

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Análise da diversidade taxonômica e influência de variáveis ambientais na
abundância e biomassa de espécies com diferentes padrões de deciduidade
foliar na Mata Atlântica**

Laura Beatriz Assis Teixeira
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2026**

LAURA BEATRIZ ASSIS TEIXEIRA

**Análise da diversidade taxonômica e influência de variáveis ambientais na
abundância e biomassa de espécies com diferentes padrões de deciduidade
foliar na Mata Atlântica**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Carlos M. M. Eleto Torres

Coorientador: Otávio Miranda Verly

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

T266a
2026
Teixeira, Laura Beatriz Assis, 1999-
Análise da diversidade taxonômica e influência de variáveis ambientais na abundância e biomassa de espécies com diferentes padrões de deciduidade foliar na Mata Atlântica / Laura Beatriz Assis Teixeira. – Viçosa, MG, 2026.
1 dissertação eletrônica (107 f.): il. (algumas color.).

.
Inclui apêndices.

Orientador: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, 2026.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2026.479>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Levantamentos florestais - Mata Atlântica. 2. Taxonomia numérica - Mata Atlântica. 3. Biodiversidade florestal - Mata Atlântica - Fatores climáticos. 4. Bibliometria. I. Torres, Carlos Moreira Miquelino Eleto, 1987-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 634.958

LAURA BEATRIZ ASSIS TEIXEIRA

**Análise da diversidade taxonômica e influência de variáveis ambientais na
abundância e biomassa de espécies com diferentes padrões de deciduidade
foliar na Mata Atlântica**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 2 de junho de 2026.

Assentimento:

Laura Beatriz Assis Teixeira
Autora

Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 17/08/2026 às 21:31:22 e pelo orientador em 21/08/2026 às 09:09:06. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **JDP5.4Y9S.LKL2** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, Irene e José Teixeira, e ao meu irmão, Pedro, que são minha maior motivação e sempre se fizeram presentes me apoiando e me incentivando a acreditar em meus sonhos.

Ao meu namorado, Breno, pelo companheirismo e apoio de sempre. Sua parceria foi essencial para tornar esse processo mais leve.

Ao Professor Carlos Torres, pela orientação e por todos os ensinamentos, que vão além da academia. Agradeço também por todo incentivo e confiança.

Aos meus companheiros de pós-graduação e do Grupo de Estudos em Economia Ambiental e Manejo Florestal (GEEA), pela troca de conhecimentos e pela amizade.

Aos amigos que estiveram comigo, mesmo que longe, celebrando minhas conquistas e me dando forças nos momentos difíceis.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

RESUMO

TEIXEIRA, Laura Beatriz Assis, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2026. **Análise da diversidade taxonômica e influência de variáveis ambientais na abundância e biomassa de espécies com diferentes padrões de deciduidade foliar na Mata Atlântica.** Orientador: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres. Coorientador: Otávio Miranda Verly.

A caracterização de ecossistemas florestais envolve a análise da composição das comunidades e a compreensão dos processos que determinam sua dinâmica. As métricas de diversidade taxonômica permitem descrever como as espécies estão distribuídas nos fragmentos, enquanto a avaliação da abundância e biomassa sob a perspectiva de traços funcionais possibilita compreender como diferentes estratégias ecológicas influenciam a resposta das espécies às condições ambientais e às mudanças ao longo do tempo. Neste contexto, este trabalho foi dividido em dois capítulos, com os seguintes objetivos: (i) realizar uma revisão de estudos sobre diversidade taxonômica em ecossistemas florestais e comparar a aplicação dos índices mais comuns em fragmentos secundários da Mata Atlântica e (ii) analisar a influência de variáveis climáticas, edáficas e de paisagem na dinâmica líquida de abundância (DLA) e biomassa (DLB) das diferentes classes de deciduidade. No capítulo 1, foram incluídos na revisão artigos da plataforma Scopus que abordavam a análise quantitativa de biodiversidade taxonômica em florestas. Os resultados mostraram que os índices mais recorrentes são riqueza simples, índices de Shannon, Simpson, Pielou, Margalef, abundância relativa, índice de Menhinick, número de Hill, índices de Sorensen e Jaccard. No estudo de caso realizado em fragmentos de Mata Atlântica, as métricas permitiram comparar as comunidades quanto à riqueza, abundância, heterogeneidade, uniformidade e similaridade florística, evidenciando que diferentes índices fornecem informações complementares sobre a diversidade taxonômica. No capítulo 2, utilizamos modelos lineares mistos para avaliar a influência de efeitos fixos de variáveis climáticas, edáficas e de paisagem combinados a efeitos aleatórios de histórico de uso do solo e ano de inventário sobre DLA e DLB de quatro fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual da Mata Atlântica monitorados em 53 parcelas fixas de 0,05 ha nos anos de 2002, 2007, 2012, 2017 e 2022. Nossos resultados demonstraram que espécies perenes apresentaram maior abundância e biomassa na maioria dos fragmentos. Os modelos indicaram que DLA e DLB das diferentes classes de deciduidade são influenciadas por fatores climáticos, edáficos e de paisagem, com diferenças entre espécies decíduas, semidecíduas e

perenes, refletindo distintas estratégias funcionais em fragmentos da Mata Atlântica. Em conjunto, os resultados ampliam a compreensão da biodiversidade e dos processos ecológicos associados à dinâmica de sucessão e fornecem subsídios para ações de conservação, restauração e monitoramento de fragmentos da Mata Atlântica.

Palavras-chave: métricas de diversidade; análise bibliométrica; dinâmica florestal; hábito foliar; floresta estacional semidecidual

ABSTRACT

TEIXEIRA, Laura Beatriz Assis, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2026. **Taxonomic diversity analysis and the influence of environmental variables on the species abundance and biomass with different leaf deciduousness patterns in the Atlantic Forest.** Adviser: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres. Co-adviser: Otávio Miranda Verly.

The characterization of forest ecosystems involves analyzing community composition and understanding the processes that determine their dynamics. Taxonomic diversity metrics allow species distribution within forest fragments to be described, whereas the assessment of abundance and biomass from a functional trait perspective helps elucidate how different ecological strategies influence species responses to environmental conditions and changes over time. In this context, this study was divided into two chapters with the following objectives: (i) to review studies on taxonomic diversity in forest ecosystems and compare the application of the most commonly used indices in secondary Atlantic Forest fragments and (ii) to analyze the influence of climatic, edaphic, and landscape variables on the net dynamics of abundance (NDA) and biomass (NDB) across different leaf deciduousness classes. In Chapter 1, articles retrieved from the Scopus database that addressed the quantitative analysis of taxonomic biodiversity in forests were included in the review. The results showed that the most frequently used indices were species richness, Shannon, Simpson, Pielou, Margalef, relative abundance, Menhinick, Hill numbers, Sorensen, and Jaccard indices. In the case study conducted in Atlantic Forest fragments, these metrics enabled comparisons among communities in terms of richness, abundance, heterogeneity, evenness, and floristic similarity, demonstrating that different indices provide complementary information on taxonomic diversity. In Chapter 2, we used linear mixed-effects models to assess the influence of fixed effects of climatic, edaphic, and landscape variables combined with random effects of land-use history and inventory year on NDA and NDB in four Seasonal Semideciduous Atlantic Forest fragments monitored in 53 permanent 0.05-ha plots in 2002, 2007, 2012, 2017, and 2022. Our results showed that evergreen species had greater abundance and biomass in most fragments. The models indicated that NDA and NDB across the different deciduousness classes were influenced by climatic, edaphic, and landscape factors, with differences among deciduous, semideciduous, and evergreen species, reflecting distinct functional strategies in Atlantic Forest fragments. Overall, the results enhance our understanding of biodiversity and the ecological processes associated with

successional dynamics and provide support for conservation, restoration, and monitoring actions in Atlantic Forest fragments.

Keywords: diversity metrics; bibliometric analysis; forest dynamics; leaf habit; seasonal semideciduous forest

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	9
REFERÊNCIAS GERAIS	11
CAPÍTULO 1 – Diversidade taxonômica: uma revisão e análise comparativa dos principais índices aplicados à fragmentos secundários da Mata Atlântica	23
1. Introdução	25
2. Material e métodos	27
3. Resultados e discussão	29
4. Conclusões	48
5. Referências	50
CAPÍTULO 2 – Como variáveis climáticas, edáficas e de paisagem influenciam a abundância e biomassa de espécies com diferentes padrões de deciduidade foliar?.....	62
1. Introdução	64
2. Material e métodos	65
3. Resultados	70
4. Discussão	76
5. Conclusões	81
6. Referências	83
CONCLUSÕES GERAIS	95
Apêndice A – Capítulo 2	97

INTRODUÇÃO GERAL

A Mata Atlântica possui grande diversidade de plantas e animais (de Lima et al., 2020; Souza et al., 2019). A riqueza de espécies endêmicas e a ameaça à biodiversidade da Mata Atlântica faz com que o bioma seja considerado um hotspot de biodiversidade (Sloan et al., 2014). A Mata Atlântica desempenha um papel essencial com o fornecimento de diversos serviços ecossistêmicos como ciclagem de nutrientes, manutenção do equilíbrio no ciclo hidrológico, sequestro de carbono e a manutenção da própria biodiversidade que ocorre, por exemplo, através da polinização e dispersão de sementes (Brockerhoff et al., 2017; Hale et al., 2022). No entanto, historicamente o bioma foi muito afetado pela fragmentação provocada por mudanças de uso da terra (Silva et al., 2020), o que impacta negativamente a manutenção da biodiversidade.

O monitoramento contínuo da biodiversidade e de mudanças florísticas em fragmentos florestais é importante para compreender a dinâmica florestal, orientar estratégias de preservação e detectar tendências de perdas e ou manutenção de espécies ao longo do tempo (Bustamante et al., 2016), buscando compreender os efeitos de fatores ambientais e ações humanas em relação a essas mudanças (Rocha et al., 2020; Torres et al., 2023; Verly et al., 2026). Caracterizar a biodiversidade de forma quantitativa nem sempre é uma tarefa simples, isso porque a diversidade é complexa e possui três diferentes dimensões: taxonômica, filogenética e funcional (Le Bagousse-Pinguet et al., 2019). A diversidade taxonômica é uma dessas dimensões, e refere-se ao número de espécies e à forma como elas se distribuem em uma comunidade (Borges Silva et al., 2022; Ceia et al., 2023). Existem diversos índices que quantificam a diversidade taxonômica, sendo os mais clássicos a riqueza de espécies e os índices de Shannon-Wiener e Simpson (Dias et al., 2023). Para definir o índice a ser utilizado em um estudo deve-se compreender os aspectos da biodiversidade considerados, bem como a interpretação dos resultados, visto que o uso de alguns índices pode simplificar e subestimar a diversidade biológica de uma área, a depender das variáveis contempladas e do que se pretende estudar (González-Orozco and Parra-Quijano, 2023).

Além da biodiversidade, conhecer sobre as características funcionais que diferenciam as espécies que compõem um fragmento florestal também é importante para compreender sobre a estrutura e dinâmica de uma floresta (Chaturvedi et al., 2024). Determinadas características podem influenciar diretamente na forma que as plantas interagem com o ambiente, além da maneira que respondem às mudanças no clima, paisagem e no solo (Joswig et al., 2022). A depender dos padrões edafoclimáticos de uma região, algumas espécies possuem características

funcionais que conferem a elas resiliência às mudanças sazonais (Gorel et al., 2025; Morellato et al., 2000). A Floresta Estacional Semidecidual por exemplo é um tipo de vegetação da Mata Atlântica de que ocorre em regiões caracterizadas por uma estação seca e uma estação chuvosa (IBGE, 2004). Como forma de resiliência à mudança sazonal, parte da vegetação perde suas folhas no período seco, através de um mecanismo chamado deciduidade (Singh and Kushwaha, 2016). No entanto, espécies decíduas e perenes se diferem para além da perda sazonal de folhas. Espécies decíduas tendem a apresentar características aquisitivas, como maior área foliar específica, que está associada à maior capacidade fotossintética (Yao et al., 2020), e crescimento mais rápido, enquanto espécies perenes geralmente apresentam características conservativas, como maior densidade da madeira e crescimento mais lento (Lohbeck et al., 2015).

A caracterização de ecossistemas florestais envolve tanto a análise da composição das comunidades quanto a compreensão dos processos que determinam sua dinâmica (Yao et al., 2022). Nesse sentido, as métricas de diversidade taxonômica permitem descrever como as espécies estão distribuídas nos fragmentos (Roswell et al., 2021), enquanto a avaliação da abundância e da biomassa sob a perspectiva de traços funcionais possibilita compreender como diferentes estratégias ecológicas influenciam a resposta das espécies às condições ambientais e às mudanças ao longo do tempo (Henn et al., 2024). Portanto, este trabalho foi estruturado para compreender sobre as principais medidas de biodiversidade e sobre as mudanças florísticas relacionadas à perda sazonal de folhas em fragmentos secundários da Mata Atlântica. O capítulo 1 teve como objetivo: (i) realizar uma revisão de literatura, abrangendo tanto a análise bibliométrica, quanto a revisão do estado da arte dos índices de biodiversidade, visando conhecer os principais índices aplicados em estudos sobre biodiversidade de ecossistemas florestais; e (ii) comparar a aplicação de diferentes índices de diversidade taxonômica em fragmentos secundários da Mata Atlântica, observando como cada índice responde às diferenças estruturais entre os fragmentos.

No capítulo 2, foram abordadas as seguintes questões: (i) Como a estrutura e dinâmica de diferentes fragmentos da Mata Atlântica variam ao longo do tempo? (ii) Como a abundância e biomassa se distribuem entre espécies decíduas, semidecíduas e perenes? (iii) Quais são os efeitos de variáveis antropogênicas e ambientais sobre a abundância e biomassa nas diferentes classes de deciduidade?

REFERÊNCIAS GERAIS

- Allen, L., Reeve, R., Nousek-McGregor, A., Villacampa, J., MacLeod, R., 2019. Are orchid bees useful indicators of the impacts of human disturbance? *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.046>
- Álvarez-Yépiz, J.C., Búrquez, A., Martínez-Yrizar, A., Teece, M., Yépez, E.A., Dovciak, M., 2017. Resource partitioning by evergreen and deciduous species in a tropical dry forest. *Oecologia* 183, 607–618. <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3790-3>
- Andermann, T., Antonelli, A., Barrett, R.L., Silvestro, D., 2022. Estimating Alpha, Beta, and Gamma Diversity Through Deep Learning. *Front. Plant Sci.* 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.839407>
- Aria, M., Cuccurullo, C., 2017. *bibliometrix*: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics* 11, 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Avolio, M.L., Forrestel, E.J., Chang, C.C., La Pierre, K.J., Burghardt, K.T., Smith, M.D., 2019. Demystifying dominant species. *New Phytologist* 223, 1106–1126. <https://doi.org/10.1111/nph.15789>
- Balangen, D.A., Catones, M.S., Bayeng, J.M., Napaldet, J.T., 2023. Intensities of human disturbance dictate the floral diversity in tropical forest: the case of a secondary forest in Benguet, Philippines. *Journal of Mountain Science*. <https://doi.org/10.1007/s11629-022-7830-7>
- Barreto, J.R., Pardini, R., Metzger, J.P., Silva, F.A.B., Nichols, E.S., 2023. When forest loss leads to biodiversity gain: Insights from the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.109957>
- Bathurst, J.C., Fahey, B., Iroumé, A., Jones, J., 2020. Forests and floods: Using field evidence to reconcile analysis methods. *Hydrological Processes* 34, 3295–3310. <https://doi.org/10.1002/hyp.13802>
- Bawa, K.S., Nawn, N., Chellam, R., Krishnaswamy, J., Mathur, V., Olsson, S.B., Pandit, N., Rajagopal, P., Sankaran, M., Shaanker, R.U., Shankar, D., Ramakrishnan, U., Vanak, A.T., Quader, S., 2020. Envisioning a biodiversity science for sustaining human well-being. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117, 25951–25955. <https://doi.org/10.1073/pnas.2018436117>
- Bawa, K.S., Sengupta, A., Chavan, V., Chellam, R., Ganesan, R., Krishnaswamy, J., Mathur, V.B., Nawn, N., Olsson, S.B., Pandit, N., Quader, S., Rajagopal, P., Ramakrishnan, U., Ravikanth, G., Sankaran, M., Shankar, D., Seidler, R., Shaanker, R.U., Vanak, A.T., 2021. Securing biodiversity, securing our future: A national mission on biodiversity and human well-being for India. *Biological Conservation* 253, 108867. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108867>
- Belcik, M., Lenda, M., Amano, T., Skórka, P., 2020. Different response of the taxonomic, phylogenetic and functional diversity of birds to forest fragmentation. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76917-2>
- Bordin, K.M., Esquivel-Muelbert, A., Klipel, J., Picolotto, R.C., Bergamin, R.S., da Silva, A.C., Higuchi, P., Capellesso, E.S., Marques, M.C.M., Souza, A.F., Müller, S.C., 2023. No relationship between biodiversity and forest carbon sink across the subtropical Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2023.02.003>
- Borges Silva, L.C., Pavão, D.C., Elias, R.B., Moura, M., Ventura, M.A., Silva, L., 2022. Taxonomic, structural diversity and carbon stocks in a gradient of island forests. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05045-w>
- Borma, L.S., Costa, M.H., da Rocha, H.R., Arieira, J., Nascimento, N.C.C., Jaramillo-Giraldo, C., Ambrosio, G., Carneiro, R.G., Venzon, M., Neto, A.F., van der Hoff, R., Oliveira,

- B.F.A., Rajão, R., Nobre, C.A., 2022. Beyond Carbon: The Contributions of South American Tropical Humid and Subhumid Forests to Ecosystem Services. *Reviews of Geophysics* 60, e2021RG000766. <https://doi.org/10.1029/2021RG000766>
- Bragagnolo, C., Schelp, L.K., 2023. Teoria da Transição Florestal: Uma revisão bibliográfica para os biomas brasileiros. *Textos de Economia* 26, 01–32. <https://doi.org/10.5007/2175-8085.2023.e93917>
- Brasil, 2012. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012.
- Brock, R.C., Arnell, A., Simonson, W., Soterroni, A.C., Mosnier, A., Ramos, F., Ywata de Carvalho, A.X., Camara, G., Pirker, J., Obersteiner, M., Kapos, V., 2021. Implementing Brazil's Forest Code: a vital contribution to securing forests and conserving biodiversity. *Biodivers Conserv* 30, 1621–1635. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02159-x>
- Brockhoff, E.G., Barbaro, L., Castagneyrol, B., Forrester, D.I., Gardiner, B., González-Olabarria, J.R., Lyver, P.O., Meurisse, N., Oxbrough, A., Taki, H., Thompson, I.D., van der Plas, F., Jactel, H., 2017. Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodivers Conserv* 26, 3005–3035. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2>
- Bustamante, M.M.C., Roitman, I., Aide, T.M., Alencar, A., Anderson, L.O., Aragão, L., Asner, G.P., Barlow, J., Berenguer, E., Chambers, J., Costa, M.H., Fanin, T., Ferreira, L.G., Ferreira, J., Keller, M., Magnusson, W.E., Morales-Barquero, L., Morton, D., Ometto, J.P.H.B., Palace, M., Peres, C.A., Silvério, D., Trumbore, S., Vieira, I.C.G., 2016. Toward an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. *Global Change Biology* 22, 92–109. <https://doi.org/10.1111/gcb.13087>
- Cantasano, N., 2024. Loss and gain of marine biodiversity in Mediterranean seawaters. *Natural Resources Conservation and Research* 7, 5420. <https://doi.org/10.24294/nrcr.v7i1.5420>
- Cassol, I., Ibañez, M., Bustamante, J.P., 2025. Key features and guidelines for the application of microbial alpha diversity metrics. *Sci Rep* 15, 622. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-77864-y>
- Cazzolla Gatti, R., Amoroso, N., Monaco, A., 2020. Estimating and comparing biodiversity with a single universal metric. *Ecological Modelling*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109020>
- Cazzolla Gatti, R., Iaria, J., Moretti, G., Amendola, V., Cassola, F.M., Cerretti, P., Musciano, M.D., Francesconi, L., Frattaroli, A.R., Livornese, M., Martini, M., Nania, D., Pacifici, M., Piovesan, G., Prandelli, S., Rocchini, D., Rondinini, C., Chiarucci, A., 2024. EU2030 biodiversity strategy: Unveiling gaps in the coverage of ecoregions and threatened species within the strictly protected areas of Italy. *Journal for Nature Conservation* 79, 126621. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126621>
- Ceia, R.S., Faria, N., Lopes, P.B., Alves, J., Alves da Silva, A., Valente, C., Gonçalves, C.I., Mata, V.A., Sousa, J.P., da Silva, L.P., 2023. Bird taxonomic and functional diversity, group- and species-level effects on a gradient of weevil-caused damage in eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121233>
- Chao, A., 1984. Nonparametric Estimation of the Number of Classes in a Population. *Scandinavian Journal of Statistics* 11, 265–270.
- Chao, A., Chiu, C.-H., Hu, K.-H., van der Plas, F., Cadotte, M.W., Miteser, O., Thorn, S., Mori, A.S., Scherer-Lorenzen, M., Eisenhauer, N., Bässler, C., Delory, B.M., Feldhaar, H., Fichtner, A., Hothorn, T., Peters, M.K., Pierick, K., von Oheimb, G., Müller, J., 2024. Hill–Chao numbers allow decomposing gamma multifunctionality into alpha and beta components. *Ecology Letters* 27, e14336. <https://doi.org/10.1111/ele.14336>

- Chao, A., Colwell, R.K., 2022. Biodiversity: Concepts, Dimensions, and Measures, in: *The Ecological and Societal Consequences of Biodiversity Loss*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 25–46. <https://doi.org/10.1002/9781119902911.ch2>
- Chao, A., Henderson, P.A., Chiu, C.-H., Moyes, F., Hu, K.-H., Dornelas, M., Magurran, A.E., 2021. Measuring temporal change in alpha diversity: A framework integrating taxonomic, phylogenetic and functional diversity and the iNEXT.3D standardization. *Methods in Ecology and Evolution* 12, 1926–1940. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13682>
- Chaturvedi, R.K., Pandey, S.K., Tripathi, A., Goparaju, L., Raghubanshi, A.S., Singh, J.S., 2024. Variations in the plasticity of functional traits indicate the differential impacts of abiotic and biotic factors on the structure and growth of trees in tropical dry forest fragments. *Front. Plant Sci.* 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1181293>
- Chen, H.L., Lewison, R.L., An, L., Tsai, Y.H., Stow, D., Shi, L., Yang, S., 2020. Assessing the effects of payments for ecosystem services programs on forest structure and species biodiversity. *Biodiversity and Conservation*. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-01953-3>
- Cheng, Y., Zhang, H., Zang, R., Wang, Xixi, Long, W., Wang, Xu, Xiong, M., John, R., 2020. The effects of soil phosphorus on aboveground biomass are mediated by functional diversity in a tropical cloud forest. *Plant and Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04421-7>
- Corre, G., Galy, A., 2023. Evaluation of diversity indices to estimate clonal dominance in gene therapy studies. *Molecular Therapy Methods & Clinical Development* 29, 418–425. <https://doi.org/10.1016/j.omtm.2023.05.003>
- Crist, T.O., Veech, J.A., Gering, J.C., Summerville, K.S., 2003. Partitioning Species Diversity across Landscapes and Regions: A Hierarchical Analysis of α , β , and γ Diversity. *The American Naturalist* 162, 734–743. <https://doi.org/10.1086/378901>
- Dangles, O., Loirat, J., Freour, C., Serre, S., Vacher, J., Roux, X.L., 2016. Research on Biodiversity and Climate Change at a Distance: Collaboration Networks between Europe and Latin America and the Caribbean. *PLOS ONE* 11, e0157441. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157441>
- de la Sancha, N.U., Maestri, R., Bovendorp, R.S., Higgins, C.L., 2020. Disentangling drivers of small mammal diversity in a highly fragmented forest system. *Biotropica*. <https://doi.org/10.1111/btp.12745>
- de Lima, R.A., Dauby, G., de Gasper, A.L., Fernández, E.P., Vibrans, A.C., Oliveira, A.A. de, Prado, P.I., Souza, V.C., F. de Siqueira, M., ter Steege, H., 2024. Comprehensive conservation assessments reveal high extinction risks across Atlantic Forest trees. *Science* 383, 219–225. <https://doi.org/10.1126/science.abq5099>
- de Lima, R.A.F., Souza, V.C., de Siqueira, M.F., ter Steege, H., 2020. Defining endemism levels for biodiversity conservation: Tree species in the Atlantic Forest hotspot. *Biological Conservation* 252, 108825. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108825>
- Dias, C.H.S., Miranda, I.S., Do Vale, I., Santos, G.G.A., Costa Neto, S.V., Costa, L.G.S., 2023. Differentiating diversity among different land cover types in the eastern Amazon; [Diferenciação da diversidade entre diferentes tipos de cobertura do solo na Amazônia Oriental]. *Acta Amazonica*. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202202951>
- E, A.R.H., Salleh, N.Z.M., Abdullah, M., Ali, A., Faisal, F., Nor, R.M., 2023. Research trends, developments, and future perspectives in brand attitude: A bibliometric analysis utilizing the Scopus database (1944–2021). *Heliyon* 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12765>

- Ette, J.-S., Sallmannshofer, M., Geburek, T., 2023. Assessing Forest Biodiversity: A Novel Index to Consider Ecosystem, Species, and Genetic Diversity. *Forests* 14, 709. <https://doi.org/10.3390/f14040709>
- Fakhar Izadi, N., Keshtkar, H.R., 2020. Investigating the effects of distribution patterns on ecological indices of plant species in a simulated environment. *Desert* 25, 201–211. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2020.79257>
- Fan, Z., Ouyang, X., Wan, Y., Xiao, W., Xie, W., Ou, S., Deng, X., Huang, Z., Xiao, Z., 2020. Mammals and birds survey using camera trapping in Dinghushan and its surrounding forests, Guangdong province. *Biodiversity Science*. <https://doi.org/10.17520/biods.2020166>
- Felfili, M.C., Felfili, J.M., 2001. Diversidade alfa e beta no cerrado sensu strictu da Chapada Pratinha, Brasil. *Acta Bot. Bras.* 15, 243–254. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0102-33062001000200010>
- Felipe-Lucia, M.R., Soliveres, S., Penone, C., Manning, P., van der Plas, F., Boch, S., Prati, D., Ammer, C., Schall, P., Gossner, M.M., Bauhus, J., Buscot, F., Blaser, S., Blüthgen, N., de Frutos, A., Ehbrecht, M., Frank, K., Goldmann, K., Hänsel, F., Jung, K., Kahl, T., Nauss, T., Oelmann, Y., Pena, R., Polle, A., Renner, S., Schloter, M., Schöning, I., Schrumpp, M., Schulze, E.-D., Solly, E., Sorkau, E., Stempfhuber, B., Tschapka, M., Weisser, W.W., Wubet, T., Fischer, M., Allan, E., 2018. Multiple forest attributes underpin the supply of multiple ecosystem services. *Nat Commun* 9, 4839. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07082-4>
- Fidelino, J.S., Duya, M.R.M., Duya, M.V., Ong, P.S., 2020. Fruit bat diversity patterns for assessing restoration success in reforestation areas in the Philippines. *Acta Oecologica*. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103637>
- Forest, F., 2017. Quest for adequate biodiversity surrogates in a time of urgency. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 114, 12638–12640. <https://doi.org/10.1073/pnas.1717722114>
- Fuchun, T., Zewei, Z., Jiali, L., Zijun, H., Xuanzong, Y., Mufan, W., Xiaoling, Z., Yihua, X., 2023. Bird Diversity of Maofeng Mountain Forest Park in Guangzhou; [广州市帽峰山森林公园鸟类多样性研究]. *Tropical Geography*. <https://doi.org/10.13284/j.cnki.rddl.003674>
- Gamfeldt, L., Snäll, T., Bagchi, R., Jonsson, M., Gustafsson, L., Kjellander, P., Ruiz-Jaen, M.C., Fröberg, M., Stendahl, J., Philipson, C.D., Mikusiński, G., Andersson, E., Westerlund, B., Andrén, H., Moberg, F., Moen, J., Bengtsson, J., 2013. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nat Commun* 4, 1340. <https://doi.org/10.1038/ncomms2328>
- García del Barrio, J.M., Sánchez de Ron, D., Auñón, F., Benavides, R., Alonso Ponce, R., González-Ávila, S., Bolaños, F., Roig, S., Ortega Quero, M., 2024. Monitoring Diversity Profiles of Forested Landscapes in the Mediterranean Spain: Their Contribution to Local and Regional Vascular Plant Diversity. *Diversity*. <https://doi.org/10.3390/d16100626>
- Ghanbari, S., Álvarez-Álvarez, P., Esmaili, A., Sasanifar, S., Sadeghi, S.M.M., Sefidi, K., Eastin, I., 2025. Coppice and Coppice-with-Standard Stands Systems: Implications for Forest Management and Biodiversity. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f16010116>
- Ghritlahre, S., Kumari, N., Datta, D., Kumar, A., Sahay, G., Bhatore, A., 2025. Protecting India's Biodiversity: The Role of the Biological Diversity Act 2002: A Review. *BKAP*. <https://doi.org/10.18805/BKAP788>
- Giam, X., 2017. Global biodiversity loss from tropical deforestation. *Proc Natl Acad Sci U S A* 114, 5775–5777. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706264114>
- Gianguzzi, L., Caldarella, O., Campisi, P., Ravera, S., Scalenghe, R., Venturella, G., 2024. Plant diversity in old-growth woods: the case of the forest edges of the Favorita Park in

- Palermo (north-western Sicily, Italy). *Plant Sociology* 61, 1–29. <https://doi.org/10.3897/pls2024611/01>
- González-Orozco, C.E., Parra-Quijano, M., 2023. Comparing species and evolutionary diversity metrics to inform conservation. *Diversity and Distributions* 29, 224–231. <https://doi.org/10.1111/ddi.13660>
- Gorel, A.-P., Fayolle, A., Ligot, G., Rossi, V., Hardy, O.J., Beeckman, H., Steppe, K., 2025. Leaf habit, maximum height and wood density of tropical woody flora in Africa: Phylogenetic constraints, covariation and responses to seasonal drought. *Journal of Ecology* 113, 1209–1224. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.70027>
- Gotelli, N.J., Booher, D.B., Urban, M.C., Ulrich, W., Suarez, A.V., Skelly, D.K., Russell, D.J., Rowe, R.J., Rothendler, M., Rios, N., Rehan, S.M., Ni, G., Moreau, C.S., Magurran, A.E., Jones, F.A.M., Graves, G.R., Fiera, C., Burkhardt, U., Primack, R.B., 2023. Estimating species relative abundances from museum records. *Methods in Ecology and Evolution* 14, 431–443. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13705>
- Graser, A., Frank, C., Kunz, F., Schuldt, A., Senf, C., Sudfeldt, C., Trautmann, S., Kamp, J., 2025. Increase in disturbance-induced canopy gaps leads to reorganization of Central European bird communities. *Basic and Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2025.01.013>
- Gregorius, H.-R., Gillet, E.M., 2008. Generalized Simpson-diversity. *Ecological Modelling* 211, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.08.026>
- Guillin, A., Jabot, F., Personne, A., 2020. On the Simpson index for the Wright–Fisher process with random selection and immigration. *Int. J. Biomath.* 13, 2050046. <https://doi.org/10.1142/S1793524520500461>
- Gurashi, N.A., Yasin, E.H.E., Czimer, K., 2024. Changes in Structure, Tree Species Composition, and Diversity of the Abu Geili Riverine Forest Reserve, Sinnar State, Sudan; [Változások a szerkezetben, a fajösszetételben és a diverzitásban az Abu Geili Folyómenti Erdőrezervátumban (Szinnár állam, Szudán)]. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*. <https://doi.org/10.37045/aslh-2024-0004>
- Hajizadeh, G., Jalilvand, H., Kavosi, M.R., Barimani Varandi, H., 2022. Seasonal Patterns in Moth Abundance and Species Diversity in the Northern Mountainous Forests of Iran. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s40011-021-01304-4>
- Hale, K.R.S., Maes, D.P., Valdovinos, F.S., 2022. Simple Mechanisms of Plant Reproductive Benefits Yield Different Dynamics in Pollination and Seed Dispersal Mutualisms. *The American Naturalist* 200, 202–216. <https://doi.org/10.1086/720204>
- Han, Z., Zhang, L., Jiang, Y., Wang, H., Jiguet, F., 2021. Local habitat and landscape attributes shape the diversity facets of bird communities in inner mongolian grasslands; [Les caractéristiques d’habitat aux échelles locale et du paysage façonnent la diversité des communautés d’oiseaux dans les prairies de la mongolie-intérieure]. *Avian Conservation and Ecology*. <https://doi.org/10.5751/ACE-01739-160103>
- Hardersen, S., La Porta, G., 2023. Never underestimate biodiversity: how undersampling affects Bray–Curtis similarity estimates and a possible countermeasure. *The European Zoological Journal* 90, 660–672. <https://doi.org/10.1080/24750263.2023.2249007>
- Henn, J.J., Anderson, K.E., Brigham, L.M., Bueno de Mesquita, C.P., Collins, C.G., Elmendorf, S.C., Green, M.D., Huxley, J.D., Rafferty, N.E., Rose-Person, A., Spasojevic, M.J., 2024. Long-Term Alpine Plant Responses to Global Change Drivers Depend on Functional Traits. *Ecology Letters* 27, e14518. <https://doi.org/10.1111/ele.14518>
- Hill, M.O., 1973. Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology* 54, 427–432. <https://doi.org/10.2307/1934352>

- Hilwan, I., Santosa, Y., Nahla, S., 2023. Penentuan Bentuk dan Luas Petak Contoh Optimum Pengukuran Keanekaragaman Jenis Tumbuhan Tingkat Pancang Hutan Pegunungan. *Journal of Tropical Silviculture* 14, 63–69. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.14.01.64-70>
- IBGE, I.B. de G. e E., 2004. Vegetação Brasileira [WWW Document]. URL <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/10872-vegetacao.html> (accessed 1.13.25).
- Isbell, F., Gonzalez, A., Loreau, M., Cowles, J., Díaz, S., Hector, A., Mace, G.M., Wardle, D.A., O'Connor, M.I., Duffy, J.E., Turnbull, L.A., Thompson, P.L., Larigauderie, A., 2017. Linking the influence and dependence of people on biodiversity across scales. *Nature* 546, 65–72. <https://doi.org/10.1038/nature22899>
- Jiang, Y., Chen, Z., Lin, H., Deng, R., Liang, Z., Li, Y., Liang, S., 2024. Trait-based community assembly and functional strategies across three subtropical karst forests, Southwestern China. *Front. Plant Sci.* 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1451981>
- Joswig, J.S., Wirth, C., Schuman, M.C., Kattge, J., Reu, B., Wright, I.J., Sippel, S.D., Rüger, N., Richter, R., Schaepman, M.E., van Bodegom, P.M., Cornelissen, J.H.C., Díaz, S., Hattingh, W.N., Kramer, K., Lens, F., Niinemets, Ü., Reich, P.B., Reichstein, M., Römermann, C., Schrod, F., Anand, M., Bahn, M., Byun, C., Campetella, G., Cerabolini, B.E.L., Craine, J.M., Gonzalez-Melo, A., Gutiérrez, A.G., He, T., Higuchi, P., Jactel, H., Kraft, N.J.B., Minden, V., Onipchenko, V., Peñuelas, J., Pillar, V.D., Sosinski, Ê., Soudzilovskaia, N.A., Weiher, E., Mahecha, M.D., 2022. Climatic and soil factors explain the two-dimensional spectrum of global plant trait variation. *Nat Ecol Evol* 6, 36–50. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01616-8>
- Jurasinski, G., Retzer, V., Beierkuhnlein, C., 2009. Inventory, differentiation, and proportional diversity: a consistent terminology for quantifying species diversity. *Oecologia* 159, 15–26. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1190-z>
- Kardgar, N., Rahmani, R., Zare, H., Ghorbani, S., 2025. Assessing the effect of plot size on species diversity in a mixed oriental beech forest. *Journal of Forestry Research*. <https://doi.org/10.1007/s11676-024-01796-6>
- Karimi, A., Raymond, C.M., 2022. Assessing the diversity and evenness of ecosystem services as perceived by residents using participatory mapping. *Applied Geography* 138, 102624. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102624>
- Kass, J.M., Yoshimura, M., Ogasawara, M., Suwabe, M., Hita Garcia, F., Fischer, G., Dudley, K.L., Donohue, I., Economo, E.P., 2023. Breakdown in seasonal dynamics of subtropical ant communities with land-cover change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rspb.2023.1185>
- Kharoliwal, S., Shrivastava, S., 2025. A Rapid Assessment of Alpha Diversity by Use of Shannon Diversity Index-A Statistical Tool. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology* 12, 1378–1384. <https://doi.org/10.32628/IJSRST25123154>
- Khatsuriya, P.A., Makwana, V.M., Dodia, P.P., 2024. Biodiversity Resilience Amidst Climate Shifts: A Global Perspective, in: Idris, S. (Ed.), *Advances in Environmental Engineering and Green Technologies*. IGI Global, pp. 75–99. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-2845-3.ch005>
- Kumar, G., Kumar, A., Saikia, P., Khan, M.L., 2024. Assessing population diversity and compositional structure in forests in Pachmarhi Biosphere Reserve, Central India. *Ecological Frontiers*. <https://doi.org/10.1016/j.ecofro.2024.08.005>
- Larrieu, L., Gonin, P., 2008. L'indice de biodiversité potentielle (IBP) : une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Revue forestière française* 60, 727–748. <https://doi.org/10.4267/2042/28373>

- Le Bagousse-Pinguet, Y., Soliveres, S., Gross, N., Torices, R., Berdugo, M., Maestre, F.T., 2019. Phylogenetic, functional, and taxonomic richness have both positive and negative effects on ecosystem multifunctionality. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 116, 8419–8424. <https://doi.org/10.1073/pnas.1815727116>
- Lelli, C., Bruun, H.H., Chiarucci, A., Donati, D., Frascaroli, F., Fritz, Ö., Goldberg, I., Nascimbene, J., Tøttrup, A.P., Rahbek, C., Heilmann-Clausen, J., 2019. Biodiversity response to forest structure and management: Comparing species richness, conservation relevant species and functional diversity as metrics in forest conservation. *Forest Ecology and Management* 432, 707–717. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.057>
- Li, D., 2018. hillR: taxonomic, functional, and phylogenetic diversity and similarity through Hill Numbers. *Journal of Open Source Software* 3, 1041. <https://doi.org/10.21105/joss.01041>
- Liu, J., Li, S., Ouyang, Z., Tam, C., Chen, X., 2008. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, 9477–9482. <https://doi.org/10.1073/pnas.0706436105>
- Liu, J.-J., Burgess, K.S., Ge, X.-J., 2022. Species pool size and rainfall account for the relationship between biodiversity and biomass production in natural forests of China. *Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1002/ece3.8838>
- Liu, S., Cieszewski, C.J., 2024. INTERCONNECTED BIODIVERSITY: MAPPING THE RELATIONSHIP BETWEEN TREE AND BREEDING BIRD SPECIES DIVERSITY IN GEORGIA'S FORESTS, USA. *Mathematical and Computational Forestry and Natural-Resource Sciences*.
- Liu, X., Wu, Y., Zhang, M., Chen, X., Zhu, Z., Chen, D., Dong, S., Li, B., Ding, B., Liu, Y., 2024. Community composition and structure of a 25-ha forest dynamics plot of subtropical forest in Baishanzu, Zhejiang Province. *Biodiversity Science*. <https://doi.org/10.17520/biods.2023294>
- Lohbeck, M., Lebrija-Trejos, E., Martínez-Ramos, M., Meave, J.A., Poorter, L., Bongers, F., 2015. Functional Trait Strategies of Trees in Dry and Wet Tropical Forests Are Similar but Differ in Their Consequences for Succession. *PLOS ONE* 10, e0123741. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123741>
- López-Osorio, F., Miranda-Esquivel, D.R., 2010. A phylogenetic approach to conserving Amazonian biodiversity. *Conserv Biol* 24, 1359–1366. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01482.x>
- Lucas, F.M.F., Araujo, E.C.G., Fiedler, N.C., Santana, J.A. da S., Tetto, A.F., 2023. Perspective: Scientific gaps on forest fires in Brazilian protected areas. *Forest Ecology and Management* 529, 120739. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120739>
- Lyashevskaya, O., Farnsworth, K.D., 2012. How many dimensions of biodiversity do we need? *Ecological Indicators* 18, 485–492. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.016>
- Magurran, A.E., 2013. *Medindo a diversidade biológica*, Pesquisa. Editora UFPR.
- Margalef, R., 1973. Information theory in ecology. *La teoría de la información en Ecología*.
- Matas-Granados, L., Draper, F.C., Cayuela, L., de Aledo, J.G., Arellano, G., Saadi, C.B., Baker, T.R., Phillips, O.L., Honorio Coronado, E.N., Ruokolainen, K., García-Villacorta, R., Roucoux, K.H., Guèze, M., Sandoval, E.V., Fine, P.V.A., Amasifuen Guerra, C.A., Gomez, R.Z., Stevenson Diaz, P.R., Monteagudo-Mendoza, A., Martinez, R.V., Socolar, J.B., Disney, M., del Aguila Pasquel, J., Llampazo, G.F., Arenas, J.V., Huaymacari, J.R., Grandez Rios, J.M., Macía, M.J., 2024. Understanding different dominance patterns in western Amazonian forests. *Ecology Letters* 27, e14351. <https://doi.org/10.1111/ele.14351>

- Melo, A.S., 2008. O que ganhamos “confundindo” riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? *Biota Neotrop.* 8, 21–27. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032008000300001>
- Menhinick, E.F., 1964. A Comparison of Some Species-Individuals Diversity Indices Applied to Samples of Field Insects. *Ecology* 45, 859–861. <https://doi.org/10.2307/1934933>
- Mi, X., Feng, G., Hu, Y., Zhang, J., Chen, L., Corlett, R.T., Hughes, A.C., Pimm, S., Schmid, B., Shi, S., Svenning, J.-C., Ma, K., 2021. The global significance of biodiversity science in China: an overview. *National Science Review* nwab032. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwab032>
- Michel, O.O., Yu, Y., Fan, W., Lubalega, T., Chen, C., Sudi Kaiko, C.K., 2022. Impact of Land Use Change on Tree Diversity and Aboveground Carbon Storage in the Mayombe Tropical Forest of the Democratic Republic of Congo. *Land*. <https://doi.org/10.3390/land11060787>
- Mlambo, D., Sebata, A., Chichinye, A., Mabidi, A., 2024. Chapter 5 - Agroforestry and biodiversity conservation, in: Jhariya, M.K., Meena, R.S., Banerjee, A., Kumar, S., Raj, A. (Eds.), *Agroforestry for Carbon and Ecosystem Management*. Academic Press, pp. 63–78. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95393-1.00008-7>
- Mohammadi, L., Hajizadeh, J., 2025. Biodiversity indexes of Rhodacaroidea (Acari: Mesostigmata) at the garbage dump in the Saravan forest, Rasht County; [تنوع های شاخص Rhodacaroidea (Acari: Mesostigmata) در محل انباشت محل در جنگل زیاله انباشت محل در [شهرستان سران، Plant Pest Research. <https://doi.org/10.22124/iprj.2025.29789.1623>
- Molotoks, A., Green, J., Ribeiro, V., Wang, Y., West, C., 2024. Assessing the value of biodiversity-specific footprinting metrics linked to South American soy trade. *People and Nature*. <https://doi.org/10.1002/pan3.10457>
- Morellato, L.P.C., Talora, D.C., Takahasi, A., Bencke, C.C., Romera, E.C., Zipparro, V.B., 2000. Phenology of Atlantic Rain Forest Trees: A Comparative Study. *Biotropica* 32, 811–823. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00620.x>
- Morris, E.K., Caruso, T., Buscot, F., Fischer, M., Hancock, C., Maier, T.S., Meiners, T., Müller, C., Obermaier, E., Prati, D., Socher, S.A., Sonnemann, I., Wäschke, N., Wubet, T., Wurst, S., Rillig, M.C., 2014. Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecology and Evolution* 4, 3514–3524. <https://doi.org/10.1002/ece3.1155>
- Moura, M.R., Oliveira, G.A., Paglia, A.P., Pires, M.M., Santos, B.A., 2023. Climate change should drive mammal defauna in tropical dry forests. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.16979>
- Mulya, H., Santosa, Y., Hilwan, I., 2021. Comparison of four species diversity indices in mangrove community. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 22. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220906>
- Nagendra, H., 2002. Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. *Applied Geography* 22, 175–186. [https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(02\)00002-4](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(02)00002-4)
- Nolander, C., Lundmark, R., 2024. A Review of Forest Ecosystem Services and Their Spatial Value Characteristics. *Forests* 15, 919. <https://doi.org/10.3390/f15060919>
- Noroozi, J., Talebi, A., Doostmohammadi, M., Manafzadeh, S., Asgarpour, Z., Schneeweiss, G.M., 2019. Endemic diversity and distribution of the Iranian vascular flora across phytogeographical regions, biodiversity hotspots and areas of endemism. *Sci Rep* 9, 12991. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49417-1>

- Ohyama, L., Bogota-Gregory, J.D., Jenkins, D.G., 2024. Peak beta diversity occurs at regional spatial grains. *Frontiers of Biogeography* 17, e132675. <https://doi.org/10.21425/fob.17.132675>
- Ottaviani, G., Götzenberger, L., Bacaro, G., Chiarucci, A., de Bello, F., Marcantonio, M., 2019. A multifaceted approach for beech forest conservation: Environmental drivers of understory plant diversity. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.05.006>
- Palli, J., Mensing, S.A., Schoolman, E.M., Solano, F., Piovesan, G., 2023. Historical ecology identifies long-term rewilding strategy for conserving Mediterranean mountain forests in south Italy. *Ecological Applications* 33, e2758. <https://doi.org/10.1002/eap.2758>
- Parisi, F., Innangi, M., Tognetti, R., Lombardi, F., Chirici, G., Marchetti, M., 2021. Forest stand structure and coarse woody debris determine the biodiversity of beetle communities in Mediterranean mountain beech forests. *Global Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01637>
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* 13, 131–144. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0)
- Pillay, R., Venter, M., Aragon-Osejo, J., González-del-Pliego, P., Hansen, A.J., Watson, J.E., Venter, O., 2022. Tropical forests are home to over half of the world's vertebrate species. *Front Ecol Environ* 20, 10–15. <https://doi.org/10.1002/fee.2420>
- Qian, H., Qian, S., 2023. Geographic patterns of taxonomic and phylogenetic β -diversity of angiosperm genera in regional floras across the world. *Plant Diversity* 45, 491–500. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2023.07.008>
- Quiroga-Pacheco, C.J., Velez-Liendo, X., Zedrosser, A., 2024. Effects of Seasonality on the Large and Medium-Sized Mammal Community in Mountain Dry Forests. *Diversity*. <https://doi.org/10.3390/d16070409>
- Rappa, N.J., Staab, M., Frey, J., Winiger, N., Klein, A.-M., 2022. Multiple forest structural elements are needed to promote beetle biomass, diversity and abundance. *Forest Ecosystems*. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2022.100056>
- Ricotta, C., 2005. Through the Jungle of Biological Diversity. *Acta Biotheor* 53, 29–38. <https://doi.org/10.1007/s10441-005-7001-6>
- Rocha, S.J.S.S. da, Torres, C.M.M.E., Villanova, P.H., Schettini, B.L.S., Jacovine, L.A.G., Leite, H.G., Gelcer, E.M., Reis, L.P., Neves, K.M., Comini, I.B., Silva, L.F. da, 2020. Drought effects on carbon dynamics of trees in a secondary Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management* 465, 118097. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118097>
- Roswell, M., Dushoff, J., Winfree, R., 2021. A conceptual guide to measuring species diversity. *Oikos* 130, 321–338. <https://doi.org/10.1111/oik.07202>
- Rota, M., Piqué, M., Sazatornil, V., Feldman, M.J., Baiges, T., Guixé, D., Larrieu, L., Mundet, R., Pallarés, M., Vayreda, J., Camprodon, J., 2025. Evaluating habitat structural variables as reliable indicators of biodiversity in Mediterranean forests. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.122727>
- Saranya, K.R.L., Mandal, K.K., Kar, T., Sudhakar Reddy, C., Satish, K.V., 2023. Effects of Disturbance Regimes on Phytodiversity of Similipal Biosphere Reserve, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1007/s12524-023-01684-2>
- Schweiger, A.K., Laliberté, E., 2022. Plant beta-diversity across biomes captured by imaging spectroscopy. *Nature Communications*. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30369-6>
- Shannon, C.E., Weaver, W., Wiener, N., 1950. The Mathematical Theory of Communication. *Physics Today* 3, 31–32. <https://doi.org/10.1063/1.3067010>

- Sharma, A., Patel, S.K., Singh, G.S., 2023. Variation in Species Composition, Structural Diversity, and Regeneration Along Disturbances in Tropical Dry Forest of Northern India. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2022.11.004>
- Silva, L.G. da, Tavares, A.C.F., Brandão, C.F.L.E.S., Verçosa, J.P. dos S., Cola, R.E., Silva, N.L. da, Santos, A.A.L. dos, Vieira, A.C.S., Neto, J.F. da S., Lana, M.D., 2020. Effect of Land Cover Change on Atlantic Forest Fragmentation in Rio Largo, Al, Brazil. *Journal of Experimental Agriculture International* 102–114. <https://doi.org/10.9734/jeai/2020/v42i530524>
- Singh, K.P., Kushwaha, C.P., 2016. Deciduousness in tropical trees and its potential as indicator of climate change: A review. *Ecological Indicators* 69, 699–706. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.011>
- Sloan, S., Jenkins, C.N., Joppa, L.N., Gaveau, D.L.A., Laurance, W.F., 2014. Remaining natural vegetation in the global biodiversity hotspots. *Biological Conservation* 177, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.05.027>
- Souza, Y., Gonçalves, F., Lautenschlager, L., Akkawi, P., Mendes, C., Carvalho, M.M., Bovendorp, R.S., Fernandes-Ferreira, H., Rosa, C., Graipel, M.E., Peroni, N., Cherem, J.J., Bogoni, J.A., Brocardo, C.R., Miranda, J., Zago da Silva, L., Melo, G., Cáceres, N., Sponchiado, J., Ribeiro, M.C., Galetti, M., 2019. ATLANTIC MAMMALS: a data set of assemblages of medium- and large-sized mammals of the Atlantic Forest of South America. *Ecology* 100, e02785. <https://doi.org/10.1002/ecy.2785>
- Srivathsa, A., Vasudev, D., Nair, T., Chakrabarti, S., Chanchani, P., DeFries, R., Deomurari, A., Dutta, S., Ghose, D., Goswami, V.R., Nayak, R., Neelakantan, A., Thatte, P., Vaidyanathan, S., Verma, M., Krishnaswamy, J., Sankaran, M., Ramakrishnan, U., 2023. Prioritizing India's landscapes for biodiversity, ecosystem services and human well-being. *Nat Sustain* 6, 568–577. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01063-2>
- Storch, F., Boch, S., Gossner, M.M., Feldhaar, H., Ammer, C., Schall, P., Polle, A., Kroiher, F., Müller, J., Bauhus, J., 2023. Linking structure and species richness to support forest biodiversity monitoring at large scales. *Annals of Forest Science* 80. <https://doi.org/10.1186/s13595-022-01169-1>
- Sun, S., Sang, W., Axmacher, J.C., 2020. China's national nature reserve network shows great imbalances in conserving the country's mega-diverse vegetation. *Science of The Total Environment* 717, 137159. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137159>
- Taye, F.A., Folkersen, M.V., Fleming, C.M., Buckwell, A., Mackey, B., Diwakar, K.C., Le, D., Hasan, S., Ange, C.S., 2021. The economic values of global forest ecosystem services: A meta-analysis. *Ecological Economics* 189, 107145. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107145>
- Thukral, A.K., 2017. A review on measurement of Alpha diversity in biology. *Intern. Jour. Contemp. Microbiol.* 54, 1. <https://doi.org/10.5958/2395-146X.2017.00001.1>
- Torres, C.M.M.E., Medina-Vega, J.A., Rocha, S.J.S.S. da, Costa, W. da S., Soares, C.P.B., Souza, A.L. de, Jacovine, L.A.G., Lana, J.M. de, Peña-Claros, M., 2023. Drivers of tree demographic processes in forest fragments of the Brazilian Atlantic forest. *Forest Ecology and Management* 534, 120893. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120893>
- Tukiainen, H., Maliniemi, T., Alahuhta, J., Hjort, J., Lindholm, M., Salminen, H., Snåre, H., Toivanen, M., Vilmi, A., Heino, J., 2023. Quantifying alpha, beta and gamma geodiversity. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 47, 140–151. <https://doi.org/10.1177/03091333221114714>
- Tzompa-Coatl, R., Cerón-Carpio, A.B., Mendoza-Ruiz, A., Ceja-Romero, J., 2022. Species richness and distribution of lycophytes and ferns according to vegetation types in Sierra Norte de Puebla, Mexico; [Riqueza específica y distribución de licofitas y helechos por

- tipos de vegetación, en la Sierra Norte de Puebla, México]. *Acta Botanica Mexicana*. <https://doi.org/10.21829/ABM129.2022.2063>
- Ucella-Filho, J.G.M., Ferreira, N.S., Alves, M.R., Ignacchiti, M.D.C., Dias Júnior, A.F., Resende, J.A., 2024. Evaluation of natural products as therapeutic alternatives for bovine mastitis and implications for future research. *South African Journal of Botany* 167, 310–321. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.02.031>
- Uzabaho, E., Kayijamahe, C.B., Musana, A., Uwingeli, P., Masaba, C., Nyiratuza, M., Moore, J.F., 2023. What factors affect species richness and distribution dynamics within two Afromontane protected areas? *Wildlife Research*. <https://doi.org/10.1071/WR21171>
- Valli, M., Russo, H.M., Bolzani, V.S., 2018. The potential contribution of the natural products from Brazilian biodiversity to bioeconomy. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 90, 763–778. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170653>
- van Breugel, M., Bongers, F., Norden, N., Meave, J.A., Amissah, L., Chanthorn, W., Chazdon, R., Craven, D., Farrior, C., Hall, J.S., Hérault, B., Jakovac, C., Lebrija-Trejos, E., Martínez-Ramos, M., Muñoz, R., Poorter, L., Rüger, N., van der Sande, M., Dent, D.H., 2024. Feedback loops drive ecological succession: towards a unified conceptual framework. *Biological Reviews* 99, 928–949. <https://doi.org/10.1111/brv.13051>
- van Eck, N.J., Waltman, L., 2010. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics* 84, 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Verly, O.M., Villa, P.M., Chaves, M.V.G.S., da Rocha, S.J.S.S., Cabral-da-Silva, L.C.M., Oliveira, K., Rufino, M.P.M.X., Vieira, S.B., Sathler, D.F.T., de Lana, J.M., Torres, C.M.M.E., 2026. Decoupling abundance and biomass in secondary Atlantic Rainforest: Differential responses of rare and common tree species to environmental drivers. *Forest Ecology and Management* 605, 123503. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2026.123503>
- Wang, J., Wen, X., Lyu, S., Guo, Q., 2021. Soil properties mediate ecosystem intrinsic water use efficiency and stomatal conductance via taxonomic diversity and leaf economic spectrum. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146968>
- Wang, Z., Wang, T., Zhang, X., Wang, J., Yang, Y., Sun, Y., Guo, X., Wu, Q., Nepovimova, E., Watson, A.E., Kuca, K., 2024. Biodiversity conservation in the context of climate change: Facing challenges and management strategies. *Science of The Total Environment* 937, 173377. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173377>
- Watson, J.E.M., Evans, T., Venter, O., Williams, B., Tulloch, A., Stewart, C., Thompson, I., Ray, J.C., Murray, K., Salazar, A., McAlpine, C., Potapov, P., Walston, J., Robinson, J.G., Painter, M., Wilkie, D., Filardi, C., Laurance, W.F., Houghton, R.A., Maxwell, S., Grantham, H., Samper, C., Wang, S., Laestadius, L., Runting, R.K., Silva-Chávez, G.A., Ervin, J., Lindenmayer, D., 2018. The exceptional value of intact forest ecosystems. *Nat Ecol Evol* 2, 599–610. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0490-x>
- Wei, J., Jiang, Z., Yang, L., Xiong, H., Jin, J., Luo, F., Li, J., Wu, H., Xu, Y., Qiao, X., Wei, X., Yao, H., Yu, H., Yang, J., Jiang, M., 2024. Community composition and structure in a 25 ha mid-subtropical mountain deciduous broad-leaved forest dynamics plot in Shennongjia, Hubei, China. *Biodiversity Science*. <https://doi.org/10.17520/biods.2023338>
- Wenhua, L., 2004. Degradation and restoration of forest ecosystems in China. *Forest Ecology and Management, Restoration and Research on Degraded Forest Ecosystems* 201, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.06.010>
- Worku, D., Haji, F., Dida, G., 2025. Species Diversity, Distribution, and Conservation Challenges of Wild Mammals of Besmena-Odubulu-Controlled Hunting Area,

- Southeastern Ethiopia. International Journal of Zoology. <https://doi.org/10.1155/ijz/3071491>
- Wu, N., Hu, B., Wang, Y., Qin, Y., Ma, G., He, H., Zhou, Y., 2023. Even minor logging road development can decrease the functional diversity of forest bird communities: Evidence from a biodiversity hotspot. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120865>
- Xiaoning, W., Zihong, M., Wentao, L., Jiqin, Y., Yangyang, Z., Lixun, Z., Yue, Q., Wei, Z., 2019. Camera Trapping Survey on Ground-Dwelling Birds and Mammals in Liancheng National Nature Reserve, Gansu Province; [甘肃连城国家级自然保护区地栖鸟兽红外相机初步监测]. *Chinese Journal of Wildlife*. <https://doi.org/10.19711/j.cnki.issn2310-1490.2019.02.010>
- Xofis, P., Kefalas, G., Poirazidis, K., 2023. Biodiversity and Conservation of Forests. *Forests* 14, 1871. <https://doi.org/10.3390/f14091871>
- Yao, L., Wang, Z., Zhan, X., Wu, W., Jiang, B., Jiao, J., Yuan, W., Zhu, J., Ding, Y., Li, T., Yang, S., Wu, C., 2022. Assessment of Species Composition and Community Structure of the Suburban Forest in Hangzhou, Eastern China. *Sustainability* 14, 4304. <https://doi.org/10.3390/su14074304>
- Yao, Liangjin, Ding, Y., Yao, Lan, Ai, X., Zang, R., 2020. Trait Gradient Analysis for Evergreen and Deciduous Species in a Subtropical Forest. *Forests* 11. <https://doi.org/10.3390/f11040364>
- Yuan, Z., Ali, A., Loreau, M., Ding, F., Liu, S., Sanaei, A., Zhou, W., Ye, J., Lin, F., Fang, S., Hao, Z., Wang, X., Le Bagousse-Pinguet, Y., 2021. Divergent above- and below-ground biodiversity pathways mediate disturbance impacts on temperate forest multifunctionality. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.15606>
- Yusefi, G.H., Faizolah, K., Darvish, J., Safi, K., Brito, J.C., 2019. The species diversity, distribution, and conservation status of the terrestrial mammals of Iran. *J Mammal* 100, 55–71. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz002>
- Zhang, Z., Cao, D., Ma, T., Liu, H., Mao, Z., 2025. International cooperation for a biodiverse future: Opportunities and challenges under the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. *Global Ecology and Conservation* 58, e03385. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03385>
- Zhao, F., Yang, T., Luo, C., Rao, W., Yang, G., Li, G., Shen, Z., 2022. Comparing Elevational Patterns of Taxonomic, Phylogenetic, and Functional Diversity of Woody Plants Reveal the Asymmetry of Community Assembly Mechanisms on a Mountain in the Hengduan Mountains Region. *Frontiers in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.869258>
- Zhao, Z., Hui, G., Yang, A., Zhang, G., Hu, Y., 2022. Assessing tree species diversity in forest ecosystems: A new approach. *Front. Ecol. Evol.* 10, 971585. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.971585>
- Zupo, V., Alexander, T.J., Edgar, G.J., 2017. Relating trophic resources to community structure: a predictive index of food availability. *R Soc Open Sci.* 4, 160515. <https://doi.org/10.1098/rsos.160515>

CAPÍTULO 1 – Diversidade taxonômica: uma revisão e análise comparativa dos principais índices aplicados à fragmentos secundários da Mata Atlântica

RESUMO

A biodiversidade de um ecossistema é complexa e envolve diferentes dimensões e escalas. Dada essa complexidade, existem diversos índices que buscam caracterizá-la, o que dificulta a definição de qual a melhor métrica a ser utilizada. Portanto, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão de estudos sobre diversidade taxonômica realizados em ecossistemas florestais e comparar a aplicação dos índices mais comuns em fragmentos secundários da Mata Atlântica. A busca dos documentos se restringiu a artigos científicos, e foi feita na plataforma *Scopus*. Foram incluídos na revisão somente os artigos que abordavam a análise quantitativa de biodiversidade taxonômica em florestas. Ao todo, foram identificados 551 artigos. Após a aplicação dos critérios de exclusão, 257 artigos permaneceram e foram considerados na análise da revisão. Essas pesquisas foram realizadas em 55 países, com destaque para a China, Irã, Itália, Brasil e Índia, responsáveis por 103 artigos. A maioria (65,4%) dos trabalhos analisaram a diversidade de plantas, seguidos por 25% sobre animais vertebrados, 18% sobre animais invertebrados e 10% sobre fungos, líquens e micro-organismos. Foram identificados 37 índices de diversidade e os mais recorrentes foram riqueza simples, índices de Shannon, Simpson, Pielou, Margalef, abundância relativa, índice de Menhinick, número de Hill, índices de Sorensen e Jaccard. As métricas mais recorrentes na literatura aplicadas como estudo de caso à vegetação arbórea de fragmentos de Mata Atlântica, possibilitou a comparação entre comunidades quanto à riqueza, abundância, heterogeneidade, uniformidade e similaridade florística. Embora os índices mais difundidos sejam frequentemente priorizados, há diversas alternativas que permitem análises mais abrangentes dos diferentes aspectos da biodiversidade. Esperamos que esse trabalho seja um facilitador na seleção de índices para análise de biodiversidade em diferentes ecossistemas florestais.

Palavras-chave: Biodiversidade, Métricas de diversidade, Ecossistemas florestais, Análise bibliométrica

CHAPTER 1 - Taxonomic diversity: a review and comparative analysis of the main indices applied to secondary Atlantic Forest fragments

ABSTRACT

Ecosystem biodiversity is complex and involves multiple dimensions and scales. Given this complexity, numerous indices have been developed to characterize biodiversity, which makes it challenging to define the most appropriate metric to use. Therefore, the objective of this study was to conduct a review of studies on taxonomic diversity carried out in forest ecosystems and to compare the application of the most common indices in secondary Atlantic Forest fragments. The document search was restricted to scientific articles and was conducted using the Scopus platform. Articles addressing quantitative analyses of taxonomic biodiversity in forests were included, while those that did not meet this criterion were excluded. In total, 551 articles were identified, of which 257 met the inclusion criteria and were considered in the review analysis. These studies were conducted in 55 countries, with China, Iran, Italy, Brazil, and India standing out, together accounting for 103 articles. Most studies (65.4%) analyzed plant diversity, followed by 25% focusing on vertebrate animals, 18% on invertebrate animals, and 10% on fungi, lichens, and microorganisms. A total of 37 diversity indices were identified, with the most recurrent being simple species richness, the Shannon, Simpson, Pielou, and Margalef indices, relative abundance, the Menhinick index, Hill numbers, and the Sørensen and Jaccard indices. The most recurrent metrics in the literature, when applied as a case study to the arboreal vegetation of Atlantic Forest fragments, enabled comparisons among communities in terms of richness, abundance, heterogeneity, evenness, and floristic similarity. Although the most widely established indices are often prioritized, several alternative metrics allow for more comprehensive analyses of different biodiversity components. We expect that this study will facilitate the selection of biodiversity indices for analyses conducted in different forest ecosystems.

Keywords: Biodiversity; Diversity metrics; Forest ecosystems; Bibliometric analysis

1. Introdução

A biodiversidade constitui um importante atributo para a manutenção da integridade ecológica e da dinâmica dos ecossistemas naturais, sustentando processos que resultam em múltiplos serviços ecossistêmicos essenciais à sociedade (Borma et al., 2022). Essa diversidade biológica pode ser analisada sob diferentes dimensões (taxonômica, filogenética e funcional) que, em conjunto, refletem a complexidade e o equilíbrio de ambientes naturais (Le Bagousse-Pinguet et al., 2019; Lyashevskaya and Farnsworth, 2012). A diversidade taxonômica refere-se aos número de espécies e à forma como elas se distribuem em uma comunidade (Borges Silva et al., 2022; Ceia et al., 2023), enquanto a diversidade filogenética busca compreender as relações evolutivas e a distância filogenética entre as espécies (Bełcik et al., 2020; López-Osorio and Miranda-Esquivel, 2010). Por fim, a diversidade funcional tem como objetivo a análise das características de cada espécie e sua função no ecossistema (Chao et al., 2021; Chao and Colwell, 2022).

Além disso, a biodiversidade pode ser mensurada em diferentes escalas de organização ecológica, geralmente descritas como alfa, beta e gama, que permitem compreender tanto a composição local quanto os padrões regionais de variação biológica. A diversidade alfa é a escala local e permite conhecer a quantidade e distribuição de espécies em um determinado ecossistema (Barreto et al., 2023; Jurasinski et al., 2009). Enquanto a escala beta, por sua vez, demonstra como os ecossistemas se diferenciam, e está relacionada à diversidade de espécies entre ecossistemas (Ohshima et al., 2024; Schweiger and Laliberté, 2022). Já a diversidade gama é a combinação das escalas alfa e beta, representando a escala regional da biodiversidade, abrangendo diferentes ecossistemas e geralmente é inferida por modelagem (Andermann et al., 2022).

A avaliação e conservação da biodiversidade em ecossistemas florestais são fundamentais para assegurar o fornecimento e a manutenção dos serviços ecossistêmicos que sustentam a vida na Terra (Felipe-Lucia et al., 2018; Gamfeldt et al., 2013; Isbell et al., 2017). As florestas fornecem serviços de suporte e regulação para a manutenção da vida na Terra, como a ciclagem de nutrientes, sequestro de carbono, purificação do ar, manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico, minimização de enchentes e secas, entre outros (Bathurst et al., 2020; Michel et al., 2022; Nolander and Lundmark, 2024; Taye et al., 2021). Portanto, o conhecimento sobre a biodiversidade de ecossistemas florestais contribui para a construção de estratégias de conservação. Isso é especialmente necessário frente aos impactos de mudanças de uso da terra,

desmatamento, incêndios florestais e mudanças climáticas, de modo que reflita na melhoria da qualidade de todos os seres vivos (Bawa et al., 2021; Mi et al., 2021; Ette et al., 2023).

Nesse contexto, as florestas tropicais se destacam como ecossistemas de alta complexidade ecológica e pivô central na manutenção dos serviços ecossistêmicos globais, abrigando cerca de dois terços da biodiversidade do planeta, hoje fortemente ameaçada pelo avanço do desmatamento e pela fragmentação de habitats (Giam, 2017; Pillay et al., 2022). A Mata Atlântica, por exemplo, é um bioma classificado como hotspot de biodiversidade e tem 65% de todas suas espécies e 82% das espécies endêmicas sob ameaça de extinção (de Lima et al., 2024). Cenários como esse reforçam ainda mais a relevância de medir corretamente a biodiversidade para compreender os processos ecológicos dos ecossistemas e embasar estratégias de conservação.

Existem diversos índices que buscam caracterizar a complexidade da biodiversidade, mas definir qual a melhor métrica a se utilizar pode ser uma tarefa difícil (Cazzolla Gatti et al., 2020). O primeiro passo para escolha correta do índice a ser utilizado é definir o aspecto da biodiversidade que se pretende estudar, como por exemplo, riqueza, abundância, uniformidade, heterogeneidade ou similaridade (Dias et al., 2023; Felfili and Felfili, 2001). As medidas mais tradicionais relacionam a riqueza de espécies com a abundância (Ricotta, 2005), e muitas vezes são selecionadas por serem amplamente difundidas, mas podem não resultar em conclusões significativas conforme o objetivo do estudo (Cassol et al., 2025). Portanto, o uso de alguns índices pode simplificar e subestimar a diversidade biológica de uma área por não contemplar outras variáveis (González-Orozco and Parra-Quijano, 2023).

Diante disso, comparar índices é importante para compreender como diferentes métricas respondem a padrões ecológicos, assegurando a seleção de um índice que represente de forma adequada o aspecto da biodiversidade do estudo e a interpretação correta dos resultados.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi: (i) realizar uma revisão de literatura, abrangendo tanto a análise bibliométrica, quanto a revisão do estado da arte dos índices de biodiversidade, visando conhecer os principais índices aplicados em estudos sobre biodiversidade de ecossistemas florestais; e (ii) comparar a aplicação de diferentes índices de diversidade taxonômica em fragmentos secundários da Mata Atlântica, observando como cada índice responde às diferenças estruturais entre os fragmentos. Ao integrar revisão e aplicação prática, este estudo contribui para orientar escolhas metodológicas mais consistentes e reforça a importância de selecionar métricas que representem adequadamente a complexidade ecológica dos ambientes analisados.

2. Material e métodos

2.1. Análise bibliométrica e estado da arte

Conduzimos uma revisão sistemática estruturada em três etapas: (i) busca de artigos utilizando as palavras-chave definidas; (ii) triagem dos artigos encontrados na busca; e, (iii) extração das informações dos artigos selecionados na segunda triagem (Figura 1).

A busca dos artigos foi realizada na plataforma *Scopus*, por se tratar de uma base de dados bibliográficos de cobertura global, com artigos de diversos periódicos revisados por pares, sendo amplamente adotada e recomendada para condução de análises bibliométricas (E et al., 2023; Lucas et al., 2023; Ucella-Filho et al., 2024). Definimos as palavras-chave e utilizamos o modo de pesquisa avançado para busca de títulos, resumos e palavras-chave (*TITLE-ABS-KEY*), conforme a seguir: ("biodiversity monitoring" OR "biodiversity index" OR "biodiversity measures" OR "biodiversity metric") AND ("forest"). Para abranger os estudos mais recentes sobre o tema, consideramos os trabalhos publicados a partir de 2019. A busca foi feita em junho de 2025. Portanto, foi aplicado o filtro de ano de publicação, listando artigos do período de 2019 a junho de 2025.

Os artigos encontrados foram triados utilizando os seguintes critérios de exclusão: (i) artigos não relacionados à biodiversidade em florestas; (ii) artigos não relacionados à diversidade taxonômica; (iii) artigos que não incluíam análise quantitativa da biodiversidade; (iv) artigos de revisão.

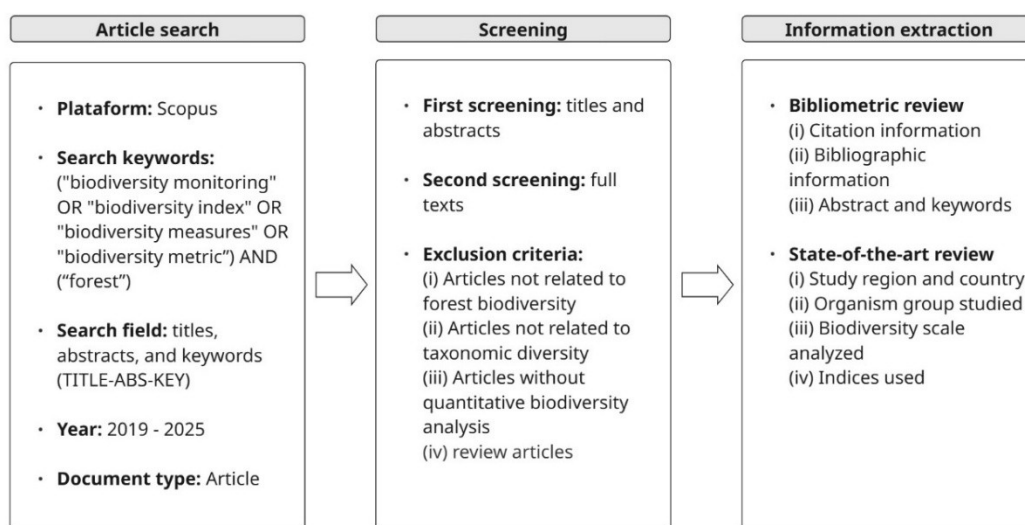


Figura 1. Diagrama do processo de revisão sistemática e análise do estado da arte da literatura recente (2019-2025) sobre índices de biodiversidade aplicados em ecossistemas florestais, realizado na base Scopus.

Para as análises bibliométricas destes artigos, foram extraídas as seguintes informações do *Scopus*: (i) informações de citação; (ii) informações bibliogeográficas e (iii) resumo e palavras-chave. Então, as análises foram feitas utilizando o software VOSviewer versão 1.6.20 para geração das redes de interação (van Eck and Waltman, 2010) e o pacote “bibliometrix” do software R para as análises dos dados bibliométricos (Aria and Cuccurullo, 2017), incluindo número de publicações por ano, taxa de crescimento de publicação anual, número de autores, taxa de coautoria, taxa de interação internacional e produção científica por país.

Para a revisão do estado da arte, foram extraídas informações que permitissem caracterizar o escopo e a abordagem dos artigos. Foram registradas a região e o país de estudo, para identificar a distribuição global das pesquisas sobre biodiversidade taxonômica em florestas. Para compreender quais os grupos de organismos têm tido maior atenção das pesquisas, foi extraído o grupo de organismos estudados, classificados entre plantas, fungos, líquens e micro-organismos, animais vertebrados e animais invertebrados. A escala da biodiversidade estudada (alfa, beta e gama) foi coletada para caracterizar o foco de análise dos artigos. Por fim, foram coletados os índices utilizados em cada artigo, para identificar as métricas existentes e compreender sobre a frequência de uso entre os artigos.

2.2. Estudo de caso

Para compreender o comportamento de diferentes índices identificados na literatura, aplicamos os índices de diversidades mais frequentes a dados de inventários florestais da Mata Atlântica. Os índices foram ordenados conforme a frequência de utilização nos estudos avaliados após as três etapas de seleção, sendo selecionados os dez mais utilizados para aplicação em seis fragmentos florestais da Mata Atlântica. A aplicação dos índices de diversidade selecionados na revisão buscou comparar a sensibilidade de cada métrica frente às diferenças florísticas e estruturais observadas. Essa abordagem permitiu não apenas quantificar a diversidade local, mas também avaliar a coerência e poder discriminante dos índices em contextos ecológicos heterogêneos. Desta forma, o estudo de caso constitui um exercício empírico que buscou verificar como distintas métricas de diversidade expressam os gradientes sucessionais e contribuir para a interpretação comparativa dos resultados.

Para a análise comparativa, os índices foram agrupados conforme a propriedade da diversidade mensurada por cada um, baseado na classificação proposta por Dias et al. (2023), englobando cinco categorias principais: riqueza, heterogeneidade, uniformidade, abundância e similaridade.

Foram analisados seis fragmentos de floresta secundária da Mata Atlântica (Tabela 1), localizados em Minas Gerais. A tipologia florestal dos fragmentos é classificada como Floresta Estacional Semidecidual, caracterizada por duas estações climáticas, uma seca e outra chuvosa e pela perda de folhas de parte da vegetação arbórea como mecanismo de adaptação climática (IBGE, 2004). A vegetação arbórea dos fragmentos foi avaliada por meio de um inventário florestal realizado em parcelas fixas. Embora a maioria das parcelas originais apresentasse dimensões de 10x50 m, foram realizadas adequações nos fragmentos Mata da Garagem e Mata da Silvicultura para padronizar a unidade amostral. As 50 parcelas de 10x10 m da Mata da Garagem foram agrupadas em 10 parcelas de 10x50 m, enquanto as 10 parcelas de 20x50 m da Mata da Silvicultura foram subdivididas em 20 parcelas de 10x50 m. Após essa padronização, o inventário compreendeu 84 parcelas fixas de 10x50 m (500 m²), totalizando 42.000 m² de área amostrada. Em cada parcela foram medidos a altura e o diâmetro de todos os fustes com diâmetro à altura do peito (DAP), medido a 1,30 m do solo, superior a 5 cm, além da identificação botânica dos indivíduos.

Tabela 1. Caracterização dos fragmentos de Mata Atlântica analisados no estudo de caso

Id.	Fragmento	Município	Área (ha)	Nº de parcelas (10x50 m)	Ano de mensuração
1	Cachoeira das Pombas (GUA)	Guanhães	106,0	20	2022
2	Mata da Garagem (GAR)	Viçosa	21,8	10	2023
3	Ipaba Mata 1 (IP1)	Caratinga	264	16	2022
4	Ipaba Mata 2 (IP2)	Caratinga	37,3	6	2022
5	São José (SJO)	Coronel Fabriciano	38,4	12	2022
6	Mata da Silvicultura (MSI)	Viçosa	17,0	20	2024

3. Resultados e discussão

3.1. Visão geral da literatura

O uso das palavras-chave combinadas resultou no levantamento de 551 artigos, encontrados na fase de buscas e publicados entre 2019 e julho de 2025. Destes trabalhos, 257 artigos foram selecionados para análise (Tabela S1), e 294 excluídos por não atenderem os critérios de inclusão determinados na etapa II de seleção (Figura 1).

Os estudos de biodiversidade apresentam uma crescente ao longo do tempo, com uma taxa de crescimento médio anual de 7,82%, com destaque para o ano de 2024, em que foram publicados 22,6% dos artigos (Figura 2). Embora os 33 artigos registrados em 2025 correspondam apenas ao período até junho, esse número já supera o total de publicações observadas em anos completos, como 2019 (21), 2020 (28) e 2021 (32), evidenciando a manutenção da elevada produção científica na área. O aumento do interesse no desenvolvimento de pesquisas sobre a biodiversidade em florestas pode ser atribuído à valorização da importância dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelas florestas (Mlambo et al., 2024; Xofis et al., 2023). Além disso, o reconhecimento da relevância da conservação dos ecossistemas florestais como forma de combate à crise ambiental global (Watson et al., 2018). Essa valorização está associada, por exemplo, ao reconhecimento da urgência da proteção de espécies ameaçadas (Forest, 2017), e da mitigação às mudanças climáticas (Khatsuriya et al., 2024; Wang et al., 2024).

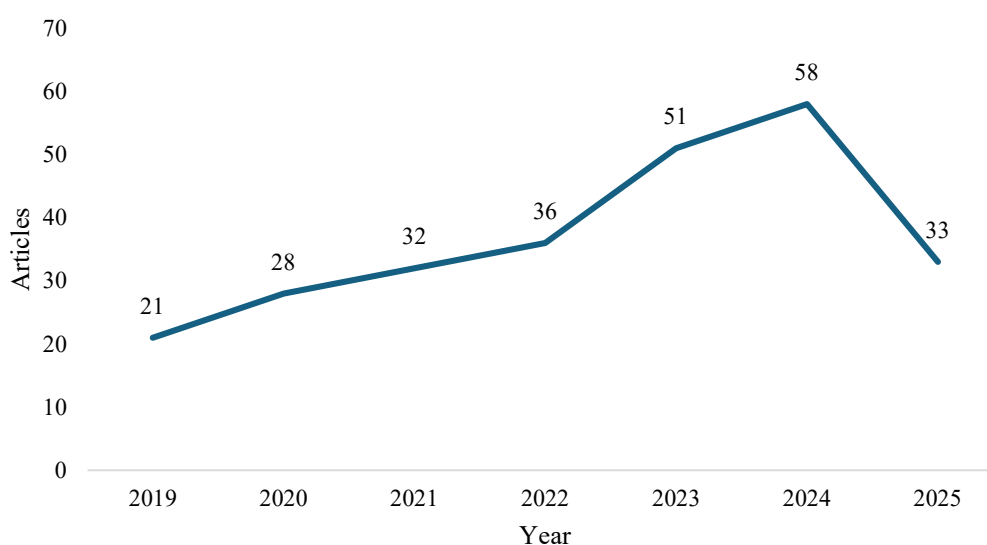


Figura 2. Produção científica por ano dos artigos identificados na revisão sistemática e análise do estado da arte da literatura de 2019 a junho de 2025 sobre índices de biodiversidade aplicados em ecossistemas florestais, realizado na base Scopus.

Foram identificados 1.411 autores nos 257 artigos analisados, dos quais, apenas cinco destes trabalhos são de autoria única. Esses valores demonstram uma ampla colaboração entre autores, com uma média de 6,04 coautores por artigo. Além disso, observamos que 35,8% das coautorias são interações internacionais, o que permite integrar conhecimentos de aspectos de

biodiversidade de diferentes ecossistemas, possibilitando a complementaridade de conhecimentos, abordagens e métodos (Dangles et al., 2016; Zhang et al., 2025).

3.2. Países de maior produção científica relacionada à mensuração da biodiversidade

Os 257 estudos sobre índices de biodiversidade taxonômica tiveram como origem 55 países, conforme a afiliação do primeiro autor (Figura 3). A China se destacou com um total de 44 artigos produzidos, o que corresponde a 17,1%, seguido por Irã (n = 16), Itália (n = 15), Brasil (n = 14), Índia (n = 14), Alemanha (n = 11), Estados Unidos (n = 10), México (n = 8), Polônia (n = 7) e Espanha (n = 7). Esses dez países concentram 56,6% do total de artigos selecionados.

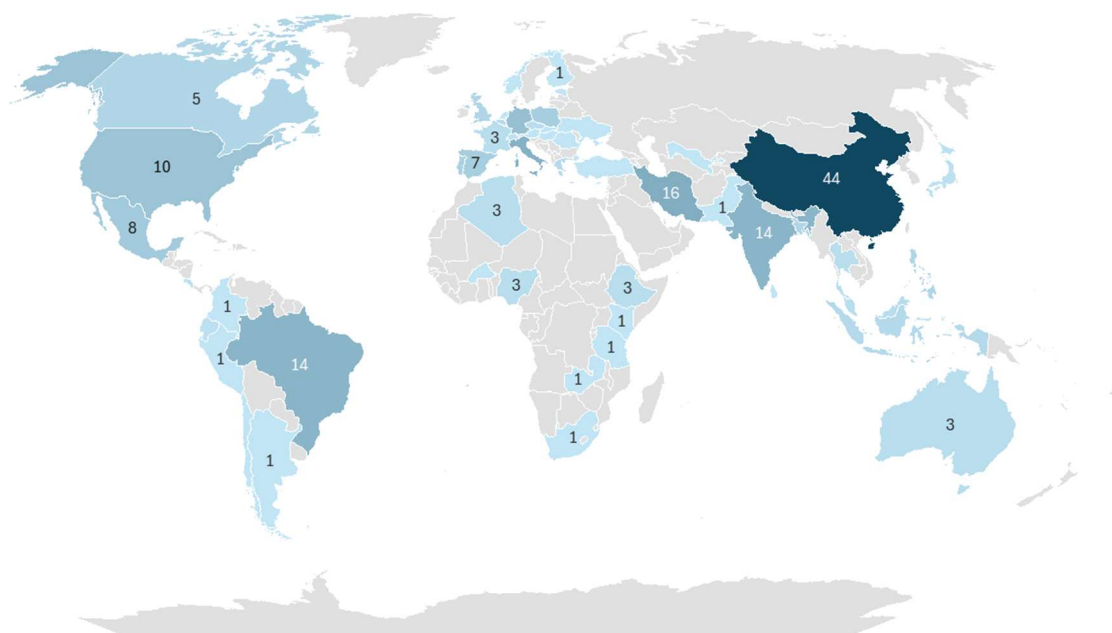


Figura 3. Produção científica por país dos artigos identificados na revisão sistemática e análise do estado da arte da literatura de 2019 a junho de 2025 sobre índices de biodiversidade aplicados em ecossistemas florestais, realizado na base Scopus.

A predominância da China nesse conjunto de publicações pode ser explicada por uma combinação de fatores ecológicos, socioeconômicos e institucionais. O país, que é o 4º maior em extensão territorial, abriga ampla diversidade de vegetação e elevada riqueza biológica (Sun et al., 2020). O rápido crescimento da econômico e populacional do país impactaram negativamente os ecossistemas florestais locais (Wenhua, 2004), motivando políticas de conservação e programas de restauração (Liu et al., 2008). Paralelamente, o país intensificou os investimentos em pesquisa científica sobre biodiversidade, o que tem contribuído para o

aumento em número e qualidade dos estudos produzidos, consolidando a China como uma das principais referências globais na investigação de padrões e indicadores de diversidade biológica (Mi et al., 2021).

O território Iraniano está localizado na transição de três regiões biogeográficas: Paleártica, Saariano-Árabe e Oriental (Yusefi et al., 2019). Devido a sua posição geográfica, o país abriga diferentes gradientes climáticos, e uma alta diversidade e endemismo de espécies (Moradi et al., 2024; Noori et al., 2024). Além disso, o país abrange dois grandes hotspots: Cáucaso e Irano-Anatólio (Noroozi et al., 2019), o que reforça sua relevância no contexto de conservação da biodiversidade.

A Itália está localizada na bacia do mediterrâneo, região reconhecida como um dos principais hotspots globais de biodiversidade (Cantasano, 2024). O país possui grande importância ecológica, com povoamentos florestais centenários de alto valor de diversidade vegetal que abrigam espécies raras e endêmicas (Gianguzzi et al., 2024). Além disso, assim como em outros países, a biodiversidade italiana sofreu com impactos de mudanças de uso da terra e mudanças climáticas (Palli et al., 2023). Para mitigar a perda de biodiversidade, a Itália possui áreas protegidas, vinculadas à “Estratégia de Biodiversidade da União Europeia para 2030”, que corresponde à cerca de 19% do território do país (Cazzolla Gatti et al., 2024).

O Brasil é um país continental composto por elevada biodiversidade. O território é dividido em seis biomas terrestres com características particulares que faz do país um dos mais biodiversos do mundo, abrigando aproximadamente 15% das espécies vivas da Terra (Valli et al., 2018). Entre os biomas, o Cerrado e a Mata Atlântica são considerados hotspots globais de biodiversidade (Bragagnolo and Schelp, 2023). No entanto, a expansão agrícola e o desmatamento levou à perda de grande parte da diversidade biológica no território nacional (Brock et al., 2021) e, diante disso, o governo brasileiro adotou políticas de redução do desmatamento e restauração de áreas degradadas, como estratégia para conservação da biodiversidade, como a Lei nº 12.651, de 2012, conhecida como “Código Florestal” (Brasil, 2012).

Finalmente, entre os países mais recorrentes em produção científica relacionada às métricas de biodiversidade, a Índia abriga 8% das espécies globais e é o segundo país mais populoso do mundo (Ghritlahre et al., 2025; Srivathsa et al., 2023). Nesse contexto, foi iniciada a “Missão Nacional sobre Biodiversidade e Bem-Estar Humano”, em 2020, que reconhece os impactos antrópicos sobre a biodiversidade, bem como a necessidade de ações para mitigar esses impactos e, conseqüentemente, melhorar o bem-estar socioeconômico da população (Bawa et

al., 2021). Um dos objetivos dessa iniciativa é o fortalecimento da ciência da biodiversidade no país, o que reflete no aumento de publicações sobre o assunto (Bawa et al., 2020).

Esses países têm como característica comum a elevada biodiversidade e endemismo, além da preocupação quanto aos impactos negativos do crescimento econômico, urbanização, mudança de uso da terra e mudanças climáticas. Assim, a contribuição dos estudos científicos vai muito além da documentação da biodiversidade existente, buscando compreender as mudanças e propor medidas estratégicas para conservação (de la Sancha et al., 2020; Moura et al., 2023; Ottaviani et al., 2019; Wu et al., 2023).

3.3. Rede de interação de palavras-chave

Foram contabilizadas 1.726 palavras-chave indexadas, sendo “biodiversity” o termo central apontado pela análise da rede de interação de palavras-chave (Figura 4), presente em 51% (n = 131) dos artigos selecionados. Esse resultado é esperado, pois o termo compôs a estratégia de busca e representa o núcleo conceitual da pesquisa. A segunda palavra-chave mais comum entre os termos indexados foi “species richness” (n = 66), o que reforça a tendência na utilização da riqueza como métrica de avaliação de biodiversidade (Zhao et al., 2022). Outras palavras-chave mais utilizadas na indexação foram “species diversity” (n = 48), “forestry” e “forests” (n = 36 e 21) e “ecosystems” (n = 17).

Além do destaque às palavras-chave mais utilizadas, a rede de interação também agrupou as palavras coocorrentes em maior frequência, evidenciando o contexto geral dos estudos analisados, revelando quatro clusters principais. O cluster 1 (vermelho), foi representado pelos principais termos “biodiversity” (n = 131), “species diversity” (n = 48), “forestry” (n = 36) e “ecosystems” (n = 23), demonstrando o foco dos estudos na avaliação da biodiversidade em ecossistemas florestais. Além disso, a presença de termos como “conservation” e “disturbance”, indicam a existência de estudos relacionados à conservação e análise de distúrbios na biodiversidade taxonômica de ecossistemas florestais (Balangen et al., 2023; Bordin et al., 2023; Parisi et al., 2021; Saranya et al., 2023; Sharma et al., 2023).

O cluster 2 (verde) abrange termos como “species richness” (n = 66), “China” (n = 23), “forest ecosystem” (n = 21), “forest management” (n = 21) e “plant community” (n = 17), evidenciando o amplo uso da riqueza de espécies como métrica de biodiversidade (Liu et al., 2024; Molotoks et al., 2024; Wei et al., 2024) e destacando a existência de estudos de diversidade de espécies em ecossistemas florestais na China (Cheng et al., 2020; Kass et al., 2023; Liu et al., 2022; Wang et al., 2021; F. Zhao et al., 2022). Além disso, a composição de palavras-chave desse cluster sugere a presença de estudos que relacionam a riqueza florística

em ecossistemas florestais com práticas de manejo florestal (Ghanbari et al., 2025; Kardgar et al., 2025; Lelli et al., 2019; Rota et al., 2025).

No cluster 3 (azul) são evidenciados estudos de biodiversidade de fauna (Fan et al., 2020; Fuchun et al., 2023; Han et al., 2021; Wu et al., 2023; Xiaoning et al., 2019), com destaque para termos como “forests” (n = 21), “birds” (n = 17) e “animals” (n = 15). O Cluster 4 (amarelo) inclui “abundance” (n = 12), “community composition” (n = 10) e “ecosystem function” (n = 10), representando estudos que relacionam diversidade biológica, funcionamento ecológico e provisão de serviços ecossistêmicos (Allen et al., 2019; Ceia et al., 2023; Chen et al., 2020). Apesar de conter menos termos, sua posição periférica, porém conectada, indica um campo emergente que busca integrar métricas de diversidade e processos funcionais dos ecossistemas.

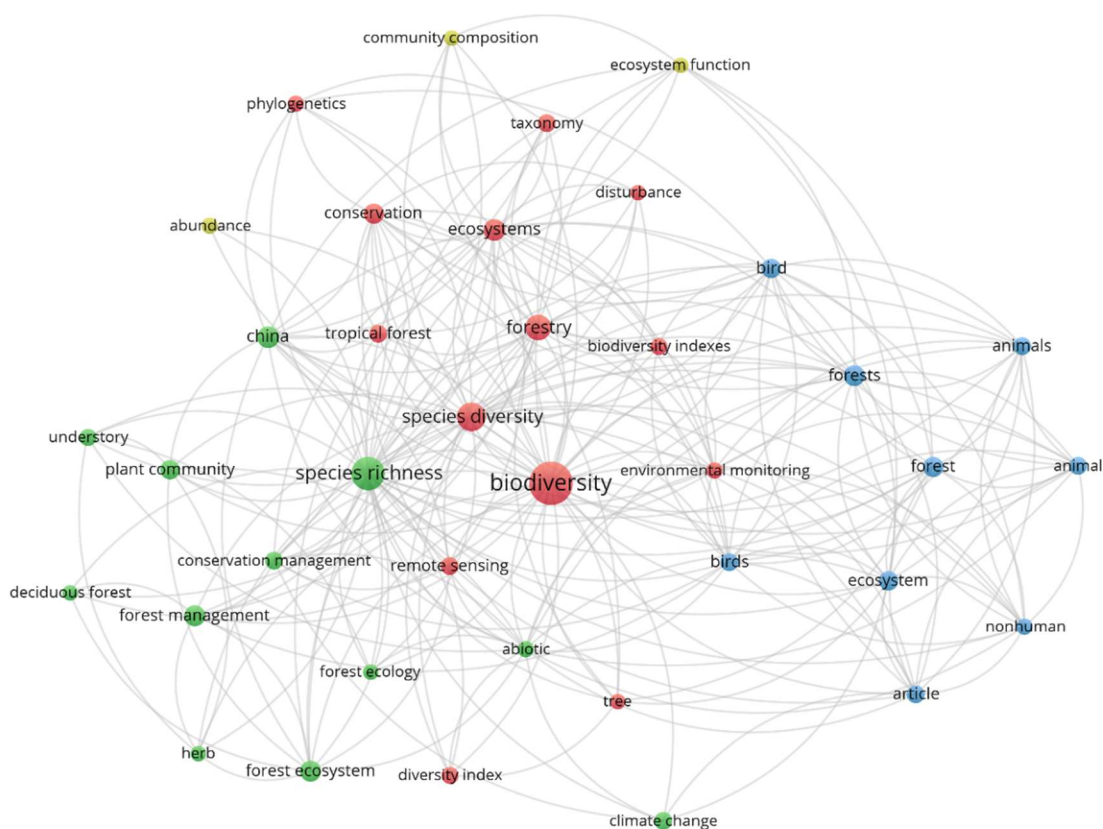


Figura 4. Rede de interações de palavras-chave indexadas. Número total de termos na rede = 38. Número mínimo de ocorrências de um termo = 10. Total de clusters formados = 4. A área dos círculos indica a frequência de ocorrência da palavra-chave e as linhas representam a coocorrência das palavras-chave.

3.4. Grupos de organismos estudados

A variedade de temas abordados nos estudos também se refletiu nos grupos biológicos avaliados, evidenciando diferentes perspectivas para a caracterização da biodiversidade em ecossistemas florestais. Os organismos analisados nos trabalhos foram classificados em quatro grandes grupos (Figura 5). Em 65,4% ($n = 168$) dos trabalhos a diversidade de plantas foi analisada. O segundo grupo mais abordado foi o de animais vertebrados, sendo objeto de estudo em 25% dos trabalhos ($n = 65$). O grupo de invertebrados foi estudado em 18% dos artigos ($n = 45$), com estudos focados principalmente na análise de biodiversidade de insetos. Além disso, 10% dos artigos abordaram sobre biodiversidade de fungos, líquens ou micro-organismos ($n = 26$). Parte dos trabalhos ($n = 24$) analisaram a biodiversidade em mais de um grupo biológico, indicando o início de uma abordagem mais integrativa e ecossistêmica da biodiversidade.

O desenvolvimento de estudos que analisem a interação da biodiversidade entre diferentes grupos de seres vivos em ecossistemas florestais permite compreender como as diversas espécies interagem e se influenciam mutuamente (Lelli et al., 2019). Esses estudos podem fornecer insights valiosos sobre a dinâmica ecológica e ajudar na formulação de estratégias de conservação mais eficazes (Yuan et al., 2021). Dado que o ecossistema florestal é formado por diversos organismos que interagem entre si, estudos que abordam diferentes grupos podem gerar resultados mais complexos quanto às relações ecológicas (Liu and Cieszewski, 2024; Storch et al., 2023; Yuan et al., 2021).

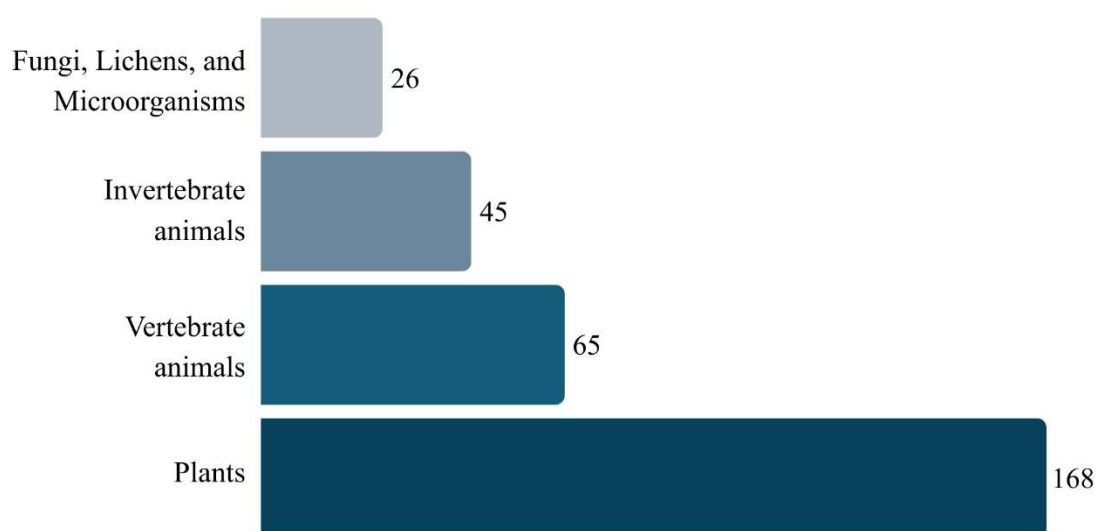


Figura 5. Grupos de organismos abordados na análise de biodiversidade dos artigos identificados na revisão sistemática e análise do estado da arte da literatura de 2019 a junho de

2025 sobre índices de biodiversidade aplicados em ecossistemas florestais, realizado na base Scopus.

3.5. Escalas e índices de biodiversidade

A diversidade alfa, correspondente à variação de espécies dentro de um ecossistema, foi abordada em todos os artigos analisados, sendo o foco exclusivo em 80% ($n = 206$) dos estudos. Além disso, 20% ($n = 51$) dos trabalhos avaliaram também a diversidade entre ecossistemas (diversidade beta). A diversidade gama, entendida como a diversidade total resultante da soma das diversidades locais e regionais (Crist et al., 2003), foi considerada em apenas oito artigos, apesar de seu conceito relativamente simples.

A predominância de estudos de biodiversidade alfa pode ser justificada pela maior facilidade na interpretação dessa escala, pois ela descreve a diversidade dentro de uma área utilizando índices simples e amplamente difundidos, permitindo análises diretas e intuitivas (Melo, 2008; Thukral, 2017). Conhecer a biodiversidade alfa é importante porque reflete a riqueza e abundância de espécies em uma determinada comunidade, possibilitando mensurar e monitorar a biodiversidade de uma área (Cassol et al., 2025; Tukiainen et al., 2023). Porém, quando ampliamos a escala do estudo para biodiversidade beta é possível compreender melhor os padrões de distribuição de espécies e a variação entre comunidades (Ohyama et al., 2024), o que auxilia na compreensão sobre processos evolutivos de diferentes regiões e ambientes (Qian and Qian, 2023). Já a diversidade gama é mais abrangente e permite compreender sobre a multifuncionalidade do ecossistema, pois integra a diversidade alfa e beta, abrangendo a biodiversidade dentro e entre ecossistemas (Andermann et al., 2022; Chao et al., 2024). Portanto, é importante que a definição da escala da biodiversidade esteja alinhada ao objetivo do estudo, de modo a assegurar que as métricas de biodiversidade reflitam adequadamente os processos ecológicos que se pretende compreender.

Em relação aos índices de biodiversidade, identificamos 37 métricas nos artigos analisados (Tabela 3). Essas métricas variam desde medidas mais simples, que contabilizam apenas o número de espécies, como a riqueza simples ($n = 160$) e o índice de Margalef ($n = 49$), até índices complexos como o Índice de Biodiversidade Potencial (IBP) ($n = 3$), que analisa fatores de composição, estrutura e contexto histórico de uma área (Larrieu and Gonin, 2008). O uso da riqueza simples é muito aplicado devido à facilidade de interpretação. No entanto, o número de espécies identificadas depende do esforço amostral (Chao and Chiu, 2016; Roswell et al., 2021), ou seja, em áreas de maior amostragem são identificados um maior número de espécies. Para amenizar esse efeito, alguns índices relacionam o número de espécies identificadas (S) com o

número de indivíduos da amostra (N) (Magurran, 2013), como o índice de Margalef (Margalef, 1973), Menhinick (Menhinick, 1964) e Chao1 (Chao, 1984).

Além da riqueza simples, outro índice muito comum é o índice de Shannon (H') (Shannon et al., 1950), o segundo mais utilizado, aplicado em 62% dos artigos analisados ($n = 159$). A diversidade de Shannon é uma das métricas mais utilizadas, por integrar, em um único índice, informações de riqueza de espécies e a distribuição de suas abundâncias (Kharoliwal and Shrivastava, 2025). Além disso, sua ampla difusão e validação ao longo das últimas décadas também contribuem para que seja uma das métricas preferidas em estudos ecológicos, uma vez que sua escolha é amplamente reconhecida e aceita pela comunidade científica (Magurran, 2013). O índice mede a heterogeneidade de uma área, sendo $H'_{máx}$ a distribuição mais uniforme possível, em que todas as espécies apresentam a mesma abundância. No entanto, o resultado do cálculo isolado pode ser abstrato, por apresentar máximos diferentes a depender da comunidade avaliada. Para colocar em uma base mais comparativa, foi criado o índice de Pielou (Pielou, 1966) que é dado pela razão entre o H' observado e $H'_{máx}$, com uma amplitude de 0 a 1.

O terceiro índice mais observado foi o índice de Simpson (D) ($n = 60$), que calcula probabilidade de dois indivíduos de uma determinada comunidade, selecionados aleatoriamente, pertencerem à mesma espécie (Gregorius and Gillet, 2008). O resultado de D varia de 0 a 1, e refere-se à dominância das espécies, ou seja, valores mais próximos de 1 mostram que algumas espécies possuem uma proporção muito alta de indivíduos (Guillin et al., 2020). No entanto, o índice de Simpson também é comumente calculado como $1 - D$ e, nesse caso, o resultado refere-se à uniformidade das abundâncias (Karimi and Raymond, 2022), com uma interpretação oposta à dominância.

Os três índices mais utilizados (riqueza simples, Shannon e Simpson) podem ser generalizados utilizando os números de Hill, que, a depender do parâmetro de ordem (q), permitem ajustar o peso atribuído à abundância de espécies (Li, 2018). Quando o cálculo é feito para a ordem zero, o resultado obtido é a riqueza de espécies, utilizando $q = 1$, obtêm-se o exponencial de Shannon e para $q = 2$ o resultado obtido corresponde ao inverso de Simpson ($1/D$) (Hill, 1973). Os números de Hill foram utilizados em 16 dos artigos analisados.

Tabela 2. Índices de biodiversidade identificados nos artigos analisados, ordenados pela frequência de utilização, de forma decrescente

Índice	Cálculo	Descrição
Riqueza simples (n = 160)	S	S = número de espécies registradas.
Índice de Shannon-Wiener (n = 159)	$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)$	p_i = abundância relativa da i-ésima espécie, calculada como $p_i = \frac{n_i}{N_t}$, em que n_i é o número de indivíduos da i-ésima espécie na amostra, e N_t é o número total de indivíduos na amostra.
Índice de Simpson (n = 94)	$D = 1 - \sum \left(\frac{n_i(n_i - 1)}{N_t(N_t - 1)} \right)$	n_i = número de indivíduos da i-ésima espécie na amostra; N_t = número total de indivíduos na amostra.
Índice de Pielou (n = 65)	$J' = \frac{H'}{H'_{\max}}$	H' = índice de Shannon; $H'_{\max}$ = máximo de Shannon, calculado por $\ln(S)$; S = número de espécies registradas.
Índice de Margalef (n = 49)	$D_m = \frac{S - 1}{\ln(N_t)}$	S = número de espécies registradas; N_t = número total de indivíduos na amostra.
Abundância relativa (n = 44)	$p_i = \frac{N_i}{N_t} * 100$	N_i = número de indivíduos da i-ésima espécie na amostra; N_t = número total de indivíduos na amostra.
Índice de Menhinick (n = 17)	$D_{mn} = \frac{S}{\sqrt{N_t}}$	S = número de espécies registradas; N_t = número total de indivíduos na amostra.
Número de Hill (n = 16)	$N_{Hill}(q) = \left(\sum_{i=1}^S p_i^q \right)^{\frac{1}{(1-q)}}$	p_i = abundância relativa da i-ésima espécie; S = número de espécies registradas; q = parâmetro de ordem da diversidade.
Índice de Sorensen (n = 15)	$C_s = \frac{2A}{2A + B + C}$	A = número de espécies presentes em ambas as parcelas e amostras; B = número de espécies presentes apenas na parcela 1; C = número de espécies presentes apenas na parcela 2.
Índice de Jaccard (n = 14)	$J = \frac{A}{A + B + C}$	A = número de espécies presentes em ambas as parcelas e amostras; B = número de espécies presentes apenas na parcela 1; C = número de espécies presentes apenas na parcela 2.
Índice de Chao1 (n = 13)	$\hat{S}_{Chao1} = S_{obs} + \frac{F_1^2}{2F_2}$	S_{obs} = número de espécies na amostra; F_1 = número de espécies observadas representadas por um só indivíduo; F_2 = número de espécies observadas representadas por dois indivíduos.
Inverso de Simpson (n = 9)	$s_r = \frac{1}{D}$	D = índice de Simpson.
Índice Alfa de Fisher (n = 7)	$S = \alpha \ln \left(1 + \frac{N}{\alpha} \right)$	S = número de espécies registradas; N = número total de indivíduos amostrados; α = parâmetro de diversidade (alfa de Fisher).
Índice de Berger-Parker (n = 6)	$d = \frac{N_{\max}}{N}$	$N_{\max}$ = número de indivíduos da espécie mais abundante;

Índice	Cálculo	Descrição
		N = número total de indivíduos amostrados.
Índice de Jack1 ($n = 6$)	$S_{Jack} = S_{obs} + Q_1 \left(\frac{(m-1)}{m} \right)$	S_{obs} = número de espécies na amostra; Q_1 = número de espécies que ocorrem em uma única amostra; m = número de amostras.
Diversidade exponencial de Shannon ($n = 5$)	$e^{H'} = \exp(H')$	H' = índice de Shannon.
Índice de Bray-Curtis ($n = 4$)	$BC = \frac{\sum(x_i + y_i)}{\sum x_i + y_i }$	x_i = abundância da espécie i na amostra x ; y_i = abundância da espécie i na amostra y .
Índice de Buzas e Gibson ($n = 4$)	$E_{bg} = \frac{e^H}{S}$	e^H = antilog de Shannon (H); S = número de espécies registradas.
Índice de Jack2 ($n = 4$)	$S_{Jack} = S_{obs} + \left[\frac{Q_1(2m-3)}{m} - \frac{Q_2(m-2)^2}{m(m-1)} \right]$	S_{obs} = número de espécies na amostra; Q_1 = número de espécies que ocorrem em uma única amostra; Q_2 = número de espécies que ocorrem em duas amostras; m = número de amostras.
Índice de Biodiversidade Potencial (IBP) ($n = 3$)	10 fatores pontuados de 0 a 5	Os fatores são divididos em 2 categorias: - Povoamento e manejo: - Composicional: riqueza de árvores; - Estrutural: estrutura vertical; madeira morta em pé; madeira morta deitada; árvores muito grandes; árvores-habitat; clareiras. - Contexto: - Histórico: continuidade temporal; - Estrutural: macrohabitats úmidos; macrohabitats rochosos.
Índice de Chao2 ($n = 3$)	$\hat{S}_{Chao2} = S_{obs} + \frac{Q_1^2}{2Q_2}$	S_{obs} = número de espécies na amostra; Q_1 = número de espécies que ocorrem em uma única amostra; Q_2 = número de espécies que ocorrem em duas amostras.
Índice de Whittaker ($n = 3$)	$\beta_w = \frac{S_{total}}{\bar{S}_{parc}} - 1$	S_{total} = total de espécies amostradas; $\bar{S}_{parc}$ = média do número de espécies das parcelas amostradas.
Índice de McIntosh ($n = 3$)	$M_{cid} = \frac{N - U}{N - \sqrt{N}}$	N = número total de indivíduos na amostra; $U = \sqrt{\sum_{i=1}^S n_i^2}$; n_i = número de indivíduos da espécie i ; S = número de espécies registradas.
Razão de Hill Modificada ($n = 3$)	$E_5 = \frac{\left(\frac{1}{\lambda} - 1 \right)}{e^{H'} - 1}$	λ = índice de dominância de Simpson; $e^{H'}$ = exponencial de Shannon.
Índice de Brillouin ($n = 3$)	$HB = \frac{\ln N! - \sum \ln n_i!}{N}$	N = número total de indivíduos na amostra; n_i = número de indivíduos da espécie i ;
Bootstrap ($n = 2$)	$S_{boot} = S_{obs} + \sum_{k=1}^{S_{obs}} (1 - p_k)^m$	S_{obs} = número de espécies observadas na comunidade;

Índice	Cálculo	Descrição
		p_k = proporção do número de amostras em que cada espécie foi registrada, calculada como $p_k = \frac{f_k}{n}$, onde f_k é o número de indivíduos da espécie k e n é o total de indivíduos na amostra; m = número de amostragens.
Índice de Camargo (n = 2)	$E' = 1 - \left(\sum_{i=1}^S \sum_{j=i+1}^S \left \frac{p_i - p_j}{S} \right \right)$	S = número de espécies registradas; p_i = abundância relativa da espécie i ; p_j = abundância relativa da espécie j ; $p_i - p_j$ = diferença absoluta entre as abundâncias de duas espécies.
Uniformidade de Pielou-Simpson (n = 2)	$E - \ln D = \frac{-\ln D}{\ln S}$	D = índice de Simpson; S = número de espécies registradas.
Uniformidade de Smith-Wilson (n = 2)	$E_{var} = 1 - \left[\frac{2}{\pi \arctan \left\{ \sum_{i=1}^S (\ln n_i - \sum_{i=1}^S \ln n_j / S)^2 \right\} / S} \right]$	n_i = número de indivíduos da espécie i ; S = número total de espécies.
Índice de Biodiversidade Relativa (RBI) (n = 1)	$nRBI = \frac{RBI}{RAI}$	$RBI = \frac{\text{abundância (UP)}}{\text{abundância (AE)}}$ $RBI = \frac{\text{área (UP)}}{\text{área (AE)}}$ Em que: UP = Unidade de planejamento; AE = área de estudo.
Índice de Diversidade Efetiva Absoluta (n = 1)	$AED = H_0 + \frac{H_1^2}{2 * H_2}$	H_0 = número efetivo de espécies observadas; H_1 = exponencial do índice de Shannon; H_2 = inverso do índice de Simpson.
Índice de Hellinger (n = 1)	$d_{Hellinger}(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^S (h_{iA} - h_{iB})^2}$	h_{ij} = transformação Helinger, calculada como $h_{ij} = \sqrt{p_{ij}}$; p_{ij} = normalização das abundâncias, calculada como $p_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_{i=1}^S n_{ij}}$; n_{ij} = abundância da espécie i na amostra j ; S = número total de espécies na amostra; A = amostra A; B = amostra B.
Índice de Nee (n = 1)	$E_Q = \frac{-2}{\pi \arctan(b)}$	b = gradiente das curvas de dominância-diversidade, que reflete a inclinação da distribuição das abundâncias relativas entre espécies.
Índice de Sheldon (n = 1)	$Es' = \frac{e^{H'}}{S}$	$e^{H'}$ = exponencial de Shannon; S = número de espécies registradas.
Quociente de Mistura de Jentsch (n = 1)	$QM = \frac{S}{N}$	S = número de espécies registradas; N = número total de indivíduos na amostra.
Uniformidade de Heip (n = 1)	$E_{Heip} = \frac{e^{H'} - 1}{S - 1}$	e^H = antilog de Shannon (H); S = número de espécies registradas.
Uniformidade de McIntosh (n = 1)	$M_{cIE} = \frac{N - U}{N - N / \sqrt{S}}$	N = número total de indivíduos na amostra; $U = \sqrt{\sum_{i=1}^S n_i^2}$; n_i = número de indivíduos da espécie i ; S = número de espécies registradas.

3.6. Seleção e aplicação dos índices de biodiversidade

Para compreender sobre a interpretação de diferentes índices, foram selecionados os 10 índices mais frequentes, que foram citados em pelos menos 14 artigos. Esses índices mais comuns são apresentados na Tabela 3, agrupados de acordo com Dias et al. (2023), conforme aspecto da biodiversidade avaliado pelo índice. A riqueza expressa a quantidade de espécies presentes em uma determinada área (Tzompa-Coatl et al., 2022; Uzabaho et al., 2023). Os índices de uniformidade analisam a distribuição dos indivíduos entre as espécies, indicando se a comunidade é dominada por poucas espécies ou se apresenta uma distribuição equilibrada de indivíduos (Fakhar Izadi and Keshtkar, 2020). Os índices de heterogeneidade integram simultaneamente informações sobre riqueza e uniformidade, possibilitando uma análise que considera tanto o número de espécies, quanto a forma como os indivíduos se distribuem entre elas (Melo, 2008). A abundância mensura o número absoluto de indivíduos ou o número de indivíduos por espécie, fornecendo informação sobre espécies raras e comuns (Hajizadeh et al., 2022; Rappa et al., 2022). Por fim, os índices de similaridade são utilizados para analisar o quão semelhante são duas comunidades quanto à composição de espécies (Hardersen and La Porta, 2023).

Tabela 3. Agrupamento dos 10 índices mais recorrentes nos artigos identificados na revisão sistemática e análise do estado da arte da literatura de 2019 a junho de 2025 sobre índices de biodiversidade aplicados em ecossistemas florestais

Grupo	Índice
Índices de riqueza	Riqueza simples
	Índice de Margalef
	Índice de Menhinick
	Número de Hill ($q=0$)
Índices de heterogeneidade	Índice de Shannon-Wiener
	Índice de Simpson
	Número de Hill ($q=1$)
	Número de Hill ($q=2$)
Índices de uniformidade	Índice de Pielou
Índices de abundância	Abundância relativa
Índices de similaridade	Índice de Sorensen
	Índice de Jaccard

3.6.1. Índices de riqueza

A riqueza foi o aspecto da biodiversidade mais frequentemente estudado nos artigos analisados. Os resultados de todos os índices de riqueza aplicados demonstraram que São José

(SJO) é o fragmento de maior diversidade de espécies e que a Mata da Garagem (GAR) possui a menor diversidade de espécie, comparados aos demais fragmentos (Tabela 5). O índice de Hill na ordem de diversidade zero é equivalente à riqueza simples, portanto, os resultados obtidos foram iguais. Os índices de Margalef e Menhinick consideram o tamanho amostral (Margalef, 1973; Menhinick, 1964), trazendo resultados que permitem uma comparação mais ponderada da riqueza de diferentes comunidades. No entanto, quando comparamos os resultados desses dois índices para os fragmentos analisados notamos que foram diferentes para os fragmentos de riqueza intermediária (Tabela 5). Isso ocorre porque o índice de Margalef ajusta a riqueza ao tamanho amostral com base no logaritmo natural do número de indivíduos amostrados (N) e no índice de Menhinick o ajuste é feito com base na raiz quadrada de N, o que resulta em proporções diferentes entre riqueza e amostragem (Mulya et al., 2021). De acordo com Hilwan et al. (2023), o índice de Margalef é mais responsivo a alterações de número de espécies (S) e tamanho amostral (N) e apresenta resultados mais consistentes, enquanto Menhinick é mais instável e apresenta resultados variáveis mesmo com o aumento simultâneo de S e N. Nesse sentido, apesar do fragmento IP2 ter menos indivíduos amostrados, proporcionalmente o número de espécies identificadas foi alto, de modo que resultou no segundo maior resultado de riqueza de Menhinick.

Tabela 4. Índices de riqueza aplicados aos fragmentos florestais: Mata da Garagem (GAR); Cachoeira das Pombas (GUA); Ipaba Mata 1 (IP1); Ipaba Mata 2 (IP2); São José (SJO) e Mata da Silvicultura (MSI)

Índices	Fragmentos florestais					
	GAR	IP2	IP1	MSI	GUA	SJO
Riqueza simples	96	105	127	158	184	245
Margalef	14,409	17,118	18,044	21,582	24,821	35,692
Menhinick	3,553	5,034	3,868	4,159	4,612	8,030
Hill (q=0)	96	105	127	158	184	245
	Menor					Maior

3.6.2. Índice de abundância

A abundância relativa mede a proporção de uma espécie em relação ao total de indivíduos da amostra (Gotelli et al., 2023). O resultado desse índice é um valor em porcentagem por espécie identificada, que permite conhecer a estrutura populacional de um ecossistema e compreender sobre a distribuição de indivíduos por espécie, identificando espécies dominantes

e raras (Matas-Granados et al., 2024). As abundâncias relativas das 10 espécies mais comuns dos fragmentos analisados são apresentadas na Figura 7. Entre as espécies listadas na Figura 7, as mais comuns entre os fragmentos são *Mabea fistulifera* Mart., *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.Macbr., *Myrcia splendens* (Sw.) DC. e *Siparuna guianensis* Aubl., que estão entre as espécies dominantes em quatro dos seis fragmentos analisados. Os fragmentos que apresentam maior dominância ecológica de espécies foram IP1, GAR e MSI, em que a abundância das 10 espécies dominantes representam 54%, 51% e 49% do total, respectivamente. Esse padrão indica comunidades estruturadas pelo predomínio de poucas espécies, refletindo a maior influência de espécies com elevada capacidade de estabelecimento e manutenção populacional na composição florística dos fragmentos (Avolio et al., 2019). O fragmento de maior uniformidade da abundância entre as espécies é SJO, cujo a abundância das 10 espécies dominantes representa 24% do total, refletindo uma distribuição florística mais equilibrada.

Apesar de sua simplicidade, o índice de abundância relativa oferece uma visão relevante sobre a estrutura trófica e sucessional das comunidades (Zupo et al., 2017), embora não capture, isoladamente, a complexidade funcional das interações ecológicas, sua combinação com índices de heterogeneidade e uniformidade permite interpretações mais robustas sobre a estabilidade de ecossistemas analisados (Fidelino et al., 2020; Gurashi et al., 2024).

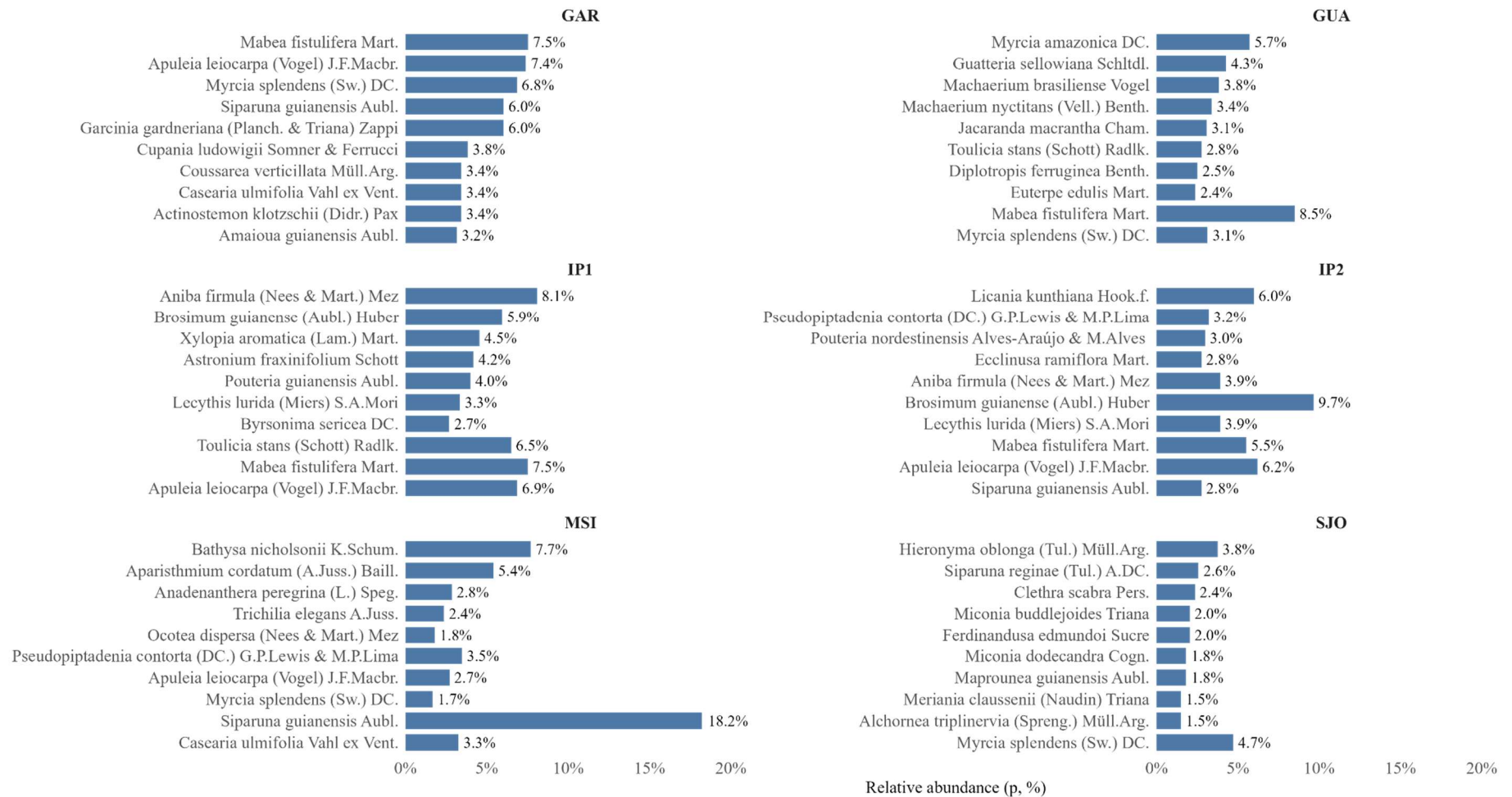


Figura 6. Dez espécies mais abundantes dos fragmentos florestais analisados. Mata da Garagem (GAR); Cachoeira das Pombas (GUA); Ipaba Mata 1 (IP1); Ipaba Mata 2 (IP2); São José (SJO) e Mata da Silvicultura (MSI).

3.6.3. Índices de heterogeneidade

Os resultados para os índices de heterogeneidade são superiores em situações em que o número de espécies é maior, quando a uniformidade é maior, ou se os dois aspectos são maiores (Nagendra, 2002). No entanto, o peso dado para cada aspecto é diferente em cada índice e, por esse motivo, nem sempre os resultados são equivalentes. O resultado de classificação do índice de Shannon foi igual ao número de Hill para q igual a 1, para todos os fragmentos florestais. O mesmo ocorreu para o índice de Simpson e para o número de Hill para q igual a 2 (Tabela 6). Esses resultados estão de acordo com o esperado, visto que esses números de Hill correspondem, respectivamente, à exponencial de Shannon ($e^{H'}$) e o inverso da forma populacional de Simpson ($1/\sum p_i^2$) (Hill, 1973).

Tabela 5. Índices de heterogeneidade aplicados aos fragmentos florestais: Mata da Garagem (GAR); Cachoeira das Pombas (GUA); Ipaba Mata 1 (IP1); Ipaba Mata 2 (IP2); São José (SJO) e Mata da Silvicultura (MSI)

Índices	Fragmentos florestais					
	GAR	IP1	IP2	MSI	GUA	SJO
Shannon-Wiener	3,834	3,836	3,987	3,998	4,355	4,952
Hill (q=1)	46,254	46,341	53,890	54,465	77,836	141,424
Simpson	0,967	0,964	0,971	0,950	0,977	0,990
Hill (q=2)	29,060	27,204	31,744	19,870	42,023	86,529
	Menor					Maior

Embora esses índices mensurem um mesmo aspecto da biodiversidade, foram identificados artigos que utilizam simultaneamente mais de um deles (García del Barrio et al., 2024; Ghanbari et al., 2025; Graser et al., 2025; Kardgar et al., 2025; Quiroga-Pacheco et al., 2024). O uso de diferentes índices para avaliar um mesmo aspecto pode ser redundante (Mulya et al., 2021). No entanto, quando se considera a sensibilidade distinta de cada métrica, sua aplicação conjunta permite interpretações mais aprofundadas sobre a comunidade estudada, que vão além de somente os resultados numéricos dos índices (Morris et al., 2014).

O índice de Shannon dá maior valor à riqueza e à presença de espécies raras, enquanto o índice de Simpson é mais sensível à uniformidade e às espécies mais comuns no fragmento (Nagendra, 2002), o que explica a diferença entre os índices para os nossos fragmentos florestais. A Mata da Silvicultura (MSI) e Ipaba Mata 1 (IP1), que tiveram os menores resultados de diversidade de Simpson, apresentam distribuições mais desiguais dos indivíduos

entre as espécies, ou seja, menor uniformidade nas abundâncias relativas. MSI possui 158 espécies e 1.443 indivíduos amostrados, porém mais de 30% da população pertence a apenas três espécies: *Siparuna guianensis* (18,23%), *Bathysa nicholsonii* (7,69%) e *Aparisthmium cordatum* (5,41%). IP1 possui uma riqueza de 127 espécies e 1.078 indivíduos amostrados, porém aproximadamente 30% dos indivíduos estão distribuídos apenas entre quatro espécies: *Aniba firmula* (8,07%), *Mabea fistulifera* (7,51%), *Apuleia leiocarpa* (6,86%) e *Toulicia stans* (6,49%).

São José (SJO) e Guanhães (GUA) apresentaram maiores resultados de biodiversidade para todos os índices de heterogeneidade, isso porque possuem as duas maiores riquezas de espécies e distribuição mais uniforme dos indivíduos entre as espécies, comparados aos demais fragmentos. SJO possui 245 espécies, 931 indivíduos amostrados e a soma das abundâncias relativas das três espécies mais abundantes é de apenas 11%, sendo elas: *Myrcia splendens* (4,73%), *Hieronyma oblonga* (3,76%) e *Siparuna reginae* (2,58%). GUA possui 184 espécies e 1.592 indivíduos amostrados, sendo as três espécies mais abundantes *Mabea fistulifera* (8,48%), *Myrcia amazônica* (5,72%) e *Guatteria sellowiana* (4,27%).

3.6.4. Índice de uniformidade

A análise de uniformidade desempenha um papel importante na análise de biodiversidade por permitir distinguir comunidades que possuem uma distribuição equilibrada dos indivíduos entre as espécies daquelas dominadas por poucas espécies, ainda que apresentem valores semelhantes de riqueza (Kumar et al., 2024; Mohammadi and Hajizadeh, 2025; Worku et al., 2025). O índice de Pielou pode apresentar resultados de 0 a 1, sendo 1 quando a abundância é igualmente distribuída entre as espécies. Para o cálculo, é feita a razão entre o índice de Shannon observado na amostra e o máximo valor possível para Shannon para essa amostra, caso todas as espécies tivessem a mesma abundância relativa (Pielou, 1966). O índice de Pielou normaliza os resultados de Shannon, o que permite a comparação entre comunidades que possuem diferentes riquezas (Corre and Galy, 2023).

São José além de apresentar maior riqueza e heterogeneidade foi também o fragmento de maior uniformidade. O fragmento IP2, apesar de não ter se destacado quanto à riqueza e heterogeneidade, demonstrou possuir uma distribuição equilibrada da abundância entre as espécies. GUA, IP1 e MSI foram os fragmentos de menor uniformidade, reforçando o resultado identificado na análise de abundância relativa.

Tabela 6. Índice de uniformidade (índice de Pielou) aplicado aos fragmentos florestais: Mata da Garagem (GAR); Cachoeira das Pombas (GUA); Ipaba Mata 1 (IP1); Ipaba Mata 2 (IP2); São José (SJO) e Mata da Silvicultura (MSI)

Índices	Fragmentos florestais					
	MSI	IP1	GUA	GAR	IP2	SJO
Pielou	0,790	0,792	0,835	0,840	0,857	0,900
	Menor					Maior

3.6.5. Índice de similaridade

Os índices de similaridade mais comuns são de Sorensen e Jaccard, cujos cálculos são semelhantes, porém se diferenciam no peso atribuído às espécies existentes nas duas comunidades analisadas, sendo que Sorensen valoriza mais essas espécies compartilhadas, atribuindo peso dois a elas (Tabela 3). Os dois índices aplicados apresentaram as mesmas conclusões quanto à similaridade dos fragmentos, apesar dos valores serem diferentes. Tanto as semelhanças quanto as diferenças entre fragmentos florestais podem ser justificadas por fatores bióticos e abióticos, como a localização, clima, características do solo, idade de abandono, avanço sucessional, entre outros aspectos (Torres et al., 2023).

O resultado dos dois índices para os seis fragmentos é apresentado na Figura 7. No caso dos fragmentos analisados, MSI/GAR e IP1/IP2 são os pares de amostras de maior semelhança. MSI e GAR estão localizados na mesma região do município de Viçosa, em Minas Gerais, portanto com características edafoclimáticas semelhantes, e têm como referência o mesmo ano de abandono (1936). Assim como IP1 e IP2, que estão localizadas no município de Caratinga, em Minas Gerais e ambos foram abandonados em torno de 1970. As características edafoclimáticas e a idade do fragmento justificam a similaridade florística pois esses fatores influenciam a disponibilidade, propagação e desenvolvimento de espécies ao longo dos ciclos sucessionais dos fragmentos florestais (van Breugel et al., 2024).



Figura 7. Matriz de similaridade dos fragmentos florestais analisados, a partir dos resultados dos índices de Sorensen (triângulo superior) e Jaccard (triângulo inferior). GAR = Mata da Garagem; GUA = Cachoeira das Pombas; IP1 = Ipaba Mata 1; IP2 = Ipaba Mata 2; SJO = São José e MSI = Mata da Silvicultura.

4. Conclusões

Nos últimos anos, ocorreu um aumento no desenvolvimento de estudos sobre biodiversidade, principalmente devido à valorização da importância dos serviços ecossistêmicos diante da atual crise ambiental global. A adoção de políticas nacionais de conservação também tem alavancado as pesquisas sobre a diversidade das florestas locais. Entretanto, os estudos abordam principalmente a biodiversidade arbórea, sendo importante o desenvolvimento de mais pesquisas que analisem a interação da biodiversidade entre os diferentes grupos de organismos. Além disso, a maioria dos estudos se restringe à análise da biodiversidade dentro de um ecossistema e não avaliam outras escalas de biodiversidade. Portanto, é importante o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem, além do conhecimento da biodiversidade nacional, a cooperação científica internacional e troca de

conhecimentos entre países para potencializar abordagens metodológicas mais integradas, que abranjam a complexidade da biodiversidade em diferentes ecossistemas e escalas.

Foram identificados diversos índices de biodiversidade, desde índices simples que avaliam apenas a riqueza, até índices que consideram fatores mais complexos da biodiversidade. Entre as medidas identificadas em maior frequência nos trabalhos analisados, foi observada a abordagem de diferentes aspectos da biodiversidade, sendo eles: riqueza, heterogeneidade, uniformidade, abundância e similaridade. É comum que, na escolha do índice a ser utilizado em um estudo de biodiversidade, sejam priorizados os índices mais difundidos como riqueza simples, índice de Shannon, Simpson e Pielou.

No entanto, existem diversos outros índices que podem ser aplicados para permitir análises mais complexas, considerando os diferentes aspectos e a relação entre eles. Uma alternativa para ampliar a compreensão da biodiversidade sem renunciar ao uso de índices mais tradicionais é o uso combinado de diferentes índices em um mesmo estudo, o que permite integrar diferentes características da biodiversidade. Portanto, ao selecionar os índices que serão utilizados em determinado estudo é importante, primeiramente, definir os aspectos que se pretende analisar.

A aplicação dos índices mais frequentes em fragmentos da Mata Atlântica demonstrou, de forma empírica, que diferentes métricas respondem de forma distintas a variações na composição e estrutura das comunidades, reforçando que a escolha do índice influencia diretamente a interpretação ecológica dos resultados. Desta forma, espera-se que esse trabalho seja um facilitador na seleção do índice a ser utilizado para análise de biodiversidade em futuros trabalhos.

5. Referências

- Allen, L., Reeve, R., Nousek-McGregor, A., Villacampa, J., MacLeod, R., 2019. Are orchid bees useful indicators of the impacts of human disturbance? *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.046>
- Álvarez-Yépiz, J.C., Búrquez, A., Martínez-Yrizar, A., Teece, M., Yépez, E.A., Dovciak, M., 2017. Resource partitioning by evergreen and deciduous species in a tropical dry forest. *Oecologia* 183, 607–618. <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3790-3>
- Andermann, T., Antonelli, A., Barrett, R.L., Silvestro, D., 2022. Estimating Alpha, Beta, and Gamma Diversity Through Deep Learning. *Front. Plant Sci.* 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.839407>
- Aria, M., Cuccurullo, C., 2017. *bibliometrix*: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics* 11, 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Avolio, M.L., Forrester, E.J., Chang, C.C., La Pierre, K.J., Burghardt, K.T., Smith, M.D., 2019. Demystifying dominant species. *New Phytologist* 223, 1106–1126. <https://doi.org/10.1111/nph.15789>
- Balangen, D.A., Catones, M.S., Bayeng, J.M., Napaldet, J.T., 2023. Intensities of human disturbance dictate the floral diversity in tropical forest: the case of a secondary forest in Benguet, Philippines. *Journal of Mountain Science*. <https://doi.org/10.1007/s11629-022-7830-7>
- Barreto, J.R., Pardini, R., Metzger, J.P., Silva, F.A.B., Nichols, E.S., 2023. When forest loss leads to biodiversity gain: Insights from the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.109957>
- Bathurst, J.C., Fahey, B., Iroumé, A., Jones, J., 2020. Forests and floods: Using field evidence to reconcile analysis methods. *Hydrological Processes* 34, 3295–3310. <https://doi.org/10.1002/hyp.13802>
- Bawa, K.S., Nawn, N., Chellam, R., Krishnaswamy, J., Mathur, V., Olsson, S.B., Pandit, N., Rajagopal, P., Sankaran, M., Shaanker, R.U., Shankar, D., Ramakrishnan, U., Vanak, A.T., Quader, S., 2020. Envisioning a biodiversity science for sustaining human well-being. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117, 25951–25955. <https://doi.org/10.1073/pnas.2018436117>
- Bawa, K.S., Sengupta, A., Chavan, V., Chellam, R., Ganesan, R., Krishnaswamy, J., Mathur, V.B., Nawn, N., Olsson, S.B., Pandit, N., Quader, S., Rajagopal, P., Ramakrishnan, U., Ravikanth, G., Sankaran, M., Shankar, D., Seidler, R., Shaanker, R.U., Vanak, A.T., 2021. Securing biodiversity, securing our future: A national mission on biodiversity and human well-being for India. *Biological Conservation* 253, 108867. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108867>
- Belcik, M., Lenda, M., Amano, T., Skórka, P., 2020. Different response of the taxonomic, phylogenetic and functional diversity of birds to forest fragmentation. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76917-2>
- Bordin, K.M., Esquivel-Muelbert, A., Klipel, J., Picolotto, R.C., Bergamin, R.S., da Silva, A.C., Higuchi, P., Capellesso, E.S., Marques, M.C.M., Souza, A.F., Müller, S.C., 2023. No relationship between biodiversity and forest carbon sink across the subtropical Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2023.02.003>
- Borges Silva, L.C., Pavão, D.C., Elias, R.B., Moura, M., Ventura, M.A., Silva, L., 2022. Taxonomic, structural diversity and carbon stocks in a gradient of island forests. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05045-w>
- Borma, L.S., Costa, M.H., da Rocha, H.R., Arieira, J., Nascimento, N.C.C., Jaramillo-Giraldo, C., Ambrosio, G., Carneiro, R.G., Venzon, M., Neto, A.F., van der Hoff, R., Oliveira,

- B.F.A., Rajão, R., Nobre, C.A., 2022. Beyond Carbon: The Contributions of South American Tropical Humid and Subhumid Forests to Ecosystem Services. *Reviews of Geophysics* 60, e2021RG000766. <https://doi.org/10.1029/2021RG000766>
- Bragagnolo, C., Schelp, L.K., 2023. Teoria da Transição Florestal: Uma revisão bibliográfica para os biomas brasileiros. *Textos de Economia* 26, 01–32. <https://doi.org/10.5007/2175-8085.2023.e93917>
- Brasil, 2012. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012.
- Brock, R.C., Arnell, A., Simonson, W., Soterroni, A.C., Mosnier, A., Ramos, F., Ywata de Carvalho, A.X., Camara, G., Pirker, J., Obersteiner, M., Kapos, V., 2021. Implementing Brazil's Forest Code: a vital contribution to securing forests and conserving biodiversity. *Biodivers Conserv* 30, 1621–1635. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02159-x>
- Brockhoff, E.G., Barbaro, L., Castagneyrol, B., Forrester, D.I., Gardiner, B., González-Olabarria, J.R., Lyver, P.O., Meurisse, N., Oxbrough, A., Taki, H., Thompson, I.D., van der Plas, F., Jactel, H., 2017. Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodivers Conserv* 26, 3005–3035. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2>
- Bustamante, M.M.C., Roitman, I., Aide, T.M., Alencar, A., Anderson, L.O., Aragão, L., Asner, G.P., Barlow, J., Berenguer, E., Chambers, J., Costa, M.H., Fanin, T., Ferreira, L.G., Ferreira, J., Keller, M., Magnusson, W.E., Morales-Barquero, L., Morton, D., Ometto, J.P.H.B., Palace, M., Peres, C.A., Silvério, D., Trumbore, S., Vieira, I.C.G., 2016. Toward an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. *Global Change Biology* 22, 92–109. <https://doi.org/10.1111/gcb.13087>
- Cantasano, N., 2024. Loss and gain of marine biodiversity in Mediterranean seawaters. *Natural Resources Conservation and Research* 7, 5420. <https://doi.org/10.24294/nrcr.v7i1.5420>
- Cassol, I., Ibañez, M., Bustamante, J.P., 2025. Key features and guidelines for the application of microbial alpha diversity metrics. *Sci Rep* 15, 622. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-77864-y>
- Cazzolla Gatti, R., Amoroso, N., Monaco, A., 2020. Estimating and comparing biodiversity with a single universal metric. *Ecological Modelling*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109020>
- Cazzolla Gatti, R., Iaria, J., Moretti, G., Amendola, V., Cassola, F.M., Cerretti, P., Musciano, M.D., Francesconi, L., Frattaroli, A.R., Livornese, M., Martini, M., Nania, D., Pacifici, M., Piovesan, G., Prandelli, S., Rocchini, D., Rondinini, C., Chiarucci, A., 2024. EU2030 biodiversity strategy: Unveiling gaps in the coverage of ecoregions and threatened species within the strictly protected areas of Italy. *Journal for Nature Conservation* 79, 126621. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126621>
- Ceia, R.S., Faria, N., Lopes, P.B., Alves, J., Alves da Silva, A., Valente, C., Gonçalves, C.I., Mata, V.A., Sousa, J.P., da Silva, L.P., 2023. Bird taxonomic and functional diversity, group- and species-level effects on a gradient of weevil-caused damage in eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121233>
- Chao, A., 1984. Nonparametric Estimation of the Number of Classes in a Population. *Scandinavian Journal of Statistics* 11, 265–270.
- Chao, A., Chiu, C.-H., Hu, K.-H., van der Plas, F., Cadotte, M.W., Miteser, O., Thorn, S., Mori, A.S., Scherer-Lorenzen, M., Eisenhauer, N., Bässler, C., Delory, B.M., Feldhaar, H., Fichtner, A., Hothorn, T., Peters, M.K., Pierick, K., von Oheimb, G., Müller, J., 2024. Hill–Chao numbers allow decomposing gamma multifunctionality into alpha and beta components. *Ecology Letters* 27, e14336. <https://doi.org/10.1111/ele.14336>

- Chao, A., Colwell, R.K., 2022. Biodiversity: Concepts, Dimensions, and Measures, in: *The Ecological and Societal Consequences of Biodiversity Loss*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 25–46. <https://doi.org/10.1002/9781119902911.ch2>
- Chao, A., Henderson, P.A., Chiu, C.-H., Moyes, F., Hu, K.-H., Dornelas, M., Magurran, A.E., 2021. Measuring temporal change in alpha diversity: A framework integrating taxonomic, phylogenetic and functional diversity and the iNEXT.3D standardization. *Methods in Ecology and Evolution* 12, 1926–1940. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13682>
- Chaturvedi, R.K., Pandey, S.K., Tripathi, A., Goparaju, L., Raghubanshi, A.S., Singh, J.S., 2024. Variations in the plasticity of functional traits indicate the differential impacts of abiotic and biotic factors on the structure and growth of trees in tropical dry forest fragments. *Front. Plant Sci.* 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1181293>
- Chen, H.L., Lewison, R.L., An, L., Tsai, Y.H., Stow, D., Shi, L., Yang, S., 2020. Assessing the effects of payments for ecosystem services programs on forest structure and species biodiversity. *Biodiversity and Conservation*. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-01953-3>
- Cheng, Y., Zhang, H., Zang, R., Wang, Xixi, Long, W., Wang, Xu, Xiong, M., John, R., 2020. The effects of soil phosphorus on aboveground biomass are mediated by functional diversity in a tropical cloud forest. *Plant and Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04421-7>
- Corre, G., Galy, A., 2023. Evaluation of diversity indices to estimate clonal dominance in gene therapy studies. *Molecular Therapy Methods & Clinical Development* 29, 418–425. <https://doi.org/10.1016/j.omtm.2023.05.003>
- Crist, T.O., Veech, J.A., Gering, J.C., Summerville, K.S., 2003. Partitioning Species Diversity across Landscapes and Regions: A Hierarchical Analysis of α , β , and γ Diversity. *The American Naturalist* 162, 734–743. <https://doi.org/10.1086/378901>
- Dangles, O., Loirat, J., Freour, C., Serre, S., Vacher, J., Roux, X.L., 2016. Research on Biodiversity and Climate Change at a Distance: Collaboration Networks between Europe and Latin America and the Caribbean. *PLOS ONE* 11, e0157441. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157441>
- de la Sancha, N.U., Maestri, R., Bovendorp, R.S., Higgins, C.L., 2020. Disentangling drivers of small mammal diversity in a highly fragmented forest system. *Biotropica*. <https://doi.org/10.1111/btp.12745>
- de Lima, R.A., Dauby, G., de Gasper, A.L., Fernández, E.P., Vibrans, A.C., Oliveira, A.A. de, Prado, P.I., Souza, V.C., F. de Siqueira, M., ter Steege, H., 2024. Comprehensive conservation assessments reveal high extinction risks across Atlantic Forest trees. *Science* 383, 219–225. <https://doi.org/10.1126/science.abq5099>
- de Lima, R.A.F., Souza, V.C., de Siqueira, M.F., ter Steege, H., 2020. Defining endemism levels for biodiversity conservation: Tree species in the Atlantic Forest hotspot. *Biological Conservation* 252, 108825. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108825>
- Dias, C.H.S., Miranda, I.S., Do Vale, I., Santos, G.G.A., Costa Neto, S.V., Costa, L.G.S., 2023. Differentiating diversity among different land cover types in the eastern Amazon; [Diferenciação da diversidade entre diferentes tipos de cobertura do solo na Amazônia Oriental]. *Acta Amazonica*. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202202951>
- E, A.R.H., Salleh, N.Z.M., Abdullah, M., Ali, A., Faisal, F., Nor, R.M., 2023. Research trends, developments, and future perspectives in brand attitude: A bibliometric analysis utilizing the Scopus database (1944–2021). *Heliyon* 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12765>

- Ette, J.-S., Sallmannshofer, M., Geburek, T., 2023. Assessing Forest Biodiversity: A Novel Index to Consider Ecosystem, Species, and Genetic Diversity. *Forests* 14, 709. <https://doi.org/10.3390/f14040709>
- Fakhar Izadi, N., Keshtkar, H.R., 2020. Investigating the effects of distribution patterns on ecological indices of plant species in a simulated environment. *Desert* 25, 201–211. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2020.79257>
- Fan, Z., Ouyang, X., Wan, Y., Xiao, W., Xie, W., Ou, S., Deng, X., Huang, Z., Xiao, Z., 2020. Mammals and birds survey using camera trapping in Dinghushan and its surrounding forests, Guangdong province. *Biodiversity Science*. <https://doi.org/10.17520/biods.2020166>
- Felfili, M.C., Felfili, J.M., 2001. Diversidade alfa e beta no cerrado sensu strictu da Chapada Pratinha, Brasil. *Acta Bot. Bras.* 15, 243–254. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0102-33062001000200010>
- Felipe-Lucia, M.R., Soliveres, S., Penone, C., Manning, P., van der Plas, F., Boch, S., Prati, D., Ammer, C., Schall, P., Gossner, M.M., Bauhus, J., Buscot, F., Blaser, S., Blüthgen, N., de Frutos, A., Ehbrecht, M., Frank, K., Goldmann, K., Hänsel, F., Jung, K., Kahl, T., Nauss, T., Oelmann, Y., Pena, R., Polle, A., Renner, S., Schlöter, M., Schöning, I., Schrumpp, M., Schulze, E.-D., Solly, E., Sorkau, E., Stempfhuber, B., Tschapka, M., Weisser, W.W., Wubet, T., Fischer, M., Allan, E., 2018. Multiple forest attributes underpin the supply of multiple ecosystem services. *Nat Commun* 9, 4839. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07082-4>
- Fidelino, J.S., Duya, M.R.M., Duya, M.V., Ong, P.S., 2020. Fruit bat diversity patterns for assessing restoration success in reforestation areas in the Philippines. *Acta Oecologica*. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103637>
- Forest, F., 2017. Quest for adequate biodiversity surrogates in a time of urgency. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 114, 12638–12640. <https://doi.org/10.1073/pnas.1717722114>
- Fuchun, T., Zewei, Z., Jiali, L., Zijun, H., Xuanzong, Y., Mufan, W., Xiaoling, Z., Yihua, X., 2023. Bird Diversity of Maofeng Mountain Forest Park in Guangzhou; [广州市帽峰山森林公园鸟类多样性研究]. *Tropical Geography*. <https://doi.org/10.13284/j.cnki.rddl.003674>
- Gamfeldt, L., Snäll, T., Bagchi, R., Jonsson, M., Gustafsson, L., Kjellander, P., Ruiz-Jaen, M.C., Fröberg, M., Stendahl, J., Philipson, C.D., Mikusiński, G., Andersson, E., Westerlund, B., Andrén, H., Moberg, F., Moen, J., Bengtsson, J., 2013. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nat Commun* 4, 1340. <https://doi.org/10.1038/ncomms2328>
- García del Barrio, J.M., Sánchez de Ron, D., Auñón, F., Benavides, R., Alonso Ponce, R., González-Ávila, S., Bolaños, F., Roig, S., Ortega Quero, M., 2024. Monitoring Diversity Profiles of Forested Landscapes in the Mediterranean Spain: Their Contribution to Local and Regional Vascular Plant Diversity. *Diversity*. <https://doi.org/10.3390/d16100626>
- Ghanbari, S., Álvarez-Álvarez, P., Esmaili, A., Sasanifar, S., Sadeghi, S.M.M., Sefidi, K., Eastin, I., 2025. Coppice and Coppice-with-Standard Stands Systems: Implications for Forest Management and Biodiversity. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f16010116>
- Ghritlahre, S., Kumari, N., Datta, D., Kumar, A., Sahay, G., Bhatore, A., 2025. Protecting India's Biodiversity: The Role of the Biological Diversity Act 2002: A Review. *BKAP*. <https://doi.org/10.18805/BKAP788>
- Giam, X., 2017. Global biodiversity loss from tropical deforestation. *Proc Natl Acad Sci U S A* 114, 5775–5777. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706264114>

- Gianguzzi, L., Caldarella, O., Campisi, P., Ravera, S., Scalenghe, R., Venturella, G., 2024. Plant diversity in old-growth woods: the case of the forest edges of the Favorita Park in Palermo (north-western Sicily, Italy). *Plant Sociology* 61, 1–29. <https://doi.org/10.3897/pls2024611/01>
- González-Orozco, C.E., Parra-Quijano, M., 2023. Comparing species and evolutionary diversity metrics to inform conservation. *Diversity and Distributions* 29, 224–231. <https://doi.org/10.1111/ddi.13660>
- Gorel, A.-P., Fayolle, A., Ligot, G., Rossi, V., Hardy, O.J., Beeckman, H., Steppe, K., 2025. Leaf habit, maximum height and wood density of tropical woody flora in Africa: Phylogenetic constraints, covariation and responses to seasonal drought. *Journal of Ecology* 113, 1209–1224. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.70027>
- Gotelli, N.J., Bohrer, D.B., Urban, M.C., Ulrich, W., Suarez, A.V., Skelly, D.K., Russell, D.J., Rowe, R.J., Rothendler, M., Rios, N., Rehan, S.M., Ni, G., Moreau, C.S., Magurran, A.E., Jones, F.A.M., Graves, G.R., Fiera, C., Burkhardt, U., Primack, R.B., 2023. Estimating species relative abundances from museum records. *Methods in Ecology and Evolution* 14, 431–443. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13705>
- Graser, A., Frank, C., Kunz, F., Schuldt, A., Senf, C., Sudfeldt, C., Trautmann, S., Kamp, J., 2025. Increase in disturbance-induced canopy gaps leads to reorganization of Central European bird communities. *Basic and Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2025.01.013>
- Gregorius, H.-R., Gillet, E.M., 2008. Generalized Simpson-diversity. *Ecological Modelling* 211, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.08.026>
- Guillin, A., Jabot, F., Personne, A., 2020. On the Simpson index for the Wright–Fisher process with random selection and immigration. *Int. J. Biomath.* 13, 2050046. <https://doi.org/10.1142/S1793524520500461>
- Gurashi, N.A., Yasin, E.H.E., Czimer, K., 2024. Changes in Structure, Tree Species Composition, and Diversity of the Abu Geili Riverine Forest Reserve, Sinnar State, Sudan; [Változások a szerkezetben, a fajösszetételben és a diverzitásban az Abu Geili Folyómenti Erdőrezervátumban (Szinnár állam, Szudán)]. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*. <https://doi.org/10.37045/aslh-2024-0004>
- Hajizadeh, G., Jalilvand, H., Kavosi, M.R., Barimani Varandi, H., 2022. Seasonal Patterns in Moth Abundance and Species Diversity in the Northern Mountainous Forests of Iran. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s40011-021-01304-4>
- Hale, K.R.S., Maes, D.P., Valdovinos, F.S., 2022. Simple Mechanisms of Plant Reproductive Benefits Yield Different Dynamics in Pollination and Seed Dispersal Mutualisms. *The American Naturalist* 200, 202–216. <https://doi.org/10.1086/720204>
- Han, Z., Zhang, L., Jiang, Y., Wang, H., Jiguet, F., 2021. Local habitat and landscape attributes shape the diversity facets of bird communities in inner mongolian grasslands; [Les caractéristiques d’habitat aux échelles locale et du paysage façonnent la diversité des communautés d’oiseaux dans les prairies de la mongolie-intérieure]. *Avian Conservation and Ecology*. <https://doi.org/10.5751/ACE-01739-160103>
- Hardersen, S., La Porta, G., 2023. Never underestimate biodiversity: how undersampling affects Bray–Curtis similarity estimates and a possible countermeasure. *The European Zoological Journal* 90, 660–672. <https://doi.org/10.1080/24750263.2023.2249007>
- Henn, J.J., Anderson, K.E., Brigham, L.M., Bueno de Mesquita, C.P., Collins, C.G., Elmendorf, S.C., Green, M.D., Huxley, J.D., Rafferty, N.E., Rose-Person, A., Spasojevic, M.J., 2024. Long-Term Alpine Plant Responses to Global Change Drivers Depend on Functional Traits. *Ecology Letters* 27, e14518. <https://doi.org/10.1111/ele.14518>

- Hill, M.O., 1973. Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology* 54, 427–432. <https://doi.org/10.2307/1934352>
- Hilwan, I., Santosa, Y., Nahla, S., 2023. Penentuan Bentuk dan Luas Petak Contoh Optimum Pengukuran Keanekaragaman Jenis Tumbuhan Tingkat Pancang Hutan Pegunungan. *Journal of Tropical Silviculture* 14, 63–69. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.14.01.64-70>
- IBGE, I.B. de G. e E., 2004. Vegetação Brasileira [WWW Document]. URL <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/10872-vegetacao.html> (accessed 1.13.25).
- Isbell, F., Gonzalez, A., Loreau, M., Cowles, J., Díaz, S., Hector, A., Mace, G.M., Wardle, D.A., O'Connor, M.I., Duffy, J.E., Turnbull, L.A., Thompson, P.L., Larigauderie, A., 2017. Linking the influence and dependence of people on biodiversity across scales. *Nature* 546, 65–72. <https://doi.org/10.1038/nature22899>
- Jiang, Y., Chen, Z., Lin, H., Deng, R., Liang, Z., Li, Y., Liang, S., 2024. Trait-based community assembly and functional strategies across three subtropical karst forests, Southwestern China. *Front. Plant Sci.* 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1451981>
- Joswig, J.S., Wirth, C., Schuman, M.C., Kattge, J., Reu, B., Wright, I.J., Sippel, S.D., Rüger, N., Richter, R., Schaepman, M.E., van Bodegom, P.M., Cornelissen, J.H.C., Díaz, S., Hattingh, W.N., Kramer, K., Lens, F., Niinemets, Ü., Reich, P.B., Reichstein, M., Römermann, C., Schrod, F., Anand, M., Bahn, M., Byun, C., Campetella, G., Cerabolini, B.E.L., Craine, J.M., Gonzalez-Melo, A., Gutiérrez, A.G., He, T., Higuchi, P., Jactel, H., Kraft, N.J.B., Minden, V., Onipchenko, V., Peñuelas, J., Pillar, V.D., Sosinski, Ê., Soudzilovskaia, N.A., Weiher, E., Mahecha, M.D., 2022. Climatic and soil factors explain the two-dimensional spectrum of global plant trait variation. *Nat Ecol Evol* 6, 36–50. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01616-8>
- Jurasinski, G., Retzer, V., Beierkuhnlein, C., 2009. Inventory, differentiation, and proportional diversity: a consistent terminology for quantifying species diversity. *Oecologia* 159, 15–26. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1190-z>
- Kardgar, N., Rahmani, R., Zare, H., Ghorbani, S., 2025. Assessing the effect of plot size on species diversity in a mixed oriental beech forest. *Journal of Forestry Research*. <https://doi.org/10.1007/s11676-024-01796-6>
- Karimi, A., Raymond, C.M., 2022. Assessing the diversity and evenness of ecosystem services as perceived by residents using participatory mapping. *Applied Geography* 138, 102624. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102624>
- Kass, J.M., Yoshimura, M., Ogasawara, M., Suwabe, M., Hita Garcia, F., Fischer, G., Dudley, K.L., Donohue, I., Economo, E.P., 2023. Breakdown in seasonal dynamics of subtropical ant communities with land-cover change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rspb.2023.1185>
- Kharoliwal, S., Shrivastava, S., 2025. A Rapid Assessment of Alpha Diversity by Use of Shannon Diversity Index-A Statistical Tool. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology* 12, 1378–1384. <https://doi.org/10.32628/IJSRST25123154>
- Khatsuriya, P.A., Makwana, V.M., Dodia, P.P., 2024. Biodiversity Resilience Amidst Climate Shifts: A Global Perspective, in: Idris, S. (Ed.), *Advances in Environmental Engineering and Green Technologies*. IGI Global, pp. 75–99. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-2845-3.ch005>
- Kumar, G., Kumar, A., Saikia, P., Khan, M.L., 2024. Assessing population diversity and compositional structure in forests in Pachmarhi Biosphere Reserve, Central India. *Ecological Frontiers*. <https://doi.org/10.1016/j.ecofro.2024.08.005>

- Larrieu, L., Gonin, P., 2008. L'indice de biodiversité potentielle (IBP) : une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Revue forestière française* 60, 727–748. <https://doi.org/10.4267/2042/28373>
- Le Bagousse-Pinguet, Y., Soliveres, S., Gross, N., Torices, R., Berdugo, M., Maestre, F.T., 2019. Phylogenetic, functional, and taxonomic richness have both positive and negative effects on ecosystem multifunctionality. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 116, 8419–8424. <https://doi.org/10.1073/pnas.1815727116>
- Lelli, C., Bruun, H.H., Chiarucci, A., Donati, D., Frascaroli, F., Fritz, Ö., Goldberg, I., Nascimbene, J., Tøttrup, A.P., Rahbek, C., Heilmann-Clausen, J., 2019. Biodiversity response to forest structure and management: Comparing species richness, conservation relevant species and functional diversity as metrics in forest conservation. *Forest Ecology and Management* 432, 707–717. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.057>
- Li, D., 2018. hillR: taxonomic, functional, and phylogenetic diversity and similarity through Hill Numbers. *Journal of Open Source Software* 3, 1041. <https://doi.org/10.21105/joss.01041>
- Liu, J., Li, S., Ouyang, Z., Tam, C., Chen, X., 2008. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, 9477–9482. <https://doi.org/10.1073/pnas.0706436105>
- Liu, J.-J., Burgess, K.S., Ge, X.-J., 2022. Species pool size and rainfall account for the relationship between biodiversity and biomass production in natural forests of China. *Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1002/ece3.8838>
- Liu, S., Cieszewski, C.J., 2024. INTERCONNECTED BIODIVERSITY: MAPPING THE RELATIONSHIP BETWEEN TREE AND BREEDING BIRD SPECIES DIVERSITY IN GEORGIA'S FORESTS, USA. *Mathematical and Computational Forestry and Natural-Resource Sciences*.
- Liu, X., Wu, Y., Zhang, M., Chen, X., Zhu, Z., Chen, D., Dong, S., Li, B., Ding, B., Liu, Y., 2024. Community composition and structure of a 25-ha forest dynamics plot of subtropical forest in Baishanzu, Zhejiang Province. *Biodiversity Science*. <https://doi.org/10.17520/biods.2023294>
- Lohbeck, M., Lebrija-Trejos, E., Martínez-Ramos, M., Meave, J.A., Poorter, L., Bongers, F., 2015. Functional Trait Strategies of Trees in Dry and Wet Tropical Forests Are Similar but Differ in Their Consequences for Succession. *PLOS ONE* 10, e0123741. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123741>
- López-Osorio, F., Miranda-Esquivel, D.R., 2010. A phylogenetic approach to conserving Amazonian biodiversity. *Conserv Biol* 24, 1359–1366. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01482.x>
- Lucas, F.M.F., Araujo, E.C.G., Fiedler, N.C., Santana, J.A. da S., Tetto, A.F., 2023. Perspective: Scientific gaps on forest fires in Brazilian protected areas. *Forest Ecology and Management* 529, 120739. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120739>
- Lyashevskaya, O., Farnsworth, K.D., 2012. How many dimensions of biodiversity do we need? *Ecological Indicators* 18, 485–492. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.016>
- Magurran, A.E., 2013. *Medindo a diversidade biológica*, Pesquisa. Editora UFPR.
- Margalef, R., 1973. Information theory in ecology. *La teoría de la información en Ecología*.
- Matas-Granados, L., Draper, F.C., Cayuela, L., de Aledo, J.G., Arellano, G., Saadi, C.B., Baker, T.R., Phillips, O.L., Honorio Coronado, E.N., Ruokolainen, K., García-Villacorta, R., Roucoux, K.H., Guèze, M., Sandoval, E.V., Fine, P.V.A., Amasifuen Guerra, C.A., Gomez, R.Z., Stevenson Diaz, P.R., Monteagudo-Mendoza, A., Martinez, R.V., Socolar, J.B., Disney, M., del Aguila Pasquel, J., Llampazo, G.F., Arenas, J.V., Huaymacari, J.R., Grandez Rios, J.M., Macía, M.J., 2024. Understanding different dominance patterns in

- western Amazonian forests. *Ecology Letters* 27, e14351. <https://doi.org/10.1111/ele.14351>
- Melo, A.S., 2008. O que ganhamos “confundindo” riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? *Biota Neotrop.* 8, 21–27. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032008000300001>
- Menhinick, E.F., 1964. A Comparison of Some Species-Individuals Diversity Indices Applied to Samples of Field Insects. *Ecology* 45, 859–861. <https://doi.org/10.2307/1934933>
- Mi, X., Feng, G., Hu, Y., Zhang, J., Chen, L., Corlett, R.T., Hughes, A.C., Pimm, S., Schmid, B., Shi, S., Svenning, J.-C., Ma, K., 2021. The global significance of biodiversity science in China: an overview. *National Science Review* nwab032. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwab032>
- Michel, O.O., Yu, Y., Fan, W., Lubalega, T., Chen, C., Sudi Kaiko, C.K., 2022. Impact of Land Use Change on Tree Diversity and Aboveground Carbon Storage in the Mayombe Tropical Forest of the Democratic Republic of Congo. *Land*. <https://doi.org/10.3390/land11060787>
- Mlambo, D., Sebata, A., Chichinye, A., Mabidi, A., 2024. Chapter 5 - Agroforestry and biodiversity conservation, in: Jhariya, M.K., Meena, R.S., Banerjee, A., Kumar, S., Raj, A. (Eds.), *Agroforestry for Carbon and Ecosystem Management*. Academic Press, pp. 63–78. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95393-1.00008-7>
- Mohammadi, L., Hajizadeh, J., 2025. Biodiversity indexes of Rhodacaroidea (Acari: Mesostigmata) at the garbage dump in the Saravan forest, Rasht County; [تنوع های شاخص Rhodacaroidea (Acari: Mesostigmata) در محل انباشت زباله جنگل زباله انباشت محله در Saravan، شهرستان رشت]. *Plant Pest Research*. <https://doi.org/10.22124/iprj.2025.29789.1623>
- Molotoks, A., Green, J., Ribeiro, V., Wang, Y., West, C., 2024. Assessing the value of biodiversity-specific footprinting metrics linked to South American soy trade. *People and Nature*. <https://doi.org/10.1002/pan3.10457>
- Morellato, L.P.C., Talora, D.C., Takahasi, A., Bencke, C.C., Romera, E.C., Zipparro, V.B., 2000. Phenology of Atlantic Rain Forest Trees: A Comparative Study. *Biotropica* 32, 811–823. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00620.x>
- Morris, E.K., Caruso, T., Buscot, F., Fischer, M., Hancock, C., Maier, T.S., Meiners, T., Müller, C., Obermaier, E., Prati, D., Socher, S.A., Sonnemann, I., Wäschke, N., Wubet, T., Wurst, S., Rillig, M.C., 2014. Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecology and Evolution* 4, 3514–3524. <https://doi.org/10.1002/ece3.1155>
- Moura, M.R., Oliveira, G.A., Paglia, A.P., Pires, M.M., Santos, B.A., 2023. Climate change should drive mammal defaunation in tropical dry forests. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.16979>
- Mulya, H., Santosa, Y., Hilwan, I., 2021. Comparison of four species diversity indices in mangrove community. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 22. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220906>
- Nagendra, H., 2002. Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. *Applied Geography* 22, 175–186. [https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(02\)00002-4](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(02)00002-4)
- Nolander, C., Lundmark, R., 2024. A Review of Forest Ecosystem Services and Their Spatial Value Characteristics. *Forests* 15, 919. <https://doi.org/10.3390/f15060919>
- Noroozi, J., Talebi, A., Doostmohammadi, M., Manafzadeh, S., Asgarpour, Z., Schneeweiss, G.M., 2019. Endemic diversity and distribution of the Iranian vascular flora across phytogeographical regions, biodiversity hotspots and areas of endemism. *Sci Rep* 9, 12991. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49417-1>

- Ohyama, L., Bogota-Gregory, J.D., Jenkins, D.G., 2024. Peak beta diversity occurs at regional spatial grains. *Frontiers of Biogeography* 17, e132675. <https://doi.org/10.21425/fob.17.132675>
- Ottaviani, G., Götzenberger, L., Bacaro, G., Chiarucci, A., de Bello, F., Marcantonio, M., 2019. A multifaceted approach for beech forest conservation: Environmental drivers of understory plant diversity. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.05.006>
- Palli, J., Mensing, S.A., Schoolman, E.M., Solano, F., Piovesan, G., 2023. Historical ecology identifies long-term rewilding strategy for conserving Mediterranean mountain forests in south Italy. *Ecological Applications* 33, e2758. <https://doi.org/10.1002/eap.2758>
- Parisi, F., Innangi, M., Tognetti, R., Lombardi, F., Chirici, G., Marchetti, M., 2021. Forest stand structure and coarse woody debris determine the biodiversity of beetle communities in Mediterranean mountain beech forests. *Global Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01637>
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* 13, 131–144. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0)
- Pillay, R., Venter, M., Aragon-Osejo, J., González-del-Pliego, P., Hansen, A.J., Watson, J.E., Venter, O., 2022. Tropical forests are home to over half of the world's vertebrate species. *Front Ecol Environ* 20, 10–15. <https://doi.org/10.1002/fee.2420>
- Qian, H., Qian, S., 2023. Geographic patterns of taxonomic and phylogenetic β -diversity of angiosperm genera in regional floras across the world. *Plant Diversity* 45, 491–500. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2023.07.008>
- Quiroga-Pacheco, C.J., Velez-Liendo, X., Zedrosser, A., 2024. Effects of Seasonality on the Large and Medium-Sized Mammal Community in Mountain Dry Forests. *Diversity*. <https://doi.org/10.3390/d16070409>
- Rappa, N.J., Staab, M., Frey, J., Winiger, N., Klein, A.-M., 2022. Multiple forest structural elements are needed to promote beetle biomass, diversity and abundance. *Forest Ecosystems*. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2022.100056>
- Ricotta, C., 2005. Through the Jungle of Biological Diversity. *Acta Biotheor* 53, 29–38. <https://doi.org/10.1007/s10441-005-7001-6>
- Rocha, S.J.S.S. da, Torres, C.M.M.E., Villanova, P.H., Schettini, B.L.S., Jacovine, L.A.G., Leite, H.G., Gelcer, E.M., Reis, L.P., Neves, K.M., Comini, I.B., Silva, L.F. da, 2020. Drought effects on carbon dynamics of trees in a secondary Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management* 465, 118097. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118097>
- Roswell, M., Dushoff, J., Winfree, R., 2021. A conceptual guide to measuring species diversity. *Oikos* 130, 321–338. <https://doi.org/10.1111/oik.07202>
- Rota, M., Piqué, M., Sazatornil, V., Feldman, M.J., Baiges, T., Guixé, D., Larrieu, L., Mundet, R., Pallarés, M., Vayreda, J., Camprodon, J., 2025. Evaluating habitat structural variables as reliable indicators of biodiversity in Mediterranean forests. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.122727>
- Saranya, K.R.L., Mandal, K.K., Kar, T., Sudhakar Reddy, C., Satish, K.V., 2023. Effects of Disturbance Regimes on Phytodiversity of Similipal Biosphere Reserve, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1007/s12524-023-01684-2>
- Schweiger, A.K., Laliberté, E., 2022. Plant beta-diversity across biomes captured by imaging spectroscopy. *Nature Communications*. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30369-6>
- Shannon, C.E., Weaver, W., Wiener, N., 1950. The Mathematical Theory of Communication. *Physics Today* 3, 31–32. <https://doi.org/10.1063/1.3067010>

- Sharma, A., Patel, S.K., Singh, G.S., 2023. Variation in Species Composition, Structural Diversity, and Regeneration Along Disturbances in Tropical Dry Forest of Northern India. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2022.11.004>
- Silva, L.G. da, Tavares, A.C.F., Brandão, C.F.L.E.S., Verçosa, J.P. dos S., Cola, R.E., Silva, N.L. da, Santos, A.A.L. dos, Vieira, A.C.S., Neto, J.F. da S., Lana, M.D., 2020. Effect of Land Cover Change on Atlantic Forest Fragmentation in Rio Largo, Al, Brazil. *Journal of Experimental Agriculture International* 102–114. <https://doi.org/10.9734/jeai/2020/v42i530524>
- Singh, K.P., Kushwaha, C.P., 2016. Deciduousness in tropical trees and its potential as indicator of climate change: A review. *Ecological Indicators* 69, 699–706. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.011>
- Sloan, S., Jenkins, C.N., Joppa, L.N., Gaveau, D.L.A., Laurance, W.F., 2014. Remaining natural vegetation in the global biodiversity hotspots. *Biological Conservation* 177, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.05.027>
- Souza, Y., Gonçalves, F., Lautenschlager, L., Akkawi, P., Mendes, C., Carvalho, M.M., Bovendorp, R.S., Fernandes-Ferreira, H., Rosa, C., Graipel, M.E., Peroni, N., Cherem, J.J., Bogoni, J.A., Brocardo, C.R., Miranda, J., Zago da Silva, L., Melo, G., Cáceres, N., Sponchiado, J., Ribeiro, M.C., Galetti, M., 2019. ATLANTIC MAMMALS: a data set of assemblages of medium- and large-sized mammals of the Atlantic Forest of South America. *Ecology* 100, e02785. <https://doi.org/10.1002/ecy.2785>
- Srivathsa, A., Vasudev, D., Nair, T., Chakrabarti, S., Chanchani, P., DeFries, R., Deomurari, A., Dutta, S., Ghose, D., Goswami, V.R., Nayak, R., Neelakantan, A., Thatte, P., Vaidyanathan, S., Verma, M., Krishnaswamy, J., Sankaran, M., Ramakrishnan, U., 2023. Prioritizing India's landscapes for biodiversity, ecosystem services and human well-being. *Nat Sustain* 6, 568–577. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01063-2>
- Storch, F., Boch, S., Gossner, M.M., Feldhaar, H., Ammer, C., Schall, P., Polle, A., Kroiher, F., Müller, J., Bauhus, J., 2023. Linking structure and species richness to support forest biodiversity monitoring at large scales. *Annals of Forest Science* 80. <https://doi.org/10.1186/s13595-022-01169-1>
- Sun, S., Sang, W., Axmacher, J.C., 2020. China's national nature reserve network shows great imbalances in conserving the country's mega-diverse vegetation. *Science of The Total Environment* 717, 137159. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137159>
- Taye, F.A., Folkersen, M.V., Fleming, C.M., Buckwell, A., Mackey, B., Diwakar, K.C., Le, D., Hasan, S., Ange, C.S., 2021. The economic values of global forest ecosystem services: A meta-analysis. *Ecological Economics* 189, 107145. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107145>
- Thukral, A.K., 2017. A review on measurement of Alpha diversity in biology. *Intern. Jour. Contemp. Microbiol.* 54, 1. <https://doi.org/10.5958/2395-146X.2017.00001.1>
- Torres, C.M.M.E., Medina-Vega, J.A., Rocha, S.J.S.S. da, Costa, W. da S., Soares, C.P.B., Souza, A.L. de, Jacovine, L.A.G., Lana, J.M. de, Peña-Claros, M., 2023. Drivers of tree demographic processes in forest fragments of the Brazilian Atlantic forest. *Forest Ecology and Management* 534, 120893. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120893>
- Tukiainen, H., Maliniemi, T., Alahuhta, J., Hjort, J., Lindholm, M., Salminen, H., Snåre, H., Toivanen, M., Vilmi, A., Heino, J., 2023. Quantifying alpha, beta and gamma geodiversity. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 47, 140–151. <https://doi.org/10.1177/03091333221114714>
- Tzompa-Coatl, R., Cerón-Carpio, A.B., Mendoza-Ruiz, A., Ceja-Romero, J., 2022. Species richness and distribution of lycophytes and ferns according to vegetation types in Sierra Norte de Puebla, Mexico; [Riqueza específica y distribución de licofitas y helechos por

- tipos de vegetación, en la Sierra Norte de Puebla, México]. *Acta Botanica Mexicana*. <https://doi.org/10.21829/ABM129.2022.2063>
- Ucella-Filho, J.G.M., Ferreira, N.S., Alves, M.R., Ignacchiti, M.D.C., Dias Júnior, A.F., Resende, J.A., 2024. Evaluation of natural products as therapeutic alternatives for bovine mastitis and implications for future research. *South African Journal of Botany* 167, 310–321. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.02.031>
- Uzabaho, E., Kayijamahe, C.B., Musana, A., Uwingeli, P., Masaba, C., Nyiratuza, M., Moore, J.F., 2023. What factors affect species richness and distribution dynamics within two Afromontane protected areas? *Wildlife Research*. <https://doi.org/10.1071/WR21171>
- Valli, M., Russo, H.M., Bolzani, V.S., 2018. The potential contribution of the natural products from Brazilian biodiversity to bioeconomy. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 90, 763–778. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170653>
- van Breugel, M., Bongers, F., Norden, N., Meave, J.A., Amissah, L., Chanthorn, W., Chazdon, R., Craven, D., Farrior, C., Hall, J.S., Hérault, B., Jakovac, C., Lebrija-Trejos, E., Martínez-Ramos, M., Muñoz, R., Poorter, L., Rüger, N., van der Sande, M., Dent, D.H., 2024. Feedback loops drive ecological succession: towards a unified conceptual framework. *Biological Reviews* 99, 928–949. <https://doi.org/10.1111/brv.13051>
- van Eck, N.J., Waltman, L., 2010. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics* 84, 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Verly, O.M., Villa, P.M., Chaves, M.V.G.S., da Rocha, S.J.S.S., Cabral-da-Silva, L.C.M., Oliveira, K., Rufino, M.P.M.X., Vieira, S.B., Sathler, D.F.T., de Lana, J.M., Torres, C.M.M.E., 2026. Decoupling abundance and biomass in secondary Atlantic Rainforest: Differential responses of rare and common tree species to environmental drivers. *Forest Ecology and Management* 605, 123503. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2026.123503>
- Wang, J., Wen, X., Lyu, S., Guo, Q., 2021. Soil properties mediate ecosystem intrinsic water use efficiency and stomatal conductance via taxonomic diversity and leaf economic spectrum. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146968>
- Wang, Z., Wang, T., Zhang, X., Wang, J., Yang, Y., Sun, Y., Guo, X., Wu, Q., Nepovimova, E., Watson, A.E., Kuca, K., 2024. Biodiversity conservation in the context of climate change: Facing challenges and management strategies. *Science of The Total Environment* 937, 173377. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173377>
- Watson, J.E.M., Evans, T., Venter, O., Williams, B., Tulloch, A., Stewart, C., Thompson, I., Ray, J.C., Murray, K., Salazar, A., McAlpine, C., Potapov, P., Walston, J., Robinson, J.G., Painter, M., Wilkie, D., Filardi, C., Laurance, W.F., Houghton, R.A., Maxwell, S., Grantham, H., Samper, C., Wang, S., Laestadius, L., Runting, R.K., Silva-Chávez, G.A., Ervin, J., Lindenmayer, D., 2018. The exceptional value of intact forest ecosystems. *Nat Ecol Evol* 2, 599–610. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0490-x>
- Wei, J., Jiang, Z., Yang, L., Xiong, H., Jin, J., Luo, F., Li, J., Wu, H., Xu, Y., Qiao, X., Wei, X., Yao, H., Yu, H., Yang, J., Jiang, M., 2024. Community composition and structure in a 25 ha mid-subtropical mountain deciduous broad-leaved forest dynamics plot in Shennongjia, Hubei, China. *Biodiversity Science*. <https://doi.org/10.17520/biods.2023338>
- Wenhua, L., 2004. Degradation and restoration of forest ecosystems in China. *Forest Ecology and Management, Restoration and Research on Degraded Forest Ecosystems* 201, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.06.010>
- Worku, D., Haji, F., Dida, G., 2025. Species Diversity, Distribution, and Conservation Challenges of Wild Mammals of Besmena-Odubulu-Controlled Hunting Area,

- Southeastern Ethiopia. *International Journal of Zoology*.
<https://doi.org/10.1155/ijz/3071491>
- Wu, N., Hu, B., Wang, Y., Qin, Y., Ma, G., He, H., Zhou, Y., 2023. Even minor logging road development can decrease the functional diversity of forest bird communities: Evidence from a biodiversity hotspot. *Forest Ecology and Management*.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120865>
- Xiaoning, W., Zihong, M., Wentao, L., Jiqin, Y., Yangyang, Z., Lixun, Z., Yue, Q., Wei, Z., 2019. Camera Trapping Survey on Ground-Dwelling Birds and Mammals in Liancheng National Nature Reserve, Gansu Province; [甘肃连城国家级自然保护区地栖鸟兽红外相机初步监测]. *Chinese Journal of Wildlife*.
<https://doi.org/10.19711/j.cnki.issn2310-1490.2019.02.010>
- Xofis, P., Kefalas, G., Poirazidis, K., 2023. Biodiversity and Conservation of Forests. *Forests* 14, 1871. <https://doi.org/10.3390/f14091871>
- Yao, L., Wang, Z., Zhan, X., Wu, W., Jiang, B., Jiao, J., Yuan, W., Zhu, J., Ding, Y., Li, T., Yang, S., Wu, C., 2022. Assessment of Species Composition and Community Structure of the Suburban Forest in Hangzhou, Eastern China. *Sustainability* 14, 4304.
<https://doi.org/10.3390/su14074304>
- Yao, Liangjin, Ding, Y., Yao, Lan, Ai, X., Zang, R., 2020. Trait Gradient Analysis for Evergreen and Deciduous Species in a Subtropical Forest. *Forests* 11.
<https://doi.org/10.3390/f11040364>
- Yuan, Z., Ali, A., Loreau, M., Ding, F., Liu, S., Sanaei, A., Zhou, W., Ye, J., Lin, F., Fang, S., Hao, Z., Wang, X., Le Bagousse-Pinguet, Y., 2021. Divergent above- and below-ground biodiversity pathways mediate disturbance impacts on temperate forest multifunctionality. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.15606>
- Yusefi, G.H., Faizolah, K., Darvish, J., Safi, K., Brito, J.C., 2019. The species diversity, distribution, and conservation status of the terrestrial mammals of Iran. *J Mammal* 100, 55–71. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz002>
- Zhang, Z., Cao, D., Ma, T., Liu, H., Mao, Z., 2025. International cooperation for a biodiverse future: Opportunities and challenges under the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. *Global Ecology and Conservation* 58, e03385.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03385>
- Zhao, F., Yang, T., Luo, C., Rao, W., Yang, G., Li, G., Shen, Z., 2022. Comparing Elevational Patterns of Taxonomic, Phylogenetic, and Functional Diversity of Woody Plants Reveal the Asymmetry of Community Assembly Mechanisms on a Mountain in the Hengduan Mountains Region. *Frontiers in Ecology and Evolution*.
<https://doi.org/10.3389/fevo.2022.869258>
- Zhao, Z., Hui, G., Yang, A., Zhang, G., Hu, Y., 2022. Assessing tree species diversity in forest ecosystems: A new approach. *Front. Ecol. Evol.* 10, 971585.
<https://doi.org/10.3389/fevo.2022.971585>
- Zupo, V., Alexander, T.J., Edgar, G.J., 2017. Relating trophic resources to community structure: a predictive index of food availability. *R Soc Open Sci.* 4, 160515.
<https://doi.org/10.1098/rsos.160515>

CAPÍTULO 2 – Como variáveis climáticas, edáficas e de paisagem influenciam a abundância e biomassa de espécies com diferentes padrões de deciduidade foliar?

RESUMO

A forma como as espécies respondem a fatores antrópicos e ambientais está diretamente relacionada às características funcionais de cada uma delas. Neste contexto, analisamos como variáveis climáticas, edáficas e de paisagem influenciam na dinâmica líquida de abundância (DLA) e de biomassa (DLB) das diferentes classes de deciduidade. Utilizamos dados de 53 parcelas permanentes de quatro fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual da Mata Atlântica, em que foi realizado inventário florestal contínuo ao longo de 20 anos. As espécies foram classificadas de acordo com a classe de deciduidade e calculada a abundância e biomassa por hectare para cada classe. As parcelas foram caracterizadas através do cálculo de variáveis climáticas, edáficas e de paisagem. Utilizamos modelos lineares mistos para avaliar a influência de efeitos fixos de variáveis climáticas, edáficas e de paisagem combinados com efeitos aleatórios de histórico de uso do solo e ano de inventário sobre DLA e DLB. Todos os fragmentos apresentaram aumento médio em abundância, biomassa, riqueza e área basal nas parcelas mensuradas. Espécies perenes apresentaram maior abundância e biomassa na maioria dos fragmentos. Para DLA, os resultados dos modelos foram mais expressivos quando analisamos os efeitos fixos juntamente aos efeitos aleatórios, com destaque para os modelos edáficos para semidecíduas e perenes e modelo de paisagem para decíduas. Para DLB de espécies decíduas e semidecíduas, os efeitos aleatórios não foram significativos, com maior influência de efeitos fixos de paisagem. DLB de perenes foi melhor explicada pelo modelo climático, combinando efeitos fixos e aleatórios. Apesar da perda sazonal de folhas ser uma estratégia intimamente relacionada às variações climáticas, em fragmentos da Mata Atlântica, a abundância e biomassa de cada classe não é determinada apenas pelo clima, mas também por características edáficas e pelo contexto da paisagem, que refletem diferenças nas estratégias funcionais entre as classes de deciduidade.

Palavras-chave: Traços funcionais, Hábito foliar, Dinâmica florestal, Floresta Estacional Semidecidual

CHAPTER 2 – How do climatic, edaphic, and landscape variables influence the abundance and biomass of species across different leaf deciduousness patterns?

ABSTRACT

The way species respond to anthropogenic and environmental factors is directly related to their functional traits. In this context, we analyzed how climatic, edaphic, and landscape variables influence the net dynamics of abundance (NDA) and biomass (NDB) across different deciduousness classes. We used data from 53 permanent plots located in four fragments of Seasonal Semideciduous Forest in the Atlantic Forest, where continuous forest inventories were conducted over a 20-year period. Species were classified according to their deciduousness class, and abundance and biomass per hectare were calculated for each class. The plots were characterized based on climatic, edaphic, and landscape variables. We used linear mixed-effects models to assess the influence of fixed effects of climatic, edaphic, and landscape variables combined with random effects of land-use history and inventory year on NDA and NDB. All fragments showed an average increase in abundance, biomass, richness, and basal area in the measured plots. Evergreen species exhibited greater abundance and biomass in most fragments. For NDA, model results were more pronounced when fixed effects were analyzed together with random effects, with edaphic models standing out for semideciduous and evergreen species, and the landscape model for deciduous species. For NDB of deciduous and semideciduous species, random effects were not significant, with a stronger influence of fixed landscape effects. NDB of evergreen species was better explained by the climatic model, combining both fixed and random effects. Although seasonal leaf loss is a strategy closely related to climatic variation, in Atlantic Forest fragments the abundance and biomass of each class are not determined solely by climate, but also by edaphic characteristics and landscape context, which reflect differences in functional strategies among deciduousness classes.

Keywords: Functional traits, Leaf habit, Forest dynamics, Seasonal Semideciduous Forest

1. Introdução

A Mata Atlântica é considerada um hotspot por possuir elevada biodiversidade e endemismo, além da forte ameaça e perda de habitat (Sloan et al., 2014). O bioma possui 24% de cobertura florestal (SOS Mata Atlântica, 2025), sendo que apenas 3% são fragmentos acima de 50 hectares (Vancine et al., 2024). Além disso, essa vegetação remanescente é formada majoritariamente por vegetação secundária (Rezende et al., 2018). O esforço para restauração florestal da Mata Atlântica tem gerado ganhos através do estabelecimento de novas áreas de vegetação secundária, como o aumento da conectividade entre fragmentos, da biodiversidade e do sequestro de carbono (Matos et al., 2020; Pimentel et al., 2025). Apesar disso, esses ganhos ainda não são suficientes para suprir as perdas de floresta primária associadas às mudanças de uso do solo do passado (da Silva et al., 2025).

Nesse cenário, é importante compreender sobre os processos de sucessão florestal, para avaliar o potencial de recuperação desses ecossistemas e impulsionar a recuperação da Mata Atlântica. A dinâmica de sucessão florestal é formada por um conjunto de mudanças associadas aos processos demográficos de crescimento, recrutamento e mortalidade, que determinam a reorganização estrutural e funcional das comunidades ao longo do tempo (Torres et al., 2023; Zhang et al., 2022). Após o abandono de uma área, a recuperação florestal inicia com a dominância de espécies pioneiras e secundárias iniciais (Siminski et al., 2021), que preparam o microclima para que as espécies secundárias tardias e clímax se estabeleçam com o passar do tempo (Poorter et al., 2021; Yuan et al., 2019). Ao longo da trajetória sucessional, a estrutura e composição da floresta se tornam mais complexas, com diferentes estratos, maior riqueza e diversidade (Valente et al., 2025; Verly et al., 2026).

A trajetória sucessional, no entanto, não ocorre de forma linear e previsível, podendo ser influenciada por diferentes fatores antrópicos e ambientais (van Breugel et al., 2024). No contexto de paisagem, áreas submetidas anteriormente a usos intensivos do solo tendem a apresentar sucessão mais lenta (Jakovac et al., 2021), enquanto a maior cobertura florestal do entorno favorece a chegada de sementes e contribui para o aumento da riqueza e diversidade de espécies (Hordijk et al., 2024). De forma semelhante, o tamanho e conectividade de fragmentos influenciam diretamente a dinâmica de colonização e estabelecimento das espécies, uma vez que fragmentos maiores e mais conectados tendem a apresentar maior entrada de propágulos e condições ambientais mais estáveis (Szitár et al., 2023). Adicionalmente, variáveis climáticas e edáficas, como precipitação, temperatura e fertilidade, regulam a disponibilidade de recursos,

o que impacta diretamente o estabelecimento e desenvolvimento das plantas (Verly et al., 2025; Wang et al., 2022). Ambientes em que os recursos são mais restritos podem condicionar a composição florística do ecossistema a um conjunto reduzido de espécies adaptadas (Erdős et al., 2024; Gafta et al., 2025).

A forma como as espécies respondem a essas condições está diretamente relacionada às características funcionais de cada uma delas (Deng et al., 2023). Traços funcionais refletem estratégias ecológicas, e a combinação de diferentes traços podem favorecer a adaptação e resistência da espécie em um determinado cenário (Hidalgo-Triana et al., 2023). A característica de perda sazonal de folhas é chamada de deciduidade, e se destaca como uma estratégia de algumas espécies para reduzir a perda de água nos períodos mais secos do ano (Vargas et al., 2022). Além disso, as espécies decíduas tendem a apresentar maior área foliar específica e maior teor de fósforo e nitrogênio nas folhas comparado às perenifólias, o que está associado à maior capacidade fotossintética (Yao et al., 2020). Essas diferenças funcionais podem refletir diretamente na dinâmica da abundância e biomassa florestal, uma vez que espécies com diferentes padrões de deciduidade apresentam estratégias distintas de aquisição e uso de recursos (Álvarez-Yépiz et al., 2017; Jiang et al., 2024).

Nesse contexto, florestas decíduas ou semidecíduas podem apresentar maior resistência a mudanças de temperatura e precipitação, por exemplo, quando comparadas a florestas perenifólias (Francescantonio et al., 2020; Han et al., 2021). Portanto, este trabalho teve como objetivo analisar como variáveis climáticas, edáficas e de paisagem influenciam na dinâmica líquida de abundância e de biomassa das diferentes classes de deciduidade. Abordamos as seguintes questões: (i) Como a estrutura e dinâmica de diferentes fragmentos da Mata Atlântica variam ao longo do tempo? (ii) Como a abundância e biomassa se distribuem entre espécies decíduas, semidecíduas e perenes? (iii) Quais são os efeitos de variáveis antropogênicas e ambientais sobre a abundância e biomassa nas diferentes classes de deciduidade?

2. Material e métodos

2.1. Locais de estudo e coleta de dados

O estudo foi realizado em quatro fragmentos de floresta secundária de Mata Atlântica, localizados em Minas Gerais, Brasil (Figura 1). A vegetação é classificada como Floresta Estacional Semidecidual, tipologia presente em regiões marcadas por duas estações climáticas,

uma seca e outra chuvosa, e caracterizada pela perda de folhas de parte da vegetação arbórea como mecanismo de adaptação climática (IBGE, 2004).

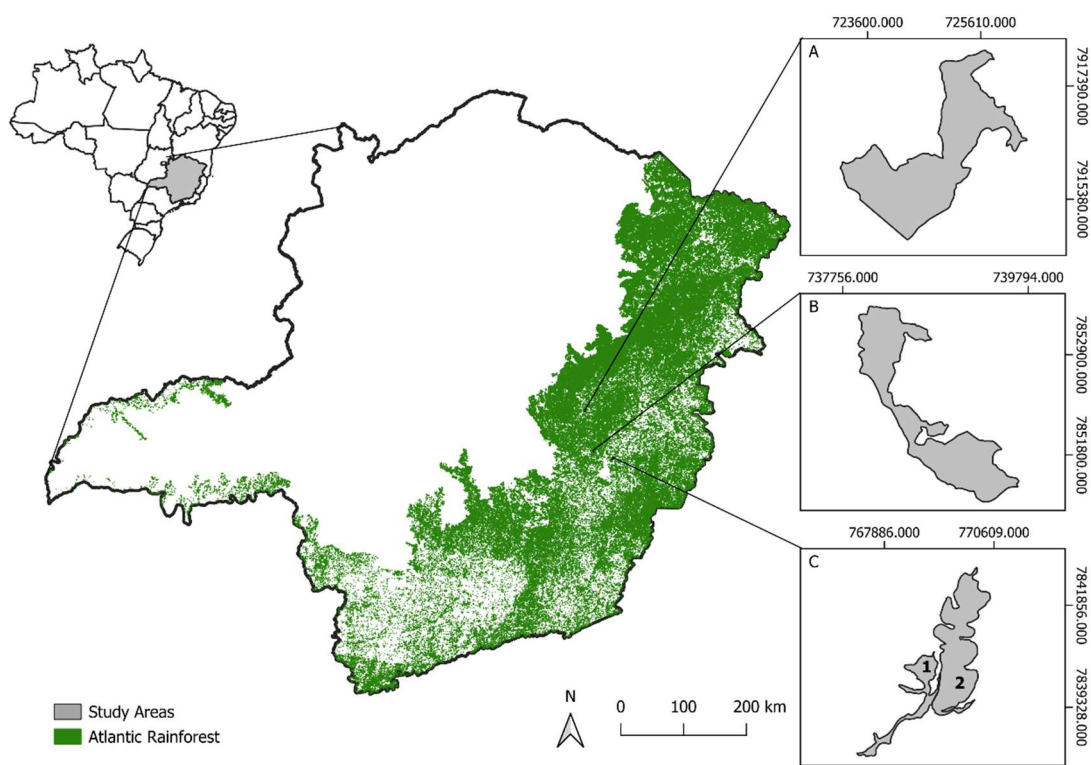


Figura 8. Localização dos fragmentos de floresta secundária de Mata Atlântica estudados (Minas Gerais, Brasil). A – Cachoeira das Pombas; B – São José; C1 – Ipaba Mata 2; C2 – Ipaba Mata 1.

Os quatro fragmentos, atualmente, são áreas de conservação, que anteriormente tiveram outros usos do solo, que variam entre produção agrícola, corte seletivo e desmatamento (Tabela 1). Para monitoramento florestal das áreas, foram alocadas 53 parcelas fixas de 0,05 ha, inventariadas continuamente ao longo de 20 anos (2002, 2007, 2012, 2017 e 2022), mensurando a altura e o diâmetro, obtido a 1,30 m do solo, e identificando botanicamente todos os fustes que possuíam mais de 5 cm de diâmetro. As espécies identificadas foram classificadas de acordo com sua fenologia foliar como decíduas, semidecíduas ou perenes (de Camargo et al., 2018), a partir de publicações científicas. Foi calculada a abundância (ind.ha^{-1}) e biomassa (Mg.ha^{-1}) por classe de deciduidade para cada parcela.

Tabela 7. Caracterização dos fragmentos de floresta secundária de Mata Atlântica estudados. AP – Produção agrícola; SL – Corte seletivo; Def – Desmatamento

Fragmento	Município	Tamanho do fragmento (ha)	Nº de parcelas	Altitude máxima (m)	Histórico de uso do solo (%)		
					AP	SL	Def
Cachoeira das Pombas (GUA)	Guanhães	360,2	19	1.169	40	60	0
Ipaba Mata1 (IP1)	Caratinga	271,2	16	299	0	18,75	81,25
Ipaba Mata2 (IP2)	Caratinga	79,4	6	310	0	100	0
São José (SJO)	Coronel Fabriciano	100,6	12	929	0	100	0

2.1.1. Determinação da biomassa

Para estimar a biomassa, primeiramente foi calculado o volume total do tronco com casca para cada fuste, utilizando a Equação 1, ajustada para florestas secundárias no estado de Minas Gerais (Amaro, 2010).

$$V_{CC} = 0.00007 * DAP^{2.204301} * Ht^{0.563185} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: V_{CC} – Volume do caule com casca (m^3); DAP – Diâmetro à altura do peito (cm); e Ht – Altura total do indivíduo (m).

Em seguida, a biomassa aérea (Mg) foi estimada pela multiplicação do volume do caule (m^3) e da densidade básica da madeira ($Mg.m^{-3}$). Os valores de densidade básica da madeira específicos para cada espécie foram obtidos através de bases de dados nacionais e internacionais (Tabela S1). Quando não encontrada a densidade de uma determinada espécie, utilizamos a média de espécies do mesmo gênero ou família. Por fim, os valores de abundância e biomassa estimados por parcela, foram extrapolados para um hectare.

2.1.2. Variáveis de paisagem

Para caracterizar as áreas quanto aos efeitos antropogênicos e características de paisagem, foram analisados o histórico de uso do solo, cobertura florestal do entorno, idade de abandono, tamanho do fragmento, distância da borda, área basal e elevação da parcela. A análise de histórico de uso do solo (LUH) foi feita a partir de entrevistas com proprietários de terras próximas. Os usos anteriores foram categorizados entre produção agrícola (AP), que inclui também o cultivo de eucalipto, desmatamento (Def) e corte seletivo de madeira (SL). A estimativa de idade de abandono, também foi feita a partir de entrevistas e análise dos títulos de propriedade. As informações de histórico de uso do solo e idade de abandono do fragmento

foram validadas através da análise de fotografias aéreas de 1960, 1980 e 1990 e de imagens de satélite Landsat de 1985.

A análise da cobertura florestal foi feita para os anos 1985 e 2002. Para cada parcela, foram lançados buffers com raio de 500, 1000 e 2000 m, partindo do centro da parcela. A partir da classificação de uso da terra do MapBiomas (MapBiomas, 2024) e utilizando o QGIS 3.28 Firenze (QGIS Development Team, 2025), foram feitos os levantamentos de cobertura florestal nos anos mencionados. A distância da borda foi calculada considerando a menor distância da parcela à borda do fragmento.

A elevação da parcela foi obtida através de um Modelo Digital de Terreno (MDT) da área de estudo. O processamento foi realizado utilizando o pacote “terra” do R versão 2024.12.0 (Hijmans et al., 2025). O MDT foi recortado de acordo com os limites das parcelas amostrais e foram extraídos os valores médios de elevação de cada parcela.

2.1.3. Variáveis climáticas

Para caracterização climática dos fragmentos foram utilizados dados registrados pela estação meteorológica mais próxima de cada fragmento florestal. A partir desses dados, calculamos a temperatura média anual (Temp), precipitação do ano de inventário (Precp), precipitação do ano anterior (Precp_1), média de dois anos (Precp_2), três anos (Precp_3) e quatro anos anteriores (Precp_4) ao inventário florestal, precipitação total dos três meses mais secos do ano de inventário (Precp_dry) e número de meses com menos 100 mm de chuva (Less_100). Além disso, também estimamos o déficit hídrico climático (CWD) através da diferença entre a evapotranspiração potencial (PET) e a evapotranspiração real (AET), conforme Lutz et al. (2010). O maior estresse hídrico é indicado por valores mais negativos do índice, enquanto valores próximos de zero demonstram condições de baixo estresse hídrico (Poorter et al., 2017). O CWD foi calculado para o ano de inventário (CWD), ano anterior (CWD_1) e média dos dois (CWD_2), três (CWD_3) e quatro anos anteriores ao inventário (CWD_4).

2.1.4. Variáveis edáficas

Nos anos de inventário, foram coletadas, em cada parcela, entre 20 e 30 subamostras de solo nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, que foram posteriormente homogeneizadas para obter uma amostra composta por profundidade para cada parcela. As análises de solo foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal de Viçosa (UFV),

seguindo métodos padrão (Teixeira et al., 2017). As variáveis de solo analisadas foram pH do solo em água, cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+}), acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), capacidade de troca catiônica total (T) e efetiva (t), saturação por bases (V), fósforo disponível (P), fósforo remanescente em solução (P-res) e matéria orgânica do solo (MO).

2.2. *Análise de dados*

2.2.1. *Seleção das variáveis*

Foi feita a análise de correlação de Spearman para cada conjunto de variáveis, com o objetivo de reduzir a colinearidade entre as variáveis selecionadas para ajuste dos modelos estatísticos. Entre os dados de cobertura florestal, todas as combinações de anos de monitoramento e distâncias de buffer apresentaram alta correlação entre si ($r \geq 0,65$). Assim, foi selecionada a cobertura florestal de 2002 com buffer de 2000 m (FC_2002_2000m), por apresentar menor correlação com as demais (Figura S1). Dessa forma, para o modelo de paisagem, foram selecionadas as variáveis FC_2002_2000m, tamanho do fragmento, distância da borda, idade de abandono, área basal por hectare e elevação.

No conjunto de variáveis climáticas, precipitação anual (Precp) não apresentou alta correlação com nenhuma outra variável ($r < \pm 0,38$), enquanto as variáveis de precipitação em anos anteriores ao inventário mostraram forte correlação entre si ($r \geq 0,72$) (Figura S2). A variável de precipitação nos três meses mais secos apresentou correlação elevada ($r = 0,80$) apenas com número de meses com menos 100 mm de chuva (Less_100). As variáveis de déficit hídrico (CWD) no ano de inventário e anos anteriores também apresentaram alta correlação entre si ($r \geq 0,74$), sendo selecionada a CWD_1 para inclusão no modelo, considerando o melhor poder explicativo dos processos demográficos nas áreas de estudo em relação às demais, conforme observado por Torres et al. (2023). Apesar da alta correlação entre Temp e CWD_1 ($r = -0,80$), ambas foram mantidas no modelo em função de sua importância ecológica. Portanto, entre as variáveis climáticas, foram selecionadas Temp, Precp, Precp-4, Precp-Dry e CWD-1.

As variáveis edáficas mensuradas na camada superficial do solo (0-20 cm) apresentaram alta correlação ($r \geq 0,75$) entre suas correspondentes na camada mais profunda (20-40 cm) (Figura S3). Diante disso, foram consideradas as variáveis da camada de 20–40 cm, uma vez que essas variáveis apresentaram menor grau de correlação entre si. Por fim, foram selecionadas as variáveis de menor correlação, sendo elas: pH, P, P-Rem, Al^{3+} , $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, SB e t.

2.2.2. Modelagem da dinâmica líquida de abundância e biomassa

Para avaliar a influência das variáveis sobre a dinâmica líquida de abundância (DLA) e biomassa (DLB) dos fragmentos de floresta secundária da Mata Atlântica, foram utilizados modelos lineares mistos (MLM), que combinam efeitos fixos e aleatórios em uma única equação. Para construção dos modelos de paisagem, edáfico e climático, foi utilizado o pacote “lme4” (Bates et al., 2025) no software R. Como efeitos fixos, foram utilizadas as variáveis climáticas, edáficas e de paisagem selecionadas para os respectivos modelos. Sendo elas: Temp, Precp, Precp-4, Precp-Dry, CWD-1, para o modelo climático, pH, P, P-Rem, Al^{3+} , $H+Al^{3+}$, SB e t na profundidade 0-20 cm, para o modelo edáfico, e FC_2002_2000m, tamanho do fragmento, distância da borda, idade de abandono, área basal por hectare e elevação, para o modelo de paisagem. Como variáveis de efeitos aleatórios foram consideradas o histórico de uso da terra e o ano do inventário, visto que além do uso anterior da terra poder influenciar trajetória de sucessão ecológica (van Breugel et al., 2024), foram identificadas diferentes categorias de LUH para um mesmo fragmento (Tabela 1). O ano do inventário florestal foi considerado como um referencial temporal nas análises, permitindo integrar os aspectos de dinâmica florestal às condições climáticas específicas de cada intervalo entre os inventários. Para quantificar a influência dos conjuntos de variáveis fixas e aleatórias, foram analisados os valores de R^2 marginal, que mede quanto apenas os efeitos fixos explicam sobre a variância do modelo, e R^2 condicional, que mede quanto os efeitos fixo e aleatórios explicam sobre a variância do modelo. A análise de significância de cada variável fixa foi feita considerando o intervalo de confiança de 95%.

3. Resultados

3.1. Estrutura e dinâmica dos fragmentos florestais

Todos os fragmentos apresentaram aumento médio em abundância, biomassa, riqueza e área basal nas parcelas mensuradas (Figura 1). Além disso, em todos os anos, houve maior concentração de fustes nas classes iniciais de diâmetro e redução gradual do número de fustes com o aumento das classes diamétricas (Figura S4). O fragmento Cachoeira das Pombas (GUA) apresentou maior abundância em todos os anos avaliados, com média de 1.625 ind ha⁻¹ nas parcelas em 2002 e 1.675 ind. ha⁻¹ em 2022. No entanto, não foi o fragmento de maior biomassa e área basal, em razão da alta concentração de indivíduos de menor diâmetro (5 – 10 cm). Quanto à riqueza de espécies, o fragmento apresentou um aumento gradual no período avaliado. Ipaba 1 (IP1) apresentou tendências de incrementos semelhantes às observada em GUA, porém

com menores valores médios de abundância, biomassa, área basal e riqueza de espécies. Ipaba 2 (IP2) destacou por apresentar os maiores valores médios de biomassa e área basal durante todo o período avaliado. A abundância média desse fragmento aumentou entre 2002 e 2012, com uma pequena redução em 2017 e 2022, assim como a riqueza, indicando que o crescimento em biomassa e área basal ocorreu principalmente por indivíduos já estabelecidos e não pelo aumento de número de árvores. São José (SJO) foi o fragmento que apresentou maior riqueza de 2002 a 2022, além do maior incremento médio em número de indivíduos, principalmente de 2017 a 2022. Além disso, SJO apresentou a segunda maior média de biomassa e área basal.

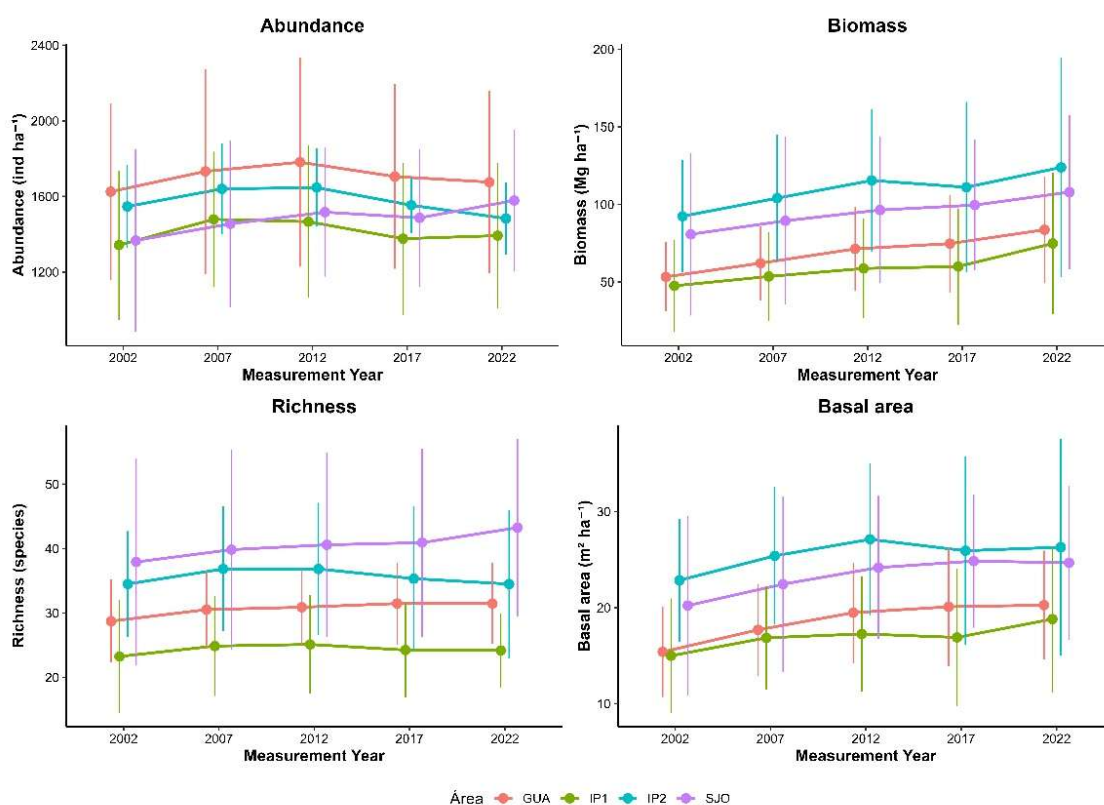


Figura 9. Média anual de abundância, biomassa, riqueza e área basal das parcelas de quatro fragmentos da Mata Atlântica em Minas Gerais, Brasil, mensuradas durante 20 anos (2002 - 2022).

3.2. Dinâmica das classes de deciduidade

Embora a biomassa e abundância por classe de deciduidade tenha variado ao longo dos anos para cada fragmento (Figura 3), as espécies perenes apresentaram maiores valores na maioria dos fragmentos. O fragmento GUA, diferente dos demais, inicialmente apresentou maior

abundância de espécies decíduas, mas a partir de 2017 os indivíduos perenes passaram a ser maioria. Em SJO e IP2, os valores de abundância e biomassa de espécies perenes foram maiores comparado às demais classes. Ao longo dos anos, IP1 apresentou abundância de perenes semelhante à IP2, porém, quando analisamos a biomassa, o valor é inferior.

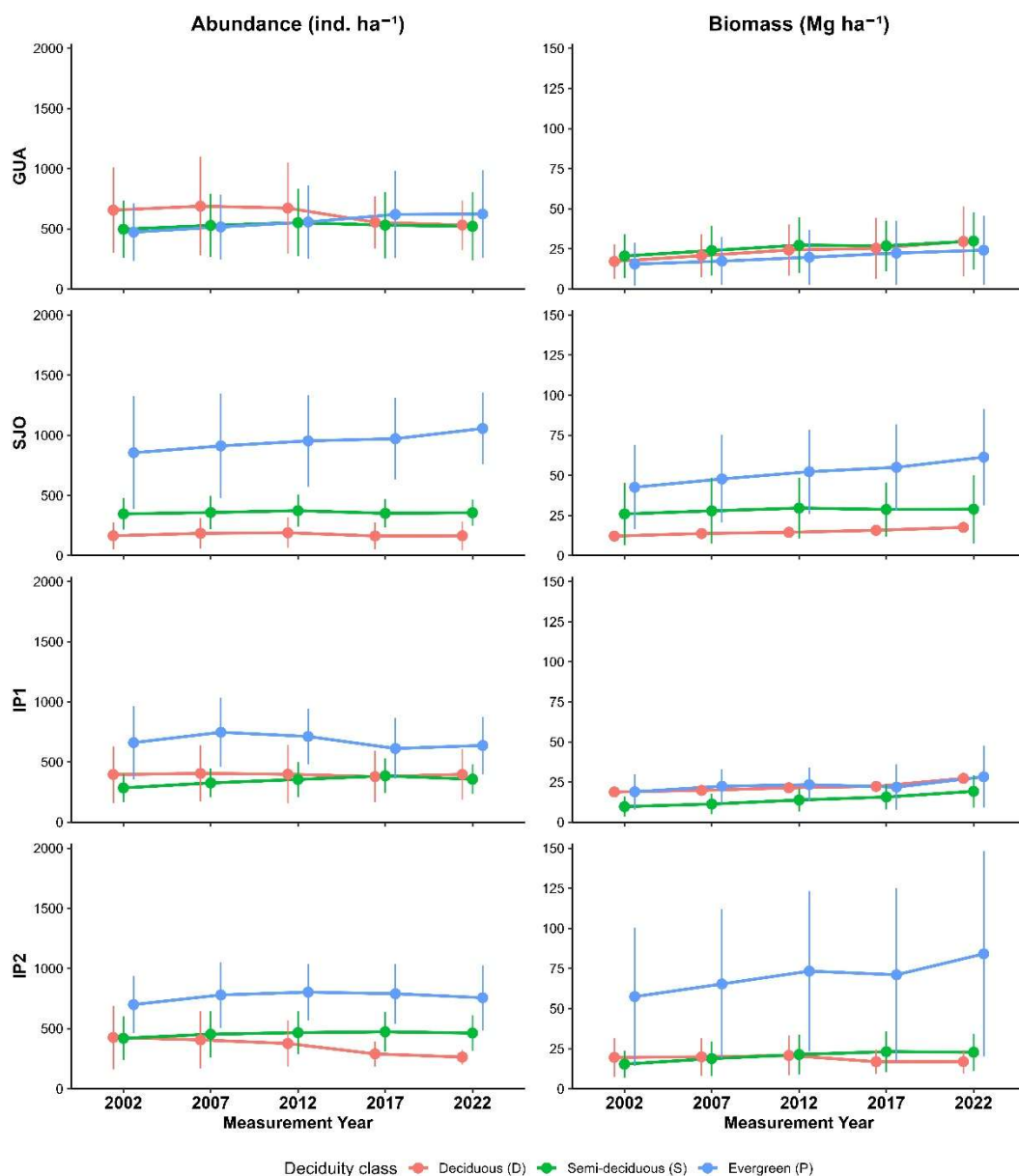


Figura 10. Abundância (ind.ha⁻¹) e biomassa (Mg.ha⁻¹) médias das espécies decíduas, semidecíduas e perenes das parcelas de quatro fragmentos da Mata Atlântica em Minas Gerais, Brasil, mensuradas durante 20 anos (2002 - 2022).

3.3. Efeito das variáveis antrópicas e ambientais

Os modelos lineares mistos ajustados (Tabela S2 e Tabela S3) indicaram que a influência das variáveis climáticas, edáficas e de paisagem variam entre as diferentes classes de deciduidade e entre as dinâmicas de abundância e biomassa dentro de uma mesma classe (Figura 4). De forma geral, os efeitos fixos, quando analisados isoladamente, explicam de forma pouco expressiva a variância da dinâmica líquida de abundância (DLA) (Tabela S4). Para todas as classes de deciduidade, o modelo climático apresentou maior R^2 marginal, com valores de 0,057 para espécies decíduas, 0,077 para semidecíduas e 0,092 para perenes. Quando analisamos os efeitos fixos juntamente aos efeitos aleatórios, os resultados dos modelos são mais expressivos para DLA, com destaque para os modelos edáficos para espécies semidecíduas e perenes, com R^2 condicional de 0,306 e 0,355, respectivamente. Já para as espécies decíduas, o modelo de paisagem apresentou maior poder explicativo, com R^2 condicional de 0,266. Quanto à dinâmica líquida de biomassa (DLB), os efeitos fixos foram mais explicativos para os modelos de paisagem para as três classes de deciduidade, com R^2 marginal de 0,089 para decíduas e 0,093 para semidecíduas e perenes (Tabela S4). A variância associada aos efeitos aleatórios para espécies decíduas e semidecíduas foi nula e para as espécies perenes, os resultados de R^2 condicional foram de 0,147 para o modelo climático, 0,120 para o modelo de paisagem e 0,102 para o modelo edáfico.

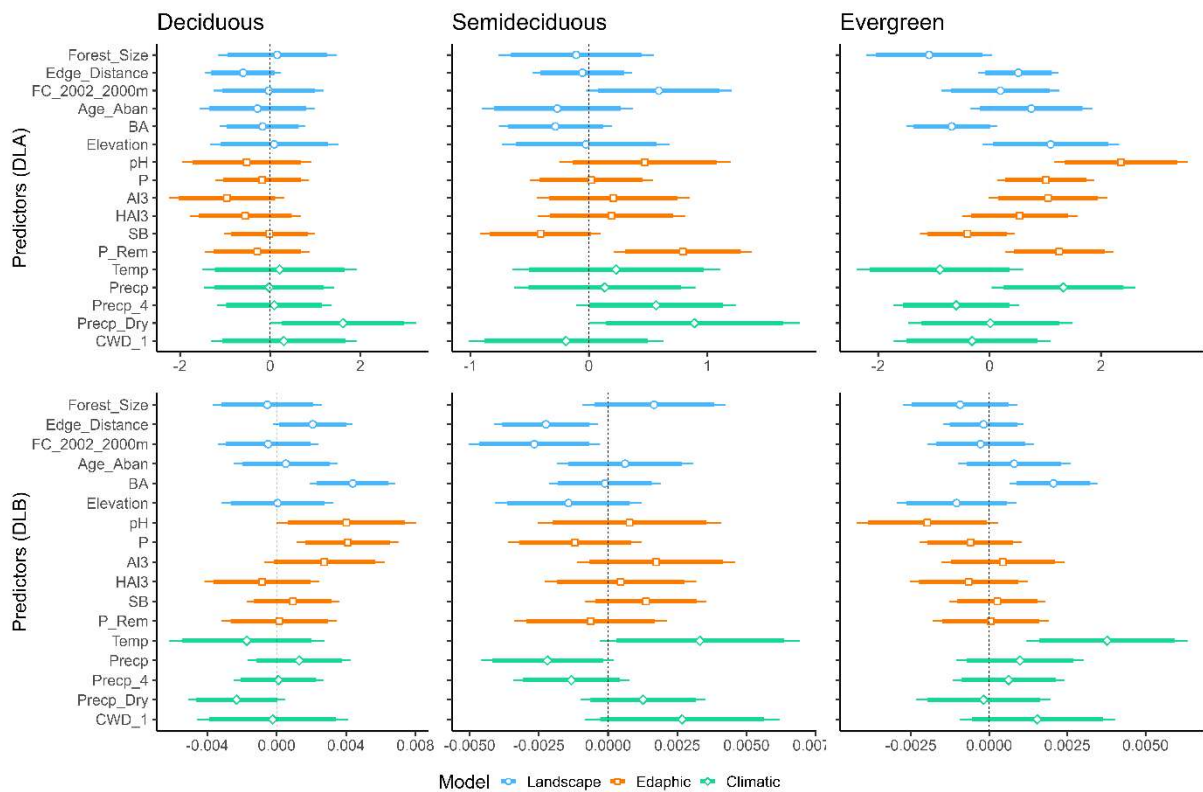


Figura 11. Efeitos das variáveis de paisagem, edáficas e climáticas sobre a dinâmica líquida de abundância (DLA) e dinâmica líquida de biomassa (DLB) de espécies decíduas, semidecíduas e perenes em fragmentos florestais da Mata Atlântica, Minas Gerais, Brasil. Coeficientes que contêm zero no intervalo de confiança (IC = 95%) são considerados não significativos. FC_2002_2000m – cobertura florestal em um buffer de 2000m a partir do centro da parcela em 2002; Age_Aban – idade de abandono; BA – área basal por hectare; pH – pH do solo (20-40 cm); P – fósforo do solo (20-40 cm); Al3 – acidez trocável (20-40 cm); HAl3 – acidez total (20-40 cm); SB – soma de bases trocáveis (20-40 cm); P_Rem – fósforo remanescente (20-40 cm); Temp – temperatura média anual; Precp – precipitação total do ano do inventário florestal; Precp_4 – precipitação média nos quatro anos anteriores ao inventário; Precp_Dry – precipitação dos três meses mais secos do ano do inventário; CWD_1 – déficit hídrico climático em um ano antes do inventário.

3.4. Preditores da dinâmica líquida de abundância e biomassa

Para dinâmica líquida da abundância (DLA) de espécies decíduas, apenas a variável de precipitação nos três meses mais secos (Precp_Dry) apresentou efeito significativo, com coeficiente positivo (Figura 5). Para DLA de espécies semidecíduas, as variáveis de efeito significativo foram Precp_Dry, com efeito positivo, e fósforo remanescente (P_rem), que

apresentou efeito contrastante nos diferentes usos do solo, sendo positivo em áreas com histórico de produção agrícola e corte seletivo, e negativo em áreas com histórico de desmatamento. Para as espécies perenes, foi observado um maior número de variáveis significativas. Nessa classe, DLA respondeu positivamente à precipitação anual (Precp), em todos os LUH, ao fósforo (P) e fósforo remanescente (P_Rem) em áreas com histórico de desmatamento e corte seletivo e ao pH do solo em áreas anteriormente utilizadas para corte seletivo e uso agrícola. Em contraste, DLA de espécies perenes respondeu negativamente ao P e P_Rem em áreas com histórico de uso agrícola, e ao aumento do pH do solo em áreas desmatadas.

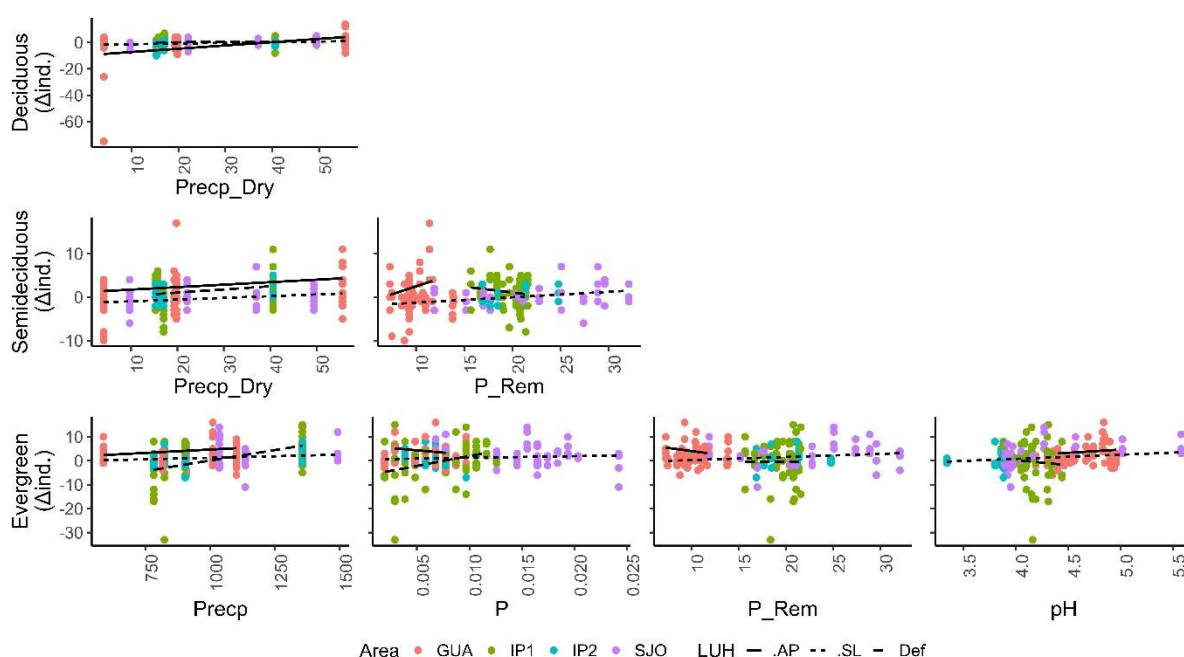


Figura 12. Relação entre a dinâmica líquida da abundância (DLA) e variáveis significativas nos modelos lineares mistos (LMM) para espécies decíduas, semidecíduas e perenes. Precp_Dry – precipitação dos três meses mais secos do ano do inventário; Precp – precipitação total do ano do inventário florestal; P – fósforo do solo (20-40 cm); P_Rem – fósforo remanescente (20-40 cm); pH – pH do solo (20-40 cm). Histórico de uso da terra (LUH): AP – produção agrícola; SL – corte seletivo; Def – desmatamento. Fragmentos florestais: GUA – Cachoeira das Pombas; IP1 – Ipaba 1; IP2 – Ipaba 2; SJO – São José.

A dinâmica líquida de biomassa (DLB) de espécies decíduas apresentou efeito significativo e positivo das variáveis de área basal (BA), pH do solo e P (Figura 6). As espécies semidecíduas tiveram DLB influenciada pelas variáveis de paisagem de distância de borda (Edge_Distance)

e de cobertura florestal em 2002 com buffer de 2000 m (FC_2002_2000m), ambas com efeito negativo. Entre as espécies perenes, duas variáveis foram significativas: temperatura média anual (Temp) e BA, sendo as duas de efeito positivo.

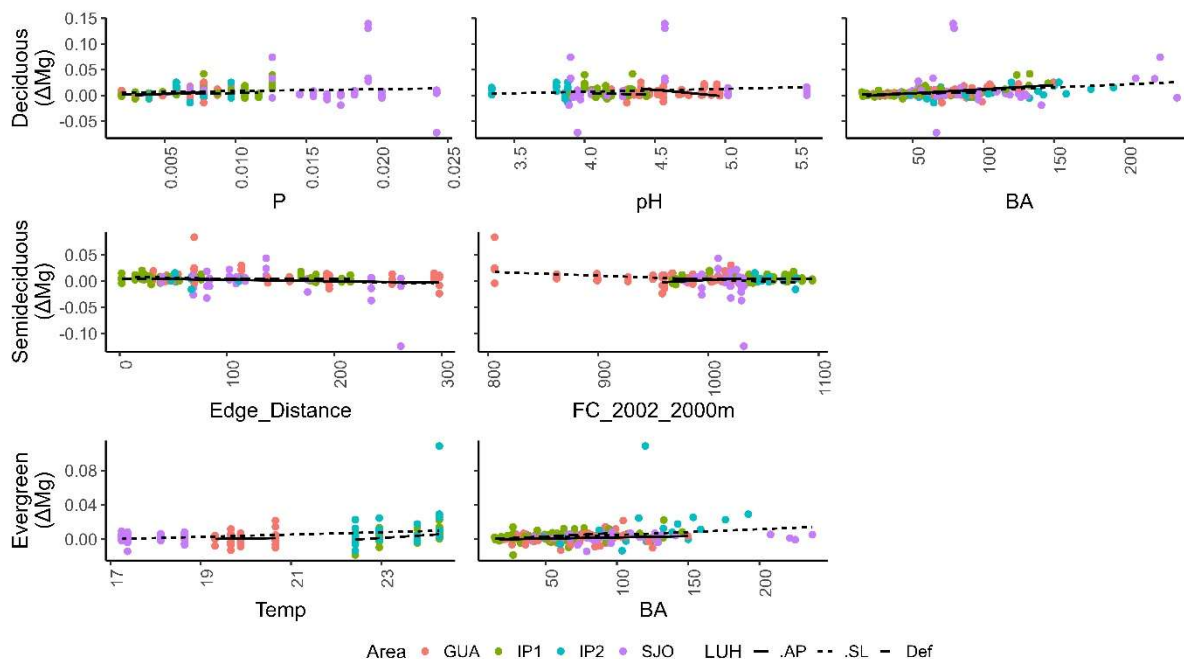


Figura 13. Relação entre a dinâmica líquida da biomassa (DLB) e variáveis significativas nos modelos lineares mistos (LMM) para espécies decíduas, semidecíduas e perenes. P – fósforo do solo (20-40 cm); pH – pH do solo (20-40 cm); BA – área basal por hectare; Edge_Distance – distância da borda; FC_2002_2000m – cobertura florestal em um buffer de 2000m a partir do centro da parcela em 2002; Temp – temperatura média anual. Histórico de uso da terra (LUH): AP – produção agrícola; SL – corte seletivo; Def – desmatamento. Fragmentos florestais: GUA – Cachoeira das Pombas; IP1 – Ipaba 1; IP2 – Ipaba 2; SJO – São José.

4. Discussão

Neste estudo, avaliamos como variáveis climáticas, edáficas e de paisagem influenciam a dinâmica líquida de abundância e biomassa de espécies com diferentes estratégias de deciduidade em fragmentos de Mata Atlântica. Constatamos que os fragmentos analisados apresentam aumento médio nas métricas de estrutura e dinâmica analisadas (abundância, biomassa, riqueza e área basal), com destaque para as espécies perenes em biomassa e abundância na maioria dos fragmentos (Figura 3). Nossos resultados indicam que as classes de deciduidade respondem de forma distinta às variações nas condições climáticas, edáficas e de

paisagem. Além disso, os efeitos das variáveis diferem sobre as dinâmicas de abundância e de biomassa, sendo que, no geral, DLA é mais influenciada por variáveis relacionadas à precipitação e fósforo do solo, enquanto DLB é influenciada por diferentes variáveis em cada classe de deciduidade.

4.1. Estrutura e dinâmica dos fragmentos florestais

O aumento do número de indivíduos ao longo dos anos demonstra que o recrutamento supera a mortalidade em todos os fragmentos (Figura 2), indicando um processo de regeneração contínua (Guariguata and Ostertag, 2001; Ordoñez et al., 2024). Embora os fragmentos tenham apresentado tendências semelhantes, o fragmento IP2 mantém valores mais elevados, evidenciando uma estrutura mais adensada em comparação aos demais. A distribuição dos fustes entre as classes diamétricas formando uma curva exponencial negativa (Figura S4) também reflete o recrutamento contínuo, comportamento esperado em florestas inequiduais onde não ocorrem perturbações ou degradações (Gove, 2017; Lima et al., 2017). Isso ocorre porque, constantemente, os indivíduos já estabelecidos se propagam, gerando novos indivíduos, que nem sempre são recrutados às maiores classes de diâmetro (Clark and Clark, 1992).

IP2 e SJO apresentaram características estruturais de estágios mais avançados de sucessão em relação aos demais, os quais se destacaram em biomassa, área basal e riqueza (Figura 2), o que está relacionado ao histórico de uso da terra destinado ao corte seletivo de madeira, um uso de menor impacto sobre a estrutura florestal, em que são extraídos apenas alguns indivíduos, geralmente de espécies de maior valor comercial (Gauí et al., 2019). Por outro lado, em GUA e IP1 também foram registradas parcelas em que ocorreram desmatamento e produção agrícola, usos associados à remoção florestal em maior escala, e que podem reduzir a resiliência de um ecossistema, resultando em uma trajetória sucessional mais lenta (Jakovac et al., 2021). GUA apresentou muitos indivíduos por hectare, porém área basal e biomassa menor, padrão característico de fragmentos em estágio inicial de sucessão ecológica (Mansingh et al., 2025). Isso porque, fragmentos em estágio inicial de sucessão apresentam dossel aberto, que resulta em maior disponibilidade de luz em estratos mais baixos, proporcionando maior regeneração de espécies pioneiras e secundárias iniciais (Siminski et al., 2021; Valente et al., 2025). Em IP1 também foram observados valores de biomassa, área basal e riqueza abaixo dos demais fragmentos. Porém, diferente de GUA, IP1 também apresentou menor resultado de abundância, demonstrando haver menor taxa de recrutamento. O incremento em abundância em SJO foi acompanhado do aumento de riqueza no fragmento, evidenciando o recrutamento de indivíduos

de novas espécies. Já em IP2, houve a redução de indivíduos por hectare no período analisado, acompanhada do aumento em área basal e biomassa, o que demonstra o avanço sucessional do fragmento. Esse padrão sugere a transição de uma comunidade composta por maior densidade de indivíduos de pequeno porte para uma estrutura florestal dominada por árvores maiores, refletindo o crescimento dos indivíduos remanescentes e o consequente aumento no acúmulo de biomassa e na complexidade estrutural da floresta (Souza et al., 2021).

A dinâmica de biomassa é semelhante à de área basal em todos os fragmentos. Esse padrão é esperado, visto que existe uma relação positiva e consistente entre esses dois componentes da estrutura florestal, sendo a área basal um preditor da biomassa acima do solo (Ma et al., 2023). Além disso, foi observado o aumento da abundância alinhado ao aumento da riqueza de espécies (Figura 2), o que é um indicador positivo sobre a trajetória sucessional dos fragmentos, porque demonstra que as mudanças florísticas dessas áreas caminham para um cenário de menor dominância de espécies (Valente et al., 2025). Esse padrão está associado também ao aumento em abundância de espécies raras e redução de espécies comuns, conforme observado por Verly et al. (2026) nos mesmos fragmentos avaliados neste estudo. Foi observada uma relação entre o estágio de conservação do fragmento e a proporção de biomassa de espécies perenes (Figura 3). Apesar das espécies perenes terem se destacado em abundância, somente nos fragmentos IP2 e SJO a biomassa dessa classe de decíduidade se sobressai em relação às demais. As espécies perenes tendem a apresentar características mais conservativas, como maior densidade de tecidos, maiores valores de massa foliar, menor taxa fotossintética e maior teor de carbono, que está diretamente relacionado à biomassa (Li et al., 2025; Qi et al., 2021). Em contraste, espécies decíduas geralmente apresentam mais características de caráter aquisitivo (Li et al., 2022; Matsuo et al., 2024). Em estágios iniciais, a sucessão ecológica em florestas tropicais úmidas, como a Mata Atlântica, é impulsionada por espécies aquisitivas, seguida por uma substituição gradual por espécies conservativas (Teixeira et al., 2020). Essa atuação inicial das espécies decíduas pode ser observada em GUA, em que, em 2017 foi observada uma mudança nos padrões de recrutamento com o aumento da abundância de espécies perenes e redução de espécies decíduas, o que pode indicar a contribuição das espécies aquisitivas para a formação de um microambiente mais propício para o recrutamento das espécies perenes, sem que houvesse reduções em biomassa (van Breugel et al., 2024).

4.2. *Efeito das variáveis antrópicas e ambientais sobre a dinâmica líquida da abundância*

A dinâmica de abundância é determinada principalmente pelo recrutamento e mortalidade de indivíduos (Likoski et al., 2022; Rodrigues et al., 2022). Nossos resultados mostram que quando não consideramos os efeitos aleatórios de ano de inventário e uso anterior da terra, os efeitos de variáveis climáticas são os mais influentes sobre a dinâmica da abundância em todas as classes de deciduidade. Isso porque eventos climáticos, como estresse hídrico e ondas de calor, causam o aumento da mortalidade e redução na taxa de recrutamento em florestas tropicais. A dinâmica de abundância é determinada principalmente pelo recrutamento e mortalidade de indivíduos (Likoski et al., 2022; Rodrigues et al., 2022). Nossos resultados mostram que quando não consideramos os efeitos aleatórios de ano de inventário e uso anterior da terra, os efeitos de variáveis climáticas são os mais influentes sobre a dinâmica da abundância em todas as classes de deciduidade. Isso porque eventos climáticos, como estresse hídrico e ondas de calor, causam o aumento da mortalidade e redução na taxa de recrutamento em florestas tropicais (Song et al., 2023; Torres et al., 2023; Villanova et al., 2024), podendo desencadear o declínio da abundância de forma imediata ou até dois anos após a ocorrência dos eventos, especialmente sobre espécies pioneiras em florestas em estágios iniciais de sucessão (Aleixo et al., 2019; Oo et al., 2024). Os efeitos edáficos, quando considerados em conjunto com o histórico de uso do solo, apresentaram maior poder explicativo sobre a dinâmica líquida de abundância de espécies semidecíduas e perenes, enquanto o modelo de paisagem mostrou ser mais relevante para explicar a DLA de espécies decíduas (Tabela S5). Espécies perenes e semidecíduas podem apresentar maior dependência da disponibilidade contínua de recursos locais, especialmente de nutrientes e água no solo, do que espécies decíduas, que tendem a apresentar maior plasticidade ecológica (de Souza et al., 2020; Zhang et al., 2020). Embora nenhuma variável de paisagem tenha apresentado efeito significativo isoladamente (Figura 5), o R^2 condicional do modelo de paisagem para espécies decíduas indica que a DLA dessa classe é impactada pelo conjunto dos aspectos de paisagem.

A deciduidade é um mecanismo reconhecido pela forte relação com as variações climáticas, uma vez que a perda sazonal de folhas constitui uma estratégia de sobrevivência às secas (Vargas et al., 2022). Além da queda foliar, espécies decíduas geralmente apresentam folhas compostas, que reduzem a incidência direta de radiação solar e, consequentemente, a evapotranspiração excessiva (Lohbeck et al., 2015). Adicionalmente, a perda de folhas por parte de alguns indivíduos também pode contribuir para a abertura do dossel, favorecendo a dispersão de espécies anemocóricas, independentemente da classe de deciduidade, ao permitir uma

dispersão pelo vento mais eficiente (Singh and Kushwaha, 2016). Esse processo pode facilitar o surgimento de novos propágulos e resultar no aumento da abundância (Aragão et al., 2023).

A precipitação média anual apresentou relação positiva com a abundância de espécies perenes, principalmente em áreas com histórico de desmatamento (Figura 6). No entanto, o aumento da precipitação nos meses mais secos, mostrou ser significativo para o aumento da abundância de indivíduos decíduos e semidecíduos, o que pode estar relacionado ao fato de que espécies desses grupos apresentam maior tolerância ao estresse hídrico, sendo favorecidas sob condições sazonais (Morellato et al., 2000). Para espécies perenes, o aumento de fósforo e fósforo remanescente esteve associado ao incremento da abundância em áreas com histórico de desmatamento e corte seletivo, enquanto em áreas anteriormente usadas para produção agrícola foi observada uma relação inversa (Figura 6). Já para as semidecíduas, o fósforo remanescente apresentou efeito positivo sobre a abundância em áreas com histórico de corte seletivo e uso agrícola, mas efeito negativo em áreas com histórico de desmatamento (Figura 5). Em solos muito intemperizados, como os da Mata Atlântica, a disponibilidade de fósforo geralmente é um fator limitante para o estabelecimento e crescimento inicial das plantas (Hou et al., 2020). Esses resultados mostram que o efeito do fósforo remanescente sobre a abundância varia a depender do histórico de uso do solo e da estratégia funcional da espécie.

4.3. Efeito das variáveis antrópicas e ambientais sobre a dinâmica líquida da biomassa

Nossos resultados mostram que, apesar do modelo climático ter sido mais explicativo quando analisado em conjunto com o histórico de uso do solo, apenas a temperatura média foi significativa para espécies perenes quando consideramos as variáveis de forma isolada. Isso pode ser devido ao tipo de floresta, visto que, em florestas secas, a água é um fator determinante do crescimento, porém, em florestas úmidas, como a Mata Atlântica, a competição por recursos do solo e luz pode limitar ou impulsionar de forma mais expressiva o crescimento dos indivíduos (Lohbeck et al., 2015; Sanaphre-Villanueva et al., 2022). O aumento de fósforo no solo promoveu efeito positivo sobre o incremento de biomassa das espécies decíduas. Essa relação também foi observada por Yang et al. (2025), que avaliaram plantas de diferentes ecossistemas em escala global, e demonstraram que a resposta em crescimento de biomassa à adição de fósforo no solo pode ser até 17% maior para espécies decíduas em comparação à espécies perenes, devido a estratégias aquisitivas como maiores taxas fotossintéticas e menor longevidade foliar. Apesar do pH estar frequentemente relacionado positivamente à concentração de fósforo no solo (Nobile et al., 2020; Saentho et al., 2022), o aumento de pH

em áreas de LUH de produção agrícola e desmatamento resultou na redução de biomassa de decíduas, correlação oposta à observada no aumento de fósforo. Isso ocorreu, provavelmente, porque a disponibilidade de P existente no solo para as plantas depende de dois processos principais: a liberação de P para a solução do solo e sua retenção pelos constituintes do solo (Penn and Camberato, 2019), sendo a faixa ótima de disponibilidade de P para as plantas em pH entre 6 e 7, ou seja, solos mais neutros (Barrow, 2017), condição não observada nas parcelas avaliadas neste estudo. Essa correlação negativa entre pH e biomassa da parte aérea também foi observada por Duddigan et al. (2021).

Os fragmentos florestais geralmente apresentam menor biomassa acima do solo próximo das bordas, por se tratar de áreas mais expostas à radiação solar, temperaturas mais altas e ventos intensos (Hofmeister et al., 2019; G. Yang et al., 2025). No entanto, para espécies semidecíduas, foi observada uma tendência oposta, ou seja, apesar de não haver uma redução drástica, a classe semidecídua apresentou menor biomassa em maiores distâncias da borda. Apesar do microclima mais extremo, nas bordas há menor densidade de indivíduos, menor fechamento de dossel e maior disponibilidade de luz (Anderson et al., 2022; Smith et al., 2018), o que pode ter favorecido o crescimento em biomassa nessa classe, em relação ao interior da floresta. Em áreas com histórico de uso do solo de produção agrícola e desmatamento, o aumento de cobertura florestal do entorno foi significativo para o aumento de biomassa de semidecíduas, o que reforça o papel da estrutura da paisagem e conectividade entre florestas fragmentadas para a manutenção de fluxos ecológicos essenciais na restauração florestal, como dispersão de sementes e polinização para favorecer a propagação das espécies (Pérez-Cárdenas et al., 2021; van Breugel et al., 2025). Por fim, a relação positiva entre área basal e biomassa, evidenciada nesse estudo especialmente para espécies perenes e semidecíduas, também foi constatada por outros estudos, que demonstram uma associação direta entre esses dois fatores (Balderas Torres and Lovett, 2013; Van Do et al., 2020).

5. Conclusões

Os fragmentos de floresta secundária que estudamos na Mata Atlântica apresentam características de trajetória sucessional positiva, com recrutamento contínuo e abundância, biomassa, riqueza e área basal crescentes. Na maioria dos fragmentos, as espécies perenes se destacam em abundância e biomassa. As dinâmicas líquidas de abundância e biomassa em fragmentos secundários de Mata Atlântica são influenciadas pelas interações entre variáveis climáticas, edáficas e de paisagem, e que os efeitos variam entre as diferentes classes de

deciduidade. A dinâmica líquida de abundância mostrou ser mais sensível aos efeitos do histórico de uso do solo e do tempo, representado pelo ano de inventário. Entre os efeitos fixos, o conjunto de variáveis climáticas apresentou maior influência sobre as variações de abundância, enquanto, para biomassa, as variáveis de paisagem se mostraram mais relevantes. Apesar da perda sazonal de folhas ser uma estratégia intimamente relacionada às variações climáticas, nosso estudo demonstra que, em fragmentos da Mata Atlântica, a abundância e biomassa de cada classe não é determinada apenas pelo clima, mas também por características edáficas e pelo contexto da paisagem, que refletem diferenças nas estratégias funcionais entre as classes de deciduidade.

6. Referências

- Allen, L., Reeve, R., Nousek-McGregor, A., Villacampa, J., MacLeod, R., 2019. Are orchid bees useful indicators of the impacts of human disturbance? *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.046>
- Álvarez-Yépiz, J.C., Búrquez, A., Martínez-Yrizar, A., Teece, M., Yépez, E.A., Dovciak, M., 2017. Resource partitioning by evergreen and deciduous species in a tropical dry forest. *Oecologia* 183, 607–618. <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3790-3>
- Andermann, T., Antonelli, A., Barrett, R.L., Silvestro, D., 2022. Estimating Alpha, Beta, and Gamma Diversity Through Deep Learning. *Front. Plant Sci.* 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.839407>
- Aria, M., Cuccurullo, C., 2017. *bibliometrix*: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics* 11, 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Avolio, M.L., Forrestel, E.J., Chang, C.C., La Pierre, K.J., Burghardt, K.T., Smith, M.D., 2019. Demystifying dominant species. *New Phytologist* 223, 1106–1126. <https://doi.org/10.1111/nph.15789>
- Balangen, D.A., Catones, M.S., Bayeng, J.M., Napaldet, J.T., 2023. Intensities of human disturbance dictate the floral diversity in tropical forest: the case of a secondary forest in Benguet, Philippines. *Journal of Mountain Science*. <https://doi.org/10.1007/s11629-022-7830-7>
- Barreto, J.R., Pardini, R., Metzger, J.P., Silva, F.A.B., Nichols, E.S., 2023. When forest loss leads to biodiversity gain: Insights from the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.109957>
- Bathurst, J.C., Fahey, B., Iroumé, A., Jones, J., 2020. Forests and floods: Using field evidence to reconcile analysis methods. *Hydrological Processes* 34, 3295–3310. <https://doi.org/10.1002/hyp.13802>
- Bawa, K.S., Nawn, N., Chellam, R., Krishnaswamy, J., Mathur, V., Olsson, S.B., Pandit, N., Rajagopal, P., Sankaran, M., Shaanker, R.U., Shankar, D., Ramakrishnan, U., Vanak, A.T., Quader, S., 2020. Envisioning a biodiversity science for sustaining human well-being. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117, 25951–25955. <https://doi.org/10.1073/pnas.2018436117>
- Bawa, K.S., Sengupta, A., Chavan, V., Chellam, R., Ganesan, R., Krishnaswamy, J., Mathur, V.B., Nawn, N., Olsson, S.B., Pandit, N., Quader, S., Rajagopal, P., Ramakrishnan, U., Ravikanth, G., Sankaran, M., Shankar, D., Seidler, R., Shaanker, R.U., Vanak, A.T., 2021. Securing biodiversity, securing our future: A national mission on biodiversity and human well-being for India. *Biological Conservation* 253, 108867. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108867>
- Belcık, M., Lenda, M., Amano, T., Skórka, P., 2020. Different response of the taxonomic, phylogenetic and functional diversity of birds to forest fragmentation. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76917-2>
- Bordin, K.M., Esquivel-Muelbert, A., Klipel, J., Picolotto, R.C., Bergamin, R.S., da Silva, A.C., Higuchi, P., Capellesso, E.S., Marques, M.C.M., Souza, A.F., Müller, S.C., 2023. No relationship between biodiversity and forest carbon sink across the subtropical Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2023.02.003>
- Borges Silva, L.C., Pavão, D.C., Elias, R.B., Moura, M., Ventura, M.A., Silva, L., 2022. Taxonomic, structural diversity and carbon stocks in a gradient of island forests. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05045-w>
- Borma, L.S., Costa, M.H., da Rocha, H.R., Arieira, J., Nascimento, N.C.C., Jaramillo-Giraldo, C., Ambrosio, G., Carneiro, R.G., Venzon, M., Neto, A.F., van der Hoff, R., Oliveira,

- B.F.A., Rajão, R., Nobre, C.A., 2022. Beyond Carbon: The Contributions of South American Tropical Humid and Subhumid Forests to Ecosystem Services. *Reviews of Geophysics* 60, e2021RG000766. <https://doi.org/10.1029/2021RG000766>
- Bragagnolo, C., Schelp, L.K., 2023. Teoria da Transição Florestal: Uma revisão bibliográfica para os biomas brasileiros. *Textos de Economia* 26, 01–32. <https://doi.org/10.5007/2175-8085.2023.e93917>
- Brasil, 2012. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012.
- Brock, R.C., Arnell, A., Simonson, W., Soterroni, A.C., Mosnier, A., Ramos, F., Ywata de Carvalho, A.X., Camara, G., Pirker, J., Obersteiner, M., Kapos, V., 2021. Implementing Brazil's Forest Code: a vital contribution to securing forests and conserving biodiversity. *Biodivers Conserv* 30, 1621–1635. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02159-x>
- Brocknerhoff, E.G., Barbaro, L., Castagneyrol, B., Forrester, D.I., Gardiner, B., González-Olabarria, J.R., Lyver, P.O., Meurisse, N., Oxbrough, A., Taki, H., Thompson, I.D., van der Plas, F., Jactel, H., 2017. Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodivers Conserv* 26, 3005–3035. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2>
- Bustamante, M.M.C., Roitman, I., Aide, T.M., Alencar, A., Anderson, L.O., Aragão, L., Asner, G.P., Barlow, J., Berenguer, E., Chambers, J., Costa, M.H., Fanin, T., Ferreira, L.G., Ferreira, J., Keller, M., Magnusson, W.E., Morales-Barquero, L., Morton, D., Ometto, J.P.H.B., Palace, M., Peres, C.A., Silvério, D., Trumbore, S., Vieira, I.C.G., 2016. Toward an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. *Global Change Biology* 22, 92–109. <https://doi.org/10.1111/gcb.13087>
- Cantasano, N., 2024. Loss and gain of marine biodiversity in Mediterranean seawaters. *Natural Resources Conservation and Research* 7, 5420. <https://doi.org/10.24294/nrcr.v7i1.5420>
- Cassol, I., Ibañez, M., Bustamante, J.P., 2025. Key features and guidelines for the application of microbial alpha diversity metrics. *Sci Rep* 15, 622. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-77864-y>
- Cazzolla Gatti, R., Amoroso, N., Monaco, A., 2020. Estimating and comparing biodiversity with a single universal metric. *Ecological Modelling*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109020>
- Cazzolla Gatti, R., Iaria, J., Moretti, G., Amendola, V., Cassola, F.M., Cerretti, P., Musciano, M.D., Francesconi, L., Frattaroli, A.R., Livornese, M., Martini, M., Nania, D., Pacifici, M., Piovesan, G., Prandelli, S., Rocchini, D., Rondinini, C., Chiarucci, A., 2024. EU2030 biodiversity strategy: Unveiling gaps in the coverage of ecoregions and threatened species within the strictly protected areas of Italy. *Journal for Nature Conservation* 79, 126621. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126621>
- Ceia, R.S., Faria, N., Lopes, P.B., Alves, J., Alves da Silva, A., Valente, C., Gonçalves, C.I., Mata, V.A., Sousa, J.P., da Silva, L.P., 2023. Bird taxonomic and functional diversity, group- and species-level effects on a gradient of weevil-caused damage in eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121233>
- Chao, A., 1984. Nonparametric Estimation of the Number of Classes in a Population. *Scandinavian Journal of Statistics* 11, 265–270.
- Chao, A., Chiu, C.-H., Hu, K.-H., van der Plas, F., Cadotte, M.W., Mitesser, O., Thorn, S., Mori, A.S., Scherer-Lorenzen, M., Eisenhauer, N., Bässler, C., Delory, B.M., Feldhaar, H., Fichtner, A., Hothorn, T., Peters, M.K., Pierick, K., von Oheimb, G., Müller, J., 2024. Hill–Chao numbers allow decomposing gamma multifunctionality into alpha and beta components. *Ecology Letters* 27, e14336. <https://doi.org/10.1111/ele.14336>

- Chao, A., Colwell, R.K., 2022. Biodiversity: Concepts, Dimensions, and Measures, in: *The Ecological and Societal Consequences of Biodiversity Loss*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 25–46. <https://doi.org/10.1002/9781119902911.ch2>
- Chao, A., Henderson, P.A., Chiu, C.-H., Moyes, F., Hu, K.-H., Dornelas, M., Magurran, A.E., 2021. Measuring temporal change in alpha diversity: A framework integrating taxonomic, phylogenetic and functional diversity and the iNEXT.3D standardization. *Methods in Ecology and Evolution* 12, 1926–1940. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13682>
- Chaturvedi, R.K., Pandey, S.K., Tripathi, A., Goparaju, L., Raghubanshi, A.S., Singh, J.S., 2024. Variations in the plasticity of functional traits indicate the differential impacts of abiotic and biotic factors on the structure and growth of trees in tropical dry forest fragments. *Front. Plant Sci.* 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1181293>
- Chen, H.L., Lewison, R.L., An, L., Tsai, Y.H., Stow, D., Shi, L., Yang, S., 2020. Assessing the effects of payments for ecosystem services programs on forest structure and species biodiversity. *Biodiversity and Conservation*. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-01953-3>
- Cheng, Y., Zhang, H., Zang, R., Wang, Xixi, Long, W., Wang, Xu, Xiong, M., John, R., 2020. The effects of soil phosphorus on aboveground biomass are mediated by functional diversity in a tropical cloud forest. *Plant and Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04421-7>
- Corre, G., Galy, A., 2023. Evaluation of diversity indices to estimate clonal dominance in gene therapy studies. *Molecular Therapy Methods & Clinical Development* 29, 418–425. <https://doi.org/10.1016/j.omtm.2023.05.003>
- Crist, T.O., Veech, J.A., Gering, J.C., Summerville, K.S., 2003. Partitioning Species Diversity across Landscapes and Regions: A Hierarchical Analysis of α , β , and γ Diversity. *The American Naturalist* 162, 734–743. <https://doi.org/10.1086/378901>
- Dangles, O., Loirat, J., Freour, C., Serre, S., Vacher, J., Roux, X.L., 2016. Research on Biodiversity and Climate Change at a Distance: Collaboration Networks between Europe and Latin America and the Caribbean. *PLOS ONE* 11, e0157441. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157441>
- de la Sancha, N.U., Maestri, R., Bovendorp, R.S., Higgins, C.L., 2020. Disentangling drivers of small mammal diversity in a highly fragmented forest system. *Biotropica*. <https://doi.org/10.1111/btp.12745>
- de Lima, R.A., Dauby, G., de Gasper, A.L., Fernández, E.P., Vibrans, A.C., Oliveira, A.A. de, Prado, P.I., Souza, V.C., F. de Siqueira, M., ter Steege, H., 2024. Comprehensive conservation assessments reveal high extinction risks across Atlantic Forest trees. *Science* 383, 219–225. <https://doi.org/10.1126/science.abq5099>
- de Lima, R.A.F., Souza, V.C., de Siqueira, M.F., ter Steege, H., 2020. Defining endemism levels for biodiversity conservation: Tree species in the Atlantic Forest hotspot. *Biological Conservation* 252, 108825. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108825>
- Dias, C.H.S., Miranda, I.S., Do Vale, I., Santos, G.G.A., Costa Neto, S.V., Costa, L.G.S., 2023. Differentiating diversity among different land cover types in the eastern Amazon; [Diferenciação da diversidade entre diferentes tipos de cobertura do solo na Amazônia Oriental]. *Acta Amazonica*. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202202951>
- E, A.R.H., Salleh, N.Z.M., Abdullah, M., Ali, A., Faisal, F., Nor, R.M., 2023. Research trends, developments, and future perspectives in brand attitude: A bibliometric analysis utilizing the Scopus database (1944–2021). *Heliyon* 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12765>

- Ette, J.-S., Sallmannshofer, M., Geburek, T., 2023. Assessing Forest Biodiversity: A Novel Index to Consider Ecosystem, Species, and Genetic Diversity. *Forests* 14, 709. <https://doi.org/10.3390/f14040709>
- Fakhar Izadi, N., Keshtkar, H.R., 2020. Investigating the effects of distribution patterns on ecological indices of plant species in a simulated environment. *Desert* 25, 201–211. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2020.79257>
- Fan, Z., Ouyang, X., Wan, Y., Xiao, W., Xie, W., Ou, S., Deng, X., Huang, Z., Xiao, Z., 2020. Mammals and birds survey using camera trapping in Dinghushan and its surrounding forests, Guangdong province. *Biodiversity Science*. <https://doi.org/10.17520/biods.2020166>
- Felfili, M.C., Felfili, J.M., 2001. Diversidade alfa e beta no cerrado sensu strictu da Chapada Pratinha, Brasil. *Acta Bot. Bras.* 15, 243–254. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062001000200010>
- Felipe-Lucia, M.R., Soliveres, S., Penone, C., Manning, P., van der Plas, F., Boch, S., Prati, D., Ammer, C., Schall, P., Gossner, M.M., Bauhus, J., Buscot, F., Blaser, S., Blüthgen, N., de Frutos, A., Ehbrecht, M., Frank, K., Goldmann, K., Hänsel, F., Jung, K., Kahl, T., Nauss, T., Oelmann, Y., Pena, R., Polle, A., Renner, S., Schlöter, M., Schöning, I., Schrumpp, M., Schulze, E.-D., Solly, E., Sorkau, E., Stempfhuber, B., Tschapka, M., Weisser, W.W., Wubet, T., Fischer, M., Allan, E., 2018. Multiple forest attributes underpin the supply of multiple ecosystem services. *Nat Commun* 9, 4839. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07082-4>
- Fidelino, J.S., Duya, M.R.M., Duya, M.V., Ong, P.S., 2020. Fruit bat diversity patterns for assessing restoration success in reforestation areas in the Philippines. *Acta Oecologica*. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103637>
- Forest, F., 2017. Quest for adequate biodiversity surrogates in a time of urgency. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 114, 12638–12640. <https://doi.org/10.1073/pnas.1717722114>
- Fuchun, T., Zewei, Z., Jiali, L., Zijun, H., Xuanzong, Y., Mufan, W., Xiaoling, Z., Yihua, X., 2023. Bird Diversity of Maofeng Mountain Forest Park in Guangzhou; [广州市帽峰山森林公园鸟类多样性研究]. *Tropical Geography*. <https://doi.org/10.13284/j.cnki.rddl.003674>
- Gamfeldt, L., Snäll, T., Bagchi, R., Jonsson, M., Gustafsson, L., Kjellander, P., Ruiz-Jaen, M.C., Fröberg, M., Stendahl, J., Philipson, C.D., Mikusiński, G., Andersson, E., Westerlund, B., Andrén, H., Moberg, F., Moen, J., Bengtsson, J., 2013. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nat Commun* 4, 1340. <https://doi.org/10.1038/ncomms2328>
- García del Barrio, J.M., Sánchez de Ron, D., Auñón, F., Benavides, R., Alonso Ponce, R., González-Ávila, S., Bolaños, F., Roig, S., Ortega Quero, M., 2024. Monitoring Diversity Profiles of Forested Landscapes in the Mediterranean Spain: Their Contribution to Local and Regional Vascular Plant Diversity. *Diversity*. <https://doi.org/10.3390/d16100626>
- Ghanbari, S., Álvarez-Álvarez, P., Esmaili, A., Sasanifar, S., Sadeghi, S.M.M., Sefidi, K., Eastin, I., 2025. Coppice and Coppice-with-Standard Stands Systems: Implications for Forest Management and Biodiversity. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f16010116>
- Ghritlahre, S., Kumari, N., Datta, D., Kumar, A., Sahay, G., Bhatore, A., 2025. Protecting India's Biodiversity: The Role of the Biological Diversity Act 2002: A Review. *BKAP*. <https://doi.org/10.18805/BKAP788>
- Giam, X., 2017. Global biodiversity loss from tropical deforestation. *Proc Natl Acad Sci U S A* 114, 5775–5777. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706264114>

- Gianguzzi, L., Caldarella, O., Campisi, P., Ravera, S., Scalenghe, R., Venturella, G., 2024. Plant diversity in old-growth woods: the case of the forest edges of the Favorita Park in Palermo (north-western Sicily, Italy). *Plant Sociology* 61, 1–29. <https://doi.org/10.3897/pls2024611/01>
- González-Orozco, C.E., Parra-Quijano, M., 2023. Comparing species and evolutionary diversity metrics to inform conservation. *Diversity and Distributions* 29, 224–231. <https://doi.org/10.1111/ddi.13660>
- Gorel, A.-P., Fayolle, A., Ligot, G., Rossi, V., Hardy, O.J., Beeckman, H., Steppe, K., 2025. Leaf habit, maximum height and wood density of tropical woody flora in Africa: Phylogenetic constraints, covariation and responses to seasonal drought. *Journal of Ecology* 113, 1209–1224. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.70027>
- Gotelli, N.J., Bohrer, D.B., Urban, M.C., Ulrich, W., Suarez, A.V., Skelly, D.K., Russell, D.J., Rowe, R.J., Rothendler, M., Rios, N., Rehan, S.M., Ni, G., Moreau, C.S., Magurran, A.E., Jones, F.A.M., Graves, G.R., Fiera, C., Burkhardt, U., Primack, R.B., 2023. Estimating species relative abundances from museum records. *Methods in Ecology and Evolution* 14, 431–443. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13705>
- Graser, A., Frank, C., Kunz, F., Schuldt, A., Senf, C., Sudfeldt, C., Trautmann, S., Kamp, J., 2025. Increase in disturbance-induced canopy gaps leads to reorganization of Central European bird communities. *Basic and Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2025.01.013>
- Gregorius, H.-R., Gillet, E.M., 2008. Generalized Simpson-diversity. *Ecological Modelling* 211, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.08.026>
- Guillin, A., Jabot, F., Personne, A., 2020. On the Simpson index for the Wright–Fisher process with random selection and immigration. *Int. J. Biomath.* 13, 2050046. <https://doi.org/10.1142/S1793524520500461>
- Gurashi, N.A., Yasin, E.H.E., Czimer, K., 2024. Changes in Structure, Tree Species Composition, and Diversity of the Abu Geili Riverine Forest Reserve, Sinnar State, Sudan; [Változások a szerkezetben, a fajösszetételben és a diverzitásban az Abu Geili Folyómenti Erdőrezervátumban (Szinnár állam, Szudán)]. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*. <https://doi.org/10.37045/aslh-2024-0004>
- Hajizadeh, G., Jalilvand, H., Kavosi, M.R., Barimani Varandi, H., 2022. Seasonal Patterns in Moth Abundance and Species Diversity in the Northern Mountainous Forests of Iran. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s40011-021-01304-4>
- Hale, K.R.S., Maes, D.P., Valdovinos, F.S., 2022. Simple Mechanisms of Plant Reproductive Benefits Yield Different Dynamics in Pollination and Seed Dispersal Mutualisms. *The American Naturalist* 200, 202–216. <https://doi.org/10.1086/720204>
- Han, Z., Zhang, L., Jiang, Y., Wang, H., Jiguet, F., 2021. Local habitat and landscape attributes shape the diversity facets of bird communities in inner mongolian grasslands; [Les caractéristiques d’habitat aux échelles locale et du paysage façonnent la diversité des communautés d’oiseaux dans les prairies de la mongolie-intérieure]. *Avian Conservation and Ecology*. <https://doi.org/10.5751/ACE-01739-160103>
- Hardersen, S., La Porta, G., 2023. Never underestimate biodiversity: how undersampling affects Bray–Curtis similarity estimates and a possible countermeasure. *The European Zoological Journal* 90, 660–672. <https://doi.org/10.1080/24750263.2023.2249007>
- Henn, J.J., Anderson, K.E., Brigham, L.M., Bueno de Mesquita, C.P., Collins, C.G., Elmendorf, S.C., Green, M.D., Huxley, J.D., Rafferty, N.E., Rose-Person, A., Spasojevic, M.J., 2024. Long-Term Alpine Plant Responses to Global Change Drivers Depend on Functional Traits. *Ecology Letters* 27, e14518. <https://doi.org/10.1111/ele.14518>

- Hill, M.O., 1973. Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology* 54, 427–432. <https://doi.org/10.2307/1934352>
- Hilwan, I., Santosa, Y., Nahla, S., 2023. Penentuan Bentuk dan Luas Petak Contoh Optimum Pengukuran Keanekaragaman Jenis Tumbuhan Tingkat Pancang Hutan Pegunungan. *Journal of Tropical Silviculture* 14, 63–69. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.14.01.64-70>
- IBGE, I.B. de G. e E., 2004. Vegetação Brasileira [WWW Document]. URL <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/10872-vegetacao.html> (accessed 1.13.25).
- Isbell, F., Gonzalez, A., Loreau, M., Cowles, J., Díaz, S., Hector, A., Mace, G.M., Wardle, D.A., O'Connor, M.I., Duffy, J.E., Turnbull, L.A., Thompson, P.L., Larigauderie, A., 2017. Linking the influence and dependence of people on biodiversity across scales. *Nature* 546, 65–72. <https://doi.org/10.1038/nature22899>
- Jiang, Y., Chen, Z., Lin, H., Deng, R., Liang, Z., Li, Y., Liang, S., 2024. Trait-based community assembly and functional strategies across three subtropical karst forests, Southwestern China. *Front. Plant Sci.* 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1451981>
- Joswig, J.S., Wirth, C., Schuman, M.C., Kattge, J., Reu, B., Wright, I.J., Sippel, S.D., Rüger, N., Richter, R., Schaepman, M.E., van Bodegom, P.M., Cornelissen, J.H.C., Díaz, S., Hattingh, W.N., Kramer, K., Lens, F., Niinemets, Ü., Reich, P.B., Reichstein, M., Römermann, C., Schrod, F., Anand, M., Bahn, M., Byun, C., Campetella, G., Cerabolini, B.E.L., Craine, J.M., Gonzalez-Melo, A., Gutiérrez, A.G., He, T., Higuchi, P., Jactel, H., Kraft, N.J.B., Minden, V., Onipchenko, V., Peñuelas, J., Pillar, V.D., Sosinski, Ê., Soudzilovskaia, N.A., Weiher, E., Mahecha, M.D., 2022. Climatic and soil factors explain the two-dimensional spectrum of global plant trait variation. *Nat Ecol Evol* 6, 36–50. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01616-8>
- Jurasinski, G., Retzer, V., Beierkuhnlein, C., 2009. Inventory, differentiation, and proportional diversity: a consistent terminology for quantifying species diversity. *Oecologia* 159, 15–26. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1190-z>
- Kardgar, N., Rahmani, R., Zare, H., Ghorbani, S., 2025. Assessing the effect of plot size on species diversity in a mixed oriental beech forest. *Journal of Forestry Research*. <https://doi.org/10.1007/s11676-024-01796-6>
- Karimi, A., Raymond, C.M., 2022. Assessing the diversity and evenness of ecosystem services as perceived by residents using participatory mapping. *Applied Geography* 138, 102624. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102624>
- Kass, J.M., Yoshimura, M., Ogasawara, M., Suwabe, M., Hita Garcia, F., Fischer, G., Dudley, K.L., Donohue, I., Economo, E.P., 2023. Breakdown in seasonal dynamics of subtropical ant communities with land-cover change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rspb.2023.1185>
- Kharoliwal, S., Shrivastava, S., 2025. A Rapid Assessment of Alpha Diversity by Use of Shannon Diversity Index-A Statistical Tool. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology* 12, 1378–1384. <https://doi.org/10.32628/IJSRST25123154>
- Khatsuriya, P.A., Makwana, V.M., Dodia, P.P., 2024. Biodiversity Resilience Amidst Climate Shifts: A Global Perspective, in: Idris, S. (Ed.), *Advances in Environmental Engineering and Green Technologies*. IGI Global, pp. 75–99. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-2845-3.ch005>
- Kumar, G., Kumar, A., Saikia, P., Khan, M.L., 2024. Assessing population diversity and compositional structure in forests in Pachmarhi Biosphere Reserve, Central India. *Ecological Frontiers*. <https://doi.org/10.1016/j.ecofro.2024.08.005>

- Larrieu, L., Gonin, P., 2008. L'indice de biodiversité potentielle (IBP) : une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Revue forestière française* 60, 727–748. <https://doi.org/10.4267/2042/28373>
- Le Bagousse-Pinguet, Y., Soliveres, S., Gross, N., Torices, R., Berdugo, M., Maestre, F.T., 2019. Phylogenetic, functional, and taxonomic richness have both positive and negative effects on ecosystem multifunctionality. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 116, 8419–8424. <https://doi.org/10.1073/pnas.1815727116>
- Lelli, C., Bruun, H.H., Chiarucci, A., Donati, D., Frascaroli, F., Fritz, Ö., Goldberg, I., Nascimbene, J., Tøttrup, A.P., Rahbek, C., Heilmann-Clausen, J., 2019. Biodiversity response to forest structure and management: Comparing species richness, conservation relevant species and functional diversity as metrics in forest conservation. *Forest Ecology and Management* 432, 707–717. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.057>
- Li, D., 2018. hillR: taxonomic, functional, and phylogenetic diversity and similarity through Hill Numbers. *Journal of Open Source Software* 3, 1041. <https://doi.org/10.21105/joss.01041>
- Liu, J., Li, S., Ouyang, Z., Tam, C., Chen, X., 2008. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, 9477–9482. <https://doi.org/10.1073/pnas.0706436105>
- Liu, J.-J., Burgess, K.S., Ge, X.-J., 2022. Species pool size and rainfall account for the relationship between biodiversity and biomass production in natural forests of China. *Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1002/ece3.8838>
- Liu, S., Cieszewski, C.J., 2024. INTERCONNECTED BIODIVERSITY: MAPPING THE RELATIONSHIP BETWEEN TREE AND BREEDING BIRD SPECIES DIVERSITY IN GEORGIA'S FORESTS, USA. *Mathematical and Computational Forestry and Natural-Resource Sciences*.
- Liu, X., Wu, Y., Zhang, M., Chen, X., Zhu, Z., Chen, D., Dong, S., Li, B., Ding, B., Liu, Y., 2024. Community composition and structure of a 25-ha forest dynamics plot of subtropical forest in Baishanzu, Zhejiang Province. *Biodiversity Science*. <https://doi.org/10.17520/biods.2023294>
- Lohbeck, M., Lebrija-Trejos, E., Martínez-Ramos, M., Meave, J.A., Poorter, L., Bongers, F., 2015. Functional Trait Strategies of Trees in Dry and Wet Tropical Forests Are Similar but Differ in Their Consequences for Succession. *PLOS ONE* 10, e0123741. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123741>
- López-Osorio, F., Miranda-Esquivel, D.R., 2010. A phylogenetic approach to conserving Amazonian biodiversity. *Conserv Biol* 24, 1359–1366. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01482.x>
- Lucas, F.M.F., Araujo, E.C.G., Fiedler, N.C., Santana, J.A. da S., Tetto, A.F., 2023. Perspective: Scientific gaps on forest fires in Brazilian protected areas. *Forest Ecology and Management* 529, 120739. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120739>
- Lyashevskaya, O., Farnsworth, K.D., 2012. How many dimensions of biodiversity do we need? *Ecological Indicators* 18, 485–492. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.016>
- Magurran, A.E., 2013. *Medindo a diversidade biológica*, Pesquisa. Editora UFPR.
- Margalef, R., 1973. Information theory in ecology. *La teoría de la información en Ecología*.
- Matas-Granados, L., Draper, F.C., Cayuela, L., de Aledo, J.G., Arellano, G., Saadi, C.B., Baker, T.R., Phillips, O.L., Honorio Coronado, E.N., Ruokolainen, K., García-Villacorta, R., Roucoux, K.H., Guèze, M., Sandoval, E.V., Fine, P.V.A., Amasifuen Guerra, C.A., Gomez, R.Z., Stevenson Diaz, P.R., Monteagudo-Mendoza, A., Martinez, R.V., Socolar, J.B., Disney, M., del Aguila Pasquel, J., Llampazo, G.F., Arenas, J.V., Huaymacari, J.R., Grandez Rios, J.M., Macía, M.J., 2024. Understanding different dominance patterns in

- western Amazonian forests. *Ecology Letters* 27, e14351. <https://doi.org/10.1111/ele.14351>
- Melo, A.S., 2008. O que ganhamos “confundindo” riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? *Biota Neotrop.* 8, 21–27. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032008000300001>
- Menhinick, E.F., 1964. A Comparison of Some Species-Individuals Diversity Indices Applied to Samples of Field Insects. *Ecology* 45, 859–861. <https://doi.org/10.2307/1934933>
- Mi, X., Feng, G., Hu, Y., Zhang, J., Chen, L., Corlett, R.T., Hughes, A.C., Pimm, S., Schmid, B., Shi, S., Svenning, J.-C., Ma, K., 2021. The global significance of biodiversity science in China: an overview. *National Science Review* nwab032. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwab032>
- Michel, O.O., Yu, Y., Fan, W., Lubalega, T., Chen, C., Sudi Kaiko, C.K., 2022. Impact of Land Use Change on Tree Diversity and Aboveground Carbon Storage in the Mayombe Tropical Forest of the Democratic Republic of Congo. *Land*. <https://doi.org/10.3390/land11060787>
- Mlambo, D., Sebata, A., Chichinye, A., Mabidi, A., 2024. Chapter 5 - Agroforestry and biodiversity conservation, in: Jhariya, M.K., Meena, R.S., Banerjee, A., Kumar, S., Raj, A. (Eds.), *Agroforestry for Carbon and Ecosystem Management*. Academic Press, pp. 63–78. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95393-1.00008-7>
- Mohammadi, L., Hajizadeh, J., 2025. Biodiversity indexes of Rhodacaroidea (Acari: Mesostigmata) at the garbage dump in the Saravan forest, Rasht County; [تنوع های شاخص Rhodacaroidea (Acari: Mesostigmata) در محل انباشت زباله جنگل زباله انباشت محله در Saravan، شهرستان رشت]. *Plant Pest Research*. <https://doi.org/10.22124/iprj.2025.29789.1623>
- Molotoks, A., Green, J., Ribeiro, V., Wang, Y., West, C., 2024. Assessing the value of biodiversity-specific footprinting metrics linked to South American soy trade. *People and Nature*. <https://doi.org/10.1002/pan3.10457>
- Morellato, L.P.C., Talora, D.C., Takahasi, A., Bencke, C.C., Romera, E.C., Zipparro, V.B., 2000. Phenology of Atlantic Rain Forest Trees: A Comparative Study. *Biotropica* 32, 811–823. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00620.x>
- Morris, E.K., Caruso, T., Buscot, F., Fischer, M., Hancock, C., Maier, T.S., Meiners, T., Müller, C., Obermaier, E., Prati, D., Socher, S.A., Sonnemann, I., Wäschke, N., Wubet, T., Wurst, S., Rillig, M.C., 2014. Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecology and Evolution* 4, 3514–3524. <https://doi.org/10.1002/ece3.1155>
- Moura, M.R., Oliveira, G.A., Paglia, A.P., Pires, M.M., Santos, B.A., 2023. Climate change should drive mammal defaunation in tropical dry forests. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.16979>
- Mulya, H., Santosa, Y., Hilwan, I., 2021. Comparison of four species diversity indices in mangrove community. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 22. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220906>
- Nagendra, H., 2002. Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. *Applied Geography* 22, 175–186. [https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(02\)00002-4](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(02)00002-4)
- Nolander, C., Lundmark, R., 2024. A Review of Forest Ecosystem Services and Their Spatial Value Characteristics. *Forests* 15, 919. <https://doi.org/10.3390/f15060919>
- Noroozi, J., Talebi, A., Doostmohammadi, M., Manafzadeh, S., Asgarpour, Z., Schneeweiss, G.M., 2019. Endemic diversity and distribution of the Iranian vascular flora across phytogeographical regions, biodiversity hotspots and areas of endemism. *Sci Rep* 9, 12991. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49417-1>

- Ohyama, L., Bogota-Gregory, J.D., Jenkins, D.G., 2024. Peak beta diversity occurs at regional spatial grains. *Frontiers of Biogeography* 17, e132675. <https://doi.org/10.21425/fob.17.132675>
- Ottaviani, G., Götzenberger, L., Bacaro, G., Chiarucci, A., de Bello, F., Marcantonio, M., 2019. A multifaceted approach for beech forest conservation: Environmental drivers of understory plant diversity. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.05.006>
- Palli, J., Mensing, S.A., Schoolman, E.M., Solano, F., Piovesan, G., 2023. Historical ecology identifies long-term rewilding strategy for conserving Mediterranean mountain forests in south Italy. *Ecological Applications* 33, e2758. <https://doi.org/10.1002/eap.2758>
- Parisi, F., Innangi, M., Tognetti, R., Lombardi, F., Chirici, G., Marchetti, M., 2021. Forest stand structure and coarse woody debris determine the biodiversity of beetle communities in Mediterranean mountain beech forests. *Global Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01637>
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* 13, 131–144. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0)
- Pillay, R., Venter, M., Aragon-Osejo, J., González-del-Pliego, P., Hansen, A.J., Watson, J.E., Venter, O., 2022. Tropical forests are home to over half of the world's vertebrate species. *Front Ecol Environ* 20, 10–15. <https://doi.org/10.1002/fee.2420>
- Qian, H., Qian, S., 2023. Geographic patterns of taxonomic and phylogenetic β -diversity of angiosperm genera in regional floras across the world. *Plant Diversity* 45, 491–500. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2023.07.008>
- Quiroga-Pacheco, C.J., Velez-Liendo, X., Zedrosser, A., 2024. Effects of Seasonality on the Large and Medium-Sized Mammal Community in Mountain Dry Forests. *Diversity*. <https://doi.org/10.3390/d16070409>
- Rappa, N.J., Staab, M., Frey, J., Winiger, N., Klein, A.-M., 2022. Multiple forest structural elements are needed to promote beetle biomass, diversity and abundance. *Forest Ecosystems*. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2022.100056>
- Ricotta, C., 2005. Through the Jungle of Biological Diversity. *Acta Biotheor* 53, 29–38. <https://doi.org/10.1007/s10441-005-7001-6>
- Rocha, S.J.S.S. da, Torres, C.M.M.E., Villanova, P.H., Schettini, B.L.S., Jacovine, L.A.G., Leite, H.G., Gelcer, E.M., Reis, L.P., Neves, K.M., Comini, I.B., Silva, L.F. da, 2020. Drought effects on carbon dynamics of trees in a secondary Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management* 465, 118097. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118097>
- Roswell, M., Dushoff, J., Winfree, R., 2021. A conceptual guide to measuring species diversity. *Oikos* 130, 321–338. <https://doi.org/10.1111/oik.07202>
- Rota, M., Piqué, M., Sazatornil, V., Feldman, M.J., Baiges, T., Guixé, D., Larrieu, L., Mundet, R., Pallarés, M., Vayreda, J., Camprodon, J., 2025. Evaluating habitat structural variables as reliable indicators of biodiversity in Mediterranean forests. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.122727>
- Saranya, K.R.L., Mandal, K.K., Kar, T., Sudhakar Reddy, C., Satish, K.V., 2023. Effects of Disturbance Regimes on Phytodiversity of Similipal Biosphere Reserve, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1007/s12524-023-01684-2>
- Schweiger, A.K., Laliberté, E., 2022. Plant beta-diversity across biomes captured by imaging spectroscopy. *Nature Communications*. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30369-6>
- Shannon, C.E., Weaver, W., Wiener, N., 1950. The Mathematical Theory of Communication. *Physics Today* 3, 31–32. <https://doi.org/10.1063/1.3067010>

- Sharma, A., Patel, S.K., Singh, G.S., 2023. Variation in Species Composition, Structural Diversity, and Regeneration Along Disturbances in Tropical Dry Forest of Northern India. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2022.11.004>
- Silva, L.G. da, Tavares, A.C.F., Brandão, C.F.L.E.S., Verçosa, J.P. dos S., Cola, R.E., Silva, N.L. da, Santos, A.A.L. dos, Vieira, A.C.S., Neto, J.F. da S., Lana, M.D., 2020. Effect of Land Cover Change on Atlantic Forest Fragmentation in Rio Largo, Al, Brazil. *Journal of Experimental Agriculture International* 102–114. <https://doi.org/10.9734/jeai/2020/v42i530524>
- Singh, K.P., Kushwaha, C.P., 2016. Deciduousness in tropical trees and its potential as indicator of climate change: A review. *Ecological Indicators* 69, 699–706. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.011>
- Sloan, S., Jenkins, C.N., Joppa, L.N., Gaveau, D.L.A., Laurance, W.F., 2014. Remaining natural vegetation in the global biodiversity hotspots. *Biological Conservation* 177, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.05.027>
- Souza, Y., Gonçalves, F., Lautenschlager, L., Akkawi, P., Mendes, C., Carvalho, M.M., Bovendorp, R.S., Fernandes-Ferreira, H., Rosa, C., Graipel, M.E., Peroni, N., Cherem, J.J., Bogoni, J.A., Brocardo, C.R., Miranda, J., Zago da Silva, L., Melo, G., Cáceres, N., Sponchiado, J., Ribeiro, M.C., Galetti, M., 2019. ATLANTIC MAMMALS: a data set of assemblages of medium- and large-sized mammals of the Atlantic Forest of South America. *Ecology* 100, e02785. <https://doi.org/10.1002/ecy.2785>
- Srivathsa, A., Vasudev, D., Nair, T., Chakrabarti, S., Chanchani, P., DeFries, R., Deomurari, A., Dutta, S., Ghose, D., Goswami, V.R., Nayak, R., Neelakantan, A., Thatte, P., Vaidyanathan, S., Verma, M., Krishnaswamy, J., Sankaran, M., Ramakrishnan, U., 2023. Prioritizing India's landscapes for biodiversity, ecosystem services and human well-being. *Nat Sustain* 6, 568–577. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01063-2>
- Storch, F., Boch, S., Gossner, M.M., Feldhaar, H., Ammer, C., Schall, P., Polle, A., Kroiher, F., Müller, J., Bauhus, J., 2023. Linking structure and species richness to support forest biodiversity monitoring at large scales. *Annals of Forest Science* 80. <https://doi.org/10.1186/s13595-022-01169-1>
- Sun, S., Sang, W., Axmacher, J.C., 2020. China's national nature reserve network shows great imbalances in conserving the country's mega-diverse vegetation. *Science of The Total Environment* 717, 137159. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137159>
- Taye, F.A., Folkersen, M.V., Fleming, C.M., Buckwell, A., Mackey, B., Diwakar, K.C., Le, D., Hasan, S., Ange, C.S., 2021. The economic values of global forest ecosystem services: A meta-analysis. *Ecological Economics* 189, 107145. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107145>
- Thukral, A.K., 2017. A review on measurement of Alpha diversity in biology. *Intern. Jour. Contemp. Microbiol.* 54, 1. <https://doi.org/10.5958/2395-146X.2017.00001.1>
- Torres, C.M.M.E., Medina-Vega, J.A., Rocha, S.J.S.S. da, Costa, W. da S., Soares, C.P.B., Souza, A.L. de, Jacovine, L.A.G., Lana, J.M. de, Peña-Claros, M., 2023. Drivers of tree demographic processes in forest fragments of the Brazilian Atlantic forest. *Forest Ecology and Management* 534, 120893. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120893>
- Tukiainen, H., Maliniemi, T., Alahuhta, J., Hjort, J., Lindholm, M., Salminen, H., Snåre, H., Toivanen, M., Vilmi, A., Heino, J., 2023. Quantifying alpha, beta and gamma geodiversity. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 47, 140–151. <https://doi.org/10.1177/03091333221114714>
- Tzompa-Coatl, R., Cerón-Carpio, A.B., Mendoza-Ruiz, A., Ceja-Romero, J., 2022. Species richness and distribution of lycophytes and ferns according to vegetation types in Sierra Norte de Puebla, Mexico; [Riqueza específica y distribución de licofitas y helechos por

- tipos de vegetación, en la Sierra Norte de Puebla, México]. *Acta Botanica Mexicana*. <https://doi.org/10.21829/ABM129.2022.2063>
- Ucella-Filho, J.G.M., Ferreira, N.S., Alves, M.R., Ignacchiti, M.D.C., Dias Júnior, A.F., Resende, J.A., 2024. Evaluation of natural products as therapeutic alternatives for bovine mastitis and implications for future research. *South African Journal of Botany* 167, 310–321. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.02.031>
- Uzabaho, E., Kayijamahe, C.B., Musana, A., Uwingeli, P., Masaba, C., Nyiratuza, M., Moore, J.F., 2023. What factors affect species richness and distribution dynamics within two Afromontane protected areas? *Wildlife Research*. <https://doi.org/10.1071/WR21171>
- Valli, M., Russo, H.M., Bolzani, V.S., 2018. The potential contribution of the natural products from Brazilian biodiversity to bioeconomy. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 90, 763–778. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170653>
- van Breugel, M., Bongers, F., Norden, N., Meave, J.A., Amissah, L., Chanthorn, W., Chazdon, R., Craven, D., Farrior, C., Hall, J.S., Hérault, B., Jakovac, C., Lebrija-Trejos, E., Martínez-Ramos, M., Muñoz, R., Poorter, L., Rüger, N., van der Sande, M., Dent, D.H., 2024. Feedback loops drive ecological succession: towards a unified conceptual framework. *Biological Reviews* 99, 928–949. <https://doi.org/10.1111/brv.13051>
- van Eck, N.J., Waltman, L., 2010. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics* 84, 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Verly, O.M., Villa, P.M., Chaves, M.V.G.S., da Rocha, S.J.S.S., Cabral-da-Silva, L.C.M., Oliveira, K., Rufino, M.P.M.X., Vieira, S.B., Sathler, D.F.T., de Lana, J.M., Torres, C.M.M.E., 2026. Decoupling abundance and biomass in secondary Atlantic Rainforest: Differential responses of rare and common tree species to environmental drivers. *Forest Ecology and Management* 605, 123503. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2026.123503>
- Wang, J., Wen, X., Lyu, S., Guo, Q., 2021. Soil properties mediate ecosystem intrinsic water use efficiency and stomatal conductance via taxonomic diversity and leaf economic spectrum. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146968>
- Wang, Z., Wang, T., Zhang, X., Wang, J., Yang, Y., Sun, Y., Guo, X., Wu, Q., Nepovimova, E., Watson, A.E., Kuca, K., 2024. Biodiversity conservation in the context of climate change: Facing challenges and management strategies. *Science of The Total Environment* 937, 173377. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173377>
- Watson, J.E.M., Evans, T., Venter, O., Williams, B., Tulloch, A., Stewart, C., Thompson, I., Ray, J.C., Murray, K., Salazar, A., McAlpine, C., Potapov, P., Walston, J., Robinson, J.G., Painter, M., Wilkie, D., Filardi, C., Laurance, W.F., Houghton, R.A., Maxwell, S., Grantham, H., Samper, C., Wang, S., Laestadius, L., Runting, R.K., Silva-Chávez, G.A., Ervin, J., Lindenmayer, D., 2018. The exceptional value of intact forest ecosystems. *Nat Ecol Evol* 2, 599–610. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0490-x>
- Wei, J., Jiang, Z., Yang, L., Xiong, H., Jin, J., Luo, F., Li, J., Wu, H., Xu, Y., Qiao, X., Wei, X., Yao, H., Yu, H., Yang, J., Jiang, M., 2024. Community composition and structure in a 25 ha mid-subtropical mountain deciduous broad-leaved forest dynamics plot in Shennongjia, Hubei, China. *Biodiversity Science*. <https://doi.org/10.17520/biods.2023338>
- Wenhua, L., 2004. Degradation and restoration of forest ecosystems in China. *Forest Ecology and Management, Restoration and Research on Degraded Forest Ecosystems* 201, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.06.010>
- Worku, D., Haji, F., Dida, G., 2025. Species Diversity, Distribution, and Conservation Challenges of Wild Mammals of Besmena-Odubulu-Controlled Hunting Area,

- Southeastern Ethiopia. *International Journal of Zoology*.
<https://doi.org/10.1155/ijz/3071491>
- Wu, N., Hu, B., Wang, Y., Qin, Y., Ma, G., He, H., Zhou, Y., 2023. Even minor logging road development can decrease the functional diversity of forest bird communities: Evidence from a biodiversity hotspot. *Forest Ecology and Management*.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120865>
- Xiaoning, W., Zihong, M., Wentao, L., Jiqin, Y., Yangyang, Z., Lixun, Z., Yue, Q., Wei, Z., 2019. Camera Trapping Survey on Ground-Dwelling Birds and Mammals in Liancheng National Nature Reserve, Gansu Province; [甘肃连城国家级自然保护区地栖鸟兽红外相机初步监测]. *Chinese Journal of Wildlife*.
<https://doi.org/10.19711/j.cnki.issn2310-1490.2019.02.010>
- Xofis, P., Kefalas, G., Poirazidis, K., 2023. Biodiversity and Conservation of Forests. *Forests* 14, 1871. <https://doi.org/10.3390/f14091871>
- Yao, L., Wang, Z., Zhan, X., Wu, W., Jiang, B., Jiao, J., Yuan, W., Zhu, J., Ding, Y., Li, T., Yang, S., Wu, C., 2022. Assessment of Species Composition and Community Structure of the Suburban Forest in Hangzhou, Eastern China. *Sustainability* 14, 4304. <https://doi.org/10.3390/su14074304>
- Yao, Liangjin, Ding, Y., Yao, Lan, Ai, X., Zang, R., 2020. Trait Gradient Analysis for Evergreen and Deciduous Species in a Subtropical Forest. *Forests* 11. <https://doi.org/10.3390/f11040364>
- Yuan, Z., Ali, A., Loreau, M., Ding, F., Liu, S., Sanaei, A., Zhou, W., Ye, J., Lin, F., Fang, S., Hao, Z., Wang, X., Le Bagousse-Pinguet, Y., 2021. Divergent above- and below-ground biodiversity pathways mediate disturbance impacts on temperate forest multifunctionality. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.15606>
- Yusefi, G.H., Faizolah, K., Darvish, J., Safi, K., Brito, J.C., 2019. The species diversity, distribution, and conservation status of the terrestrial mammals of Iran. *J Mammal* 100, 55–71. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz002>
- Zhang, Z., Cao, D., Ma, T., Liu, H., Mao, Z., 2025. International cooperation for a biodiverse future: Opportunities and challenges under the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. *Global Ecology and Conservation* 58, e03385. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03385>
- Zhao, F., Yang, T., Luo, C., Rao, W., Yang, G., Li, G., Shen, Z., 2022. Comparing Elevational Patterns of Taxonomic, Phylogenetic, and Functional Diversity of Woody Plants Reveal the Asymmetry of Community Assembly Mechanisms on a Mountain in the Hengduan Mountains Region. *Frontiers in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.869258>
- Zhao, Z., Hui, G., Yang, A., Zhang, G., Hu, Y., 2022. Assessing tree species diversity in forest ecosystems: A new approach. *Front. Ecol. Evol.* 10, 971585. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.971585>
- Zupo, V., Alexander, T.J., Edgar, G.J., 2017. Relating trophic resources to community structure: a predictive index of food availability. *R Soc Open Sci.* 4, 160515. <https://doi.org/10.1098/rsos.160515>

CONCLUSÕES GERAIS

Conhecer a diversidade taxonômica e entender as mudanças florísticas em fragmentos florestais, são etapas importantes quando se pretende compreender sobre a dinâmica florestal, sendo que os resultados dessas análises podem contribuir para a definição de estratégias eficazes para recuperação de ecossistemas.

Os resultados da revisão evidenciaram que o avanço das pesquisas sobre diversidade taxonômica nas últimas décadas reflete a crescente preocupação com a conservação dos ecossistemas diante da crise ambiental global, principalmente em países que possuem alto valor de biodiversidade. Entretanto, a revisão também revelou lacunas importantes, principalmente relacionadas à predominância de estudos focados apenas na biodiversidade arbórea e à limitação das análises a escalas ecológicas restritas, reforçando a necessidade de abordagens mais abrangentes e integrativas. Verificamos que não há um único índice capaz de representar integralmente a complexidade taxonômica das comunidades florestais e que diferentes índices podem enfatizar os aspectos da diversidade de forma distinta. Sendo assim, o uso combinado de índices é uma estratégia para ampliar a capacidade de interpretação sobre a diversidade taxonômica.

As dinâmicas líquidas de abundância e biomassa dos fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual demonstraram ser influenciadas por diferentes fatores climáticos, edáficos e de paisagem. Além disso, as variáveis analisadas apresentaram efeitos diferentes entre as classes de deciduidade, o que reforça a importância de conhecer as características funcionais das espécies para compreender sobre a dinâmica e processos ecológicos das florestas. A perda sazonal de folhas demonstrou estar relacionada não apenas às variações climáticas, mas também às condições edáficas e ao contexto da paisagem, evidenciando diferentes estratégias ecológicas entre as classes de deciduidade. Neste contexto, os resultados obtidos também apresentam implicações para iniciativas de restauração e reflorestamento, uma vez que evidenciam que a escolha de espécies pode ser orientada não apenas pela composição florística de áreas de referência, mas também pelas características funcionais das espécies e pelas condições ambientais do local a ser restaurado.

Dessa forma, os resultados obtidos ampliam a compreensão sobre a biodiversidade e sobre os processos e estratégias ecológicas associados à dinâmica de sucessão em fragmentos secundários da Mata Atlântica, ao mesmo tempo em que fornecem subsídios para o

planejamento de estratégias de conservação, restauração e monitoramento de ecossistemas florestais.

Apêndice A – Capítulo 2

Tabela S1. Referências utilizadas para obtenção dos valores de densidade básica da madeira específicos para cada espécie, organizadas conforme a ordem de prioridade adotada na busca dos dados

Nº da referência	Referência
1	Torres, C.M.M.E., Jacovine, L.A.G., de-Oliveira-Neto, S.N., Souza A.L., Campos, R.A., Schettini, B.L.S. Análise Fitossociológica e Valor de Importância em Carbono para uma Floresta Estacional Semidecidual. <i>Floresta e Ambiente</i> , 2017, 24:e00099714. http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.099714 .
2	Boina, A., 2008. Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em Floresta Estacional Semidecidual, Vale do Rio Doce, Minas Gerais. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
3	Oliveira, G.M.V., 2014. Densidade da madeira em Minas Gerais: amostragem, espacialização e relação com variáveis ambientais. 125 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/4880 .
4	Rolim, S.G., Piotto, D., 2018. Silvicultura e tecnologia de espécies da Mata Atlântica. Rona Editora.
5	Lima, J.A. d.-S., 2009. Biomassa arbórea e estoques de nutrientes em fragmentos florestais da APA Rio São João: O efeito da fragmentação sobre a Mata Atlântica da Baixada Litorânea Fluminense. 180 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.
6	SFB - Serviço Florestal Brasileiro. 2024. Banco de dados de Madeiras Brasileiras. Laboratório de Produtos Florestais. Disponível em: < https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/madeiras-brasileiras >. Acesso em: 28/03/2025.
7	Nascimento, I.S., 2016. A coordenação funcional entres os diferentes órgãos das plantas arbóreas de Floresta Atlântica varia conforme a estratégia de uso e conservação de recursos? 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
8	Nogueira, E.M., 2008. Densidade de madeira e alometria de árvores em florestas do “Arco do desmatamento”: implicações para biomassa e emissão de carbono a partir de mudanças de uso da terra na Amazônia brasileira. 133 f. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.
9	Moser, P., 2018. Dinâmica e características funcionais de comunidades arbóreas no Sudoeste da Amazônia: avaliando os impactos de uma grande hidrelétrica. 134 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília.
10	Lorenzi, H., 2008. Árvores Brasileiras: Manual de identificação cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil, v. 1, 5th ed. Instituto Plantarum, Nova Odessa.
11	Lorenzi, H., 2009. Árvores Brasileiras: Manual de identificação cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil, v. 2, 3th ed. Instituto Plantarum, Nova Odessa.
12	Lorenzi, H., 2009. Árvores Brasileiras: Manual de identificação cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil, v. 3, 1th ed. Instituto Plantarum, Nova Odessa.
13	Carvalho, P.E.R., 2003. Espécies arbóreas brasileiras, v. 1. Brasília - DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo - PR: Embrapa Florestas.
14	Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C., Chave, J., 2009. Global wood density database. https://doi.org/10.5061/DRYAD.234 .
14.a	Média da espécie para valores da América do Sul Tropical em Zanne et al., 2009.
14.b	Média da espécie para todos os valores em Zanne et al., 2009.
14.c	Média do gênero de pelo menos três valores provenientes das literaturas.
14.d	Média do gênero para valores da América do Sul Tropical em Zanne et al., 2009.
14.e	Média do gênero de pelo menos de três valores provenientes das literaturas.

Nº da referência	Referência
14.f	Valor de um congênera citado em alguma literatura anterior (citar a literatura), quando o gênero não tiver outras espécies na lista ou para a América do Sul Tropical em Zanne et al., 2009.
14.g	Média do gênero para todos os valores em Zanne et al., 2009.
14.h	Média da família de pelo menos três valores provenientes das literaturas.
14.i	Média da família para valores da América do Sul Tropical em Zanne et al., 2009.
14.j	Média da família de menos de três valores provenientes das literaturas.
14.k	Média da família para todos os valores em Zanne et al., 2009.
14.l	Média para todos os valores anteriores.

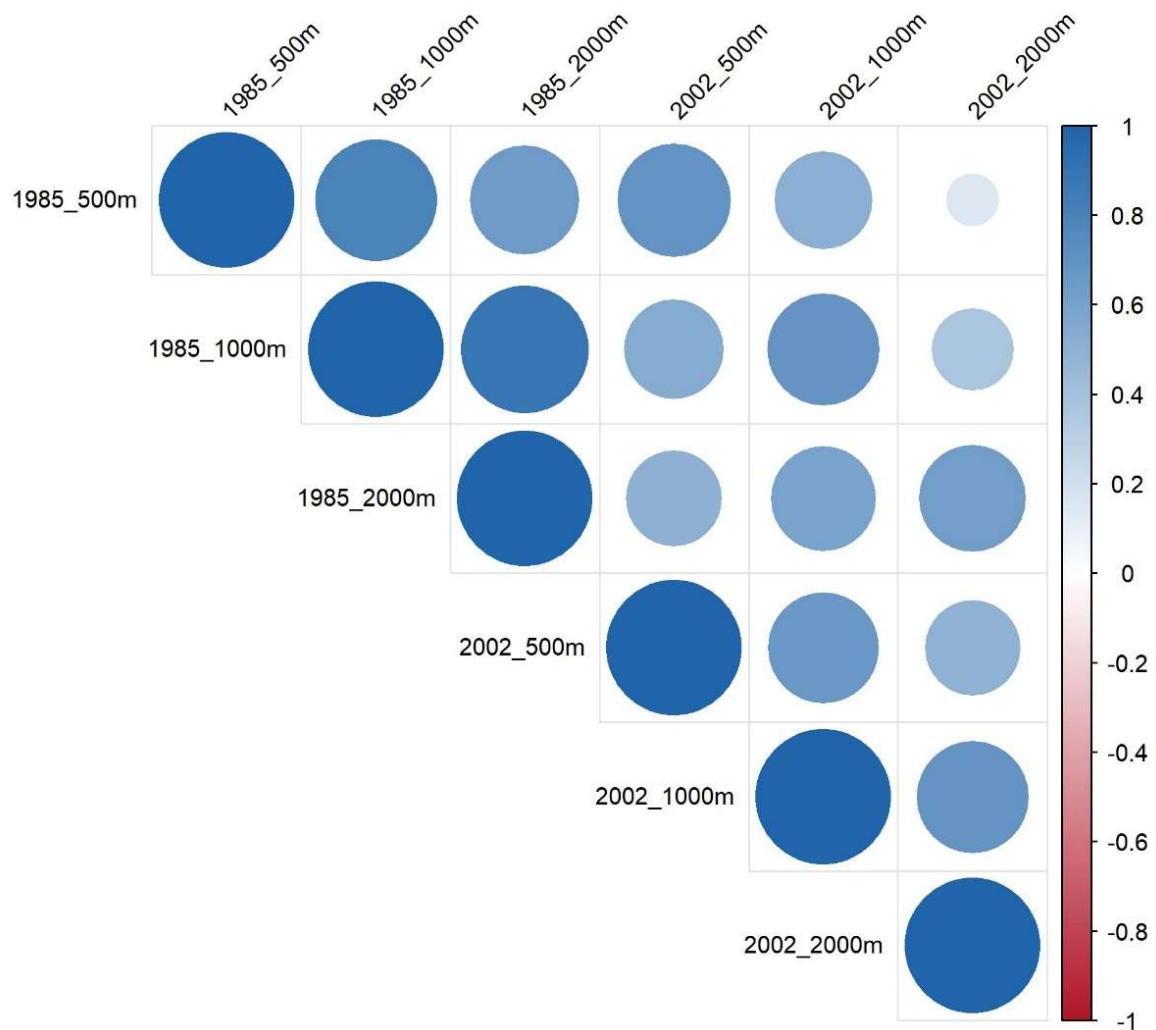


Figura S1. Correlação de Spearman para variáveis de cobertura florestal de 1985 a 2002 com buffers de 500, 1000 e 2000 m partindo do centro da parcela.

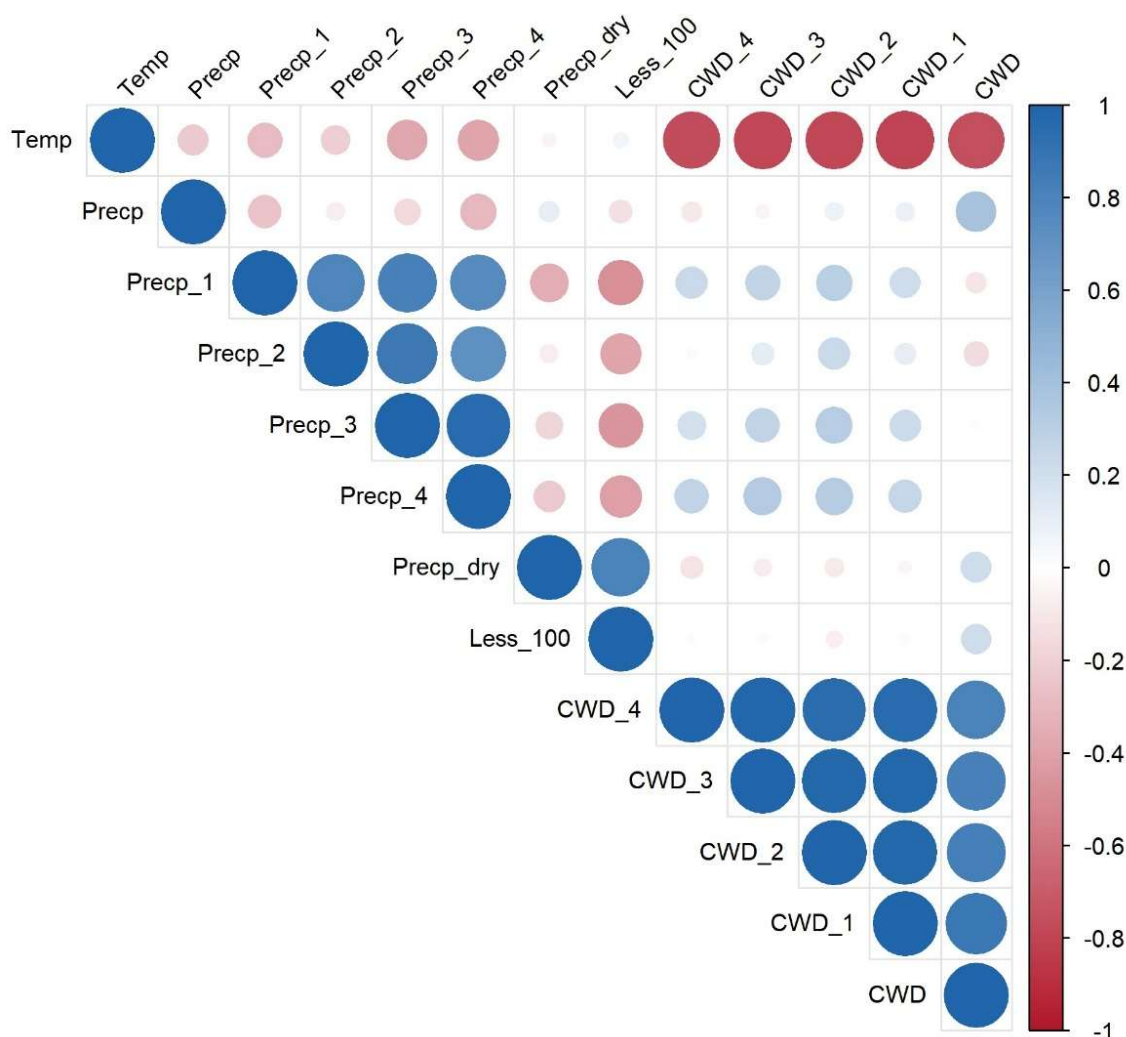


Figura S2. Correlação de Spearman para variáveis climáticas. Temp – temperatura média anual; Precp – precipitação do ano de inventário; Precp_1 – precipitação do ano anterior ao inventário; Precp_2 – média da precipitação de dois anos anteriores ao inventário; Precp_3 – média da precipitação de três anos anteriores ao inventário; Precp_4 – média da precipitação de quatro anos anteriores ao inventário; Precp_dry – precipitação total dos três meses mais secos do ano de inventário; Less_100 – número de meses com menos 100 mm de chuva; CWD – déficit hídrico climático no ano de inventário; CWD_1 – déficit hídrico climático no ano anterior; CWD_2 – média de déficit hídrico climático dos dois anos anteriores ao inventário; CWD_3 – média de déficit hídrico climático dos três anos anteriores ao inventário; CWD_4 – média de déficit hídrico climático dos quatro anos anteriores ao inventário.

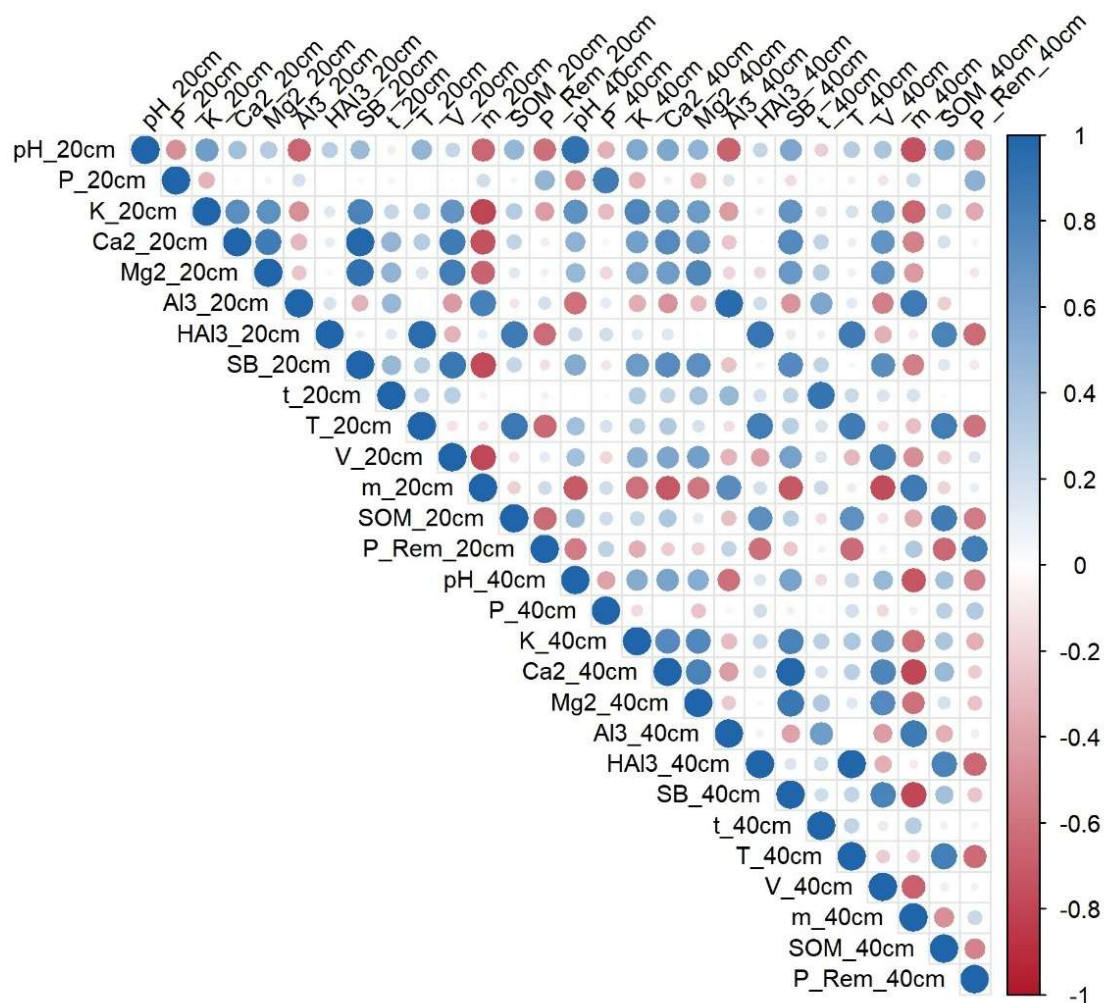


Figura S3. Correlação de Spearman para as variáveis edáficas de pH do solo em água, cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+}), acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), capacidade de troca catiônica total (T) e efetiva (t), saturação por bases (V), fósforo disponível (P), fósforo remanescente em solução (P-res) e matéria orgânica do solo (MO), nas profundidades de 0-20cm e 20-40 cm.

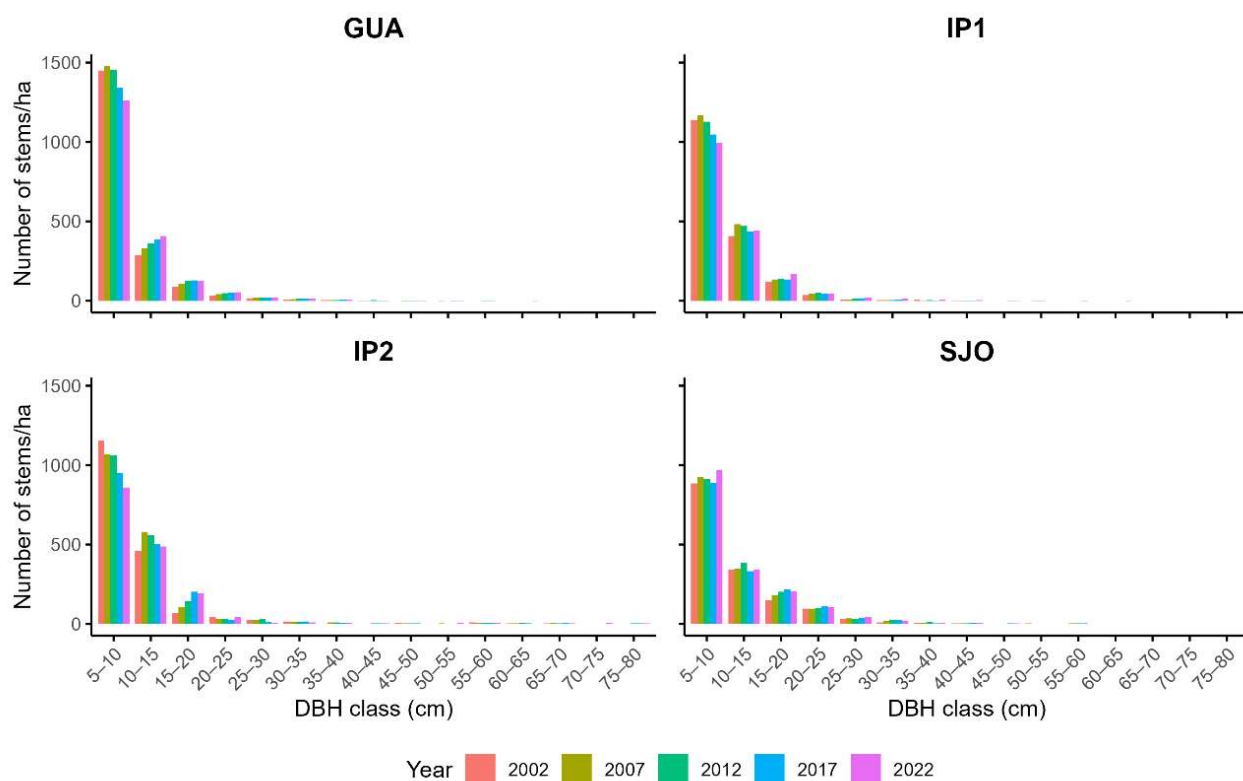


Figura S4. Distribuição do número de fustes por classe diamétrica durante 20 anos de monitoramento (2002 a 2022), em quatro fragmentos da Mata Atlântica em Minas Gerais, Brasil.

Tabela S2. Estimativas dos coeficientes dos modelos lineares mistos para a dinâmica líquida da abundância (DLA) das classes de deciduidade (decíduas, semidecíduas e perenes), considerando variáveis climáticas, edáficas e de paisagem. São apresentados os coeficientes estimados (Estimativa), erro padrão (SE), valor t (t_value), valor de p associado ao teste de Wald (p_Wald) e os intervalos de confiança (IC_low e IC_high). A coluna Signif indica o nível de significância dos efeitos (* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; . p < 0,10; ns = não significativo)

Índice	Grupo	Variável	Estimativa	SE	t_value	p_Wald	IC_low	IC_high	Signif
DLA_dec	Climatic	CWD_1	0,00058763	0,00161085	0,36479249	0,71526631	-0,00206222	0,00323747	ns
		Precp	-0,00009191	0,00310735	-0,02957900	0,97640281	-0,00520350	0,00501968	ns
		Precp_4	0,00053141	0,00376565	0,14112079	0,88777452	-0,00566309	0,00672591	ns
		Precp_Dry	0,10542593	0,05370018	1,96323245	0,04961917	0,01708914	0,19376272	*
		Temp	0,09069169	0,37565094	0,24142542	0,80922541	-0,52725411	0,70863749	ns
	Edaphic	Al3	-2,07175288	1,40543537	-1,47410042	0,14045455	-4,38369407	0,24018831	ns
		HA13	-0,25443074	0,28860006	-0,88160319	0,37799143	-0,72917784	0,22031637	ns
		P	-34,48647157	102,77863160	-0,33554126	0,73721683	-203,55732055	134,58437741	ns
		P_Rem	-0,04602637	0,09554701	-0,48171441	0,63000884	-0,20320120	0,11114846	ns
		SB	-0,02678440	0,81748131	-0,03276455	0,97386235	-1,37154115	1,31797234	ns
		pH	-1,25371840	1,76142429	-0,71176400	0,47661093	-4,15126135	1,64382455	ns
	Landscape	Age_Aban	-0,02137270	0,04981427	-0,42904786	0,66788840	-0,10331717	0,06057176	ns
		BA	-0,00414469	0,01213711	-0,34148889	0,73273557	-0,02411023	0,01582086	ns
		Edge_Distance	-0,00769833	0,00549455	-1,40108519	0,16118860	-0,01673686	0,00134020	ns
		Elevation	0,00027150	0,00220014	0,12339970	0,90179060	-0,00334774	0,00389073	ns
		FC_2002_2000m	-0,00059856	0,01112877	-0,05378536	0,95710617	-0,01890539	0,01770826	ns
		Forest_Size	0,00138372	0,00593429	0,23317429	0,81562607	-0,00837819	0,01114563	ns
DLA_perene	Climatic	CWD_1	-0,00061034	0,00139454	-0,43766394	0,66162991	-0,00290435	0,00168367	ns
		Precp	0,00558860	0,00277002	2,01752862	0,04364038	0,00103191	0,01014529	*
		Precp_4	-0,00347131	0,00335624	-1,03428493	0,30100298	-0,00899233	0,00204971	ns
		Precp_Dry	0,00100897	0,04898950	0,02059573	0,98356815	-0,07957875	0,08159670	ns
		Temp	-0,38313755	0,32779035	-1,16884938	0,24246432	-0,92235267	0,15607758	ns

Índice	Grupo	Variável	Estimativa	SE	t_value	p_Wald	IC_low	IC_high	Signif
DLA_semi	Edaphic	Al3	2,26700475	1,18000577	1,92118107	0,05470888	0,32589526	4,20811425	.
		HA13	0,24858703	0,24274830	1,02405257	0,30581044	-0,15073394	0,64790799	ns
	Edaphic	P	196,76330903	85,97705066	2,28855616	0,02210515	55,33106070	338,19555736	*
		P_Rem	0,20186185	0,07983700	2,52842485	0,01145756	0,07052999	0,33319371	*
		SB	-0,62891426	0,68776055	-0,91443781	0,36048684	-1,76028036	0,50245185	ns
		pH	5,66329964	1,47438367	3,84113021	0,00012247	3,23793851	8,08866077	***
	Landscape	Age_Aban	0,05707996	0,04272732	1,33591260	0,18157784	-0,01320648	0,12736640	ns
		BA	-0,01690838	0,01040143	-1,62558250	0,10403850	-0,03401872	0,00020197	ns
		Edge_Distance	0,00663514	0,00469109	1,41441189	0,15724100	-0,00108171	0,01435199	ns
		Elevation	0,00332553	0,00190170	1,74871857	0,08033968	0,00019724	0,00645383	.
		FC_2002_2000m	0,00346547	0,00958081	0,36170986	0,71756886	-0,01229496	0,01922591	ns
		Forest_Size	-0,00956466	0,00510317	-1,87425964	0,06089465	-0,01795937	-0,00116995	.
	Climatic	CWD_1	-0,00037799	0,00081537	-0,46358379	0,64294597	-0,00171928	0,00096329	ns
		Precp	0,00056156	0,00164694	0,34097220	0,73312451	-0,00214766	0,00327078	ns
		Precp_4	0,00329253	0,00199424	1,65101991	0,09873451	0,00001201	0,00657305	.
		Precp_Dry	0,05794475	0,02952676	1,96244849	0,04971029	0,00937323	0,10651627	*
		Temp	0,09878185	0,19257798	0,51294467	0,60799003	-0,21800893	0,41557262	ns
	Edaphic	Al3	0,44324493	0,70728464	0,62668536	0,53086550	-0,72023830	1,60672817	ns
		HA13	0,08722385	0,14539035	0,59992878	0,54855370	-0,15194327	0,32639097	ns
		P	3,66133404	51,61279337	0,07093850	0,94344670	-81,24171106	88,56437913	ns
		P_Rem	0,12787602	0,04794932	2,66689970	0,00765545	0,04899939	0,20675264	**
		SB	-0,64568936	0,41189291	-1,56761463	0,11697109	-1,32325319	0,03187448	ns
		pH	1,13228786	0,88486658	1,27961422	0,20068085	-0,32331766	2,58789339	ns
	Landscape	Age_Aban	-0,02034992	0,02488140	-0,81787691	0,41342748	-0,06127983	0,02057998	ns
		BA	-0,00703407	0,00606747	-1,15930984	0,24632991	-0,01701506	0,00294691	ns
		Edge_Distance	-0,00070403	0,00275421	-0,25561754	0,79824617	-0,00523471	0,00382666	ns
		Elevation	-0,00007697	0,00109320	-0,07041103	0,94386651	-0,00187528	0,00172134	ns
		FC_2002_2000m	0,01046330	0,00554443	1,88717212	0,05913718	0,00134271	0,01958388	.

Índice	Grupo	Variável	Estimativa	SE	t_value	p_Wald	IC_low	IC_high	Signif
		Forest_Size	-0,00094660	0,00295887	-0,31991983	0,74902910	-0,00581394	0,00392074	ns

Tabela S3. Estimativas dos coeficientes dos modelos lineares mistos para a dinâmica líquida da biomassa (DLB) das classes de decíduidade (decíduas, semidecíduas e perenes), considerando variáveis climáticas, edáficas e de paisagem. São apresentados os coeficientes estimados (Estimativa), erro padrão (SE), valor t (t_value), valor de p associado ao teste de Wald (p_Wald) e os intervalos de confiança (IC_low e IC_high). A coluna Signif indica o nível de significância dos efeitos (* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001; . p < 0,10; ns = não significativo)

Índice	Grupo	Variável	Estimativa	SE	t_value	p_Wald	IC_low	IC_high	Signif
DLB_dec	Climatic	CWD_1	-0,00000043	0,00000432	-0,10027983	0,92012217	-0,00000754	0,00000667	ns
		Precp	0,00000550	0,00000635	0,86650987	0,38621062	-0,00000494	0,00001595	ns
		Precp_4	0,00000060	0,00000769	0,07829275	0,93759519	-0,00001205	0,00001326	ns
		Precp_Dry	-0,00015006	0,00009274	-1,61803552	0,10565494	-0,00030262	0,00000250	ns
		Temp	-0,00073836	0,00097828	-0,75475402	0,45039659	-0,00234763	0,00087091	ns
	Edaphic	Al3	0,00592593	0,00382888	1,54769217	0,12169643	-0,00037258	0,01222444	ns
		HA13	-0,00038667	0,00077745	-0,49736084	0,61893461	-0,00166557	0,00089223	ns
		P	0,79749768	0,29066639	2,74368729	0,00607534	0,31935147	1,27564390	**
		P_Rem	0,00002425	0,00027464	0,08830342	0,92963552	-0,00042752	0,00047603	ns
		SB	0,00148649	0,00215098	0,69107673	0,48951732	-0,00205187	0,00502485	ns
		pH	0,00964701	0,00491086	1,96442460	0,04948087	0,00156865	0,01772538	*
	Landscape	Age_Aban	0,00004030	0,00011678	0,34514366	0,72998637	-0,00015179	0,00023240	ns
		BA	0,00010937	0,00003133	3,49118057	0,00048089	0,00005784	0,00016091	***
		Edge_Distance	0,00002667	0,00001502	1,77587368	0,07575374	0,00000197	0,00005137	.
		Elevation	0,00000018	0,00000499	0,03668184	0,97073869	-0,00000802	0,00000839	ns
		FC_2002_2000m	-0,00000872	0,00002632	-0,33133401	0,74039220	-0,00005202	0,00003457	ns
		Forest_Size	-0,00000470	0,00001417	-0,33168585	0,74012648	-0,00002801	0,00001861	ns

Índice	Grupo	Variável	Estimativa	SE	t_value	p_Wald	IC_low	IC_high	Signif
DLB_perene	Climatic	CWD_1	0,00000300	0,00000247	1,21195903	0,22552806	-0,00000107	0,00000706	ns
		Precp	0,00000416	0,00000439	0,94707450	0,34360082	-0,00000306	0,00001138	ns
		Precp_4	0,00000363	0,00000530	0,68435408	0,49375161	-0,00000509	0,00001234	ns
		Precp_Dry	-0,00001152	0,00007145	-0,16125013	0,87189640	-0,00012907	0,00010602	ns
		Temp	0,00162290	0,00056605	2,86704647	0,00414322	0,00069174	0,00255405	**
	Edaphic	Al3	0,00094523	0,00217119	0,43534869	0,66330935	-0,00262639	0,00451684	ns
		HA13	-0,00030196	0,00044166	-0,68369688	0,49416660	-0,00102849	0,00042457	ns
		P	-0,11629288	0,16253703	-0,71548543	0,47430914	-0,38366630	0,15108054	ns
	Edaphic	P_Rem	0,00000786	0,00015242	0,05154828	0,95888863	-0,00024287	0,00025859	ns
		SB	0,00041715	0,00124109	0,33611466	0,73678441	-0,00162444	0,00245874	ns
		pH	-0,00474786	0,00276766	-1,71547810	0,08625761	-0,00930067	-0,00019506	.
DLB_perene	Landscape	Age_Aban	0,00006109	0,00007003	0,87234117	0,38302228	-0,00005411	0,00017630	ns
		BA	0,00005123	0,00001786	2,86789353	0,00413215	0,00002185	0,00008062	**
		Edge_Distance	-0,00000228	0,00000843	-0,27078578	0,78655580	-0,00001615	0,00001159	ns
		Elevation	-0,00000316	0,00000295	-1,07086546	0,28422993	-0,00000802	0,00000169	ns
		FC_2002_2000m	-0,00000488	0,00001538	-0,31733928	0,75098618	-0,00003018	0,00002042	ns
		Forest_Size	-0,00000819	0,00000828	-0,98866579	0,32282668	-0,00002182	0,00000544	ns
DLB_semi	Climatic	CWD_1	0,00000520	0,00000350	1,48697307	0,13702192	-0,00000055	0,00001095	ns
		Precp	-0,00000923	0,00000514	-1,79646537	0,07242054	-0,00001769	-0,00000078	.
		Precp_4	-0,00000770	0,00000623	-1,23652334	0,21626409	-0,00001795	0,00000254	ns
		Precp_Dry	0,00008228	0,00007508	1,09590855	0,27311880	-0,00004123	0,00020579	ns
		Temp	0,00142580	0,00079196	1,80033770	0,07180733	0,00012302	0,00272858	.
	Edaphic	Al3	0,00373991	0,00315586	1,18506787	0,23599061	-0,00145148	0,00893131	ns
		HA13	0,00020848	0,00064079	0,32534487	0,74492007	-0,00084562	0,00126258	ns
		P	-0,23307144	0,23957491	-0,97285410	0,33062582	-0,62717217	0,16102930	ns
		P_Rem	-0,00010183	0,00022636	-0,44985417	0,65281560	-0,00047419	0,00027054	ns
		SB	0,00216872	0,00177289	1,22326587	0,22122929	-0,00074769	0,00508513	ns
		pH	0,00186234	0,00404766	0,46010406	0,64544153	-0,00479606	0,00852075	ns

Índice	Grupo	Variável	Estimativa	SE	t_value	p_Wald	IC_low	IC_high	Signif
		Age_Aban	0,00004665	0,00009566	0,48770195	0,62576097	-0,00011070	0,00020401	ns
		BA	-0,00000288	0,00002566	-0,11203859	0,91079281	-0,00004509	0,00003934	ns
	Landscape	Edge_Distance	-0,00002874	0,00001230	-2,33662024	0,01945894	-0,00004898	-0,00000851	*
		Elevation	-0,00000433	0,00000409	-1,06071920	0,28881753	-0,00001106	0,00000239	ns
		FC_2002_2000m	-0,00004730	0,00002156	-2,19385436	0,02824588	-0,00008276	-0,00001183	*
		Forest_Size	0,00001465	0,00001161	1,26259823	0,20673361	-0,00000444	0,00003375	ns

Tabela S4. Desempenho dos modelos lineares mistos ajustados para a dinâmica líquida da abundância (DLA) e da biomassa (DLB) das classes de decíduidade (decíduas, semidecíduas e perenes), considerando conjuntos de variáveis climáticas, edáficas e de paisagem. São apresentados o coeficiente de determinação marginal (R^2 marginal), que representa a variância explicada apenas pelos efeitos fixos, o coeficiente de determinação condicional (R^2 condicional), que inclui efeitos fixos e aleatórios, e o Critério de Informação de Akaike (AIC). Valores ausentes de R^2 condicional indicam modelos com variância nula associada aos efeitos aleatórios

Índice	Grupo	Modelo	R2_marginal	R2_condicional	AIC
DLA_dec	Climatic	DLA_dec_Climatic	0,057	0,224	1406,456
	Edaphic	DLA_dec_Edaphic	0,021	0,260	1358,835
	Landscape	DLA_dec_Landscape	0,010	0,266	1421,689
DLA_perene	Climatic	DLA_perene_Climatic	0,092	0,291	1346,632
	Edaphic	DLA_perene_Edaphic	0,075	0,355	1287,760
	Landscape	DLA_perene_Landscape	0,040	0,337	1358,172
DLA_semi	Climatic	DLA_semi_Climatic	0,077	0,305	1125,465
	Edaphic	DLA_semi_Edaphic	0,040	0,306	1077,600
	Landscape	DLA_semi_Landscape	0,044	0,262	1137,769
DLB_dec	Climatic	DLB_dec_Climatic	0,019		-1014,230
	Edaphic	DLB_dec_Edaphic	0,051		-1058,027
	Landscape	DLB_dec_Landscape	0,089		-1006,112
DLB_perene	Climatic	DLB_perene_Climatic	0,065	0,147	-1259,762
	Edaphic	DLB_perene_Edaphic	0,055	0,102	-1293,478
	Landscape	DLB_perene_Landscape	0,093	0,120	-1241,147
DLB_semi	Climatic	DLB_semi_Climatic	0,046		-1101,278
	Edaphic	DLB_semi_Edaphic	0,043		-1137,284
	Landscape	DLB_semi_Landscape	0,093		-1087,901