



Diversidade vegetal do Brasil: conceitos, estratégias e desafios para o uso sustentável e a conservação

Dráuzio Correia Gama^{1,*} e Manuela Oliveira de Souza²

¹ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias-PPGCA, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia-UFRB. Rua Rui Barbosa, S/N. CEP: 44.380-000, Cruz das Almas, Bahia, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6357-0698>

² Professora Doutora do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia-UFRB. Rua Rui Barbosa, S/N. CEP: 44.380-000, Cruz das Almas, Bahia, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1325-466X>

* Autor Correspondente: drauziogama@hotmail.com

Recebido: 06/12/2025; Aceito: 30/03/2026

Resumo: O conhecimento sobre a alta diversidade vegetal que o Brasil possui, precisa cada vez mais ser implementada e aprimorada a fim de que a conversão dos recursos genéticos potenciais em benefícios econômicos às sociedades humanas, ocorram com responsabilidade ambiental e social. Desta forma, com vistas à ciência da conservação vegetal, o presente estudo tem por objetivo explicar conceitos e discutir a importância de temas relacionados a ações estratégicas de uso e conservação da diversidade vegetal do Brasil. Para tanto, utilizou-se de uma revisão narrativa, com a identificação dos temas e selecionando, por meio do uso de palavras-chaves, estudos pertinentes dos últimos 15 anos nos respectivos assuntos: diversidade vegetal; recurso genético; domesticação de plantas; biotecnologias; bioprospecção e modalidades de conservação. Com base nos resultados, foi possível compreender que a importância da diversidade vegetal brasileira é amplamente reconhecida por meio de estratégias de conservação, proteção legal e usos potenciais. No entanto, seu envolvimento em bioprospecção e inovações biotecnológicas é baixo, embora conceitualmente fundamentado. A proteção, a conservação e o uso sustentável dessa diversidade biológica devem ser prioridades estratégicas ao se considerar a transformação de produtos naturais e derivados em inovações, utilizando recursos genéticos e metabólitos essenciais com identificação e catalogação adequadas, e a consequente geração de conhecimento relacionado.

Palavras-chave: bioeconomia; bioprospecção; biodiversidade; recursos genéticos.

Plant diversity in Brazil: concepts, strategies, and challenges for sustainable use and conservation

Abstract: Knowledge about the high plant diversity that Brazil possesses needs to be increasingly implemented and improved so that the conversion of potential genetic resources into economic benefits for human societies occurs with environmental and social responsibility. Thus, with a view to the science of plant conservation, this study aims to explain concepts and discuss the importance of topics related to strategic actions for the use and conservation of Brazil's plant diversity. To this end, a narrative review was used, identifying the themes and selecting, through the use of keywords, relevant studies from the last 15 years on the respective subjects: plant diversity; genetic resources; plant domestication; biotechnologies; bioprospecting and conservation modalities. Based on the results, it was possible to understand that the importance of Brazil's plant diversity is widely recognized through conservation strategies, legal protection, and potential uses. However, its involvement in bioprospecting and biotechnological innovations is low, even though conceptually supported. The protection, conservation, and sustainable use of this biological diversity should be a strategic priority when considering transforming natural products and derivatives into innovations, using genetic resources and essential metabolites with proper identification, cataloging, and the consequent generation of related knowledge.

Key-words: bioeconomy; bioprospecting; biodiversity; genetic resources.

1. INTRODUÇÃO

A biodiversidade do Brasil é muito mais expressiva do que a observada quando comparada a vários países (ASTOLFI FILHO et al., 2014; ELLWANGER et al., 2022). De acordo com Ellwanger et al. (2022), essa diversidade biológica já garante, por si só, uma vantagem bastante competitiva no aspecto da bioeconomia. Sendo este um desafio instigante para os que entendem a bioeconomia como força propulsora da indústria nacional, conforme reconhece Bolzani (2016).

De acordo com dados do Re flora (2026), são reconhecidas no Brasil 40.342 espécies de plantas arrançadas em quatro grupos principais: as Gimnospermas representando 0,31% (n=127); Samambaias e Licófitas (3,54%; n=1.427); Briófitas (4,03%; n=1.626) e Angiospermas (92,12%; n=37.162). Ordenado entre nativas, naturalizadas e cultivadas, segundo sua origem e as relações que desempenham economicamente. Estas unidades taxonômicas estão compreendidas em 442 famílias botânicas e 4.300 gêneros, com 8,88% (n=382) de gêneros endêmicos. Sendo que das espécies, 50,92% (n=20.544) são endêmicas. Não considerando ainda as variedades e subespécies.

De acordo com a Instrução Normativa nº 14/2021 do Ministério da Agricultura e Pecuária (BRASIL, 2021), são listadas 798 unidades básicas de plantas introduzidas no território nacional, incluindo espécies, variedades e subespécies domesticadas ou cultivadas. Embora essas plantas apresentem relevante impacto econômico no país (sendo aproximadamente 39% destinadas à alimentação), não são consideradas patrimônio genético encontrado em próprio território brasileiro (BRASIL, 2021).

No contexto econômico, não só a importância alimentar, mas também a química de produtos naturais sempre teve papel relevante para o desenvolvimento de bioprodutos, como fármacos e cosméticos, dado a diversidade estrutural e grupos funcionais presentes em milhares de substâncias que compõem a biodiversidade (BOLZANI, 2016). Deste modo, é necessário que o Brasil reforce cada vez mais esse reconhecimento sobre a biodiversidade para o seu próprio desenvolvimento econômico, apoiado em áreas estratégicas como indústria, ciência e tecnologia; conservação biológica, manutenção de serviços ambientais e processos ecológicos dos ecossistemas e do potencial no ecoturismo, inclusive (MELLO-THÉRY, 2018; ELLWANGER et al., 2022).

Entretanto, a biodiversidade do Brasil ainda é pouco explorada (OLIVEIRA et al., 2021). Em termos de diversidade vegetal, poucas são as espécies vegetais prospectadas cientificamente para fins de utilidade industrial. Pois mesmo com ampla diversidade vegetal e da crescente demanda por bioprodutos, o Brasil ainda apresenta baixa capacidade de gerar produtos de alto impacto, o que limita, conforme Bolzano (2016), seu potencial de criação de riqueza e sua contribuição mais significativa para a balança econômica. Como ocorre com os bioinsumos que, mesmo com o aumento no registro desses produtos após a criação do Programa Nacional de Bioinsumos e a implementação de normas que facilitaram esses processos, tais avanços ainda não foram suficientes para promover uma ampliação significativa do setor, de acordo com Policarpo et al. (2025).

Além de proporcionar baixo retorno direto às populações humanas situadas nas áreas onde são encontrados os recursos extraídos, os quais estão associados a uma agricultura responsável (ELLWANGER et al., 2022). Uma vez que o conhecimento entre a diversidade vegetal, sobretudo, é muito incompleto, sendo as monocotiledôneas o grupo mais estudado dentre as angiospermas (GIULIETTI et al., 2005).

Portanto, embora avanços significativos tenham sido alcançados e diversas pesquisas já tenham sido realizadas, o estudo da biodiversidade ainda demanda maiores investimentos, uma vez que persiste a desproporção entre a riqueza vegetal e as empreitadas científicas. Sobretudo em relação a alta variabilidade de genes disponível da diversidade vegetal no Brasil que pode abranger diferentes oportunidades de uso, mesmo a partir de uma única espécie ou de um conjunto de diferentes populações (PALMA; PALMA, 2012).

Todavia, um dos esforços direcionados na tentativa de converter esse problema em desenvolvimento socioambiental para a sociedade envolvida, tem sido o Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) criado em 2016, pelo Decreto nº 8.772, 11/05/2016 como um instrumento de auxílio do Conselho de Gestão do Patrimônio Genético (CGen) na gestão do patrimônio genético e do conhecimento tradicional associado (SILVA NETO; ZANTUT, 2017; BRASIL, 2016). Todavia, o sistema necessita de aprimoramento, principalmente em relação a identificação e a análise do acesso que é, conforme Santos e Silva (2023), limitada pela não publicidade de informações relativas às espécies acessadas e aos produtos desenvolvidos ou notificados. Para estes autores, o sistema restringe a participação da sociedade no monitoramento e aprimoramento dos mecanismos de controle de acesso.

Assim, com poucos estudos sobre a diversidade vegetal do Brasil, muitos táxons se tornam negligenciados, desconhecidos e permanecem ignorados à própria sorte de ameaças antrópicas, seja por ações de incêndios, desmatamentos ou pela própria biopirataria (OLIVEIRA et al., 2024). Cabe destacar que o reconhecimento dos impactos lesivos da biopirataria sobre os recursos genéticos nacionais constitui ainda um grande desafio, uma vez que essa prática se baseia na exploração ilegal e clandestina dos recursos naturais (SILVA-NETO; ZANTUT, 2017; ROCHA; ARAÚJO, 2018; OLIVEIRA et al., 2024).

Quanto as pesquisas em bioprospecção, elas são voltadas, de maneira geral, para ambientes peculiares, onde uma adaptação extrema de sua biota é esperada, como desertos, fontes termais, florestas, águas ou solos contaminados ou com características singulares como alcalinidade ou acidez, entre outros (ASTOLFI FILHO et al., 2014). Mas que a prospecção de compostos naturais da flora brasileira, deve ser vista, conforme Ellwanger et al. (2022), como uma forma de gerar alto valor agregado no desenvolvimento de produtos e processos biotecnológicos, contribuindo para o avanço da indústria, ciência e tecnologia. Nisto, inclui-se procedimentos de caracterização, de

análise, de reconhecimento, de exploração e de utilidade da diversidade vegetal, no que diz respeito aos interesses dos recursos genéticos.

Contudo, ainda não existe no Brasil uma bioeconomia vigorosa baseada em inovações a partir do aproveitamento do potencial que os recursos genéticos vegetais têm a oferecer aos setores industriais de interesse. A qual esteja associada a conservação genética no que tange as estratégias, aos meios e métodos de aproveitamento adotados. Planejando e desenvolvendo ações de maneira mais otimizada, com menor impacto e valor social ((BOLZANI, 2016; SILVA et al., 2018; ELLWANGER et al., 2022).

No Brasil, a bioeconomia permanece majoritariamente baseada em commodities e pouco intensiva em biotecnologia derivada da biodiversidade nativa (OLIVEIRA et al., 2024). Assim, embora haja elevado potencial biológico, sua conversão em inovação ocorre de forma limitada, devido à frágil articulação entre ciência, mercado e políticas públicas (FÉLIX JÚNIOR et al., 2025). Nesse contexto, persiste uma lacuna entre o conhecimento científico e sua aplicação industrial, dificultando a geração de benefícios econômicos concretos (BAZÁN BARBA; SANTOS, 2020). A exemplo da bioeconomia na Amazônia, em que Barbosa et al. (2021) apontam desafios estruturais e econômicos para sua consolidação, o que evidencia um paradoxo: embora abrigue a maior biodiversidade do planeta, a região ainda não sustenta uma bioeconomia plenamente desenvolvidas.

Diante desse contexto, como a literatura científica, nacional e internacional, tem abordado o conceito, a importância e os desafios das ações estratégicas voltadas ao uso e à conservação da diversidade vegetal no Brasil, considerando seu potencial para a bioeconomia?

Com base nessa questão norteadora, procedeu-se à realização de uma revisão narrativa da literatura que, segundo autores como Cordeiro et al. (2007), Camargo Júnior et al. (2023) e Fernandes et al. (2023), possibilita maior flexibilidade na seleção dos estudos, favorecendo análises de caráter interpretativo e contextualizado. Desta forma, o presente estudo objetivou explicar conceitos e discutir a importância de temas relacionados a ações estratégicas de uso e conservação da diversidade vegetal do Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A presente revisão narrativa consistiu nas seguintes etapas: definição das palavras-chave e questão norteadora para a elaboração do estudo; seleção de estudos científicos (artigos, livros e capítulos); acesso a informações institucionais (FAO, REFLORA, CDB) e de legislações pertinentes; extração de informações conceituais e de dados; ordenamento lógico dos temas e a apresentação da revisão com assuntos em tópicos definidores. Dos trabalhos selecionados, 90% são publicações dos últimos 15 anos.

A busca bibliográfica nas bases de dados (Science Direct, Web of Science, Scopus, Scielo e Google Acadêmico), biblioteca física e plataforma governamental oficial, ocorreu por meio do uso de palavras-chaves, separadamente, dos temas de interesse relacionados aos respectivos assuntos: diversidade vegetal; biodiversidade; recurso genético; domesticação de plantas; biotecnologias; bioprospecção, bioeconomia e modalidades de conservação. Os estudos foram obtidos em idioma inglês e português. Foram excluídos notas editoriais, artigos jornalísticos, manuais e boletins.

Os resultados dos estudos foram sintetizados e apresentados de acordo com os temas compreendidos nos seus respectivos assuntos. Após a fase de coleta, foi realizada a triagem de forma manual, a partir de leitura integral de texto completo, sem auxílio de inteligência artificial. O critério de qualificação e de seleção foi a relevância e adequação ao tema sem recorte de idioma e limitado periodicamente (até 15 anos). A organização final ocorreu a partir da inclusão ou exclusão dos textos (conforme a pertinência), aderidos, em diretório específico ao tema, de acordo com o objetivo deste estudo.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Conceitos gerais em biodiversidade

A **biodiversidade** é o conjunto de variedades de espécies biológicas distribuídas no planeta. Ela abrange a diversidade de espécies, considerando a abundância dos indivíduos e a riqueza de todas as espécies e a diversidade genética no que diz respeito a variedade dos genes contidos em cada indivíduo das espécies. Além da diversidade de ecossistemas que compreende a variedade de ecossistemas dentro de uma área, bioma ou do próprio planeta em que ocorrem as espécies (WILSON, 2008).

A biodiversidade, segundo a convenção sobre diversidade biológica (CDB) pode ser definida como sendo “*a variabilidade entre organismos vivos de todas as fontes de ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e complexos ecológicos*” (MAGALHÃES, 2006; CBD, 2016).

Em outras palavras, a biodiversidade é a variabilidade entre os organismos vivos e as espécies dos ecossistemas circundantes e os complexos ecológicos de seu suporte de vida (PATHAK; ABIDO, 2014). Estes autores ainda apontam a biodiversidade como a própria base da sobrevivência humana e do desenvolvimento econômico e que a sua perda representa uma séria ameaça a sobrevivência. Para Rawat e Agarwal (2015), a biodiversidade abarca a extensão da variedade ou variação da natureza dentro do sistema natural; tanto em número quanto em frequência. Como visto, é um termo entendido em termos da grande variedade de plantas, animais e microrganismos, dos genes que contêm e do ecossistema que formam.

Pascual et al. (2021) ainda extrapolam o conceito, quando mencionam que a biodiversidade deve ser pluralista e vista como uma oportunidade para reconhecer as diferentes perspectivas das pessoas sobre o que deve ser conservado e o porquê. A abrangência da biodiversidade vai para além da diversidade das espécies, de dentro das espécies e dos ecossistemas, com grandes variações de interesses dentro do movimento conservacionista moderno. A CDB estabelece ainda o entendimento de sê-la conservada, utilizando-a de forma sustentável e partilhando os benefícios decorrentes de forma justa e equitativa (MAGALHÃES, 2006; CBD, 2016). E que a respeito do conceito da variabilidade genética que responde pela diversidade e grau de diferenciação genética das espécies, a sua disponibilidade pode atender, enquanto recurso genético, a diversos interesses de usos imediatos ou potenciais.

Diversidade esta que é considerada recurso genético, mediante todo e qualquer material de origem vegetal, animal, microbiana ou outra, que contenha unidades funcionais de hereditariedade de valor real ou potencial (MAGALHÃES, 2006; CBD, 2016). Portanto, recurso genético é um componente biológico da biodiversidade identificada procedente a alguma importância econômica (alimentar, farmacêutica, tecnológica, etc.) com possibilidades de uso de forma imediata, direta e completa ou de uso indireto, tardio, emergente e aperfeiçoada.

É entendido que o uso bem-sucedido dos recursos genéticos exige que a coleta, o armazenamento, a análise, a documentação e possíveis trocas diligentes, devem ser realizadas corretamente (PRIYANKA et al., 2021). Possibilitando desta forma que o acesso ao material biológico, quando for o caso, ocorra de maneira responsável.

O Conselho de Gestão do Patrimônio Genético-CGEN define Acesso, como “a atividade realizada sobre o patrimônio genético com o objetivo de isolar, identificar ou utilizar informação de origem genética ou moléculas e substâncias provenientes do metabolismo dos seres vivos e de extratos obtidos destes organismos” (BRASIL, 2003).

Por sua vez, patrimônio genético é todo material biológico que contenha informação genética capaz de defini-lo e identificá-lo. Nesse sentido, a Lei da Biodiversidade (Lei nº 13.123/2015), em seu art. 2º, inciso I, conceitua patrimônio genético como a “informação de origem genética de espécies vegetais, animais, microbianas ou de outra natureza, incluindo substâncias oriundas do metabolismo desses seres vivos” (BRASIL, 2015).

De acordo com Salgotra e Chauhan (2023), recursos genéticos vegetais (RGV) são o material hereditário total, que inclui todos os alelos de vários genes, presentes em uma espécie de cultivo, incluindo plantas hortícolas e medicinais, e seus parentes selvagens, podendo ser qualquer tipo de material de propagação reprodutiva ou vegetativa da espécie vegetal. Somado ainda, pelo valor socioeconômico, conforme Gama et al. (2024), as espécies vegetais produtoras de fibras que são destinadas, principalmente, para uso biotecnológico.

Nomeadamente para fins de subsistência alimentar, a humanidade desde os primórdios da agricultura, valeu-se do interesse da variação e da variabilidade genética, associando-as sempre a qualidade e produtividade das espécies agrícolas exploradas (BHANDARI et al., 2017; PIZZUTTO et al., 2021). Bem como do acesso a diversidade vegetal nativa, por meio de bioprospecção, que tem contribuído fortemente para a bioeconomia.

Com base na CDB, Astolfi Filho et al. (2014) definem bioprospecção como qualquer aplicação tecnológica que utilize sistemas biológicos, organismos vivos, ou seus derivados, para fabricar ou modificar produtos ou desenvolver processos para utilização específica. Podendo ainda ser definida como uma busca sistemática por genes, compostos naturais, estruturas e organismos inteiros da floresta (plantas, animais e microorganismos) com potencial para o desenvolvimento de produtos que sejam úteis para a humanidade (PUSHPANGADAN et al., 2018).

A bioprospecção como exploração e investigação de recursos provenientes da vegetação nativa, difunde-se com grande importância, a fim de identificar princípios ativos para a obtenção de novos produtos e processos, com vistas a comercialização e estratégia de preservação da biodiversidade (PADUA; CHIARAVALLI, 2012).

Já a bioeconomia é conceituada pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, no âmbito da Cúpula Global de Bioeconomia, como “a produção, utilização, conservação e regeneração de recursos biológicos, incluindo conhecimento, ciência, tecnologia e inovação relacionados, para fornecer soluções sustentáveis (informação, produtos, processos e serviços) em todos os setores econômicos e viabilizar uma transformação” (FAO, 2020). Autores como Issa et al. (2019) e Stephenson e Damerell (2022) concebem a bioeconomia de forma mais operacional, enfatizando o uso sustentável de recursos biológicos (terrestres e marinhos) associado à aplicação de biotecnologia para a produção de alimentos, energia, materiais e serviços em diferentes setores. Nessa perspectiva, o foco recai sobre a utilização prática da biomassa e da inovação tecnológica para a geração de produtos sustentáveis. O que está não só associada a espécies de plantas nativas, mas a espécies domesticadas.

Domesticação é a seleção intencional de características desejáveis da planta para a adaptação às condições de condução em um novo ambiente criado pelo homem. Sendo marcado a partir do ponto em que determinado conjunto de características da planta domesticada se diferencia de seus ancestrais silvestres, portanto, diferente do seu ambiente natural ou nativo de origem (JORGE, 2004; VIEIRA et al., 2021). Espécies domesticadas (ou cultivadas), são aquelas cujo processo de evolução influenciou o ser humano para atender suas necessidades (BRASIL, 2015).

Por fim, com a necessidade de assinalar a diversidade genética e a identificação de genótipos superiores, diversas técnicas tem sido empregada, como caracterizações fenotípicas ou morfológicas, técnicas bioquímicas ou aloenzimáticas e técnicas moleculares. Ou seja, a partir da variação fenotípica por características quantitativas (por exemplo, altura da planta) ou qualitativas (por exemplo, cores da flor); identificada pela variação no nível das enzimas (por meio do processo de eletroforese de proteínas) ou identificada por ordem dos nucleotídeos na sequência do ácido desoxirribonucléico (DNA), conforme Govindaraj et al. (2015) e Salgotra e Chauhan (2023).

3.2 Aspectos intrínseco a diversidade genética

A diversidade genética é medida em nível individual e estimada a partir de conjuntos de indivíduos dentro de uma população, conforme destacado por Govindaraj et al. (2015), sendo os esforços de conservação e pesquisa direcionados, principalmente, às populações de uma espécie. Nesse contexto, a variabilidade genética (seja no âmbito de uma espécie ou em comunidades), é determinada pelo genoma de cada indivíduo, por meio dos mecanismos de transmissão e expressão da informação genética. Esses processos são descritos pelo chamado “dogma central da biologia molecular”, que explica o fluxo de informações do código genético e fundamenta o entendimento da hereditariedade (HUGHES et al., 2008; RAVEN et al., 2014).

A genética, basicamente, é parte do campo das ciências biológicas que estuda funções e estruturas bioquímicas relacionadas a hereditariedade da vida, abrangendo investigações que vão desde o nível celular até os níveis de indivíduo, população e comunidade. Abordando as características transportada por genes e transmitidas de geração a geração, a conceitos mais abrangentes como de conservação, melhoramento e de modificações mais complexas (KLUG et al., 2009). Particularmente a genética da conservação, no entendimento de Govindaraj et al. (2015), tem por objetivo manter a diversidade genética em vários níveis, fornecendo ferramentas para monitoramento e avaliação populacional que possam ser usadas no planejamento da conservação.

A atuação da genética ocorre, precisamente, a partir do reconhecimento, do domínio e do controle de genes de interesse (KLUG et al., 2009; KAUR et al., 2022; SALGOTRA; CHAUHAN, 2023). Nesse aspecto, destaca-se o procedimento que envolve o sequenciamento da região dos genes expressos (região transcrita) em diferentes células ou tecidos, denominado transcriptoma, como um importante aliado para a conservação da biodiversidade (PATNAIK; LEE, 2023). Pois permite compreender não apenas quais genes estão presentes, mas também quais se encontram ativos em determinados contextos ambientais ou fisiológicos. Isso contribui para a conservação da biodiversidade de diversas formas, como na identificação de respostas ao ambiente, na compreensão de processos de adaptação local e no suporte à biotecnologia e ao uso sustentável dos recursos naturais, por exemplo. Dessa maneira, favorece o desenvolvimento de estratégias de conservação mais precisas, eficientes e alinhadas às condições reais dos ecossistemas (OUBORG et al., 2010; KHAN et al., 2016; PATNAIK; LEE, 2023).

Os genes, por sua vez, correspondem a regiões específicas do DNA organizadas em sequências denominadas códons, que determinam os aminoácidos e, conseqüentemente, a formação de proteínas (KLUG et al., 2009; RAVEN et al., 2014; SAIER, 2019). O DNA é uma molécula de dupla fita composta por nucleotídeos (unidades menores formadas por um açúcar, uma base nitrogenada e um grupo fosfato). De modo geral, é nessa molécula, que se encontra enrolada e condensada em estruturas chamadas cromossomos, que está armazenada toda a informação genética, sendo, portanto, alvo de intenso interesse científico (RAVEN et al., 2014). E que o conjunto completo de genes de um organismo constitui o seu genoma (SNYDER; GERSTEIN, 2003).

3.3 Recursos genéticos vegetais no Brasil: acesso e uso na bioeconomia

Autores como Bolzani (2016) e Ellwanger et al. (2022), chamam atenção ao fato de que a biodiversidade brasileira, sobretudo por possuir uma das maiores riquezas naturais do mundo, em termos de variabilidade genética vegetal, tem um enorme potencial para ser aplicada como fonte importante para a indústria de fármacos, de cosmético, de fragrâncias, de agroquímicos e para suplementos alimentares, por exemplo. Podendo ser melhor explorado no contexto de uma bioeconomia orientada à inovação, ampliando-se para além da produção de químicos “verdes”, por meio do uso de diversas substâncias e estruturas químicas aplicáveis a uma vasta gama de finalidades.

A exemplo de polímeros de origem vegetal biodegradáveis como “plásticos verdes” proveniente de polietileno da cana-de-açúcar; desenvolvimento de agroquímicos (bioinseticidas) por extratos vegetais; aplicação de compostos orgânicos voláteis de plantas para a manipulação do comportamento de insetos na gestão do manejo integrado de pragas; aplicação de substâncias bioativadoras em plantas, como aminoácidos, estimulando defesas naturais; biopolímeros e biocompósitos a partir de fibras vegetais para uso biotecnológicos diversos; nanopartículas biocompatíveis para aplicações biomédicas; e solventes derivados de biomassa (PINTO-ZEVALLOS; ZARBIN, 2013; ZAMBANINI et al., 2014; SIMAN FILHO; SANFELICE, 2018; KOCHPEKA et al., 2020; DUARTE et al., 2023; GAMA et al., 2024; AGOSTINHO et al., 2025).

O avanço da inovação de bioprodutos químicos a partir de biomassa renovável, é uma alternativa de substituição às tecnologias sintéticas tradicionais de efeitos adversos ao ambiente. De sorte que o desenvolvimento destes produtos químicos ‘verdes’, promovem o uso de recursos naturais com eficiência energética, com menor impacto ambiental e valorizando o consumo responsável e a conservação da diversidade vegetal (ISIKGOR; BECER, 2015; SILVA et al. 2020; CARDOSO, 2023).

No entanto, a forma de acesso aos recursos provenientes da plantas, sobretudo da vegetação nativa, tem sido igualmente associada a tensões e entraves institucionais. Conforme apontam David et al. (2015), embora existam marcos regulatórios estabelecidos, sua aplicação prática revela-se complexa, heterogênea e, por vezes, pouco alinhada às dinâmicas da pesquisa científica. Em diversos países, a implementação das normas de acesso e uso apresenta dificuldades interpretativas, evidenciando lacunas entre a regulação formal e sua operacionalização. Ademais, a definição de recursos genéticos como materiais de “valor real ou potencial”, ainda que abrangente, carece de maior precisão normativa, o que contribui para ambiguidades e amplia a insegurança jurídica no processo de acesso e repartição de benefícios (DAVID et al., 2015).

Outro ponto sensível destacado por David et al. (2015) refere-se ao regime de acesso e repartição de benefícios, marcado por uma assimetria entre as expectativas dos países provedores de biodiversidade e dos usuários acadêmicos e industriais. Enquanto os primeiros projetam elevados retornos econômicos, a pesquisa científica é caracterizada por incertezas e raramente resulta em produtos comercializáveis, gerando sobretudo benefícios não monetários. Essa discrepância, somada à indefinição do conceito de benefício, dificulta as negociações e o próprio acesso aos recursos genéticos.

Sob uma perspectiva crítica, essa assimetria tende a reforçar a concentração de investimentos e pesquisas em um conjunto restrito de culturas de maior valor econômico, marginalizando espécies subutilizadas e reduzindo a diversidade explorada. Essa dinâmica contribui para a homogeneização dos sistemas alimentares globais, evidenciada pela expansão de culturas como soja e girassol, que, nos últimos 50 anos, apresentaram as maiores mudanças relativas na distribuição global. Em contraste, culturas como sorgo, centeio e mandioca mantiveram relativa estagnação, enquanto espécies amplamente difundidas, como trigo, arroz e milho, consolidaram sua centralidade no abastecimento alimentar mundial (KHOURY et al., 2014). Nesse sentido, o regime de acesso pode, paradoxalmente, contribuir para a erosão da biodiversidade.

Deste modo, a taxa do movimento da homogeneidade encontrada nas composições do abastecimento alimentar ao nível mundial, sem qualquer indicação de abrandamento, pode provocar uma deterioração da importância de recursos genéticos alimentares menores e geograficamente restritas não declaradas, com declínios significativos na abundância e no abastecimento (KHOURY et al., 2014).

Nesse caso, ainda segundo Khoury et al. (2014), mesmo que o número de culturas medidas disponíveis para o consumidor num determinado país tenha aumentado ao longo do último meio século como uma tendência global, a diversidade total de recursos genéticos que contribuem significativamente com a disponibilidade alimentar em todo o mundo tem sido menor, em função da baixa diversidade.

Especificamente sobre os recursos genéticos vegetais do Brasil, a prática da biopirataria, como meio ilegal de acesso por estrangeiros e até brasileiros ‘contratados’ para essa finalidade, é um importante aspecto a ser levado em consideração. O que pode comprometer a diversidade a médio e longo prazo e a bioeconomia, caso algumas ações de ordem jurídica e policial não sejam efetivadas, seja por falta de atuações efetivas, profissionais disponíveis ou por infraestrutura deficitária (OLIVEIRA et al., 2024).

O maior problema enfrentado é o fato de, conforme Maciel (2014), não existir, no Brasil, uma tipificação penal específica para a biopirataria, pela ausência de uma definição legal. Apenas aquelas enquadradas à degradação ambiental previstas na Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998), a qual não menciona expressamente o termo.

Com isso, algumas penalizações são brandas ou mesmo nem aplicadas, por ausência de dispositivos mais claros na legislação ambiental. Ou por situações controversas como em flagrante delito (autuado em flagrante), em que o contraventor goza de possível liberdade provisória caso tenha endereço fixo, réu primário ou por audiência de custódia (REZENDE; RIBEIRO, 2005; OLIVEIRA et al., 2024).

Além disso, embora a Lei de Crimes Ambientais preveja penas de reclusão de 1 a 3 anos ou superiores, em casos agravados (BRASIL, 1998), a própria legislação admite a substituição da pena privativa de liberdade por restritivas de direitos, como a prestação de serviços à comunidade ou o pagamento de multa. Em muitos casos, essa substituição ocorre sem a exigência efetiva de reparação do dano causado ao patrimônio genético, inclusive quando se trata de espécies endêmicas e/ou ameaçadas de extinção (OLIVEIRA et al., 2024).

Em algumas situações inclusive, além de constrangimentos, os pesquisadores tornam-se vítimas de assédio processual (PINTO, 2014). Como ressalta Pinto (2014), são forças do Estado operando em sentido contrário ao exercício do direito à liberdade do estudo científico. Contrário também ao desenvolvimento e a inovação tecnológica. O que de certa forma, favorece, indiretamente o avanço da biopirataria. De maneira que o acesso ao patrimônio genético, é feito por meio de pesquisa ou desenvolvimento tecnológico realizado sobre amostra de patrimônio genético, conforme a Lei da Biodiversidade, Alínea VIII, Art. 2º (BRASIL, 2015).

Com isso, sobressai-se que a inovação industrial com produtos naturais derivados da diversidade de plantas do Brasil, de maneira especial, deve ser discutida por setores acadêmicos, governamentais e empresariais, afim de que a bioeconomia possa ser cada vez mais incentivada e reconhecida, baseada principalmente em valor científico, de inovação tecnológica e de importância econômica e social (BOLZANI, 2016).

3.4 Conservação dos recursos genéticos

Uma alternativa de buscar a conservação dos recursos genéticos vegetais, dar-se por modalidades de conservação como a forma *ex situ* (espaços planejados e bancos genéticos definidos) e por meio da conservação *in situ* (áreas de habitats naturais com que as espécies ocorrem e evoluem).

As condições *in situ*, conforme a Alínea XXV, Art. 2º, da Lei da Biodiversidade (Lei nº 13.123/2015), compreendem “condições em que o patrimônio genético existe em ecossistemas e habitats naturais e, no caso de espécies domesticadas ou cultivadas, nos meios onde naturalmente tenham desenvolvido suas características distintivas próprias, incluindo as que formem populações espontâneas” (BRASIL, 2015). Visto que as populações espontâneas, conforme Art. 2º, Alínea XXVIII, da Lei da Biodiversidade, são as “populações de espécies introduzidas no território nacional, ainda que domesticadas, capazes de se autopropetarem naturalmente nos ecossistemas e habitats brasileiros” (BRASIL, 2015). No que se refere às condições para a conservação *ex situ*, esta corresponde ao “patrimônio genético mantido fora de seu habitat natural”, conforme a Alínea XXVII, Art. 2º da referida Lei da Biodiversidade (BRASIL, 2015).

A conservação de recursos genéticos *in situ* de conservação de germoplasma, permite proporcionar condições para que as plantas continuem seu processo de evolução natural uma vez que esse método consiste em manter uma população preservada em seu ambiente natural de crescimento (RIBEIRO et al., 2016). Contudo, ainda segundo os autores, o principal problema nessa abordagem são as ações antrópicas que, ao suprimir extensas áreas de espécies nativas, inserem diversas espécies vegetais em listas de possível extinção e algumas sem informações mais específicas, principalmente aquelas consideradas endêmicas (que ocorrem em áreas mais restritas).

Além do mais, a modalidade *in situ* é um procedimento de conservação complexo, exigindo manutenção e gestão de áreas protegidas como ações direcionadas ao nível da espécie e da população, envolvendo considerações científicas, sociais e políticas públicas (HEYWOOD, 2015). E para que se torne eficaz, é necessário que o monitoramento ao nível da espécie, garanta que populações viáveis de plantas de espécies ameaçadas persistam dentro das áreas protegidas (CORLETT, 2016).

Derivada da conservação *in situ*, destaca-se a estratégia de conservação *on farm*, que, embora relacionada a essa modalidade, apresenta características próprias. A conservação *on farm* compreende o manejo sustentável da diversidade genética de variedades agrícolas localmente desenvolvidas (tradicional), incluindo tanto formas cultivadas quanto seus parentes silvestres. Esse processo é conduzido por agricultores no contexto de sistemas produtivos tradicionais (agrícolas, hortícolas ou agroflorestais), contribuindo para a manutenção dinâmica da variabilidade genética (NODARI; GUERRA, 2015)

Na modalidade *on farm*, entende-se que a diversidade genética deve ser mantida também nos sistemas agrícolas locais, onde se torna fundamental a participação dos agricultores e de populações tradicionais, realizando uma agricultura diversificada, valendo-se ainda das interações entre os agricultores e as instituições de pesquisa, a fim de conservar processos que geram a agrobiodiversidade (SANTONIERI; BUSTAMANTE, 2016).

Por sua vez, a modalidade *ex situ* constitui uma estratégia fundamental, pois permite o armazenamento seguro do material genético a longo prazo, contribuindo para evitar a extinção de espécies na natureza. Além disso, no curto e médio prazo, possibilita sua utilização em ações de restauração ecológica, tanto em pequena quanto em grande escala. Segundo Guerrant Júnior et al. (2014), essa abordagem desempenha papel essencial na salvaguarda da biodiversidade. Ademais, a conservação da variabilidade de plantas por meio de estratégias *ex situ* também assume grande relevância para a segurança alimentar, garantindo a disponibilidade contínua das espécies vegetais mais importantes para a alimentação humana (SANTONIERI; BUSTAMANTE, 2016).

Ações que envolvem o uso do *pool* gênico, por meio da reprodução de populações florestais e da seleção de genótipos superiores, incluem o estabelecimento de fontes de sementes especializadas, arboretos, testes de procedência, testes de progênie, testes clonais, pomares de sementes, além da manutenção de bancos de sementes em locais adequados. Essas iniciativas configuram estratégias de conservação *ex situ*, contribuindo de forma significativa para a preservação da diversidade genética (ORLOVIĆ et al., 2014).

Para garantir um mínimo de biodiversidade e a manutenção e perpetuação das espécies, conforme Machado et al. (2016), é necessária manipulação adequada das populações, com isso são utilizadas estratégias alternativas para a preservação da biodiversidade, onde se destaca a criação de bancos de germoplasma como alternativa para a conservação de espécies ameaçadas. Esse processo *ex situ* implica a coleta de germoplasma de áreas nativas, sob a forma de sementes, tecidos contendo meristema ou também raízes que devam representar a população original da espécie de interesse (RIBEIRO et al., 2016).

Em atendimento a essa necessidade, Guerrant Júnior et al. (2014) ponderam ainda que para a coleta de material biológico do táxons-alvo de interesse, cada situação deve ser avaliada no contexto dos propósitos, objetivos e usos específicos para os quais está sendo feita e da maneira como as amostras serão armazenadas e mantidas, do tempo suficiente que serão armazenadas e se as amostras recolhidas na natureza serão utilizadas diretamente ou se o seu número será aumentado por cultivos agrícolas.

Todavia, o conceito de conservação *ex situ* revela certas limitações em se tratando de continuidade evolutiva, oferecendo respostas mais rápidas em ambientes onde suas características naturais tendem a sofrer drásticas mudanças. Integrando a este, também o modelo de conservação *on farm* como potencial meio mitigador desses possíveis efeitos negativos nos ambientes naturais (SANTONIERI; BUSTAMANTE, 2016). Para estes autores, a integração entre os modelos de conservação *ex situ* e *on farm* pode trazer, portanto, importantes contribuições de resgate e proteção a recursos genéticos possivelmente ameaçados.

De um modo geral, é essencial que as abordagens *ex situ* e *in situ* sejam melhores integradas, fornecendo condições que possam proteger a diversidade de possíveis erosões genéticas (KHOURY et al., 2022). Autores como Kägi et al. (2023) frisam, inclusive, que recursos genéticos relacionados as culturas utilizadas para alimentação humana, animal e, mais geralmente, para a agricultura, não são, necessariamente, os mais ameaçados, mas a preservação da sua diversidade intra e interespecífica é essencial para o futuro. Mesmo com limitações das áreas protegidas (considerando a estratégia *in situ*), para a conservação da biodiversidade alvo, elas continuam a ser consideradas uma ferramenta importante na prevenção de perda da biodiversidade e uma componente essencial de uma abordagem integrada à conservação (HEYWOOD, 2015).

Importante ressaltar que o conhecimento científico adquirido sobre os produtos naturais da biodiversidade por empresas farmacêuticas, por exemplo, era considerado *commodity* associada à legislação internacional de direitos de propriedade intelectual, enquanto que os conhecimentos tradicionais eram considerados de livre acesso, sem proteção legal (PALMA; PALMA, 2012; MCGONIGLE, 2016). Que é exemplo das patentes biotecnológicas que envolvem conhecimentos tradicionais associados. Conforme Silva e Schiocchet (2013), a atribuição do regime

privado da propriedade ao saber coletivo pode gerar efeitos negativos aos povos e comunidades detentores, seja na sua relação com o meio ambiente, seja nas suas práticas culturais, em virtude do caráter coletivo em que esses saberes são criados e praticados.

Isso representaria uma biodiversidade fragilizada em termos de conservação, pois havendo um domínio exclusivo sobre a biodiversidade, não seria possível que garantias legais tivessem acesso aos recursos da biodiversidade e menos ainda o estabelecimento de proteção aos conhecimentos tradicionais, especialmente para a conservação *on farm* por ser um conhecimento mais difuso e de acesso antrópico direto.

De modo que é essencial a conservação da biodiversidade brasileira e a proteção dos conhecimentos tradicionais associados, por representarem garantias de manutenção dos recursos naturais e genéticos, bem como para os serviços ecossistêmicos alcançados, sem os quais é impossível pensar em desenvolvimento econômico (VISENTIN, 2012; CASTAÑEDA-ÁLVARES et al., 2016; ELLWANGER et al., 2022).

De maneira geral, explorar a diversidade vegetal buscando encontrar recursos genéticos e metabólitos de interesse econômico e social, não será possível sem uma diversidade plenamente conservada. A erosão genética, caracterizada pela substituição de espécies locais por variedades domesticadas menos diversas, é uma das consequências dessa falta de conservação. Fatores como a urbanização, a substituição da agricultura tradicional por técnicas modernas e a introdução de culturas de alto rendimento contribuem para a redução dos recursos genéticos (ESQUINAS-ALCÁZAR, 2005; SALGOTRA; CHAUHAN, 2023).

Inclusive na modalidade *on farm*, as percepções dos produtores em relação as interações de recursos genéticos animais com os vegetais, tem reafirmado de forma significativa a ampla importância para o seu conceito enquanto conservação genética da vida selvagem (KROSS et al., 2018). Em que as percepções dos agricultores sobre a implicações de animais com as plantas, como visto por Kross et al. (2018), em relação a morcegos e aves, por exemplo, são práticas abrangentes que beneficiam a vida selvagem sem afetar a produção de alimentos.

3.5 Conservação *ex situ*: importância e papel essencial

Em se tratando de conservação *ex situ*, especificamente, ela é a modalidade que, segundo Santonieri e Bustamante (2016), tem sido prioridade no Brasil a partir de diferentes métodos. Ela pode abranger coleções vivas no campo, como jardins botânicos e os arboretos (PEIXOTO; MORIN, 2003) e florestas urbanas, implementando árvores nativas e adaptadas à região ao planejamento urbano, segundo Ucella-Filho et al. (2022), tornando possível a preservação genética das espécies com infinitudes de benefícios.

Os bancos de germoplasmas, para conservação *ex situ*, são ambientes apropriados para o armazenamento de germoplasma (organismo ou parte dele que consegue conservar herança genética e transmitir de uma geração para outra por meio de células reprodutivas) a fim de manter as propriedades proliferativas do material, mantendo as características genéticas originais. Isso incluindo estruturas ou propágulos, como células, embriões, sementes, óvulos, espermatozoides, pólen e estacas, capazes de regenerar um organismo vivo completo. E tem como missão, preservar os recursos genéticos vegetais como um legado para o melhoramento futuro das culturas a longo prazo (RIBEIRO et al., 2016; MASCHER et al., 2019).

Bem como bancos de sementes, cultura de tecidos, criopreservação e em meio de cultura *in vitro* a partir do uso em câmaras frias, por exemplo, (SANTONIERI; BUSTAMANTE, 2016). A criopreservação, por exemplo, por meio de temperaturas extrabaixas (geralmente nitrogênio líquido-NL, -196 °C), tem sido considerado um meio ideal para a conservação a longo prazo de germoplasma, como material vegetal, células, tecidos ou órgãos. Sementes florestais foram criopreservadas com sucesso, tornando-se útil a garantir a manutenção da diversidade dos recursos genéticos de várias espécies de sementes arbóreas, inclusive sementes ortodoxas que podem ser criopreservadas sem qualquer tratamento (LI et al., 2018).

O germoplasma é um recurso natural que fornece conhecimento sobre a composição genética de uma espécie e é crucial para a conservação da diversidade vegetal, espécies de plantas ameaçadas e vulneráveis, além de servir de base da produção agrícola, garantindo a segurança alimentar, recuperando a diversidade natural e aumentando a diversidade de culturas para o cultivo agrícola (LANGRIDGE; WAUGH, 2019; PRIYANKA et al., 2021). Os avanços tecnológicos na área de conservação têm contribuído para a geração de bancos de germoplasma e que, devido a significativa biodiversidade tanto animal quanto vegetal no Brasil, têm sido objeto de grande interesse na preservação e manutenção do patrimônio genético e papel importante para a perpetuação das espécies em risco de extinção (MACHADO et al., 2016).

A criação de bancos de germoplasma, para Machado et al. (2016), torna-se uma alternativa para a conservação de espécies ameaçadas, com importância de manutenção e preservação de recursos genéticos essenciais para alimentação e agricultura e para conservação de material genético de animais de produção. Independentemente do risco de extinção, a conservação do germoplasma pode ser realizada por aplicações em atividades humanitárias, além de considerar a legislação (MACHADO et al., 2016).

Nesse mesmo aspecto, a conservação da biodiversidade pode ser sistematizada, conforme Peixoto e Morin (2003), em diferentes tipos de documentos que certificam a diversidade e a riqueza da flora de uma determinada região ou país e encontram-se depositados em coleções botânicas. Essas coleções são bancos de materiais (espécimes ou exemplares) vivos ou preservados e os dados a eles associados.

Dentre elas, tem-se a coleção-base que pode ser compreendida como tipos de coleta de germoplasma e funcionam como uma cópia de segurança dos materiais que são conservados em bancos ativos de germoplasma

(BAGs), para a conservação de ampla variabilidade genética vegetal e animal (RIBEIRO et al., 2016; SILVA et al., 2012; GUPTA et al., 2019; LIU et al., 2020).

Já a coleção temática consiste em um subgrupo de acessos contidos em um banco de germoplasma com uma ou mais características identificadas, embora possa existir acessos em mais de uma coleção temática (TERRA et al., 2015; RIBEIRO et al., 2022). No que se refere à coleção nuclear, este é um conjunto de acessos da diversidade genética da coleção inteira, com repetição mínima, para representar a variabilidade máxima dessa coleção de germoplasma. Este conceito serve para enfrentar os desafios associados à gestão de grandes coleções, que podem ser onerosas e dispendiosas em termos de processos de conservação, catalogação, caracterização e avaliação (GARCIA-LOR et al., 2017; SANTOS et al., 2023). Observa-se, portanto, que a manutenção da diversidade genética em germoplasma conservado, desempenha um papel promissor para o estudo e aplicação em diferentes processos biotecnológicos (PATHAK; ABIDO, 2014), visto que essas coleções sistematizadas, também tendem a contribuir por um melhor controle na gestão da conservação genética nos BAGs.

Além do mais, em vista dos métodos clássicos de propagação de plantas terem certas limitações em termos de produção rápida de plantas e sua conservação a longo prazo, os métodos biotecnológicos como cultura de tecidos vegetais, cultura de células vegetais, cultura de anteras, cultura de embriões, por exemplo, são técnicas bastante aplicáveis e úteis para a conservação *ex situ* (PATHAK; ABIDO, 2014).

Relacionando-se espécies de cultivares com seus parentes silvestres, Castañeda-Álvarez et al. (2016), constataram, a partir de uma revisão global que, do ponto de vista da conservação genética em BAGs, a diversidade vegetal de parentes silvestres de culturas está mal representada nos bancos genéticos. Segundo os autores, mais de 70% dos táxons são identificados como de alta prioridade para recolha adicional de seus habitats naturais, a fim de melhorar a sua representação nos bancos genéticos. Com apenas 4,2% de táxons suficientemente representado em bancos de genes (Tabela 1).

Tabela 1. Representação da diversidade vegetal de parentes silvestres de culturas em bancos genéticos a nível mundial, com exceção da Antártida e das áreas mais áridas e zonas polares sem dado, com prioridade de coleta posterior.

Táxons (n°)	Representação	Categoria de prioridade
840	71,9%	Alta
126	10,8%	Baixa
154	13,2%	Média
49	4,2%	Não há necessidade de coleta urgente

Fonte: Extraída da tabela suplementar em <https://www.nature.com/articles/nplants201622#Sec4> (CASTAÑEDA-ÁLVAREZ et al., 2016).

De acordo com Castañeda-Álvarez et al. (2016), mais de 95% dos táxons estão insuficientemente representados no que diz respeito a toda a gama de variações geográficas e ecológicas nas suas distribuições nativas. Os autores ainda notaram que as lacunas de recolha mais críticas ocorrem no Mediterrâneo e no Próximo Oriente, na Europa Ocidental e Meridional, no Sudeste e Leste Asiático e na América do Sul.

Por fim, a gestão de recursos genéticos vegetais (a conservação, o uso sustentável, a proteção e a valorização), de uma forma geral, depende de instrumentos de políticas públicas, que no Brasil é definida pela Política Nacional de Conservação e Uso Sustentável dos Recursos Genéticos para a Alimentação, a Agricultura e a Pecuária (BRASIL, 2024), o qual possibilita, dentre outros benefícios, o desenvolvimento de novas tecnologias alimentares e medicamentosas a partir do uso responsável dos recursos genéticos.

Dessa forma, sobressaem-se, essencialmente, os curadores de germoplasmas como principais responsáveis, atuando em atividades de identificação, conservação e caracterização de recursos genéticos mantidos sob seus cuidados, podendo ser táxons específicos (animal ou vegetal) ou por uma coleção em herbário, por exemplo (DIERIG et al., 2014; BRANDÃO et al., 2021; PRIYANKA et al., 2021).

As coleções botânicas reúnem de maneira ordenada vegetais e partes delas, como hortos, jardins botânicos, herbários e àquelas a eles associadas (carpotecas, xilotecas, palinotecas, etc.), podendo ser organismos vivos ou mortos (secos e armazenados) com objetivo de preservação, conscientização e investigação científica (PEIXOTO; MORIN, 2003; FONSECA; VIEIRA, 2015). Ainda que não seja a sua finalidade conservar componente biológico com material genético preservado, são de grande importância para a descoberta de novas espécies, contribuindo com informações geográficas de maior abrangência com que as espécies ocorrem, seja em sentido territorial, sejam em nível de biomas (DIAS et al., 2009).

Os herbários são repositórios científicos permanentes de coleções de plantas provenientes de diversos ecossistemas, devidamente preservados e organizados em exsicatas. Exsicatas são as unidades fundamentais desse acervo e nelas estão contidas as informações necessárias para o desenvolvimento de estudos florísticos, fenológicos, *checklists*, revisões taxonômicas e sistemáticas, com possibilidades de manter a comunicação científica entre especialistas da área (FONSECA; VIEIRA, 2015; DIAS et al., 2019). E que possibilitam conservar e catalogar a variabilidade morfológica e genética das populações ao longo do tempo, considerando as características ambientais e geográficas de cada exemplar, permitindo uma longa duração, quando bem utilizados e conservados (DIAS et al., 2019).

Os herbários, de acordo com Peixoto e Morin (2003), são ferramentas imprescindíveis para o trabalho dos taxonomistas e apoio indispensável para muitas outras áreas do conhecimento. O herbário provê o *voucher*, registro que comprova a ocorrência da espécie em determinado local e momento, para um grupo de organismos vivos; fornece a base de dados acerca da distribuição geográfica e da diversidade de plantas; guarda a memória de conceitos morfológicos e taxonômicos e a maneira como esses conceitos foram sendo modificados ao longo do tempo.

Bem como as coleções etnobotânicas que são acervos de produtos parcial ou completamente processados, originários de recursos vegetais (CORNISH; NESBITT, 2014). Além do mais, elas atuam em contextos socioculturais de relações planta-homem, como parte de coleções bioculturais (HART et al., 2014; MELO et al., 2019). Pois, segundo Melo et al. (2019), os recursos naturais acervados nessas coleções, muitas vezes, estão associados a um acúmulo de conhecimentos, práticas e crenças elaborados durante processos adaptativos entre os seres vivos e ambientes.

No Brasil, as coleções etnobotânicas tem priorizado recursos e espécies vegetais de importância medicinal, a exemplo do que se tem em biomas da Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia (MELO et al., 2019). Esses tipos de coleções, que tiveram sua importância esquecida por muito tempo, ganharam maior destaque no começo desse século, por desempenhar papéis importantes no desenvolvimento de novos medicamentos (HEINRICH, 2000). Embora recentes no Brasil, algumas coleções tem se despontado pelo seu importante acervo etnobotânico consolidado, como unidades distribuídas no Rio de Janeiro (Jardim Botânico do Rio de Janeiro-JBRJ), no estado de Minas Gerais (Jardim Botânico da Fundação Zoobotânica de Minas Gerais-JBFZB-BH) no estado do Pará (Museu Paraense Emílio Goeldi-MPEG, Herbário Marlene Freitas da Silva-HMFS da Universidade do Estado do Pará-UEPA e Coleção Etnobotânica do Herbário do Instituto Federal do Pará-HIFPA, Campus Abaetetuba) e da Fundação Oswaldo Cruz-Fiocruz (Coleção Botânica de Plantas Medicinais-CBPM). Essas coleções desempenham importante função de conservação de conhecimentos associados a biodiversidade (MELO et al., 2019).

Contudo, vale salientar, a necessidade de compreender a importância que profissionais especializados estejam disponíveis para os estudos da biodiversidade brasileira a exemplo de taxonomistas, os quais são essenciais e que sua falta é um dos problemas científicos críticos no Brasil (GIULIETT et al., 2005; ELLWANGER et al., 2022). Notadamente com experiência de campo, de laboratório e especializado em alguma família botânica (GIULIETT et al., 2005). Logo, o conhecimento, a conservação e o uso sustentável dos recursos genéticos, passam pela taxonomia biológica que é a ciência que mais diretamente lida com a biodiversidade, especialmente nos níveis de espécies e com a diversidade genética (PEIXOTO; MORIN, 2003; SENNA et al., 2013; THOMPSON et al., 2018; MARINONI et al., 2024). Os quais tem grande contribuição na qualidade dos métodos de conservação, sobretudo na modalidade *ex situ*.

3.6 Domesticação, conservação e bioprospecção

Um procedimento bastante comum de interesse ao contexto dos recursos genéticos e bastante relacionado a modalidade *on farm*, é a domesticação de muitas plantas que, de acordo com Vieira et al. (2021), resultou da interação das sociedades humanas com os ecossistemas e se fez desenvolver uma forma de agricultura tradicional como é conhecida hoje.

As características de interesse envolvidas no processo de domesticação, que assinalam a síndrome da domesticação são principalmente de ordem quantitativa, como a maior uniformidade na emergência de plântulas; crescimento mais acelerado; aumento do tamanho de frutos e sementes; menor quantidade de ramos facilitando o processo de colheita, etc. (VEASEY et al., 2011; VIEIRA et al., 2021). Sendo um processo diferentemente do cultivo, em que este compreende um conjunto de cuidados dispensados na propagação de determinada espécie, visando exclusivamente a sobrevivência, produção e reprodução (JORGE, 2004).

Outra observação é que os parentes selvagens das culturas domesticadas possuem diversidade genética útil para o desenvolvimento de variedades de culturas mais produtivas, nutritivas e resilientes. No entanto, o seu estado de conservação e disponibilidade para utilização são uma preocupação e não foram quantificados globalmente. O que é necessário um esforço sistemático para melhorar a conservação e a disponibilidade de parentes silvestres de culturas para uso no melhoramento de plantas (CASTAÑEDA-ÁLVARES et al., 2016).

Fazendo-se valer, inclusive, para a bioindústria, no aproveitamento dos recursos genéticos enquanto potencial ativo da diversidade vegetal (ASTOLFI FILHO et al., 2014). As maneiras de abordagem referente a exploração, a extração, a manipulação, o uso e a aplicação dos recursos, segundo Palma e Palma (2012), estão incorporados de diferentes maneiras à cultura de quase todos os povos do mundo moderno e muitos destes recursos assumem o papel de *commodities* em grande parte da economia internacional.

A conservação também está relacionada a procedimentos de bioprospecção que podem ser explicadas por pontos de vista históricos de exploração dos recursos naturais que derivam dos tempos coloniais (DAVID et al., 2015). Contudo, a utilização desse termo, conforme sugere Berlink (2012), deveria ser mais ampla do que a de sua definição original, de maneira a incluir a descoberta, a descrição e o potencial de utilização de seres vivos, e como estes se relacionam com o ambiente, pois desse relacionamento ocorre a expressão de seu metabolismo, em parte na forma de metabólitos que atuam em diferentes níveis, como resultado do longo processo de evolução biológica.

Por outro lado, autores como Rocha e Araújo (2018); Santos et al. (2020); Ferreira et al. (2024) e Fernandes et al. (2025), fazem referência de que à legislação que trata sobre o tema não a define completamente, gerando publicações técnico-científicas e conceitos adotados pela comunidade científica brasileira com divergência de

interpretação. Além disso, a burocracia dificulta a efetivação da bioprospecção. Mesmo quando os pesquisadores conseguem cumprir todas as exigências legais, ainda persistem barreiras, como aquelas relacionadas à proteção de descobertas, que, de acordo com Pereira et al. (2025), desestimulam investidores e inviabilizam parcerias estratégicas.

Por outro lado, a legislação ambiental, especialmente no que se refere ao acesso a recursos genéticos, tem imposto entraves ao desenvolvimento de pesquisas em biodiversidade, como na catalogação, além da bioprospecção. Isso se deve à complexidade dos procedimentos e às exigências de licenciamento para o acesso ao patrimônio genético, mesmo diante dos avanços promovidos pela Lei da Biodiversidade. Nesse contexto, a morosidade e a burocracia dos processos têm desestimulado pesquisadores a dar continuidade às suas investigações (FERRO et al., 2006; FIGUEIROA, 2021).

Para Palma e Palma (2012), orientações técnicas confusas e muito abrangentes, ou mesmo muito específicas para serem aplicadas apenas a determinadas áreas de importância estratégica (como, por exemplo, o melhoramento vegetal), criam dificuldades de aplicação da legislação que regula o acesso aos recursos do patrimônio genético.

Deste modo, estes autores analisando algumas orientações técnicas do Conselho de Gestão do Patrimônio Genético do Ministério do Meio Ambiente (CGEN/MMA) sobre as etapas e finalidades envolvidas no processo da bioprospecção, reafirmam alguns conceitos. A exemplo do desenvolvimento tecnológico como sendo “*o trabalho sistemático, decorrente do conhecimento existente, que visa à produção de inovações específicas, à elaboração ou à modificação de produtos ou processos existentes, com aplicação econômica*”. E melhoramento genético vegetal, como “*conjunto de processos e atividades, visando a seleção de genótipos promissores para início das atividades de bioprospecção, envolvendo a obtenção de sementes ou plantas, no caso de espécies de propagação vegetativa, na fase da pesquisa científica. E que são submetidos a testes de DHE (distingüibilidade, homogeneidade e estabilidade) e de VCU (valor de cultivo e uso), além de ensaios equivalentes*”.

A realização e a confirmação da bioprospecção abrangem várias áreas do conhecimento, utilizando diferentes abordagens como a etnofarmacológica, a quimiosistemática e a biologia molecular para responder questões ecológicas e evolutivas (ASTOLFI FILHO et al., 2014). Após encerrada a atividade experimental exploratória, é possível confirmar a viabilidade de produção industrial ou comercial de um produto ou processo a partir do atributo funcional de determinado componente do patrimônio genético identificado como potencial de uso comercial (PALMA; PALMA, 2012).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proteção, a conservação e o uso sustentável da diversidade biológica brasileira devem ser prioridades estratégicas ao se considerar a transformação de produtos naturais e derivados em inovações, utilizando recursos genéticos e metabólitos essenciais com identificação e catalogação adequadas, e a consequente geração de conhecimento relacionado.

O conhecimento tradicional associado a biodiversidade é um patrimônio de extrema importância por possibilitar o melhor entendimento dos recursos genéticos, contribuindo para que o máximo de sua aplicação potencial seja obtida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINHO, J.L.; SANTANA, E.R.; FELIPE, K.B.; CHIQUITO, M.J.M. dos S. Copolyester-coated superparamagnetic iron oxide nanoparticles functionalized for biomedical applications. **Hematology, Transfusion and Cell Therapy**, v.47, p.103808, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.htct.2025.103808>
- ASTOLFI FILHO, S.; SILVA, C.G.N. da; BIGI, M. de F.M.A. Bioprospecção e biotecnologia. **Parcerias Estratégicas**, v.19, n.38, p.45-80, 2014.
- BARBA, R.Y.B.; SANTOS, N.D. A Bioeconomia no século XXI: Reflexões sobre Biotecnologia e Sustentabilidade no Brasil. **Revista de Direito e Sustentabilidade**, v.6, n.2, p.26-42, 2020.
- BARBOSA, M. de O.; RIVAS, A.A.F.; OLIVEIRA, L.A. de.; BUENAFUENTE, S.M.F. Bioeconomia: Um novo caminho para a sustentabilidade na Amazônia? **Research, Society and Development**, v.10, n.10, p. - e41101018545, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18545>
- BERLINCK, R.G.D.S. Bioprospecção no Brasil: um breve histórico. **Ciência e Cultura**, v.64, n.3, p.27-30, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252012000300010>
- BHANDARI, H.R.; BHANU, A.N.; SRIVASTAVA, K.; SINGH, M.N.; SHREYA, H.A. Assessment of genetic diversity in crop plants-an overview. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v.7, n.3, p.279-286, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.15406/apar.2017.07.00255>
- BOLZANI, V.D.S. Biodiversidade, bioprospecção e inovação no Brasil. **Ciência e Cultura**, v.68, n.1, p.04-05, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602016000100002>
- BRANDÃO, C.R.F.; RAMOS, K.D.S.; ULYSSÉA, M.A.; SANTOS, A.D.D.; ANDRADE, T.D.O. Princípios para a curadoria técnica do acervo entomológico do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo. **Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material**, v.29, n.e31, p.1-20, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-02672021v29e31>

- BRASIL, **Decreto nº 12.097, de 3 de julho de 2024**, Institui a Política Nacional de Conservação e Uso Sustentável dos Recursos Genéticos para a Alimentação, a Agricultura e a Pecuária. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/D12097.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%2012.097%2C%20DE%203,20%20de%20maio%20de%202015%2C>. Acesso em: 28 set. 2025.
- BRASIL, **Decreto nº 8.772, de 11 de maio de 2016, que Regulamenta a Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015, que dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade.** Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/decreto/d8772.htm>. Acesso em: 29 set. 2025.
- BRASIL, **Listas de espécies vegetais introduzidas no território nacional, 2021.** Instrução Normativa nº 14, de 8 de outubro de 2021. Ministério da Agricultura e Pecuária-MAPA. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-mapa-n-14-de-8-de-outubro-de-2021-351940285>>. Acesso em: 27 set. 2025.
- BRASIL. **Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015. (Lei da Biodiversidade), que dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade; revoga a Medida Provisória nº 2.186-16, de 23 de agosto de 2001; e dá outras providências, 2015.** Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113123.htm>. Acesso em: 15 out. 2024.
- BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (Lei de Crimes Ambientais), Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm. Acesso: 20.mar.2026.
- BRASIL. **Orientação Técnica CGEN/MMA nº 1, de 24 de setembro de 2003, que esclarece os conceitos de acesso e de remessa de amostras de componentes do patrimônio genético, 2003.** Publicação no D.O.U.: 24/10/2003 - Seção 1 - Pág. 79. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/patrimonio-genetico/conselho-de-gest%C3%A3o-do-patrim%C3%B4nio-gen%C3%A9tico/atividades-do-cgen-durante-a-vigencia-da-mp-n-2-186-16-2001/atos-e-normas-do-cgen/orienta%C3%A7%C3%B5es-t%C3%A9cnicas.html>>. Acesso em: 15 dez. 2024.
- BRASIL. **Reflora - Plantas do Brasil: Resgate Histórico e Herbário Virtual para o Conhecimento e Conservação da Flora Brasileira.** Flora e Funga in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB128461> Acesso em: 25 jan. 2026.
- CAMARGO JÚNIOR, R.N.C.; SILVA, W.C. da.; SILVA, É.B.R. da.; SÁ, P.R. de.; FRIAES E.P.P.; COSTA, B.O. da.; ROCHA, C.B.R.; SILVA, L.C.M.S. da.; BORGES, D.C.; CRUZ, S.L.F. de.; NINA, L.M.B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.A. de. Revisão integrativa, sistemática e narrativa-aspectos importantes na elaboração de uma revisão de literatura. **Revista ACB: Biblioteconomia em Santa Catarina**, v.28, n.1, p.1-15, 2023.
- CARDOSO, E.A. “Uma Revisão acerca de biorrefinarias com base lignocelulósic: aspectos atuais”, **Latin American Journal of Energy Research**, v.10, n.1, p.67-76, 2023. DOI: <https://doi.org/10.21712/lajer.2023.v10.n1.p67-76>
- CASTAÑEDA-ÁLVAREZ, N.P.; KHOURY, C.K.; ACHICANOY, H. A.; BERNAU, V.; DEMPEWOLF, H.; EASTWOOD, R. J.; ...; TOLL, J. Global conservation priorities for crop wild relatives. **Nature Plants**, v.2, n.4, p. 1-6, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.22>
- CBD. **The Convention on Biological Diversity**, 2016. Disponível em: <https://www.cbd.int/convention/text>. Acesso em: 10 abr. 2024.
- CORDEIRO, A.M.; OLIVEIRA, G.M.D.; RENTERÍA, J.M.; GUIMARÃES, C.A. Revisão sistemática: uma revisão narrativa. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, v.34, n.6, p. 428-431, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69912007000600012>
- CORLETT, R.T. Plant diversity in a changing world: status, trends, and conservation needs. **Plant Diversity**, v.38, n.1, p.10-16, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pld.2016.01.001>
- CORNISH, C.; NESBITT, M. Historical perspectives on Western ethnobotanical collections. In: SALICK, J.; KONCHAR, K.; NESBITT, M. (Ed.). **Curating biocultural collections: A handbook**. Richmond: Kew Publishing, 2014, p. 271-285.
- DAVID, B.; WOLFENDER, J.L.; DIAS, D.A. The pharmaceutical industry and natural products: historical status and new trends. **Phytochem Reviews**, v.14, p.299–315, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11101-014-9367-z>

- DIAS, K.N.L.; SILVA, A.N.F.; GUTERRES, A.V.F.; LACERDA, D.M.A.; ALMEIDA JÚNIOR, E.B. de. A importância dos Herbários na construção de conhecimentos sobre a diversidade vegetal. **Revista Trópica-Ciências Agrárias e Biológicas**, v.11, n.1, p.25-35, 2019.
- DIERIG, D.; BLACKBURN, H.; ELLIS, D.; NESBITT, M.A.R.K. **Curating seeds and other genetic resources for ethnobiology**. In: SALICK, J.; KONCHAR, K.; NESBITT, M. (Ed). Curating biocultural collections: A handbook. Book Chapter Cumbria. Kew Publishing. p. 97-115, 2014.
- DUARTE, L.M.L.; ALEXANDRE, M.A.V.; LEVI, A.; CHAVES, R.; NAGAI, A.; SANTOS, D.Y.A.C. dos. Substâncias naturais de plantas: relação com a defesa em infecções virais e aplicação na agricultura sustentável. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v.29, p.79-105, 2023. DOI: <https://doi.org/10.31976/0104-038321v290004>
- ELLWANGER, J.H.; NOBRE, C.A.; CHIES, J.A.B. Brazilian biodiversity as a source of power and sustainable development: a neglected opportunity. **Sustainability**, v.15, n.1, p.1-16, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15010482>
- ESQUINAS-ALCÁZAR, J. Protecting crop genetic diversity for food security: political, ethical and technical challenges. **Nature Reviews Genetics**, v.6, n.12, p.946-953, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrg1729>
- FAO. **Sustainable forest-based bioeconomy approaches**. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura – FAO/ONU, 2020. Disponível em: https://www.fao.org/forestry/our-focus/forest-products/bioeconomy/?utm_source=chatgpt.com. Acesso: 28.mar.2026.
- FELIX JÚNIOR, R.C.; LIMA, C.P.; VIANI, R.B.; FONSECA, A.S.D.A. The relationship between innovation ecosystem and bioeconomy: A bibliometric review. **International Journal of Innovation**, v.13, n.2, p. e26936, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5585/2025.26936>
- FERNANDES, A.M.; TEIXEIRA, O.de.S.; GARCIA, E.B.; MATOS, M.L.C.; MATOS, G.B.da.C.; PAZDIORA, R.D. Biodiversidade na Amazônia Brasileira: Prospecção Científica e Tecnológica. **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v.14, n.2, p.225–245, 2025. DOI: <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2025v14i2.p225-245>
- FERNANDES, J.M.B.; VIEIRA, L.T.; CASTELHANO, M.V.C. Revisão narrativa enquanto metodologia científica significativa: reflexões técnicas-formativas. **REDES-Revista Educacional da Sucesso**, v.3, n.1, p.1-7, 2023.
- FERREIRA, F.N.; TUPIASSU, L.; GROS-DÉSORMEAUX, J.-R. Reinterpretando a conservação do saber local no marco legal da biodiversidade. **Revista da Faculdade de Direito UFPR**, v.69, n.1, p.67–90, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5380/rfdufpr.v69i1.89309>
- FERRO, A.F.; BONACELLI, M.B.; ASSAD, A.L. Uso da biodiversidade e acesso a recursos genéticos no Brasil: atual regulamentação dificulta pesquisa e desenvolvimento. **Inovação Uniemp**, v.2, n.2, p.16-17, 2006.
- FIGUEIROA, R.G. **Patrimônio genético: os impactos do marco legal da biodiversidade brasileira e suas implicações na pesquisa, na sociedade e na economia**. 2021. 173p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-UFMG.
- FONSECA, R.S.; VIEIRA, M.F. **Coleções botânicas com enfoque em herbário**. Viçosa: UFV, 2015, 26p.
- GAMA, D.C.; DEUS, D.A. de.; SOUZA, M.O. de.; SANTOS, A.C.P. dos.; BOTELHO, T.S.; COSTA, M.M. da.; VIDAL, R.B.M.; VIDAL, C.B.M.; SANTOS NETO, J.C. dos.; MIGUEZ, L.S. Fibras vegetais no Brasil: um potencial socioeconômico e biotecnológico, In: ZUFFO, A.M.; AGUILERA, J.G.; MARQUES, L.F. (Ed.). **Inovações em pesquisas agrárias e ambientais**, Nova Xavantina: Pantanal, 2024, p.18-41. DOI: <https://doi.org/10.46420/9786585756310cap2>
- GARCIA-LOR, A.; LURO, F.; OLLITRAULT, P.; NAVARRO, L. Comparative analysis of core collection sampling methods for mandarin germplasm based on molecular and phenotypic data. **Annals of Applied Biology**, v.171, n.3, p.327-339, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/aab.12376>
- GIULIETTI, A. M.; QUEIROZ, L. P. de.; WANDERLEY, M.D.G.L.; VAN DEN BERG, C.A.S.S.I.O. Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil. **Megadiversidade**, v.1, n.1, p.52-61, 2005.
- GOVINDARAJ, M.; VETTRIVENTHAN, M.; SRINIVASAN, M. Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: an overview of its analytical perspectives. **Genetics Research International**, v.431487, p.1-14, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/431487>
- GUERRANT JÚNIOR, E.O.; HAVENS, K.; VITTI, P. Sampling for effective ex situ plant conservation. **International Journal of Plant Sciences**, v.175, n.1, p.11-20, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1086/674131>
- GUPTA, S.; SINGH, K.; GUPTA, V. Genetic resource conservation of horticultural crops in India-Achievements and issues. **Progressive Horticulture**, v.51, n.1, p.16-29, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5958/2249-5258.2019.00002.2>

- HART, R.O.B.B.I.E.; LAW, W.A.Y.N.E.; JACKSON, P.W. Biocultural collections for conservation, In: SALICK, J.; KONCHAR, K.; NESBITT, M. (Ed.). **Curating biocultural collections: A handbook**. Richmond: Kew Publishing, 2014, p.319-336.
- HEYWOOD, V.H. In situ conservation of plant species—an unattainable goal?. **Israel Journal of Plant Sciences**, v.63, n.4, p.211-231, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/07929978.2015.1035605>
- HUGHES, A.R.; INOUE, B.D.; JOHNSON, M.T.; UNDERWOOD, N.; VELLEND, M. Ecological consequences of genetic diversity. **Ecology Letters**, v.11, n.6, p.609-623, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01179.x>
- ISIKGOR, F.H.; BECER, C.R. Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers. **Polymer Chemistry**, v.6, n.25, p.4497-4559, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5PY00263J>
- ISSA, I.; DELBRÜCK, S.; HAMM, U. Bioeconomy from experts' perspectives—Results of a global expert survey. **PloS one**, v.14, n.5, p.e0215917, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215917>
- JORGE, M.H.A. **A domesticação de plantas nativas do Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2004, 20p.
- KÄGI, C.; PETITPIERRE, B.; MEYER, P.; LÖTSCHER, Y.; EGGENBERG, S.; AUBRY, S. Fostering in situ conservation of wild relatives of forage crops. **Frontiers in Plant Science**, v.14, p.1287430, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1287430>
- KAUR, S.; SAMOTA, M.K.; CHOUDHARY, M.; CHOUDHARY, M.; PANDEY, A.K.; SHARMA, A.; THAKUR, J. How do plants defend themselves against pathogens—Biochemical mechanisms and genetic interventions. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.28, n.2, p.485-504, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12298-022-01146-y>
- KHAN, S.; NABI, G.; ULLAH, M.W.; YOUSAF, M.; MANAN, S.; SIDDIQUE, R.; HOU, H. Overview on the role of advance genomics in conservation biology of endangered species. **International Journal of Genomics**, v.2016, n.3460416, p.1-8, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/3460416>
- KHOURY, C. K.; BJORKMAN, A.D.; DEMPEWOLF, H.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; GUARINO, L.; JARVIS, A.; ...; STRUIK, P.C. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.111, n.11, p.4001-4006, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1313490111>
- KHOURY, C.K.; BRUSH, S.; COSTICH, D.E.; CURRY, H.A.; HAAN, S.D.; ENGELS, J.M.; ...; THORMANN, I. Crop genetic erosion: understanding and responding to loss of crop diversity. **New Phytologist**, v.233, n.1, p.84-118, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.17733>
- KLUG, W.S.; CUMMINGS, M.R.; SPENCER, C.A.; PALLADINO, M.A. **Conceitos de genética**. Porto Alegre: Artmed, 2009, 896p.
- KOCHEPKA, D.M.; DILL, L.P.; FOCKINK, D.H.; ŁUKASIK, R.M. Contribution to the production and use of biomass-derived solvents—a review. **Acta Innovations**, v.35, p.29-56, 2020.
- KROSS, S. M.; INGRAM, K.P.; LONG, R.F.; NILES, M.T. Farmer perceptions and behaviors related to wildlife and on-farm conservation actions. **Conservation Letters**, v.11, n.1, p.e12364, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/conl.12364>
- LANGRIDGE, P.; WAUGH, R. Harnessing the potential of germplasm collections. **Nature Genetics**, v.51, n.2, p.200-201, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41588-018-0340-4>
- LI, J.W.; OZUDOGRU, E.A.; LI, J.; WANG, M.R.; BI, W.L.; LAMBARDI, M.; WANG, Q.C. Cryobiotechnology of forest trees: recent advances and future prospects. **Biodiversity and Conservation**, v.27, p.795-814, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1481-y>
- LIU, M.; HU, X.; WANG, X.; ZHANG, J.; PENG, X.; HU, Z.; LIU, Y. Constructing a core collection of the medicinal plant *Angelica biserrata* using genetic and metabolic data. **Frontiers in Plant Science**, v.11, p.600249, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.600249>
- MACHADO, L.C.; OLIVEIRA, V.C.; PARAVENTI, M.D.; CARDOSO, R.N.; MARTINS, D.S.; AMBRÓSIO, C.E. Maintenance of Brazilian Biodiversity by germplasm bank. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.36, p.62-66, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2016000100010>
- MACIEL, L.R. A lacuna legislativa sobre biopirataria no Brasil e como mudar a atual situação. **Revista Thesis Juris**, v.3, n.1, p.224-242, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5585/rtj.v3i1.104>
- MAGALHÃES, V.G. Convenção sobre a Diversidade Biológica (CDB): A Necessidade da revisão do seu texto substituindo o termo “Recursos Genéticos” Por “Recursos Biológicos” Nos Arts. 1, 9, 15, 16 e 19. **Revista Eletrônica do Curso de Direito**, v.1, n.1, p.16-32, 2006.

- MARINONI, L.; BASÍLIO, D.S.; GASPER, A.L.D. **Coleções biológicas científicas brasileiras: diagnóstico, prioridades e recomendações**. Curitiba: Associação Brasileira de Zoologia, 2024. 175p.
- MASCHER, M.; SCHREIBER, M.; SCHOLZ, U.; GRANER, A.; REIF, J. C.; STEIN, N. Genebank genomics bridges the gap between the conservation of crop diversity and plant breeding. **Nature Genetics**, v.51, n.7, p.1076-1081, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41588-019-0443-6>
- MCGONIGLE, I.V. Patenting nature or protecting culture? Ethnopharmacology and indigenous intellectual property rights. **Journal of Law and the Biosciences**, v.3, n.1, p.217-226, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1093/jlb/lsw003>
- MELLO-THÉRY, N.A.D. Ambiente, desenvolvimento e políticas de biodiversidade (Brasil). **Finisterra**, v.53, n.109, p.133-148, 2018.
- MELO, P.M.C.D.O.; FONSECA-KRUEL, V.S.D.; LUCAS, F.C.A.; COELHO-FERREIRA, M. Coleções etnobotânicas no Brasil frente à estratégia global para a conservação de plantas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v.14, n.1, p.665-676, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981.81222019000200020>
- NODARI, R.O.; GUERRA, M.P. A agroecologia: estratégias de pesquisa e valores. **Estudos Avançados**, v.29, p.183-207, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142015000100010>
- OLIVEIRA, C.D.; CAMPOS, L.V.S.A.D.; LIRA, L.A.D.S.; SANTOS, R.V.D.R.; MADEIRA, S.G. **Direito fundamental ao patrimônio genético: estudos sobre a criminalização da biopirataria no Brasil**, 2024, 135p. DOI: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/28111>
- OLIVEIRA, J.; BARRETO, A.; SILVA, L.; RHODEN, S. Fungos, diversidade e prospecção no Brasil: Um recurso pouco explorado? **Metodologias e Aprendizado**, n.4, p.149-163, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21166/metapre.v4i.1959>
- OLIVEIRA, T. J. de A; UMMUS, M.E.; MUÑOZ, A. E.P.; VASCO, K.D.L. Uma perspectiva espacial da bioeconomia na Amazônia brasileira. **Informe GEPEC**, v. 28, n. 2, p. 117–138, 2024. DOI: <https://doi.org/10.48075/igepec.v28i2.33222>
- ORLOVIĆ, S.; IVANKOVIĆ, M.; ANDONOSKI, V.; STOJNIĆ, S.; ISAJEV, V. Forest genetic resources to support global bioeconomy. **Annals of Silvicultural Research**, v.38, n.2, p.51-60, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.12899/ASR-942>
- OUBORG, N.J.; PERTOLDI, C.; LOESCHCKE, V.; BIJLSMA, R.K.; HEDRICK, P.W. Conservation genetics in transition to conservation genomics. **Trends in Genetics**, v.26, n.4, p.177-187, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tig.2010.01.001>
- PADUA, C.V.; CHIARAVALLOTTI, R.M. Pesquisa e conhecimento na gestão de unidades de conservação. **ECOS**, v.2, n.2, p.139-155, 2012.
- PALMA, C.M.; PALMA, M.S. Bioprospecção no Brasil: análise crítica de alguns conceitos. **Ciência e Cultura**, v.64, n.3, p.22-26, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252012000300009>
- PASCUAL, U.; ADAMS, W.M.; DÍAZ, S.; LELE, S.; MACE, G.M.; TURNHOUT, E. Biodiversity and the challenge of pluralism. **Nature Sustainability**, v.4, n.7, p.567-572, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00694-7>
- PATHAK, M.R.; ABIDO, M.S. The role of biotechnology in the conservation of biodiversity. **Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences**, v.2, n.4, p. 353-363, 2014.
- PATNAIK, B.B.; LEE, Y.S. The utility of transcriptomics in the conservation of sensitive and economically important species. **Journal of Environmental Biology**, v.44, n.4, p.I-IV, 2023.
- PEIXOTO, A.L.; MORIM, M.P. Coleções botânicas: documentação da biodiversidade brasileira. **Ciência e Cultura**, v.55, n. 3, p. 21-24, 2003.
- PEREIRA, A.M.; REYDON, B.P.; SILVEIRA, J.M.F.J.da. Bioprospecção, biodiversidade e conhecimentos tradicionais: uma proposta de modelo institucional para o Brasil. **Aracê**, v.7, n.4, p.20222-20243, 2025. DOI: <https://doi.org/10.56238/arev7n4-263>
- PINTO, R.G. A pesquisa sobre conflitos ambientais e o assédio processual a pesquisadores no Brasil. **Revista Antropolítica**, v.36, p.49-82, 2014.
- PINTO-ZEVALLOS, D.M.; ZARBIN, P.H. A química na agricultura: perspectivas para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis. **Química Nova**, v.36, p.1509-1513, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013001000005>
- PIZZUTTO, C.S.; ARAÚJO, G.R.D.; CSEMARK-JR.A.C.; JORGE-NETO, P.N.; LUCZINSKI, T.C.; DECO-SOUZA, T.D. Uma visão integrada das biotecnologias reprodutivas com o conceito de one conservation.

- Revista Brasileira de Reprodução Animal.** v.45, n.4, p.241-245, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21451/1809-3000.RBRA2021.031>
- POLICARPO, M.A.; SAMBUICHI, R.H.R.; ALVES, F.; PACÍFICO, D.A.; GUALDANI, C.; BRATZ, F. **Desafios e oportunidades para o avanço da produção de bioinsumos no Brasil.** Brasília-DF: Ipea, 2025. 68 p. DOI: <https://doi.org/10.38116/td3133-port>
- PRIYANKA, V.; KUMAR, R.; DHALIWAL, I.; KAUSHIK, P. Germplasm conservation: Instrumental in agricultural biodiversity - A review. **Sustainability**, v.13, n.12, p.6743, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13126743>
- PUSHPANGADAN, P.; GEORGE, V.; IJINU, T. P.; CHITHRA, M. A. Biodiversity, bioprospecting, traditional knowledge: sustainable development and value added products: a review. **Journal of Traditional Medicine & Clinical Naturopathy**, v.7, n.1, p.1-7, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4172/2573-4555.1000256>
- RAMSEY, S.M.; BERGTOLD, J.S.; CANALES, E.; WILLIAMS, J.R. Farmers' risk perceptions of intensified conservation practices on-farm. **Research in Agricultural & Applied Economics**, p.1-26, 2016. DOI: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.236276>
- RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia vegetal**, 8º ed. Barueri: Guanabara Koogan, 2014, 876p.
- RAWAT, U.; AGARWAL, N.K. Biodiversity: Concept, threats and conservation. **Environment Conservation Journal**, v.16, n.3, p.19-28, 2015. DOI: <https://doi.org/10.36953/ECJ.2015.16303>
- REZENDE, E.A.; RIBEIRO, M.T.F. Conhecimento tradicional, plantas medicinais e propriedade intelectual: biopirataria ou bioprospecção. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.7, n.3, p.37-44, 2005.
- RIBEIRO, N.P.; SANCHES, C.C.; OLIVEIRA, M.Â.C.; COSTA, R.B. Biodiversidade e conservação de recursos genéticos de espécies arbóreas. **Multitemas**, v.21, n.50, p.31-49 2016. DOI: <https://doi.org/10.20435/688>
- RIBEIRO, R.M.P.; PEREIRA, C.C.A.; LINS, H.A.; BARBOZA, M.; CARVALHO, I.D.E.D.; SOUSA NUNES, G.H.D.S.; ...; BARROS JÚNIOR, A. P. Genetic divergence between pumpkin accessions for morphoagronomic characters. **Bioscience Journal**, v.38, n.e38002, p.1981-3163, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v38n0a2022-54198>
- ROCHA, M.C.A. da.; ARAÚJO, L.E.B. de. (2018). Biodiversidade brasileira: biopirataria e a proteção dos conhecimentos tradicionais. **Revista Direito UFMS**, v.4, n.1, p. 57-73, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21671/rdufms.v4i1.5484>
- SAIER JÚNIOR, M.H. Understanding the genetic code. **Journal of Bacteriology**, v.201, n.15, p.10-1128, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1128/JB.00091-19>
- SALGOTRA, R.K.; CHAUHAN, B.S. Genetic diversity, conservation, and utilization of plant genetic resources. **Genes**, v.14, n.174, p.1-20, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes14010174>
- SANTONIERI, L.; BUSTAMANTE, P.G. Conservação ex situ e on farm de recursos genéticos: desafios para promover sinergias e complementaridades. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v.11, p.677-690, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981.81222016000300008>
- SANTOS, C.C.D.; ANDRADE, L.R.B.D.; CARMO, C.D.D.; OLIVEIRA, E.J.D. The Development of Thematic Core Collections in Cassava Based on Yield, Disease Resistance, and Root Quality Traits. **Plants**, v.12, n.19, p.3474, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12193474>
- SANTOS, C.V.D.; SILVA, F.M. Tecnologias e produtos decorrentes do acesso ao patrimônio genético brasileiro e aos conhecimentos tradicionais associados: estudo dos recursos informacionais relativos à Mata Atlântica. **Em Questão**, v.29, p.e-130145, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1808-5245.29.130145>
- SANTOS, L.A. dos.; FERREIRA, P.da S.; ARAUJO, Y.V. Bioprospecção: uma mini revisão quanto ao uso e a conservação da biodiversidade como elo entre os sistemas ecológicos e os sistemas humanos. **REVISTA FIMCA**, v.7, n.2, p.34-38, 2020. DOI: <https://doi.org/10.37157/fimca.v7i2.116>
- SENNA, A.R.; FIGUEIRÓ, R.; ANDRADE, L.F.; SARDELLA, C.J.; GUEDES-SILVA, E.; SOUZA-FILHO, J.F.; MIRANDA, G.S.; OLIVEIRA, G.R.; FERREIRA, R.L.; DOCILE, T.N. A importância e os desafios para o conhecimento e a catalogação da biodiversidade no Brasil. **Acta Scientiae et Technicae**, v.1, n.1, p.54-86, 2013.
- SILVA NETO, O da.; ZANTUT, L.T.E. O combate à biopirataria brasileira: uma análise legislativa. **Revista de Ciências Jurídicas e Sociais**, v.20, n.1, p.119-136, 2017. DOI: <https://doi.org/10.25110/rcjs.v20i1.2017.6736>
- SILVA NETO, O.da.; ZANTUT, L. T. E. O combate à biopirataria brasileira: uma análise legislativa. **Revista de Ciências Jurídicas e Sociais da UNIPAR**, v.20, n.1, p.119-136, 2017.

- SILVA, A.R.; SOUZA, A.L.P.; SANTOS, E.A.A.D.; LIMA, G.L.; PEIXOTO, G.C.X.; SOUZA, P.C.; CASTELLO, T.S. Formação de bancos de germoplasma e sua contribuição para a conservação de espécies silvestres no Brasil. **Ciência Animal**, v.22, n.1, p.219-234, 2012.
- SILVA, F.M.; OLIVEIRA, L.R.A.de.; PEDROZA, M.M.; COLEN, A.G.N.; AMARAL, P.H.B.do.; MARQUES, M.S. Produção de materiais renováveis utilizando biomassa agroindustrial (soja) por meio de reator termoquímico. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica**, v.13, n.3, p.682-697, 2020. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xc.2020.13.3.65102>
- SILVA, L.F.; SOUZA, D.C.D.; RESENDE, L.V.; GONÇALVES, W.M. Manejo de recursos genéticos vegetais. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v.15, n.1, p.109-126, 2018.
- SILVA, R.S. da.; SCHIOCCHET, T. A biotecnologia e a possibilidade de compatibilização das patentes com a proteção dos conhecimentos tradicionais associados. **Scientia Iuris**, v.17, n.2, p.211-230, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5433/2178-8189.2013v17n2p211>
- SIMAN FILHO, A.J.; SANFELICE, R.C. Estudo bibliográfico sobre polímeros ambientalmente sustentáveis. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v.3, n.2, p.131-148, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18554/rbcti.v3i2.3347>
- SNYDER, M.; GERSTEIN, M. Defining genes in the genomics era. **Science**, v.300, n.5617, p.258-260, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.108435>
- STEPHENSON, P.J.; DAMERELL, A. Bioeconomy and circular economy approaches need to enhance the focus on biodiversity to achieve sustainability. **Sustainability**, v.14, n.17, p.10643, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141710643>
- TERRA, T.G.R.; LEAL, T.C.A.D.B.; RANGEL, P.H.N.; OLIVEIRA, A.B.D. Características de tolerância à seca em genótipos de uma coleção nuclear de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, p.788-796, 2015.
- THOMSON, S.A.; PYLE, R.L.; AHYONG, S.T.; ALONSO-ZARAZAGA, M.; AMMIRATI, J.; ARAYA, J.F.; ...; SEGERS, H. Taxonomy based on science is necessary for global conservation. **PLoS biology**, v.16, n.3, p.e2005075, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2005075>
- UCELLA-FILHO, J.G.M.; LUCAS, F.M.F.; ALMEIDA, D.D.M.; SILVA, B.R.F.D.; ALMEIDA, D.D.M.; BRITO, D.Y.O.D.; AZEVEDO, T.K.B.D. Biodiverse neighborhoods: an ex-situ conservation tool. **Ornamental Horticulture**, v.28, p.8-18, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v28i1.2388>
- VEASEY, E.A.; PIOTTO, F.A.; NASCIMENTO, W.F.D.; RODRIGUES, J.F.; MEZETTE, T.F.; BORGES, A.; ...; MISTRO, J.C. Processos evolutivos e a origem das plantas cultivadas. **Ciência Rural**, v.41, p.1218-1228, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000700018>
- VIEIRA, L. do N.; FRAGA, H.P. de F.; SERBIN, G.M.; SILVA, R.S. da; STEFANELLO, C.A.; CLEMENT, C.R. Domesticação de plantas: um processo co-evolutivo. **Genética na Escola**, v.16, n.2, p.356-367, 2021.
- VISENTIN, M.A.D.R. Acesso a recursos genéticos, repartição de benefícios e propriedade intelectual: a conservação da biodiversidade e os direitos de patentes. **Veredas do Direito**, v.9, n.17, p.163-163, 2012. DOI: <https://doi.org/10.18623/rvd.v9i17.229>
- WILSON, E.O. **Diversidade da vida**. São Paulo: Companhia das Letras, 2008, 446p.
- ZAMBANINI, M.E.; BRESCIANI, L.P.; PEREIRA, R. da S.; SOUZA, D.A de.; ORTEGA, G. Sustentabilidade e inovação: um estudo sobre o plástico verde. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.7, n.2, p.429-453, 2014. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2014v7n2p429>