

CONSERVAÇÃO E DIVERSIDADE GENÉTICA EM ÁRVORES

Lucas Ferraz dos Santos¹;

Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, Piauí.

<https://lattes.cnpq.br/8936752447215722>

Eullaysa Nascimento Sabóia².

Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, Piauí.

<http://lattes.cnpq.br/1165875409508326>

RESUMO: O desmatamento tem causado impactos negativos, como perda de biodiversidade e fragmentação florestal, ameaçando especialmente espécies arbóreas. A fragmentação, somada às mudanças climáticas, compromete o fluxo gênico, aumenta a endogamia e reduz a diversidade genética das populações. A diversidade genética é fundamental para a adaptação e evolução das espécies, em especial, as árvores necessitam manter níveis elevados de diversidade genética para conseguirem se adaptar a adversidades ambientais, pois são espécies de vida longa e imóveis. Dessa forma, a avaliação e manutenção da diversidade genética é crucial para a conservação. A importância da diversidade genética para as espécies vem dessa variação alélica entre os indivíduos o que torna os seres com constituição genética diferenciada, e assim com maior capacidade de suportar mudanças. Dessa forma, populações que mantêm a diversidade genética original têm maior capacidade evolutiva. A conservação in situ, feita no ambiente natural, e a ex situ, realizada fora do habitat original, são abordagens complementares para proteger a variabilidade genética. A estratégia de conservação in situ é preferencialmente indicada para espécies florestais, pois esse modo de conservação permite que o equilíbrio entre a população e o ambiente seja mantido, e os processos evolutivos possam atuar em todo o ecossistema. A utilização de estratégias de conservação ex situ tem recebido atenção devido à dificuldade em manter ecossistemas naturais viáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Fragmentação florestal. Variabilidade genética. Conservação in situ. Conservação ex situ

ABSTRACT: Deforestation has led to negative impacts such as biodiversity loss and forest fragmentation, posing a significant threat particularly to tree species. Fragmentation, combined with climate change, compromises gene flow, increases inbreeding, and reduces the genetic diversity of populations. Genetic diversity is essential for species adaptation and evolution—especially for trees, which, due to their long lifespan and immobility, must maintain high levels of genetic diversity to adapt to environmental challenges. Thus, the assessment and preservation of genetic diversity are crucial for conservation. The importance of genetic diversity lies in the allelic variation among individuals, which results in genetically distinct organisms with enhanced capacity to withstand environmental changes. Consequently, populations that retain their original genetic diversity possess greater evolutionary potential. In situ conservation, carried out in the natural environment, and ex situ conservation, conducted outside the original habitat, are complementary approaches to safeguard genetic variability. The in situ strategy is preferably recommended for forest species, as it allows the equilibrium between the population and the environment to be maintained, enabling evolutionary processes to occur across the entire ecosystem. The use of ex situ conservation strategies has gained attention due to the increasing difficulty in sustaining viable natural ecosystems.

KEY-WORDS: forest fragmentation, genetic variability, in situ conservation, ex situ conservation

INTRODUÇÃO

As árvores desempenham funções cruciais em ecossistemas naturais e urbanos. Essas funções vão desde manutenção da fertilidade do solo, conexão dos ecossistemas, manutenção da Biodiversidade, criação de microclima, melhoria da qualidade de vida das pessoas. Deve-se ressaltar que que esses benefícios são potencializados quando se trata de florestas formadas por árvores antigas (BOND et al., 2008; GILHEN-BAKER et al., 2022; TURNER-SKOFF; CAVENDER, 2019; YAN et al., 2023). Além dos benefícios ecológicos e de bem-estar. Os recursos florestais são largamente utilizados para fins econômicos, e impulsionam a economia em diversos países (HETEMÄKI; HURMEKOSKI, 2016). A grande abrangência desse setor, que envolve a produção e colheita de madeira, fabricação em várias indústrias e transporte de produtos, tem forte influência na condição e estrutura das florestas e também em questões sociais, pois geram empregos (BUONGIORNO et al., 2003; HETEMÄKI; HURMEKOSKI, 2016). Entretanto, a utilização de recursos naturais que envolvem exploração de árvores, degradação do solo, desequilíbrio hidrológico, geram impactos globais negativos para o meio ambiente (INDARTO, 2016).

O desmatamento ainda é o principal motivo para extinção de espécies (NORRIS, 2016). Com o aumento dessa ação, os níveis de ameaça contra espécies arbóreas tendem a aumentar (ROCHA-SANTOS et al., 2019). A perda histórica e contínua de florestas pode causar declínios populacionais; há projeções de que cerca de 30% das espécies de árvores amazônicas estarão em risco de extinção até 2050 (GOMES et al., 2019). Na Floresta Atlântica, 1544 espécies de plantas estão sob ameaça de extinção (MARTINELLI et al., 2013). Além disso, houve uma redução na área de distribuição de espécies arbóreas importantes desse bioma, como *P. echinata*, *Euterpe edulis* e *Inga sessilis* (BUENO; LIMA, 2002; CANALE et al., 2012; PAGLIA et al., 2008). Na Caatinga, único bioma exclusivamente brasileiro, restam apenas 59,6% de cobertura vegetal nativa (IBGE, 2009; MAPBIOMAS BRASIL, 2025). Diversas espécies arbóreas utilizadas no comércio madeireiro são incluídas em listas oficiais de espécies sob ameaça de extinção (IUCN, 2022).

Estratégias de conservação de espécies ameaçadas de extinção visam preservar a diversidade genética dessas espécies (VOLIS & BLECHER 2009). Os níveis de diversidade genética distribuída entre e dentro das populações, aliado a fatores ecológicos delineiam a trajetória evolutiva das espécies (KRAMÉ et al. 2008; HUGHES et al. 2008). Compreender o nível e estruturação da diversidade genética neutra em plantas pode auxiliar na orientação das decisões de conservação e restauração.

REFERENCIAL TEÓRICO

Fragmentação florestal

A exploração dos biomas tem levado a degradação de importantes domínios que mantém a biodiversidade do planeta. Por causa disso, muitas espécies da fauna e da flora estão ameaçadas de extinção (GALINDO-LEAL et al. 2005). Um reflexo da exploração ambiental é a fragmentação florestal, que consiste na conversão de uma vegetação contínua em áreas isoladas com redução e isolamento das populações. A fragmentação de ecossistemas naturais tem efeitos danosos sobre a biodiversidade, pois em decorrência dela pode ocorrer redução nas taxas de migração, aumento das taxas de mortalidade, deriva genética, efeito de borda e perda de espécies raras e ameaçadas de extinção.

Somada à fragmentação, as mudanças climáticas também são uma ameaça a biodiversidade, pois impossibilitam que as espécies continuem nos seus habitats de origem, devido as alterações na temperatura, e por isso elas tendem a se deslocar para regiões com temperaturas adequadas, entretanto, mudanças climáticas rápidas podem não ser compatíveis com esses processos evolutivos. Além disso, ao diminuir a cobertura vegetal, a fragmentação elimina prováveis regiões que poderiam apresentar climas favoráveis para abrigar espécies e assim ajudar a manter a biodiversidade (MARTÍNEZ-MEYER et al., 2004). Esse impacto negativo causado pelas alterações climáticas e pela fragmentação também recai sobre espécies arbóreas causando uma redução potencial na sua área de ocorrência (COLOMBO & JOLY 2010; FRANKHAM et al., 2017). Todos esses fatores podem levar a

uma perda da diversidade genética das espécies.

Diversidade genética na conservação de árvores

A diversidade genética, que também pode ser entendida como polimorfismo, consiste no nível de variabilidade gênica existente em cada população (FUTUYMA, 1992). Essa variabilidade advém da variação na sequência de bases nitrogenadas do DNA, visto que, algumas regiões do DNA são cabíveis de variações, mesmo em indivíduos da mesma espécie. A importância da diversidade genética para as espécies vem dessa variação alélica entre os indivíduos o que torna os seres com constituição genética diferenciada, e assim com maior capacidade de suportar mudanças. Dessa forma, populações que mantêm a diversidade genética original têm maior capacidade evolutiva. Por isso, muitos estudos voltados para conservação tem o objetivo de conhecer a diversidade genética de espécies.

Pesquisas apontam a perda da diversidade genética em espécies arbóreas que habitam paisagens fragmentadas, demonstrando alterações nas suas dinâmicas do ponto de vista genético. Estas alterações genéticas referem-se à limitação no fluxo gênico, aumento de endogamia, deriva genética, e podem ser identificadas através da aplicação dos marcadores moleculares (LEMES *et al.*, 2003). Espécies florestais necessitam manter níveis elevados de diversidade genética para conseguirem se adaptar a adversidades ambientais, pois são espécies de vida longa e imóveis (POTTER *et al.*, 2017). Estudos de diversidade genética com espécies de interesse econômico e que estão sob ameaça de extinção são desenvolvidos com intuito de preservar os recursos genéticos (DE ALMEIDA *et al.*, 2015; LIU *et al.*, 2019). A preservação desses recursos permite que medidas de conservação ocorram de maneira eficaz e fornece a base para que o melhoramento florestal de espécies madeireiras nativas, que possuem alto valor econômico (COALIZÃO BRASIL CLIMA, FLORESTAS E AGRICULTURA, 2021; KAGEYAMA *et al.*, 1985).

Estratégias para conservação

A conservação da biodiversidade consiste em medidas empregadas com intuito de resguardar, de diversas formas, a diversidade existente na natureza. De acordo com a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), a conservação da biodiversidade pode ocorrer em três níveis: diversidade genética, diversidade de espécies e diversidade de ecossistemas. As estratégias mais empregadas em projetos de conservação são a conservação *in situ* e a conservação *ex situ*.

A conservação *in situ* ocorre no meio natural e é mais aplicável em unidades de conservação. Essa forma de conservação desempenha um papel importante na conservação de espécies, ecossistemas e habitats. A estratégia de conservação *in situ* é preferencialmente indicada para espécies florestais, pois esse modo de conservação permite que o equilíbrio entre a população e o ambiente seja mantido, e os processos

evolutivos possam atuar em todo o ecossistema (KAGEYAMA, 1987). Populações que mantêm alta diversidade genética são ideais para conservação *in situ* devido o intuito de preservar a maior quantidade de diversidade possível.

Ao contrário da conservação *in situ*, a conservação *ex situ* ocorre fora do ambiente natural, através do plantio e cultivo da espécie alvo. Embora a conservação *ex situ* ocorra fora do local de origem, ela pode ocorrer dentro áreas no mesmo bioma de ocorrência. A conservação *ex situ* é uma alternativa para a conservação da variabilidade genética de espécies florestais ameaçadas, pois possibilita que a variabilidade genética de uma espécie seja conservada através da preservação de indivíduos que possuam a representatividade genética. A indicação de sementes ou mudas para projetos de reflorestamento deve ser feita com base no conhecimento dos parâmetros de diversidade genética, para isso é importante o estudo genético de populações *ex situ* antes de serem empregados em projetos de conservação.

A utilização de estratégias de conservação *ex situ* tem recebido atenção devido à dificuldade em manter ecossistemas naturais viáveis e pela necessidade de resguardar a representatividade genética de espécies ameaçadas de extinção. A conservação fora do ambiente natural é complementar à conservação *in situ* e oportuniza ações de conservação como o reflorestamento e a restauração ambiental (TONG et al., 2020; VOLIS; BLECHER, 2010; ZUCCHI et al., 2017; KOVACS et al., 2021). No caso de espécies arbóreas ameaçadas de extinção, os jardins botânicos e arboretos têm sido fortes aliados nas ações de conservação *ex situ* e também *in situ*, por usufruírem de estruturas favoráveis e estarem associados a trabalhos de pesquisa, pois, dessa forma, essas instituições conseguem manter coleções de árvores geneticamente diversas (CAVENDER et al., 2015; POTTER et al., 2017)

METODOLOGIA

Os critérios utilizados para compreensão do tema foram leitura direta de matérias publicados em pesquisas anteriores, livros, artigos, teses, dissertações, com direcionamento para o tema de conservação e diversidade genética em árvores.

O levantamento destes materiais foi realizado por meio de acesso a plataformas acadêmicas como o google acadêmico, scielo, portal de periódicos da capes, etc.

CONCLUSÃO

Diante das significativas perdas de biodiversidade causadas pelo desmatamento e pelas mudanças climáticas, monitorar os níveis de diversidade genética em populações naturais e manejadas é uma estratégia altamente eficaz para a conservação. A integração das estratégias de conservação *in situ* e *ex situ*, aliada ao conhecimento sobre a variabilidade genética das espécies arbóreas, representa a abordagem ideal para garantir

uma conservação eficaz.

DECLARAÇÃO DE INTERESSES

Nós, autores deste artigo, declaramos que possuímos não conflitos de interesses de ordem financeira, comercial, político, acadêmico e pessoal.

REFERÊNCIAS

- DE ALMEIDA, F. V. D. et al. **Diversidade genética entre e dentro de populações de *Cenostigma tocantinum* Ducke**. *Scientia Forestalis*, v. 43, n. 108, p. 753-762, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/scifor.v43n108.1>. Acesso em: 18 jul. 2025.
- BOND, W. J.; SILANDER, J. A.; MIDGLEY, G. F. **The antiquity of Madagascar's grasslands and the rise of C - grassy biomes**. *Journal of Biogeography*, v. 35, n. 10, p. 1743–1758, 2008.
- BUENO, E. Pau-brasil. São Paulo: Axis Mundi, 2002.
- BUONGIORNO, J. et al. *O modelo global de produtos florestais: estrutura, estimativa e aplicações*. Amsterdam: Elsevier, 2003.
- CAVENDER, N. et al. **Strengthening the conservation value of ex situ tree collections**. *Oryx*, v. 49, p. 416-424, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0030605314000866>. Acesso em: 18 jul. 2025.
- COALIZÃO BRASIL CLIMA, FLORESTAS E AGRICULTURA. *Programa de Pesquisa & Desenvolvimento em Silvicultura de Espécies Nativas*. WRI Brasil, 2021.
- COLOMBO, A. F.; JOLY, C. A. **Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change**. *Brazilian Journal of Biology*, v. 70, p. 697–708, 2010.
- FRANKHAM, R. et al. *Genetic management of fragmented animal and plant populations*. Oxford: Oxford University Press, 2017.
- FUTUYMA, D. J. *Evolutionary biology*. Sunderland: Sinauer Associates, 1992.
- GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. *The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook*. Washington: Island Press, 2005.
- GILHEN-BAKER, M. et al. **Old growth forests and large old trees as critical organisms connecting ecosystems and human health: a review**. *Environmental Chemistry Letters*, v. 20, p. 339-356, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01372-y>. Acesso em: 18 jul. 2025.
- GOMES, F. et al. **Projected risk of extinction for Amazonian tree species by 2050**. *Global Ecology and Conservation*, v. xxx, p. xxx–xxx, 2019.

HETEMÄKI, L.; HURMEKOSKI, E. **Forest products markets under change: review and research implications**. *Current Forestry Reports*, v. 2, n. 3, p. 177–188, 2016.

IBGE. *Mapa de cobertura vegetal nativa da Caatinga*. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

INDARTO, W. **The impact of forest exploitation on hydrological systems and global warming**. *Journal of Environmental Science and Sustainable Development*, v. 1, n. 1, p. 10–20, 2016.

IUCN. *The IUCN Red List of Threatened Species*. Gland: IUCN, 2022.

KAGEYAMA, P. Y.; DIAS, I. DE S. **The application of genetic concepts to native forest species in Brazil**. *Forest Genetic Resources Information*, v. 13, p. 1–84, 1985.

KOVACS, Z. et al. **Ex situ conservation in botanical gardens – challenges and scientific potential preserving plant biodiversity**. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, v. 49, n. 2, p. 12334, 2021.

LEMES, M. R. et al. **Population genetic structure of mahogany (*Swietenia macrophylla* King, Meliaceae) across the Brazilian Amazon, based on variation at microsatellite loci: implications for conservation**. *Molecular Ecology*, v. 22, p. 2875–2883, 2003.

LIU, F.-M. et al. **Genetic diversity and population structure analysis of *Dalbergia odorifera* germplasm and development of a core collection using microsatellite markers**. *Genes*, v. 10, n. 4, p. 281, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/genes10040281>. Acesso em: 18 jul. 2025.

MAPBIOMASBRASIL. *Pouco mais da metade da Caatinga mantém vegetação nativa, aponta novo factsheet do MapBiomass*. 28 jun. 2025. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 18 jul. 2025.

MARTINELLI, G. et al. **Avaliação de risco de extinção de espécies da flora brasileira**. In: MARTINELLI, G.; MORAES, M. A. (ed.). *Livro vermelho da flora do Brasil*. Rio de Janeiro: CNC Flora; Jardim Botânico do Rio de Janeiro; Andrea Jakobsson Estúdio, 2013. p. 60-84.

MARTÍNEZ-MEYER, E.; TOWNSEND PETERSON, A.; HARGROVE, W. W. **Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity**. *Global Ecology and Biogeography*, v. 13, n. 4, p. 305–314, 2004.

NORRIS, S. **Deforestation as a driver of species extinction**. *Current Biology*, v. 26, p. 2161–2166, 2016.

PAGLIA, A. P.; FONSECA, G. A. B.; SILVA, J. M. C. **A fauna brasileira ameaçada de extinção: síntese taxonômica e geográfica**. In: MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. (ed.). *Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008. p. 63-70.

POTTER, K. M. et al. **Banking on the future: progress, challenges and opportunities for**

the genetic conservation of forest trees. *New Forests*, v. 48, p. 153-180, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9582-8>. Acesso em: 18 jul. 2025.

ROCHA-SANTOS, L. et al. **Landscape-scale deforestation impacts on forest structure.** *Biological Conservation*, v. 196, p. 1–9, 2019.

TONG, C. et al. **Role of ex situ collections in conservation.** *Global Ecology and Conservation*, v. 23, e01081, 2020.

TURNER-SKOFF, J. B.; CAVENDER, N. **The benefits of trees for livable and sustainable communities.** *Plants, People, Planet*, v. 1, n. 4, p. 323–335, 2019.

VOLIS, S.; BLECHER, M. **Ex situ conservation in plants: concepts and challenges.** *Plant Genetic Resources*, v. 8, n. 1, p. 1–25, 2010.

YAN, S. et al. **The role and value of ancient trees in the ecosystem.** *International Journal of Molecular Ecology and Conservation*, v. 13, n. 2, p. 1–7, 2023.

ZUCCHI, M. I. et al. **Genetic diversity of reintroduced tree populations in restoration plantations of the Brazilian Atlantic Forest.** *Restoration Ecology*, v. 26, n. 4, p. 694-701, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/rec.12620>. Acesso em: 18 jul. 2025.