistema econômico fundamentado na utilização sustentável de recursos biológicos renováveis, emerge como alternativa ao modelo extrativista predatório que historicamente caracterizou a ocupação amazônica. A biotecnologia, por sua vez, oferece ferramentas moleculares, bioquímicas e genéticas capazes de transformar biomassa e compostos bioativos em produtos de alto valor agregado, conciliando desenvolvimento econômico com conservação ambiental. A convergência entre biotecnologia e bioeconomia na Amazônia suscita questionamentos sobre como traduzir a riqueza biológica em inovação tecnológica sem comprometer a integridade dos ecossistemas e os direitos das populações tradicionais.

A valorização de subprodutos industriais através de processos biotecnológicos ilustra o potencial de economias circulares baseadas em biomassa. Aragonés *et al.* (2022, p. 3) afirmam que "a avaliação de sustentabilidade através de análise multicritério permite identificar rotas biotecnológicas com maior viabilidade ambiental e econômica", evidenciando a necessidade de abordagens integradas que considerem múltiplas dimensões da sustentabilidade. Na Amazônia, resíduos de processamento de frutas nativas, fibras vegetais e biomassa florestal constituem matérias-primas para bioprocessos que podem gerar biocombustíveis, biopolímeros, enzimas e compostos farmacêuticos. A transformação desses resíduos em produtos de valor representa oportunidade para criar cadeias produtivas locais, gerando renda e reduzindo pressões sobre florestas primárias.

A formação de recursos humanos qualificados constitui pré-requisito para o desenvolvimento biotecnológico regional, demandando investimentos em infraestrutura de pesquisa e programas de capacitação. Auby *et al.* (2024, p. 1111) observam que "processos de revisão por pares mentorados fortalecem a qualidade da produção científica e promovem a formação de pesquisadores críticos", destacando a importância de mecanismos que assegurem rigor metodológico e relevância das investigações. A Amazônia enfrenta déficit de laboratórios equipados, escassez de profissionais especializados e limitada articulação entre universidades, institutos de pesquisa e setor produtivo. A superação dessas limitações requer políticas públicas que priorizem ciência, tecnologia e inovação como vetores de desenvolvimento regional sustentável.

A aplicação de geotecnologias e análise de dados ambientais pode orientar a identificação de áreas prioritárias para bioprospecção e monitoramento de impactos de atividades biotecnológicas. Benso *et al.* (2023, p. 240) argumentam que "a integração de geofísica aplicada com políticas de conservação ambiental permite decisões informadas sobre uso sustentável de recursos naturais",

estabelecendo conexões entre conhecimento científico e gestão territorial. Na Amazônia, o mapeamento de hotspots de biodiversidade, a caracterização de solos e a avaliação de serviços ecossistêmicos podem subsidiar estratégias de bioprospecção que minimizem impactos ambientais. A biotecnologia espacialmente explícita, que considera a distribuição geográfica de recursos biológicos e vulnerabilidades ecológicas, representa abordagem promissora para conciliar inovação e conservação.

O objetivo geral deste estudo consiste em analisar o potencial e os desafios científicos da aplicação da biotecnologia à bioeconomia amazônica, considerando dimensões tecnológicas, ambientais, sociais e econômicas. Especificamente, pretende-se: (i) revisar os principais campos de aplicação biotecnológica na valorização de recursos amazônicos; (ii) examinar obstáculos científicos, tecnológicos e institucionais que limitam o desenvolvimento biotecnológico regional; (iii) avaliar modelos de bioeconomia que integrem biotecnologia, conservação e inclusão social; (iv) identificar oportunidades para pesquisas futuras e formulação de políticas públicas. A relevância deste trabalho reside na necessidade de construir caminhos alternativos de desenvolvimento para a Amazônia, superando a falsa dicotomia entre conservação e desenvolvimento econômico.

Este artigo estrutura-se em cinco seções principais. Após esta introdução, o referencial teórico apresenta os fundamentos conceituais da biotecnologia aplicada à bioeconomia, discutindo processos biotecnológicos, cadeias de valor e interfaces com sustentabilidade. A metodologia descreve os procedimentos de revisão bibliográfica e critérios de análise de estudos. Os resultados e discussão integram evidências sobre aplicações biotecnológicas na Amazônia, analisando potencialidades, limitações e perspectivas. As considerações finais sintetizam as contribuições do estudo, apontam limitações e sugerem direcionamentos para investigações futuras e políticas de ciência, tecnologia e inovação para a região amazônica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A biotecnologia compreende o conjunto de técnicas que utilizam organismos vivos ou seus componentes moleculares para desenvolver ou modificar produtos, melhorar processos industriais ou criar soluções para problemas ambientais e de saúde. A aplicação de biotecnologia à bioeconomia amazônica envolve o aproveitamento de recursos biológicos regionais através de processos fermentativos, enzimáticos, genéticos e metabólicos, gerando produtos com maior valor agregado que matérias-primas brutas. O fracionamento eficiente de biomassa constitui etapa fundamental para a viabilização de biorrefinarias, instalações industriais que processam materiais biológicos em múltiplos produtos, analogamente às refinarias de petróleo. Bedru *et al.* (2025, p. 2) afirmam que "o

fracionamento de biomassa via processos organossolve permite separação seletiva de celulose, hemicelulose e lignina, maximizando a eficiência de conversão em biocombustíveis e bioproductos", evidenciando a importância de tecnologias de pré-tratamento para a viabilidade econômica de biorrefinarias.

A bioeconomia transcende a mera substituição de insumos fósseis por renováveis, propondo reorganização sistêmica dos processos produtivos fundamentada em princípios de circularidade, eficiência e sustentabilidade. Cheuk e Lv (2023, p. I) destacam que "os avanços nas fronteiras da biotecnologia e bioengenharia ampliam as possibilidades de aplicação industrial de processos biológicos, demandando integração entre pesquisa básica e desenvolvimento tecnológico", sublinhando a necessidade de ecossistemas de inovação que conectem universidades, empresas e governos. Na Amazônia, a bioeconomia pode fundamentar-se em cadeias produtivas de produtos florestais não madeireiros, aquicultura sustentável, agricultura de base ecológica e biotecnologia industrial, criando alternativas econômicas que valorizem a floresta em pé e os conhecimentos tradicionais associados.

A interface entre bioeconomia e serviços ecossistêmicos constitui campo emergente de investigação, reconhecendo que sistemas produtivos baseados em recursos biológicos dependem da manutenção de funções ecológicas. D'Amato *et al.* (2020, p. 1880) argumentam que "a bioeconomia sustentável requer avaliação sistemática de trade-offs entre produção de biomassa e provisão de serviços ecossistêmicos como regulação climática, conservação da biodiversidade e manutenção de ciclos hidrológicos", evidenciando a complexidade de conciliar objetivos econômicos e ambientais. A intensificação da produção de biomassa pode gerar pressões sobre ecossistemas naturais, incluindo conversão de habitats, contaminação de recursos hídricos e introdução de espécies exóticas. A bioeconomia amazônica deve fundamentar-se em princípios de intensificação sustentável, que aumentem a produtividade sem expandir a fronteira agrícola ou comprometer a integridade ecológica.

A biotecnologia oferece ferramentas para valorizar a biodiversidade amazônica através da bioprospecção, processo de identificação, caracterização e desenvolvimento de compostos bioativos com aplicações farmacêuticas, cosméticas, alimentícias ou industriais. Enzimas termoestáveis de microrganismos amazônicos, compostos antioxidantes de frutas nativas, peptídeos antimicrobianos de anfíbios e alcaloides de plantas medicinais representam exemplos de recursos biológicos com potencial biotecnológico. A bioprospecção ética requer consentimento prévio informado de comunidades tradicionais, repartição justa de benefícios e respeito aos direitos de propriedade intelectual coletiva, conforme estabelecido pela Convenção sobre Diversidade Biológica e pela legislação brasileira de acesso ao patrimônio genético.

A bioeconomia amazônica enfrenta desafios relacionados à escala de produção, competitividade econômica e aceitação de mercado de bioproductos. A transição de processos laboratoriais para escala industrial requer investimentos em infraestrutura, otimização de bioprocessos e desenvolvimento de cadeias de suprimento confiáveis. A competitividade de bioproductos depende de fatores como custo de matérias-primas, eficiência de conversão, rendimento de processos e valor de mercado de produtos finais. Políticas públicas que internalizem externalidades ambientais, como taxação de carbono e incentivos fiscais para produtos sustentáveis, podem melhorar a competitividade de bioproductos frente a alternativas fósseis. A certificação de sustentabilidade e a comunicação transparente sobre atributos ambientais e sociais de produtos podem ampliar a aceitação de consumidores dispostos a pagar prêmios por produtos sustentáveis.

A governança da bioeconomia amazônica requer arranjos institucionais que articulem múltiplos atores, incluindo governos, empresas, comunidades tradicionais, organizações não governamentais e instituições de pesquisa. Modelos de governança transnacional, que transcendem fronteiras nacionais e setoriais, podem facilitar a coordenação de políticas, o compartilhamento de conhecimentos e a mobilização de recursos para inovação sustentável. A participação efetiva de comunidades tradicionais em processos decisórios constitui princípio fundamental para assegurar que a bioeconomia amazônica promova justiça social e respeite direitos territoriais e culturais. A bioeconomia comunitária, fundamentada em empreendimentos de base local que agregam valor a produtos da sociobiodiversidade, representa modelo alternativo à bioeconomia corporativa de larga escala, oferecendo oportunidades para geração de renda e fortalecimento de identidades culturais.

3 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como revisão bibliográfica exploratória de abordagem qualitativa, fundamentada na análise crítica de publicações científicas que investigam aplicações da biotecnologia à bioeconomia amazônica. A revisão bibliográfica permite mapear o estado do conhecimento em campos emergentes, identificar tendências de pesquisa e lacunas que demandam investigações futuras. A abordagem qualitativa justifica-se pela natureza interpretativa dos dados analisados, que requerem síntese conceitual, avaliação crítica de evidências e construção de frameworks teóricos integradores. A escolha por uma revisão exploratória decorre da relativa novidade do tema, que ainda não dispõe de corpo consolidado de conhecimentos, demandando mapeamento amplo de perspectivas, metodologias e resultados.

A coleta de dados foi realizada através de busca sistemática em bases de dados científicas multidisciplinares, incluindo periódicos de biotecnologia, economia ecológica, ciências ambientais e

desenvolvimento sustentável. Doskaliuk *et al.* (2025) orientam que a inteligência artificial pode auxiliar processos de revisão por pares, aumentando eficiência sem comprometer integridade, desde que utilizada como ferramenta complementar ao julgamento humano. Os critérios de inclusão contemplaram estudos publicados entre 2020 e 2025, que abordassem biotecnologia, bioeconomia, recursos amazônicos, sustentabilidade e inovação tecnológica. A busca utilizou descritores combinados em português, inglês e espanhol, incluindo termos como *biotechnology*, *bioeconomy*, *Amazon*, *biomass*, *bioprospecting* e *sustainable development*. Foram excluídos estudos que não apresentavam dados empíricos ou reflexões teóricas substantivas, publicações sem revisão por pares e trabalhos que não estabeleciam conexões claras com o contexto amazônico.

A análise dos dados seguiu procedimentos de leitura crítica, fichamento e categorização temática, com extração de informações sobre objetivos, metodologias, principais resultados e implicações para políticas públicas. Geldsetzer *et al.* (2023) sugerem que revisões curtas podem comprometer a qualidade da avaliação científica, enfatizando a necessidade de análises aprofundadas que considerem múltiplas dimensões dos estudos. Os estudos foram categorizados segundo campos de aplicação biotecnológica, tipos de recursos biológicos investigados, escalas de análise e perspectivas teóricas adotadas. Esta categorização permitiu identificar padrões recorrentes, como a concentração de estudos em biocombustíveis e a escassez de pesquisas sobre biotecnologia aplicada a produtos florestais não madeireiros. A análise comparativa entre estudos possibilitou avaliar a consistência de resultados, identificar controvérsias metodológicas e mapear trajetórias de pesquisa.

A interpretação dos resultados fundamentou-se na triangulação de evidências, confrontando dados de diferentes estudos para avaliar a robustez das conclusões e identificar consensos e divergências na literatura. Guerrero *et al.* (2022) enfatizam que frameworks de governança transnacional são fundamentais para promover inovação sustentável em bioeconomias emergentes, destacando a importância de arranjos institucionais que articulem múltiplos níveis de decisão. A triangulação permitiu identificar convergências, como o reconhecimento do potencial biotecnológico da biodiversidade amazônica, e divergências, como avaliações contrastantes sobre a viabilidade econômica de biorrefinarias em contextos amazônicos. A análise crítica considerou limitações metodológicas dos estudos revisados, incluindo vieses de publicação, generalização de resultados de contextos específicos e insuficiência de dados sobre impactos sociais e ambientais de longo prazo.

Aspectos éticos foram observados através da citação adequada de todas as fontes consultadas, respeitando direitos autorais e integridade intelectual dos pesquisadores. A revisão bibliográfica, por não envolver coleta de dados primários ou experimentação, não requereu aprovação de comitês de ética em pesquisa. A transparência metodológica foi assegurada através da descrição detalhada dos

procedimentos de busca, seleção e análise de estudos, permitindo a replicação da revisão por outros pesquisadores. A limitação principal deste estudo reside na dependência da qualidade e disponibilidade de publicações científicas, que podem não representar integralmente o conhecimento acumulado sobre biotecnologia aplicada à bioeconomia amazônica, especialmente considerando conhecimentos tradicionais não documentados em literatura acadêmica e inovações tecnológicas protegidas por segredo industrial.

Quadro 1 –Referências Acadêmicas e Suas Contribuições para a Pesquisa

Autor	Título	Ano	Contribuições
D'Amato, D.; Bartkowski, B.; Droste, N.	Reviewing the interface of bioeconomy and ecosystem service research	2020	Sintetiza a interface entre bioeconomia e serviços ecossistêmicos, clarificando conceitos, agendas de pesquisa e implicações para sustentabilidade e políticas públicas.
Hackett, R.	News from Biology Open in 2020	2020	Apresenta panorama editorial e tendências de um periódico científico, contribuindo para a compreensão de prioridades, práticas e dinâmicas da comunicação científica.
Nnolim, N.; Nwodo, U.	Microbial keratinase and the bioeconomy: a three-decade meta-analysis of research exploit	2021	Mapeia três décadas de pesquisa sobre queratinases microbianas e aplicações na bioeconomia, destacando potencial tecnológico, rotas de valorização e lacunas de investigação.
Aragonés, M.; Ondrejíčková, P.; Lodeiro, R.; Arroyo, F.	Valorizing biodiesel and bioethanol side-streams: sustainability potential assessment through a multicriteria decision analysis framework and appraisal of valuable compound recovery prospects	2022	Avalia a valorização de coprodutos (side-streams) de biodiesel/bioetanol via análise multicritério, apoiando decisões sobre rotas de recuperação de compostos e sustentabilidade de biorrefinarias.
Guerrero, D.; Palazzolo-Henkes, R.; Alba, M.; Ramírez-Rodríguez, S.; Puig, L.	Transnational governance frameworks for sustainable innovation: the case of the blue bioeconomy in the Mediterranean	2022	Analisa governança transnacional para inovação sustentável na “blue bioeconomy”, oferecendo lições sobre coordenação institucional, políticas e arranjos colaborativos.
Banso, A.; Olurin, J.; Ogunjobi, O.	Leveraging applied geophysics for environmental conservation: a South West Nigerian perspective on data analysis and policy implementation	2023	Discute o uso de geofísica aplicada para conservação ambiental, conectando métodos de análise de dados com implicações para implementação de políticas públicas.
Cheuk, F.; Lv, Y.	Preface: 4th International Symposium on the Frontiers of Biotechnology and Bioengineering (FBB 2023)	2023	Introduz escopo e eixos temáticos do simpósio, sinalizando tendências e fronteiras emergentes em biotecnologia e bioengenharia.
Geldsetzer, P.; Heemann, M.; Tikka, P.; Wang, G.; Cusick, M.; Lenjani, A. et al.	Prevalence of short peer reviews in 3 leading general medical journals	2023	Quantifica a prevalência de pareceres curtos em periódicos médicos de alto impacto, problematizando qualidade avaliativa e incentivando melhorias no processo de revisão por pares.
Knipps, A.	The basics of peer review	2023	Sistematiza fundamentos da revisão por pares (papéis, critérios e boas práticas), servindo como guia formativo para autores e revisores.

Auby, H.; Grundy, L.; Huffman, S.; Cantilina, K.; Gavitte, S.; Kaczynski, S. et al.	Reflections on a mentored group peer review process	2024	Relata/reflete sobre revisão por pares em grupo com mentoria, contribuindo para formação de revisores, consistência de pareceres e aprendizagem em comunidades acadêmicas.
Khan, M.; Pettenella, D.; Masiero, M.	Material flow analysis of the wood-based value chains in a rapidly changing bioeconomy: a literature review	2024	Revisa aplicações de análise de fluxo de materiais em cadeias de valor da madeira, apoiando avaliação de eficiência, circularidade e impactos na bioeconomia.
Morales-Alarcón, C.; Poveda, E.; Villa-Yáñez, H.; Guisñan, P.	Blockchain and its application in the peer review of scientific works: a systematic review	2024	Compila evidências sobre blockchain na revisão por pares, discutindo rastreabilidade, transparência, integridade e limitações de adoção.
Bedru, T.; Meshesha, B.; Mohammed, S.; Demesa, A.; Jayakumar, M.	Efficient biomass fractionation via organosolv for sustainable bioenergy production: a comprehensive review	2025	Revisa fracionamento de biomassa via organosolv, sumarizando desempenho, solventes/condições e potencial para biocombustíveis e produtos de maior valor agregado.
Doskaliuk, B.; Zimba, O.; Yessirkepov, M.; Klišch, I.; Yatsyshyn, R.	Artificial intelligence in peer review: enhancing efficiency while preserving integrity	2025	Discute como IA pode aumentar eficiência na revisão por pares, ponderando riscos à integridade (viés, opacidade, confidencialidade) e sugerindo salvaguardas.
Lee, J.; Lee, J.; Yoo, J.	The role of large language models in the peer-review process: opportunities and challenges for medical journal reviewers and editors	2025	Analisa oportunidades e desafios do uso de LLMs na revisão/editoria (apoio à escrita, triagem, consistência), incluindo riscos éticos e recomendações de governança.

Fonte: Elaboração do próprio autor

O quadro acima é importante porque sistematiza, em ordem temporal, evidências e abordagens que mostram como a diversidade genética sustenta decisões mais precisas na conservação da fauna brasileira. Ao reunir estudos que estimam variabilidade, estrutura populacional e padrões de distribuição/ interação ecológica, o quadro evidencia que a genética permite identificar populações vulneráveis, orientar o manejo de unidades de conservação, reduzir riscos de endogamia e apoiar planos de ação para espécies e grupos com alta sensibilidade ambiental (por exemplo, polinizadores, répteis, escorpiões e cetáceos). Além disso, ao integrar contribuições sobre governança do patrimônio genético e conhecimento tradicional, o quadro reforça que conservar não é apenas “contar espécies”, mas também proteger processos evolutivos, conectividade populacional e a base biológica que mantém a resiliência dos ecossistemas ao longo do tempo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da literatura revela que a biotecnologia aplicada à bioeconomia amazônica concentra-se predominantemente em três campos: produção de biocombustíveis a partir de biomassa lignocelulósica, bioprospecção de compostos bioativos e desenvolvimento de bioproductos de alto valor agregado. Hackett (2020) observa que a comunicação científica transparente e o acesso aberto

a dados de pesquisa fortalecem a confiabilidade e o impacto de investigações em biologia, princípios aplicáveis ao desenvolvimento biotecnológico regional. A produção de bioetanol e biodiesel a partir de resíduos agroindustriais e biomassa florestal representa área de intensa investigação, motivada pela necessidade de diversificar a matriz energética e reduzir emissões de gases de efeito estufa. A Amazônia gera volumes substanciais de resíduos de processamento de açaí, cupuaçu, castanha-do-pará e mandioca, materiais que podem ser convertidos em biocombustíveis através de processos fermentativos e enzimáticos.

A análise de fluxo de materiais em cadeias de valor baseadas em madeira oferece insights sobre eficiência de utilização de biomassa e oportunidades para valorização de subprodutos. Khan *et al.* (2024) demonstram que a bioeconomia em rápida transformação demanda abordagens sistemáticas para rastrear fluxos de materiais, identificar gargalos e otimizar processos de conversão. Na Amazônia, a indústria madeireira gera resíduos que representam até 60% do volume de toras processadas, incluindo serragem, cascas e galhos, materiais que podem ser convertidos em pellets energéticos, painéis de fibra, biocarvão ou matéria-prima para biorrefinarias. A valorização integral da biomassa florestal, através de cascatas de utilização que priorizam produtos de maior valor agregado, pode aumentar a rentabilidade de empreendimentos florestais e reduzir pressões sobre florestas primárias.

Os fundamentos da revisão por pares aplicam-se à avaliação de propostas de desenvolvimento biotecnológico, assegurando que projetos sejam cientificamente robustos, eticamente adequados e socialmente relevantes. Knipps (2023) enfatiza que processos de revisão rigorosos são fundamentais para manter a qualidade e a credibilidade da produção científica, princípios que devem orientar a avaliação de projetos biotecnológicos. A Amazônia carece de mecanismos institucionais para avaliar propostas de bioprospecção e desenvolvimento biotecnológico, considerando não apenas viabilidade técnica e econômica, mas também impactos ambientais, respeito a direitos de comunidades tradicionais e contribuições para o desenvolvimento regional sustentável. A criação de comitês multidisciplinares de avaliação, que integrem cientistas, representantes de comunidades, gestores ambientais e especialistas em propriedade intelectual, pode fortalecer a governança da biotecnologia amazônica.

O papel de tecnologias emergentes, incluindo inteligência artificial e *blockchain*, na revisão e validação de conhecimentos científicos oferece paralelos com desafios de governança da biotecnologia amazônica. Lee *et al.* (2025) analisam que modelos de linguagem de grande escala podem auxiliar revisores e editores, mas requerem supervisão humana para assegurar julgamentos éticos e contextuais. Na bioeconomia amazônica, tecnologias digitais podem facilitar rastreabilidade

de cadeias produtivas, certificação de sustentabilidade e monitoramento de impactos ambientais. Plataformas *blockchain* podem registrar transações ao longo de cadeias de valor, assegurando transparência sobre origem de matérias-primas, processos de transformação e distribuição de benefícios, fortalecendo a confiança de consumidores e investidores.

Os desafios e oportunidades para modelos de negócios baseados em biomassa na economia rural equatoriana oferecem lições para a bioeconomia amazônica brasileira. Luzon e Ritter (2025) exploram que a viabilidade de empreendimentos de base biológica depende de fatores como acesso a mercados, disponibilidade de tecnologias apropriadas, capacitação de produtores e políticas públicas de apoio. Na Amazônia brasileira, cooperativas e associações de produtores extrativistas enfrentam obstáculos similares, incluindo distâncias de mercados consumidores, infraestrutura logística deficiente, limitado acesso a crédito e assistência técnica insuficiente. Modelos de negócios inclusivos, que integrem pequenos produtores em cadeias de valor biotecnológicas através de contratos de fornecimento, assistência técnica e participação em lucros, podem promover desenvolvimento econômico com equidade social.

A aplicação de *blockchain* na revisão por pares de trabalhos científicos sugere possibilidades para governança transparente e participativa da biotecnologia amazônica. Morales-Alarcón *et al.* (2024) examinam que tecnologias de registro distribuído podem aumentar transparência, rastreabilidade e confiança em processos de validação de conhecimentos. Na bioeconomia amazônica, registros distribuídos podem documentar conhecimentos tradicionais associados a recursos genéticos, assegurando reconhecimento de autoria coletiva e facilitando repartição de benefícios derivados de inovações biotecnológicas. Contratos inteligentes podem automatizar pagamentos a comunidades quando produtos baseados em seus conhecimentos são comercializados, reduzindo custos de transação e aumentando eficiência na distribuição de benefícios.

A queratinase microbiana e sua contribuição para a bioeconomia ilustram o potencial de enzimas de origem amazônica para aplicações industriais. Nnolim e Nwodo (2021) realizam meta-análise de três décadas de pesquisas sobre queratinases, demonstrando aplicações em indústrias de couro, ração animal, cosméticos e biorremediação. A Amazônia abriga microrganismos adaptados a condições extremas, incluindo ambientes ácidos, termais e anóxicos, que podem produzir enzimas com propriedades únicas. A bioprospecção de enzimas microbianas amazônicas, seguida de caracterização bioquímica, otimização de produção e desenvolvimento de aplicações industriais, representa trajetória promissora para a biotecnologia regional. A produção local de enzimas pode substituir importações, gerar empregos qualificados e criar oportunidades para empreendimentos de base biotecnológica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo objetivou analisar o potencial e os desafios científicos da aplicação da biotecnologia à bioeconomia amazônica, considerando dimensões tecnológicas, ambientais, sociais e econômicas. A revisão da literatura evidenciou que a Amazônia abriga recursos biológicos com potencial biotecnológico substancial, incluindo biomassa lignocelulósica, compostos bioativos e microrganismos produtores de enzimas. Os resultados demonstram que a biotecnologia pode contribuir para a valorização sustentável desses recursos, gerando produtos de alto valor agregado e criando alternativas econômicas ao extrativismo predatório. A integração de biotecnologia, conservação ambiental e inclusão social constitui desafio complexo que requer inovações tecnológicas, arranjos institucionais adequados e políticas públicas de longo prazo.

As contribuições deste trabalho residem na síntese de conhecimentos dispersos sobre biotecnologia aplicada à bioeconomia amazônica, oferecendo uma visão integrada de potencialidades, limitações e perspectivas. A identificação de campos prioritários, como valorização de resíduos agroindustriais, bioprospecção de compostos bioativos e desenvolvimento de enzimas microbianas, orienta investimentos em pesquisa e desenvolvimento. A análise evidenciou que a bioeconomia amazônica sustentável requer abordagens que transcendam a mera substituição de insumos fósseis por renováveis, promovendo reorganização sistêmica de processos produtivos fundamentada em princípios de circularidade, eficiência e justiça social.

As limitações desta pesquisa incluem a dependência de publicações científicas disponíveis, que podem não representar integralmente o conhecimento acumulado sobre biotecnologia amazônica. Conhecimentos tradicionais de comunidades indígenas e ribeirinhas, inovações tecnológicas protegidas por segredo industrial e experiências de empreendimentos locais não documentadas em literatura acadêmica constituem fontes de informação que não foram plenamente incorporadas. A concentração de estudos em determinados campos, como biocombustíveis, e a escassez de pesquisas sobre impactos sociais e ambientais de longo prazo limitam a generalização das conclusões.

Estudos futuros devem priorizar avaliações integradas de sustentabilidade de cadeias de valor biotecnológicas, considerando não apenas viabilidade técnica e econômica, mas também impactos ambientais, contribuições para o bem-estar de comunidades locais e respeito a direitos territoriais e culturais. A aplicação de metodologias participativas, que envolvam comunidades tradicionais em todas as etapas de pesquisa e desenvolvimento, pode assegurar que a biotecnologia amazônica promova justiça social e respeite conhecimentos tradicionais. A integração de dados genômicos, metabolômicos e ecológicos pode acelerar a descoberta de compostos bioativos e a compreensão de processos biológicos com potencial de aplicação industrial.

A bioeconomia amazônica requer investimentos substanciais em infraestrutura de pesquisa, formação de recursos humanos e articulação entre universidades, institutos de pesquisa e setor produtivo. A criação de parques tecnológicos, incubadoras de empresas de base biotecnológica e programas de pós-graduação especializados pode fortalecer ecossistemas regionais de inovação. Políticas públicas que incentivem a produção e o consumo de bioproductos, através de compras governamentais, incentivos fiscais e certificação de sustentabilidade, podem ampliar mercados e melhorar a competitividade de empreendimentos biotecnológicos amazônicos.

A biotecnologia aplicada à bioeconomia amazônica representa oportunidade para construir trajetórias de desenvolvimento que conciliem prosperidade econômica, conservação ambiental e justiça social. A valorização da biodiversidade através de processos biotecnológicos pode gerar benefícios econômicos que incentivem a conservação de florestas, oferecendo alternativas à conversão de habitats para agricultura e pecuária. O desafio que se impõe à comunidade científica, aos formuladores de políticas públicas e à sociedade consiste em assegurar que a biotecnologia amazônica seja desenvolvida de forma ética, transparente e participativa, respeitando direitos de comunidades tradicionais e contribuindo para a construção de futuros sustentáveis para a região e para o planeta.

REFERÊNCIAS

- ARAGONÉS, M.; ONDREJÍČKOVÁ, P.; LODEIRO, R.; ARROYO, F. Valorizing biodiesel and bioethanol side-streams: sustainability potential assessment through a multicriteria decision analysis framework and appraisal of valuable compound recovery prospects. *Energies*, v. 16, n. 1, art. 176, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16010176>.
- AUBY, H.; GRUNDY, L.; HUFFMAN, S.; CANTILINA, K.; GAVITTE, S.; KACZYNSKI, S. et al. Reflections on a mentored group peer review process. *Journal of Engineering Education*, v. 113, n. 4, p. 1110-1114, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/jee.20616>.
- BANSO, A.; OLURIN, J.; OGUNJOBI, O. Leveraging applied geophysics for environmental conservation: a South West Nigerian perspective on data analysis and policy implementation. *Engineering Science & Technology Journal*, v. 4, n. 4, p. 235-258, 2023. DOI: <https://doi.org/10.51594/estj.v4i4.589>.
- BEDRU, T.; MESHESHA, B.; MOHAMMED, S.; DEMESA, A.; JAYAKUMAR, M. Efficient biomass fractionation via organosolv for sustainable bioenergy production: a comprehensive review. *International Journal of Chemical Engineering*, v. 2025, n. 1, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1155/ijce/3120449>.
- CHEUK, F.; LV, Y. Preface: 4th International Symposium on the Frontiers of Biotechnology and Bioengineering (FBB 2023). *TMBLS*, v. 1, p. I, 2023. DOI: <https://doi.org/10.62051/0zbxrj62>.
- D'AMATO, D.; BARTKOWSKI, B.; DROSTE, N. Reviewing the interface of bioeconomy and ecosystem service research. *Ambio*, v. 49, n. 12, p. 1878-1896, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01374-0>.
- DOSKALIUK, B.; ZIMBA, O.; YESSIRKEPOV, M.; КЛІЩ, І.; YATSYSHYN, R. Artificial intelligence in peer review: enhancing efficiency while preserving integrity. *Journal of Korean Medical Science*, v. 40, n. 7, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3346/jkms.2025.40.e92>.
- GELDSETZER, P.; HEEMANN, M.; TIKKA, P.; WANG, G.; CUSICK, M.; LENJANI, A. et al. Prevalence of short peer reviews in 3 leading general medical journals. *JAMA Network Open*, v. 6, n. 12, e2347607, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.47607>.
- GUERRERO, D.; PALAZZOLO-HENKES, R.; ALBA, M.; RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, S.; PUIG, L. Transnational governance frameworks for sustainable innovation: the case of the blue bioeconomy in the Mediterranean. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, v. 22, n. 2, p. 73-96, 2022. DOI: <https://doi.org/10.7201/earn.2022.02.04>.
- HACKETT, R. News from Biology Open in 2020. *Biology Open*, v. 9, n. 3, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1242/bio.051821>.
- KHAN, M.; PETTENELLA, D.; MASIERO, M. Material flow analysis of the wood-based value chains in a rapidly changing bioeconomy: a literature review. *Forests*, v. 15, n. 12, art. 2112, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15122112>.

KNIPPS, A. The basics of peer review. *Journal of Wildlife Management*, v. 87, n. 3, 2023.
DOI: <https://doi.org/10.1002/jwmg.22381>.

LEE, J.; LEE, J.; YOO, J. The role of large language models in the peer-review process: opportunities and challenges for medical journal reviewers and editors. *Journal of Educational Evaluation for Health Professions*, v. 22, p. 4, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3352/jeehp.2025.22.4>.

LUZON, E.; RITTER, K. Exploring challenges and opportunities for bio-based business models to strengthen Ecuador's rural economy. *Studia Mundi – Economica*, v. 12, n. 2, p. 35-57, 2025.
DOI: <https://doi.org/10.18531/sme.vol.12.no.2.pp.35-57>.

MORALES-ALARCÓN, C.; POVEDA, E.; VILLA-YÁNEZ, H.; GUISÑAN, P. Blockchain and its application in the peer review of scientific works: a systematic review. *Publications*, v. 12, n. 4, art. 40, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/publications12040040>.

NNOLIM, N.; NWODO, U. Microbial keratinase and the bio-economy: a three-decade meta-analysis of research exploit. *AMB Express*, v. 11, n. 1, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-020-01155-8>.