BOLETIM DO
MUSEU DE BIOLOGIA
MELLO LEITÃO
SÉRIE INMA

ARTIGO CIENTÍFICO

DOI: 10.70525/2025.33

Riqueza, diversidade e conservação da flora nativa da Bacia Hidrográfica do Rio Doce

Rio Doce Hydrographic Basin native flora richness, diversity and conservation

Stella Mata[1]*, Danielle de Oliveira Moreira[2], Natalia Costa Soares[3], Sara Ribeiro Mortara[2], Talita Marques Zupo[4], Marinez Ferreira de Siqueira[1,2,5]

[1] Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro (IP-JBRJ), Rua Pacheco Leão, 915, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 22460-030, stella.mdlr@gmail.com, Orcid: 0000-0002-1178-5283, marinez.siqueira1@gmail.com, Orcid: 0000-0002-6869-0293

[2] Instituto Nacional da Mata Atlântica (INMA), Av. José Ruschi, 4, Centro, Santa Teresa, Espírito Santo, Brasil, CEP: 29650-000, daniomoreira@gmail.com, Orcid: 0000-0002-5968-9573, saramortara@gmail.com , Orcid: 0000-0001-6221-7537

[3] Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Instituto de Biologia, Rua Monteiro Lobato, 225, Cidade Universitária, Campinas, SP, Brasil, 13083-862, naturalcsoares@gmail.com, Orcid: orcid.org/0000-0001-5408-7146

[4] Instituto Tecnológico Vale (ITV), Rua Boaventura da Silva, 955, Nazaré, Belém, PA, Brasil, 66055-090, talita.zupo@gmail.com, Orcid: 0000-0001-5873-542X

[5] Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

*Autor correspondente: stella.mdlr@gmail.com

Recebido: 14/07/2025
Aceito: 23/10/2025

Resumo:
A Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD), inserida no domínio da Mata Atlântica, destaca-se por sua elevada diversidade florística e importância estratégica para a conservação da biodiversidade em um contexto de intensa degradação ambiental. Este estudo teve como objetivo caracterizar a flora arbórea e arbustiva da BHRD, avaliando sua composição, distribuição por diferentes tipos de vegetação e status de conservação, e as lacunas de inventários. Para tanto, a partir de bancos de dados públicos (SpeciesLink, Global Biodiversity Information Facility - GBIF e Flora do Brasil 2020), foram compilados dados de ocorrência (registros), distribuição, status de endemismo (Mata Atlântica/Brasil) e de conservação/ameaça (categorias da International Union for Conservation of Nature - IUCN) para espécies arbóreas e arbustivas da BHRD, resultando em um inventário de 1.517 espécies pertencentes a 103 famílias botânicas. A Floresta Ombrófila Densa concentrou a maior riqueza florística e o maior número de endemismos. Identificou-se um padrão generalizado de raridade, com mais da metade das espécies apresentando até três registros. Além disso, 20% das espécies avaliadas foram classificadas como ameaçadas, e 41% não possuem avaliação formal de risco de extinção. Esses resultados evidenciam lacunas no conhecimento florístico da região e reforçam a necessidade de intensificar os esforços de inventário e conservação, especialmente em tipos de vegetação menos amostradas, como as formações savânicas. O estudo fornece subsídios para o planejamento de ações de conservação e restauração ecológica, considerando a heterogeneidade ambiental da bacia e os riscos crescentes associados às mudanças climáticas e à pressão antrópica.

Palavras-chave: Endemismo. Conservação de Espécies Raras. Mata Atlântica. Bancos de Dados de Biodiversidade

Abstract
The Rio Doce Watershed (BHRD), located within the Atlantic Forest domain, is notable for its high floristic diversity and strategic importance for biodiversity conservation in the context of intense environmental degradation. This study aimed to characterize the arboreal and shrub flora of the BHRD by assessing its composition, distribution across different vegetation types, and conservation status, and the sampling

gaps. For this purpose, data on species occurrences (records), distribution, endemism status (Atlantic Forest of Brazil), and conservation/threat status (International Union for Conservation of Nature - IUCN categories) were compiled from public databases (SpeciesLink, Global Biodiversity Information Facility - GBIF, and Flora do Brasil 2020) for arboreal and shrub species in the BHRD. This effort resulted in an inventory of 1,517 species belonging to 103 botanical families. The Dense Ombrophilous Forest exhibited the highest floristic richness and the greatest number of endemic species. A generalized pattern of rarity was identified, with more than half of the species having up to three occurrence records. Additionally, 20% of the assessed species were classified as threatened, and 41% lack a formal extinction risk assessment. These results highlight significant knowledge gaps regarding the region's flora and underscore the need to intensify floristic inventory and conservation efforts, especially in under-sampled vegetation types such as savanna formations. The study provides essential insights for planning conservation and ecological restoration actions, taking into account the environmental heterogeneity of the watershed and the increasing risks associated with climate change and anthropogenic pressures.

Keywords: Endemism. Rare Species Conservation. Atlantic Forest. Biodiversity Databases.

INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica enfrenta ameaças críticas à conservação da sua diversidade, como a perda e fragmentação dos habitats naturais, a homogeneização e introdução de espécies não nativas à biota e as mudanças climáticas (Lira et al., 2021; Vitule et al., 2021). Originalmente cobrindo mais de 1,3 milhão de km² ao longo da costa brasileira, restam atualmente menos de 30% de vegetação nativa da Mata Atlântica, distribuída de forma fragmentada, em pequenas áreas (Rezende et al., 2018). Nesse mosaico de pequenos fragmentos conservados, o bioma ainda abriga cerca de 20.000 espécies de plantas, 8.000 endêmicas, caracterizando-se como o quarto, entre os 35 hotspots globais de biodiversidade, em número de espécies vegetais (Mittermeier et al., 2011). Além disso, apesar de historicamente ameaçada, a Mata Atlântica tende a ser considerada como um hopespot, principalmente devido ao grande potencial de regeneração natural de suas áreas, assim como às oportunidades para a conservação, recuperação e uso sustentável de seus territórios (Rezende et al., 2018).

Inserida no contexto da Mata Atlântica, a Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD) destaca-se por sua complexidade ambiental e elevada diversidade florística (Figueiredo et al., 2024). Seu tipo de vegetação é composta por Florestas Ombrófilas Densas, Estacionais e zonas ecotonais com o Cerrado (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2021), a bacia abriga uma flora arbórea e arbustiva singular, com elevadas taxas de endemismo e espécies raras (Pires et al., 2017). Contudo, a região da BHRD sofreu uma transformação acelerada desde o século XX: de uma cobertura vegetal contínua (>50% em 1930; Fonseca 1985), passou a um mosaico fragmentado devido à construção e expansão de estradas de ferro e rodovias (ex., EFVM, BR-101), à produção de carvão vegetal, à instalação de diversas companhias de exploração

de minério, à introdução de pecuária extensiva e, mais recentemente, da agricultura e silvicultura (Coelho, 2009; Espíndola, 2015; Fonseca, 1985; Garay & Rizzini, 2004; Rosa et al., 2021; Simonelli, 2007; Travassos et al., 1964).

Atualmente, a BHRD é uma importante região de exploração de recursos naturais, sendo considerada um território bastante degradado na Mata Atlântica (Ribeiro et al., 2020). Além disso, em 2015, o rompimento da barragem do Fundão (Mariana, MG), da mineradora Samarco, e o espalhamento entre 34 e 44 milhões de m³ de rejeitos de mineração (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis [IBAMA], 2015; Rose et al., 2023) causaram um dos maiores desastres ambientais do Brasil (Wanderley et al. 2016) e contribuíram para intensificar essa degradação. A lama de rejeitos produziu impactos em 663 km da BHRD, nos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, chegando à foz do Rio Doce, onde adentrou 80 km² no mar (Thebit-Almeida et al., 2019).

Considerando o cenário de devastação e a necessidade de ações efetivas para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica, buscamos caracterizar neste estudo a flora arbórea e arbustiva da BHRD e as lacunas de inventários para esse grupo, contribuindo com dados fundamentais para o planejamento de ações de conservação e restauração da Mata Atlântica. Isto porque, para que sejam aplicadas medidas eficazes de conservação e restauração, é necessário compreender a composição florística e o status de conservação das espécies ocorrentes na região de interesse. O conhecimento detalhado sobre a biodiversidade local permite ainda priorizar áreas e espécies mais vulneráveis, além de subsidiar políticas públicas e iniciativas que visam à recuperação da cobertura vegetal e à manutenção dos serviços ecossistêmicos (Brancalion et al., 2019; Scarano & Ceotto, 2015).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD) está localizada na região Sudeste do Brasil, abrangendo parte dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (Figura 1). As nascentes do Rio Doce se situam nas Serras da Mantiqueira e do Espinhaço, e seu curso principal deságua no Oceano Atlântico (Agência Nacional de Águas [ANA], 2013; ANA & Ministério do Meio Ambiente [MMA], 2016). A região apresenta relevo variado, desde áreas montanhosas até planícies costeiras (Coelho, 2009; ANA, 2013). Segundo a classificação de Köppen e o Boletim Pluviométrico da Bacia do Rio Doce do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), o clima da região é tropical úmido, com temperatura média anual de aproximadamente 20 °C e precipitação anual de até 1.500 mm (Alvares et al. 2013). Existem duas estações bem definidas: estação chuvosa, de altas temperaturas e pluviosidade , e estação seca, de baixas temperaturas e pluviosidade .

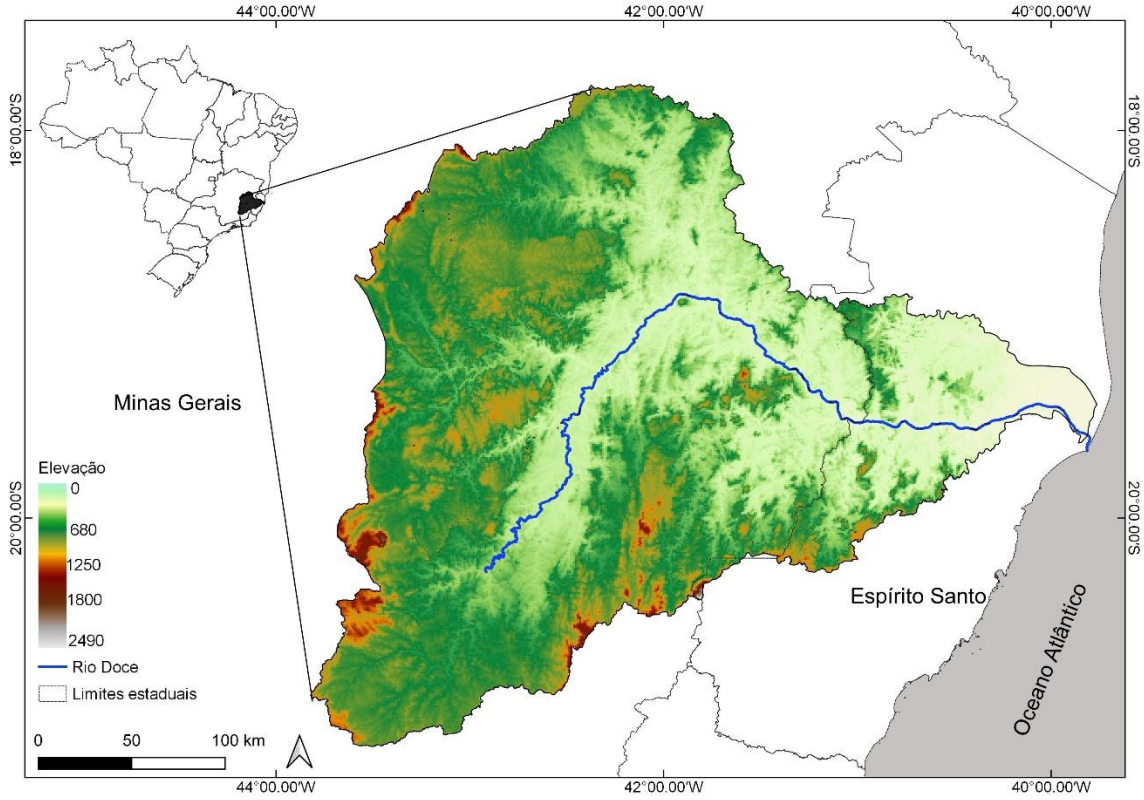


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Doce (BHRD) e apresentação do mapa topográfico da região. Arquivos georreferenciados: Topografia - Fick e Hijmans (2017); Rio Doce - ANA (2017); Limites estaduais - IBGE, 2020. Sistema de coordenadas geográficas, Datum WGS 1984.

Para obtenção da lista de espécies de interesse, com ocorrência na BHRD, utilizamos o pacote rocc (Mortara & Sánchez-Tapia, 2020) que realiza buscas no banco de dados da Flora do Brasil 2020 (https://floradobrasil.jbrj.gov.br), podendo ser utilizado para obter listas de espécies vegetais com ocorrência em estados ou domínios fitogeográficos brasileiros de interesse. Além disso, o pacote permite buscas sistematizadas por formas de vida (ervas, arbustos, árvores) e endemismo. Aqui, utilizamos o pacote rocc e buscamos por espécies arbustivas e arbóreas dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Com a lista de espécies obtida extraímos as ocorrências a partir do GBIF (https://gbif.org), utilizando o pacote rgbif (Chamberlain et al., 2025). Com isso, foi possível selecionar somente as espécies que ocorriam dentro dos limites da BHRD, usando um shapefile da bacia, garantindo ampla cobertura das coleções on-line disponíveis. Dados do GBIF, de 1950 a 2022, foram filtrados para incluir apenas espécies coletadas no Brasil, com coordenadas geográficas. Adicionalmente, selecionamos exclusivamente espécies preservadas (ou seja, coletadas e depositadas em herbários).

O pacote flora (Carvalho, 2017) foi utilizado para a padronização taxonômica e extração da Flora do Brasil (https://floradobrasil.jbrj.gov.br) de informações complementares das espécies que ocorrem na BHRD, como família botânica, forma de vida, habitat, tipo de vegetação, biomas e estados brasileiros de ocorrência, status de endemismo (Brasil e Mata Atlântica) e de conservação/ameaça. O status de conservação das espécies também foi compilado a partir do site da International Union for Conservation of Nature - IUCN (https://iucnredlist.org). O status foi obtido para 893 espécies da BHRD: para 673 espécies a informação foi obtida da IUCN e para 220 da Flora do Brasil. Os dados utilizados incluem

apenas informações das espécies disponíveis até o ano de 2021 em ambas as bases.

Todos os dados foram submetidos a rotinas de limpeza e filtragem para remover duplicidades, sinonímias, registros com inconsistências taxonômicas, localizações errôneas e informações incompletas, o que assegurou a geração de uma base confiável de registros para a análise dos padrões florísticos e de conservação da bacia. A lista de espécies e os registros de sua ocorrência foram utilizados para as análises de composição (incluindo espécies nos distintos tipos de vegetação), riqueza e status de conservação da comunidade lenhosa da BHRD. Dados de ocorrência foram ainda utilizados para a avaliação da abundância de espécies em relação ao número de registros observados (Hortal et al., 2007, 2008; Troia & McManamay, 2016).

Para identificar e espacializar as lacunas de inventários florísticos na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD), conduzimos uma análise de lacunas baseada na densidade espacial dos registros botânicos. Para isso, espacializamos os registros de coleta no QGIS 3.26 (QGIS.org, 2022) e utilizamos a ferramenta de estimativa de densidade de Kernel para gerar um mapa de calor da intensidade amostral. Os parâmetros específicos para a análise de Kernel foram um raio de busca de 5.000 m, utilizando a função quártica, e um tamanho de pixel de saída de 1.000 m. Esta configuração permitiu mapear a intensidade dos pontos de coleta em toda a bacia, transformando registros discretos em uma superfície contínua de esforço amostral.

RESULTADOS

Composição da Flora Arbórea e Arbustiva

Um total de 15.371 registros de ocorrência de plantas arbóreas e arbustivas foi encontrado, distribuído desigualmente na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD; Figura 2B). A análise de densidade de Kernel revelou uma distribuição espacial heterogênea dos esforços de coleta. Os maiores valores de densidade estão localizados nas porções leste (Minas Gerais) e oeste da bacia (Espírito Santo). Na porção oeste, esses pontos quentes de coleta sobrepõem-se espacialmente a unidades de conservação (Figura 2C) e aos maiores fragmentos de remanescentes florestais (Figura 2A). Um padrão secundário de densidade média de registros é observado ao longo do curso do rio Doce. As áreas com os menores valores de densidade, representadas pelas regiões em branco no mapa (Figura 2C), estão concentradas nas porções norte-sul da bacia, incluindo a sua porção central.

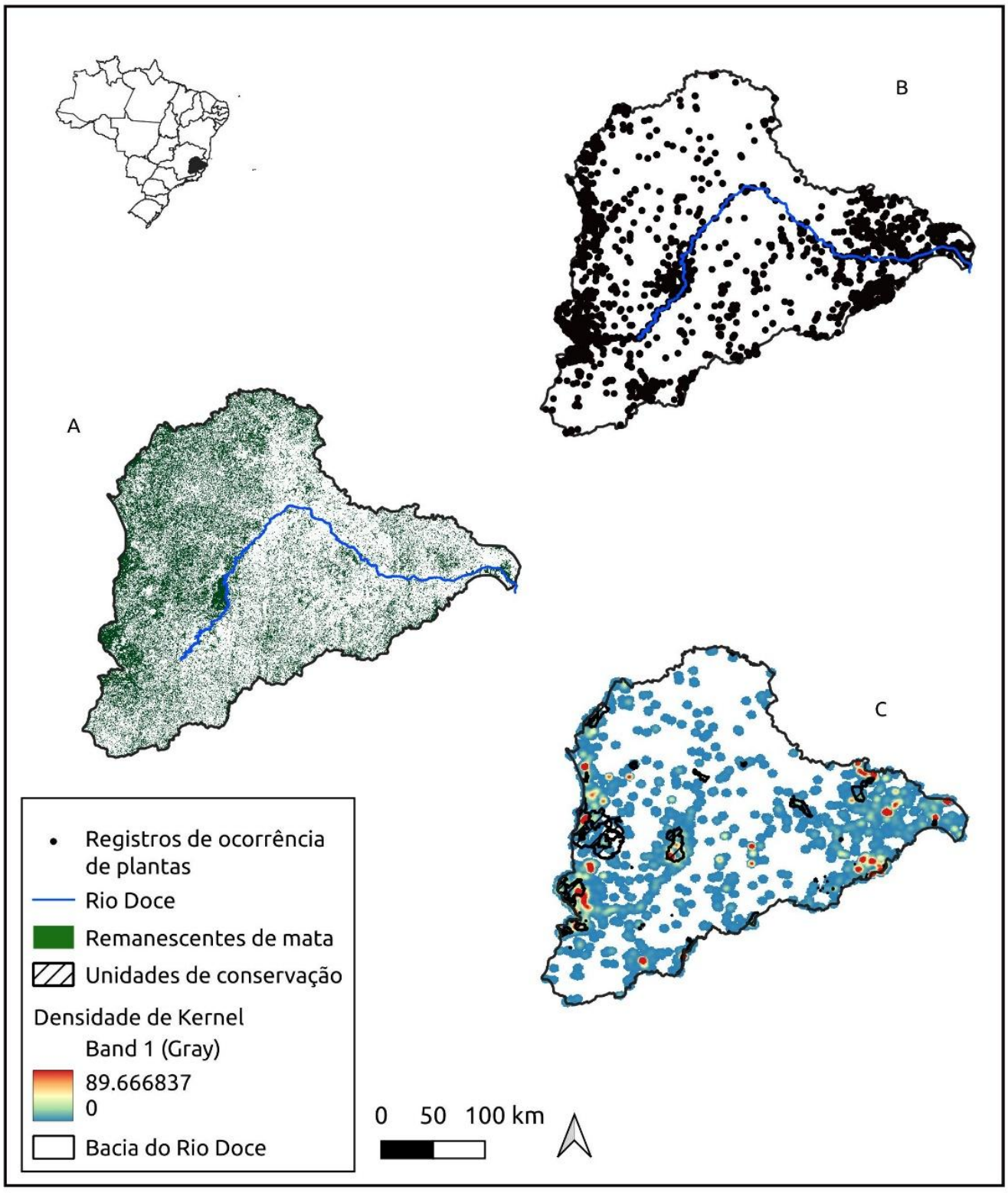


Figura 2. Remanescentes de mata nativa (A), distribuição dos pontos de ocorrência de plantas arbustivas e arbóreas (B) e mapa de calor (densidade de kernel) dos pontos de ocorrência de plantas na Bacia do Rio Doce (BHRD) (C), sudeste do Brasil. Arquivos georreferenciados: Unidades de Conservação - MMA (2021); Rio Doce - ANA (2017); Limites estaduais - IBGE, 2020. Sistema de coordenadas geográficas; Datum WGS 1984.

Em relação ao número de espécies, foram encontrados registros de 1.517 espécies de plantas arbóreas e arbustivas, distribuídas em 103 famílias botânicas na BHRD. As famílias mais ricas em número de espécies foram *Myrtaceae* (213 espécies), *Fabaceae* (178),

Melastomataceae (96), *Lauraceae* (87), *Rubiaceae* (66), *Annonaceae* (42) e *Asteraceae* (40), que juntas englobam aproximadamente 47,6% da flora arbórea da bacia. A maior parte das famílias apresentou baixa riqueza de espécies: 81 famílias (78,6%) possuíam até 20 espécies cada, 15 famílias (14,6%) apresentaram riqueza intermediária (entre 21 e 39 espécies) e apenas 7 famílias (6,8%) registraram elevada riqueza (n ≥ 40 espécies). Além disso, 26 famílias (25,2%) possuíam apenas uma espécie registrada na BHRD (Tabela 1).

Tabela 1. Número de espécies endêmicas e não endêmicas e número de espécies abundantes e raras registradas para as sete famílias mais ricas (N > 40 espécies) da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD), região sudeste do Brasil. N = Número de espécies arbóreas e/ou arbustivas com ocorrência na BHRD; N r = número de registros de uma espécie arbórea e/ou arbustiva para a BHRD.

Família (N)	Endêmicas	Não Endêmicas	Abundante (N r > 20)	Abundância Intermediária (20> N r>11)	Rara (10≥ N r ≥ 2)	Raríssima (N r = 1)
Myrtaceae (213)	166	35	11	21	111	64
Fabaceae (178)	93	68	9	27	96	43
Melastomataceae (96)	69	27	8	12	56	20
Lauraceae (87)	56	28	1	9	54	22
Rubiaceae (66)	40	22	0	8	31	27
Annonaceae (42)	27	14	3	3	22	14
Asteraceae (40)	32	7	5	5	20	10

As espécies mais abundantes, em número de registros geográficos, foram Myrcia splendens (Myrtaceae, 102 registros), Eremanthus erythropappus (Asteraceae, 48 registros), Casearia arborea (Salicaceae, 47 registros) e Solanum swartzianum (Solanaceae, 43 registros). No entanto, a maioria das espécies da bacia apresentou baixa frequência de ocorrência: 29,4% das espécies tinham apenas um registro, 16,5% tinham dois registros e 11,1% tinham três registros, evidenciando um padrão generalizado de raridade nas amostras.

Em relação aos tipos de vegetação, a maioria das espécies ocorreu em Floresta Ombrófila Densa (1.034 espécies, 68,2%), seguida por Formações Savânicas (686 espécies, 45,2%), Floresta Estacional Semidecidual (613 espécies, 40,4%) e Formações Pioneiras (Restinga, 258 espécies, 17%) (Figura 3).

Grande parte das espécies não foi exclusiva, isto é, aquelas que ocorrem em somente um tipo de vegetação, mas a Floresta Ombrófila Densa destacou-se por concentrar o maior número de espécies exclusivas, muitas delas endêmicas da Mata Atlântica (Figura 3A). A Floresta Ombrófila Densa é o tipo de vegetação com maior riqueza de espécies e na qual encontramos o maior número (502) de espécies endêmicas da Mata Atlântica (48,5% do total registrado para a Bacia; Figura 3B). As Formações Pioneiras (Restinga), com 107 espécies, e a Floresta Semidecidual, com 176, apresentaram também alta porcentagem de espécies endêmicas da Mata Atlântica. Como esperado, o menor número (N = 22) foi observado para espécies com ocorrência nas Formações Savânicas (campo rupestre e/ou Cerrado) da Bacia (Figura 3B).

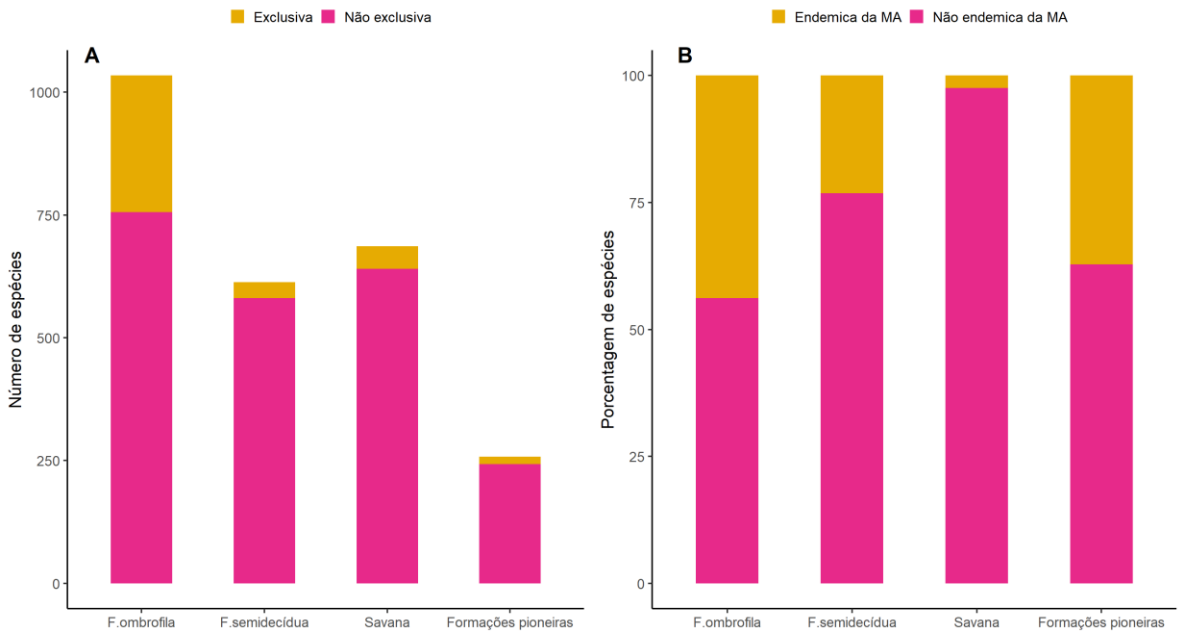


Figura 3. Número de espécies com ocorrência na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD), Sudeste do Brasil, considerada exclusiva ou não exclusiva (A) e endêmica ou não endêmica da Mata Atlântica (B) em cada tipo de vegetação (Floresta Ombrófila Densa, Floresta Semidecidual, Savana e Formações Pioneiras).

Status de Conservação das Espécies

Entre as 1.517 espécies registradas na BHRD, 893 (58,9%) apresentaram avaliação formal sobre o status de conservação, enquanto 624 (41,1%) ainda não haviam sido avaliadas. Dentre as espécies avaliadas, uma foi classificada como "Extinta" (Chrysophyllum januariense, Sapotaceae) e 179 (20,0%) foram consideradas ameaçadas: englobando as categorias "Criticamente em Perigo", "Em Perigo" ou "Vulnerável". Além disso, 28 espécies (3,1%) foram classificadas como "Quase Ameaçadas" e 648 (72,6%) foram categorizadas como "Menos Preocupante" (Figura 4).

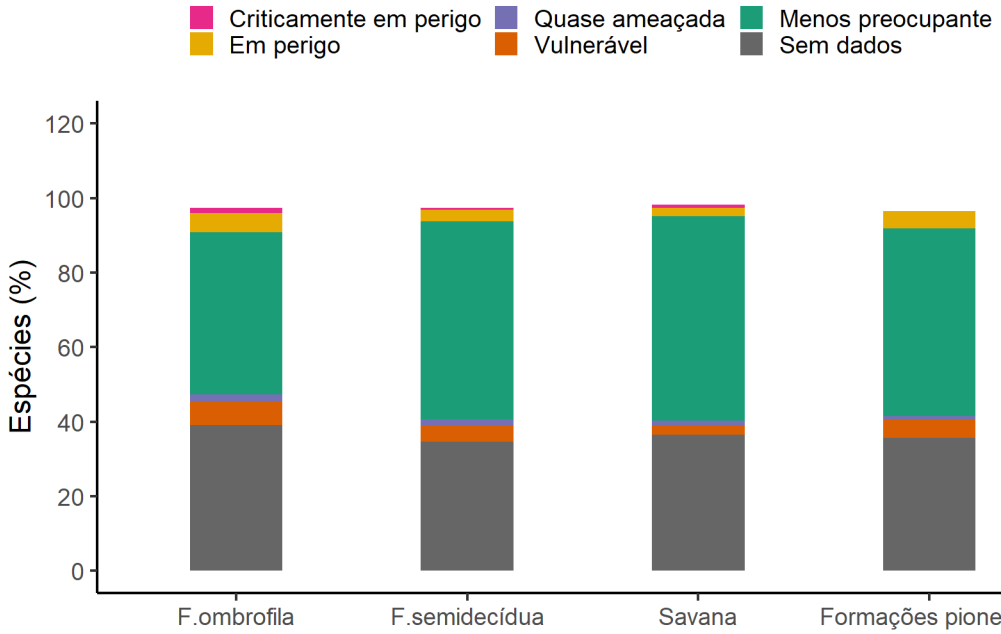


Figura 4. Porcentagem de espécies com ocorrência na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD) em cada status de conservação (categorias IUCN) por tipo de vegetação (Floresta Ombrófila Densa, Floresta Semidecidual, Savana e

Formações pioneiras). “Sem dados” (coloração cinza) = porcentagem de espécies que não possuíam avaliação formal de risco de extinção até 2021.

A análise do status de conservação por tipo de vegetação revelou que, na Floresta Ombrófila Densa, 130 espécies (12,6%) estavam enquadradas em alguma categoria de ameaça; na Floresta Semidecidual, 50 espécies (8,1%) foram consideradas ameaçadas; nas Formações Savânicas, 38 espécies (5,5%) apresentaram algum grau de ameaça; e, nas Formações Pioneiras (Restinga), 25 espécies (9,7%) foram igualmente classificadas como ameaçadas (Figura 4). Além disso, observou-se que entre 30% e 40% das espécies associadas a cada formação vegetacional ainda não possuem avaliação formal de risco de extinção (Figura 4).

DISCUSSÃO

A riqueza florística registrada para a Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD) — 1.517 espécies arbóreas e arbustivas — é notável, mas deve ser interpretada com cautela, considerando o escopo metodológico e a extensão territorial do levantamento. A BHRD abrange uma área de mais de 86 mil km² e o presente estudo foi baseado em dados compilados de bancos de dados secundários (SpeciesLink, GBIF e Flora do Brasil), abrangendo registros dispersos ao longo de décadas. Em comparação, estudos conduzidos em áreas menores, com inventário sistemático de campo, frequentemente apresentam números absolutos menores, mas uma densidade de espécies proporcionalmente superior. Por exemplo, no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (~14.000 ha), foram registradas 693 espécies lenhosas, e no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (~20.000 ha), 826 espécies (Martinelli et al, 2007). Isso indica que, embora a BHRD apresente alta diversidade absoluta, parte dessa riqueza pode refletir o acúmulo de registros ao longo do tempo e a ampla abrangência espacial, não necessariamente um esforço amostral homogêneo (Zwiener et al., 2021). Nesse sentido, cabe ressaltar que nossos resultados abrangem registros de ocorrência ao longo de 72 anos, o que pode levar a uma superestimativa da riqueza arbustiva e arbórea da bacia, dado que parte da diversidade encontrada pode se referir a áreas atualmente sem cobertura vegetal (Bowler et al., 2024; Zhang et al., 2021).

A análise espacial dos registros, no entanto, revela que o conhecimento sobre a flora lenhosa da BHRD é marcado por uma forte heterogeneidade amostral. A identificação de pontos quentes de coleta nas porções leste e oeste, frequentemente sobrepostos a unidades de conservação e grandes remanescentes florestais, indica que o esforço de inventário tem sido historicamente concentrado em áreas de mais fácil acesso ou com status formal de proteção. Em contrapartida, as extensas lacunas de inventários nas regiões norte-sul e central — identificadas como áreas lacunas no mapa de densidade de Kernel — representam um viés para o desconhecimento e o entendimento da diversidade florística da BHRD. É importante salientar que a falta de registros nessas áreas pode ser uma consequência da perda ou degradação histórica de habitat para o período analisado (1950-2022), tornando-as menos atrativas para coletas recentes.

Ainda assim, a diversidade da BHRD é coerente com sua posição geográfica intermediária no domínio da Mata Atlântica, sua diversidade de tipos de vegetação e a interseção com o Cerrado em áreas de transição (Oliveira-Filho et al., 2013; Zwiener et al., 2020, 2021). Essas características conferem à região uma complexidade ecológica que favorece a coexistência de espécies de diferentes origens florísticas (Oliveira-Filho et al., 2013).

O padrão de raridade observado, com mais da metade das espécies possuindo três ou menos registros, é comum em levantamentos baseados

em bancos de dados de herbários e coleções digitais e pode refletir tanto a especialização ecológica das espécies quanto desigualdades no esforço de coleta (Meyer et al., 2016; Soberón & Peterson, 2004; Zwiener et al., 2021). Espécies com distribuição geográfica restrita, baixa densidade populacional ou que tenham um curto período de floração e frutificação tendem a ser subrepresentadas em coleções botânicas, especialmente quando ocorrem em áreas remotas e de difícil acesso (Daru et al., 2018; Moerman & Estabrook, 2006; Prendergast et al., 1993). Além disso, as coleções históricas concentram-se em regiões mais acessíveis, como margens de estradas ou áreas próximas a centros urbanos, criando um viés espacial conhecido como "efeito de estrada" (Bini et al., 2006; Daru et al., 2018). Na BHRD, esse viés pode ser particularmente acentuado, considerando o histórico de acesso desigual ao território e a predominância de coletas em áreas de floresta ombrófila.

No entanto, mesmo considerando essas limitações, a elevada proporção de espécies com poucos registros é indicativa de uma flora composta por muitos táxons restritos, ou seja, que inclui um grande contingente de espécies naturalmente raras (Enquist et al., 2019; Rabinowitz, 1981). Essas espécies são frequentemente as mais vulneráveis à perda de habitat e às mudanças climáticas, sendo, portanto, prioritárias em estratégias de conservação (Foden et al., 2013; Lima et al., 2021). Nossos resultados sugerem que investimentos em inventários botânicos direcionados a áreas pouco representadas — como áreas fora de unidades de conservação, principalmente nas áreas central e norte da bacia — são fundamentais para preencher lacunas taxonômicas e geográficas e qualificar as avaliações de risco, os planos de manejo e estabelecer estratégias de conservação para a BHRD.

Em relação à categoria de ameaça, o nosso estudo identificou 179 espécies ameaçadas (20,0% das avaliadas), um número superior à média nacional (~9,5%), mas próximo de valores relatados para outras áreas da Mata Atlântica, como a Serra do Mar (22,5%) (Giulietti et al., 2009) e o Corredor Central da Bahia (18,7%) (Thomas et al., 2008). No entanto, é importante ressaltar que esses estudos se basearam em listas atualizadas com base em inventários locais, enquanto o presente trabalho utilizou majoritariamente dados extraídos de bancos secundários. Além disso, 41,1% das espécies registradas na BHRD ainda não possuem avaliação formal de risco de extinção, o que limita a precisão dos diagnósticos e sugere uma subestimação do real número de espécies ameaçadas. A sub-representação de espécies nas listas oficiais de risco pode subestimar a urgência de ações protetivas, especialmente em áreas altamente impactadas como a BHRD, que sofreu o maior desastre ambiental brasileiro com o rompimento da barragem de Fundão (Fernandes et al., 2016; IBAMA, 2015; Wanderley et al., 2016). Quanto às categorias de ameaça, é importante destacar que a espécie Chrysophyllum januariense, classificada como "Extinta" no período de análise de dados desse estudo, foi reavaliada e passou a fazer parte da categoria de "Quase ameaçada" (Fernandez & Moraes, 2019).

A análise por tipo de vegetação revelou padrões coerentes com o que se observa em outras regiões da Mata Atlântica. A Floresta Ombrófila Densa concentrou a maior parte das espécies (68,2%), além do maior número de espécies exclusivas, incluindo as endêmicas (502 espécies, 48,5% do total). Espécies exclusivas, isto é, aquelas que ocorrem em somente um tipo de vegetação, tendem a ser as mais raras e endêmicas. Portanto, podem ser também consideradas como aquelas mais vulneráveis às pressões antrópicas, como a de mudanças no uso do solo e do clima, já que apresentam ocorrência e distribuição restritas às condições bióticas e

abióticas específicas (Davies et al., 2004; Leitão et al., 2016). Portanto, espécies consideradas exclusivas de um tipo de vegetação e endêmicas da Mata Atlântica são também consideradas como aquelas de maior grau de vulnerabilidade à extinção, com redução de áreas adequadas possíveis à sua ocorrência, em cenários futuros de mudanças climáticas (Bellard et al., 2012; Butt & Gallagher, 2018; Foden et al., 2018). Adicionalmente, nossos resultados foram consistentes com estudos como o de Oliveira-Filho e Fontes (2000), que apontam essa formação de Floresta Ombrófila Densa como o principal repositório de biodiversidade arbórea no domínio atlântico. No entanto, a elevada riqueza observada no nosso estudo pode também refletir um viés de coleta, dado que as florestas ombrófilas costumam estar mais representadas nas coleções botânicas por sua acessibilidade e maior esforço histórico de pesquisa (Zwiener et al., 2021).

As formações pioneiras (restinga) e florestas estacionais também se destacaram por apresentarem altos níveis de endemismo, mesmo ocupando áreas relativamente menores na BHRD. Isso reforça o argumento de que, embora menos extensas, esses tipos de vegetação contêm componentes florísticos únicos e merecem atenção específica em políticas conservacionistas (Scarano, 2002). Já as formações savânicas (campos rupestres e cerradões), que apresentaram o menor número de espécies endêmicas e ameaçadas, são notoriamente subamostradas em estudos botânicos (Murphy et al., 2016; Zappi et al., 2017). Isso indica que a menor riqueza observada pode refletir a escassez de coleta e não uma menor diversidade real.

Por fim, o uso de bancos de dados digitais foi essencial para reunir um panorama amplo da flora lenhosa da BHRD, possibilitando identificar padrões florísticos e lacunas de conhecimento. Contudo, esse tipo de abordagem depende fortemente da curadoria e da cobertura espacial dos dados (Zwiener et al., 2021). Este diagnóstico oferece uma orientação para estratégias de conservação de forma eficiente. Para os pontos quentes já estabelecidos, nossos resultados reforçam seu valor inestimável como repositórios de biodiversidade e refúgios climáticos, justificando investimentos contínuos em sua proteção e manejo. Simultaneamente, as áreas lacunas degradadas não devem ser vistas como áreas perdidas, mas como fronteiras prioritárias para a ciência e a conservação. A integração com inventários de campo direcionados é fundamental para validar e aprofundar as informações obtidas, como verificar a persistência de espécies ameaçadas ou endêmicas em fragmentos negligenciados e, sobretudo para subsidiar ações de restauração ecológica com base em critérios funcionais e filogenéticos (Hortal et al., 2007; 2008; Zwiener et al., 2021).

CONCLUSÕES

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD) abriga uma flora arbórea e arbustiva expressiva, tanto em termos de riqueza de espécies quanto de endemismo e representatividade fitofisionômica. A diversidade registrada neste estudo destaca o papel da BHRD como um importante repositório da biodiversidade da Mata Atlântica, ainda que sujeita a intensos processos de degradação ambiental e a eventos extremos como o rompimento da barragem de Fundão.

A análise revelou um padrão marcante de raridade e sub-representação de muitas espécies, o que, aliado à elevada proporção de táxons sem avaliação formal de risco de extinção, reforça a necessidade de intensificação dos esforços de inventário, taxonomia e avaliação de conservação na região. As diferenças florísticas entre os tipos de vegetação da BHRD — em especial a relevância da Floresta Ombrófila Densa e das formações pioneiras — indicam que estratégias conservacionistas devem considerar a

heterogeneidade ambiental como princípio orientador.

O uso de bancos de dados digitais foi essencial para alcançar uma cobertura ampla (temporal e espacial) e identificar padrões florísticos e lacunas de inventários em escala regional. Entretanto, análises de dados secundários – como os registros de ocorrência – incluem falhas (gaps) e vieses de amostragem, que limitam as estimativas de biodiversidade em larga escala, gerando incertezas na formulação de planos de manejo e ações de conservação (Bowler et al., 2024). Adicionalmente, nossos resultados apontam que a flora da BHRD ainda não está completamente amostrada. Portanto, a combinação de dados secundários com inventários de campo direcionados é fundamental para qualificar diagnósticos ecológicos e embasar ações de manejo e restauração mais eficazes.

Em um contexto de mudanças climáticas e intensificação dos conflitos pelo uso do solo, a conservação da biodiversidade na BHRD depende do fortalecimento da integração entre conhecimento científico, políticas públicas e práticas locais. Os resultados apresentados oferecem subsídios técnicos valiosos para a priorização de áreas e espécies, bem como para o desenvolvimento de projetos de restauração baseados em critérios ecológicos, funcionais e evolutivos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Capacitação Institucional (PCI 2019-2023), especialmente ao subprograma “Conhecimento, conservação e desenvolvimento sustentável na Mata Atlântica” e ao projeto 2 “Conservação e restauração da Mata Atlântica na bacia hidrográfica do Rio Doce”, organizados e promovidos pelo Instituto Nacional da Mata Atlântica (INMA), junto ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradecemos ao CNPq pelo suporte financeiro e pelas bolsas de pesquisa concedidas às autoras.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas. (2013). *Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Doce: Relatório executivo*. ANA. https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2013/planoIntegradoDeRecursosHidricosDaBaciaHidrograficaDoRioDoce.pdf

Agência Nacional de Águas & Ministério do Meio Ambiente. (2016). *Encarte especial sobre a bacia do Rio Doce*: *Rompimento da barragem em Mariana/MG*. ANA; MMA. http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/handle/123456789/3215

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Moraes Gonçalves, J. D., & Sparovek, G. (2013). Köppen’s climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, *22*(6), 711–728. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507

Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters, 15*(4), 365–377. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x

Bini, L. M., Diniz-Filho, J. A. F., Rangel, T. F. L. V. B., Bastos, R. P., & Pinto, M. P. (2006). Challenging Wallacean and Linnean shortfalls: Knowledge gradients and conservation planning. *Diversity and Distributions*, *12*(5), 475–482. https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2006.00286.x

Bowler, D. E., Boyd, R. J., Callaghan, C. T., Robinson, R. A., Isaac, N. J. B., & Pocock, M. J. O. (2024). Treating gaps and biases in biodiversity data as a missing data problem. *Biological Reviews of the Cambridge*

Philosophical Society, *100*(1), Article e13127. https://doi.org/10.1111/brv.13127

Brancalion, P. H. S., Niamir, A., Broadbent, E., Crouzeilles, R., Barros, F. S. M., Zambrano, A. M. A., Baccini, A., Aronson, J., Goetz, S., & Chazdon, R. L. (2019). Global restoration opportunities in tropical rainforest landscapes. *Science Advances*, *5*(7), eaav3223. https://doi.org/10.1126/sciadv.aav3223

Butt, N., & Gallagher, R. (2018). Using species traits to guide conservation actions under climate change. *Climatic Change*, *151*(2), 317–332. https://doi.org/10.1007/s10584-018-2294-z

Carvalho, G. (2017). *flora* (Versão 0.3.0) [Pacote R]. Comprehensive R Archive Network (CRAN). https://cran.r-project.org/web/packages/flora/index.html

Chamberlain, S., Barve, V., McGlinn, D., Oldoni, D., Desmet, P., Geffert, L., & Ram, K. (2025). *rgbif: Interface to the Global Biodiversity Information Facility API* (Versão 3.8.2) [Pacote R]. Comprehensive R Archive Network (CRAN). https://cran.r-project.org/package=rgbif https://doi.org/10.15468/dl.h44m6f

Coelho, A. L. N. (2009). Bacia hidrográfica do Rio Doce (MG/ES): Uma análise socioambiental integrada. *Revista Geografares*, *7*, 131–146.

Daru, B. H., Park, D. S., Primack, R. B., Willis, C. G., Barrington, D. S., Whitfeld, T. J. S., Seidler, T. G., Sweeney, P. W., Foster, D. R., Ellison, A. M., & Davis, C. C. (2018). Widespread sampling biases in herbaria revealed from large-scale digitization. *New Phytologist*, *217*(2), 939–955. https://doi.org/10.1111/nph.14855

Davies, K. F., Margules, C. R., & Lawrence, J. F. (2004). A synergistic effect puts rare, specialized species at greater risk of extinction. *Ecology*, *85*, 265 –271. https://doi.org/10.1890/03-0110

Enquist, B. J., Feng, X., Boyle, B., Maitner, B., Newman, E. A., Jørgensen, P. M., Roehrdanz, P. R., Thiers, B. M., Burger, J. R., Corlett, R. T., Couvreur, T. L. P., Dauby, G., Donoghue, J. C., Foden, W., Lovett, J. C., Marquet, P. A., Merow, C., Midgley, G., Morueta-Holme, N., … McGill, B. J. (2019). The commonness of rarity: Global and future distribution of rarity across land plants. *Science Advances*, *5*(11), eaaz0414. https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz0414

Espíndola, H. S. (2015). Vale do Rio Doce: Fronteira, industrialização e colapso socioambiental. *Fronteiras*, *4*(1), 160–206.

Fernandes, G. W., Goulart, F., Ranieri, B. D., Coelho, M. S., Boesche, N., Bustamante, M., Carvalho, F. A., Carvalho, D. C., Dirzo, R., Fernandes, S. T., Galetti Jr., P. M., Garcia-Millan, V., Mielke, C., Ramirez, J. L., Neves, A., Rogass, C., Ribeiro, S. P., Scariot, A., & Soares-Filho, B. S. (2016). Deep into the mud: Ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. *Natureza & Conservação*, *14*(2), 35–45. https://doi.org/10.1016/j.ncon.2016.10.003

Fernandez, F., & Moraes, M. (2019). *Chrysophyllum januariense (SAPOTACEAE)*. Lista Vermelha da Flora Brasileira: Centro Nacional de Conservação da Flora/ Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

Figueiredo, J. C. G., Negreiros, D., Ramos, L., Paiva, D. C., Oki, Y., Justino, W. S., Santos, R. M., Aguilar, R., Nunes, Y. R. F., & Fernandes, G. W. (2024). Reference sites of threatened riverine Atlantic forest in upper Rio Doce watershed. *Nature Conservation Research*, *9*(1), 58–71. https://doi.org/10.24189/ncr.2024.006

Foden, W. B., Butchart, S. H. M., Stuart, S. N., Vié, J. C., Akçakaya, H. R., Angulo, A., DeVantier, L. M., Gutsche, A., Turak, E., Cao, L., Donner, S. D., Katariya, V., Bernard, R., Holland, R. A., Hughes, A. F., O'Hanlon, S. E., Garnett, S. T., Şekercioğlu, Ç. H., & Mace, G. M. (2013). Identifying the world's most climate change vulnerable species: A systematic trait-based assessment of all birds, amphibians and corals. *PLOS ONE*, *8*(6), e65427. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065427

Foden, W., Young, B., Akçakaya, H., Garcia, R., Hoffmann, A., Stein, B., Thomas, C., Wheatley,

C., Bickford, D., Carr, J., Hole, D., Martin, T., Pacifici, M., Pearce-Higgins, J., Platts, P., Visconti, P., Watson, J., & Huntley, B. (2018). Climate change vulnerability assessment of species. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, *10*(1), e551. https://doi.org/10.1002/wcc.551

Fonseca, G. A. B. (1985). The vanishing Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*, *34*(1), 17–34. https://doi.org/10.1016/0006-3207(85)90055-2

Garay, I., & Rizzini, C. M. (2004). *A floresta atlântica de tabuleiros: Diversidade funcional da cobertura arbórea*. Vozes.

Giulietti, A. M., Rapini, A., Andrade, M. J. G., Queiroz, L. P., & Silva, J. M. C. (Eds.). (2009). *Plantas raras do Brasil*. Conservação Internacional.

Hortal, J., Jiménez-Valverde, A., Gómez, J. F., Lobo, J. M., & Baselga, A. (2008). Historical bias in biodiversity inventories affects the observed environmental niche of the species. *Oikos*, *117*(6), 847–858. https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2008.16434.x

Hortal, J., Lobo, J. M., & Jiménez-Valverde, A. (2007). Limitations of biodiversity databases: Case study on seed-plant diversity in Tenerife (Canary Islands). *Conservation Biology*, *21*(3), 853–863. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00686.x

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). *Vegetação do Brasil escala 250 mil* [Mapa, versão 2021]. IBGE. https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/vetores/escala_250_mil

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2015). *Laudo técnico preliminar: Impactos sociais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais*. IBAMA. http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticiasambientais/laudotécnicopreliminar.pdf

Leitão, R. P., Zuanon, J., Villeger, S., Williams, S. E., Baraloto, C., Fortunel, C., Mendonça, F. P., & Mouillot, D. (2016). Rare species contribute disproportionately to the functional structure of species assemblages. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *283*: 20160084. http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2016.0084

Lima, R. A. F., Oliveira, R. R., & Prado, P. I. (2021). Floristic knowledge and sampling effort determine the rarity of Atlantic Forest trees. *Biodiversity and Conservation*, *30*(4), 1225–1242. https://doi.org/10.1007/s10531-021-02120-5

Lira, P. K., Portela, R. d. C. Q., & Tambosi, L. R. (2021). Land-cover changes and an uncertain future: Will the Brazilian Atlantic Forest lose the chance to become a hopespot? In M. C. M. Marques & C. E. V. Grelle (Eds.), *The Atlantic Forest* (pp. 255–270). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55322-7_11

Martinelli, G., Vieira, C. M., Gonzalez, M., Leitman, P., & Piratininga, A. (2007). *Plantas do Parque Nacional da Serra dos Órgãos*. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.

Meyer, C., Kreft, H., Guralnick, R., & Jetz, W. (2016). Global priorities for an effective information basis of biodiversity distributions. *Nature Communications*, *6*, 8221. https://doi.org/10.1038/ncomms8221

Mittermeier, R. A., Turner, W. R., Larsen, F. W., Brooks, T. M., & Gascon, C. (2011). Global biodiversity conservation: The critical role of hotspots. In F. E. Zachos & J. C. Habel (Eds.), *Biodiversity hotspots.* Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20992-5_1

Moerman, D. E., & Estabrook, G. F. (2006). The botanist effect: Counties with maximal species richness tend to be home to universities and botanists. *Journal of Biogeography*, *33*(11), 1969–1974. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01549.x

Mortara, S., & Sánchez-Tapia, A. (2020). *Rocc: Workflows for downloading occurrence data*

from speciesLink, FB2020, and JABOT API. https://rdrr.io/github/liibre/rocc/man/rspeciesLink.html

Murphy, B. P., Andersen, A. N., & Parr, C. L. (2016). The underestimated biodiversity of tropical grassy biomes. Philosophical Transactions of the Royal Society B: *Biological Sciences*, *371*(1703), 20150319. https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0319

Oliveira-Filho, A. T., & Fontes, M. A. L. (2000). Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in southeastern Brazil and the influence of climate. *Biotropica*, *32*(4b), 793–810. https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00610.x

Oliveira-Filho, A. T., Budke, J. C., Jarenkow, J. A., Eisenlohr, P. V., & Neves, D. M. (2013). Delving into the variations in tree species composition and richness across South American subtropical Atlantic and Pampean forests. *Journal of Plant Ecology*, *8*, 242–260. https://doi.org/10.1093/jpe/rtt008

Pires, A. P., Paula-Santos, B., Santos, E. V., Castro, A. L. T., Rodrigues, R. R., Garcia, R. A., Figueiredo, W. L., Kato, O. C., & Tabarelli, M. (2017). Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resilience. *Perspectives in Ecology and Conservation*, *15*(3), 187–193. https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.06.002

Prendergast, J. R., Wood, S. N., Lawton, J. H., Gaston, K. J., Hirth, H. F., Lisin, S. M., Wood, A., Evans, K., Matthews, R. I., & Murray, J. A. (1993). Rare species, the coincidence of diversity hotspots and conservation strategies. *Nature*, *365*, 335–337. https://doi.org/10.1038/365335a0

QGIS.org. (2022). *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association. http://www.qgis.org

Rabinowitz, D. (1981). Seven forms of rarity. In H. Synge (Ed.), *The biological aspects of rare plant conservation* (pp. 205–217). Wiley.

Rezende, C. L., Scarano, F. R., Assad, E. D., Joly, C. A., Metzger, J. P., Strassburg, B. B. N., Tabarelli, M., Fonseca, G. A., & Mittermeier, R. A. (2018). From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation*, *16*(4), 208–214. https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002

Ribeiro, S. M. C., Rajão, R., Nunes, F., Assis, D., Neto, J. A., Marcolino, C., Lima, L., Rickard, T., Salomão, C., & Soares-Filho, B. (2020). A spatially explicit index for mapping forest restoration vocation (FRV) at the landscape scale: Application in the Rio Doce basin, Brazil. *Science of the Total Environmen*t, *744*, 140647. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140647

Rosa, M. R., Brancalion, P. H. S., Crouzeilles, R., Tambosi, L. R., Piffer, P. R., Lenti, F. E. B., Hirota, M., Santiami, E., & Metzger, J. P. (2021). Hidden destruction of older forests threatens Brazil's Atlantic Forest and challenges restoration programs. *Science Advances*, *7*(4), eabc4547. https://doi.org/10.1126/sciadv.abc4547

Rose, R. L., Mugi, S. R., & Saleh, J. H. (2023). Accident investigation and lessons not learned: Accimap analysis of successive tailings dam collapses in Brazil. *Reliability Engineering & System Safety, 236*, 109308. https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109308

Scarano, F. R. (2002). Structure, function and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic rainforest. *Annals of Botany, 90*(4), 517–524. https://doi.org/10.1093/aob/mcf189

Scarano, F. R., & Ceotto, P. (2015). Brazilian Atlantic Forest: Impact, vulnerability, and adaptation to climate change. *Biodiversity and Conservation*, *24*, 2319–2331. https://doi.org/10.1007/s10531-015-0972-y

Simonelli, M. (2007). Diversidade e conservação das florestas de tabuleiros no Espírito Santo. In L. F. T. Menezes, F. R. Pires, & O. J. Pereira (Eds.), *Ecossistemas costeiros do Espírito Santo: Conservação e restauração*. EDUFES.

Soberón, J., & Peterson, A. T. (2004). Biodiversity informatics: Managing and applying

primary biodiversity data. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *359*(1444), 689–698. https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1439

Thebit-Almeida, L., Bernardes-Silva, F., Souza-Fraga, M., Balieiro-Ribeiro, R., Alves-Ramos, M. C., & Avelino-Cecílio, R. (2019). Análise do comportamento espectral da água do Rio Doce, Brasil, mediante o rompimento da barragem de sedimentos da empresa SAMARCO. *Tecnología en Marcha*, 32(Especial XIII CLIA), 36–42. https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4257

Thomas, W. W., Carvalho, A. M. V., Amorim, A. M., Garrison, J., & Santos, T. S. (2008). Diversity of woody plants in the Atlantic coastal forest of southern Bahia, Brazil. In W. W. Thomas (Ed.), *The Atlantic coastal forests of northeastern Brazil* (pp. 21–66). Memoirs of the New York Botanical Garden, 100.

Travassos, L., Freitas, J. F. T., & Mendonça, J. M. (1964). Relatório da excursão do Instituto Oswaldo Cruz ao Parque de Reserva e Refúgio Soóretama, no estado do Espírito Santo, em outubro de 1963. *Boletim do Museu de Biologia Prof. Mello Leitão*, *23*, 1–26. http://boletim.sambio.org.br/pdf/zo_023.pdf

Troia, M., & McManamay, R. (2016). Filling in the GAPS: Evaluating completeness and coverage of open-access biodiversity databases in the United States. *Ecology and Evolution*, *6*(10). https://doi.org/10.1002/ece3.2225

Vitule, J. R. S., Occhi, T. V. T., Carneiro, L., Daga, V. S., Frehse, F. A., Bezerra, L. A. V., Forneck, S., Pereira, H. S., Freitas, M. O., Hegel, C. G. Z., Abilhoa, V., Grombone-Guaratini, M. T., Queiroz-Sousa, J., Pivello, V. R., Silva-Matos, D. M., Oliveira, I., Toledo, L. F., Vallejos, M. A. V., Zenni, R. D., ... Braga, R. R. (2021). Non-native species introductions, invasions, and biotic homogenization in the Atlantic Forest. In M. C. M. Marques & C. E. V. Grelle (Eds.), *The Atlantic Forest*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55322-7_13

Wanderley, L. J., Mansur, M. S., Milanez, B., & Pinto, R. G. (2016). Desastre da Samarco/Vale/BHP no Vale do Rio Doce: aspectos econômicos, políticos e socioambientais. *Ciência e Cultura*, *68*(3), 30–35.

Zappi, D. C., Moro, M. F., Meagher, T. R., & Nic Lughadha, E. (2017). Plant Biodiversity Drivers in Brazilian Campos Rupestres: Insights from Phylogenetic Structure. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 2141. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02141

Zhang, W. Y., Sheldon, B., Grenyer, R., & Gaston, K. J. (2021). Habitat change and biased sampling influence estimation of diversity trends. *Current Biology*, *31*(16), 3656–3662. https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.06.012

Zwiener, V. P., Padial, A. A., & Marques, M. C. M. (2020). The mechanisms explaining tree species richness and composition are convergent in a megadiverse hotspot. *Biodiversity and Conservation*, *29*, 799–815. https://doi.org/10.1007/s10531-019-01893-9

Zwiener, V., Lima, R., Sánchez-Tapia, A., Rocha, D., & Marques, M. (2021). Tree diversity in the Brazilian Atlantic Forest: Biases and general patterns using different sources of information. In M. C. M. Marques & C. E. V. Grelle (Eds.), *The Atlantic Forest* (pp. 103–124). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55322-7_6