

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

Critérios e indicadores para a restauração ecológica

Cislaine Paula de Oliveira

São João del-Rei

2025

Crislaine Paula de Oliveira

Critérios e indicadores para a restauração ecológica

Orientadora: Dra. Gislene Carvalho de Castro

Coorientadora: Dra. Iola Gonçalves Boechat

Coorientador: Dr. Sérgio Gualberto Martins

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

São João del-Rei

2025

Nome: Crislaine Paula de Oliveira

Título: Critérios e indicadores para a restauração ecológica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

Aprovado em: 25/02/2025

Banca examinadora:

Prof. Dra. Gislene Carvalho de Castro (Orientadora)

Universidade Federal de São João del-Rei

Prof. Dr. Cleber José da Silva (Membro titular)

Universidade Federal de São João del-Rei

Prof. Dr. Evandro Luiz Mendonça Machado (Membro titular)

Universidade Federal do Vales Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Dr. André Flávio Soares Ferreira Rodrigues (Membro Suplente)

Universidade Federal de São João del-Rei – UFSJ


Prof. Dra. Anne Priscila Dias Gonzaga (Membro suplente)


Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM





PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL – REI / UFSJ
ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO – M.Sc.

Aos vinte e cinco dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e cinco, às 14 horas, na Universidade Federal de São João del - Rei, instalou-se a banca examinadora de dissertação de mestrado da aluna Crislaine Paula de Oliveira. A banca examinadora foi composta pelo professor Dr. Evandro Luiz Mendonça Machado, UFVJM, examinador externo, pelo professor Cleber José da Silva, UFSJ, examinador interno, pela professora Gislene Carvalho de Castro, UFSJ, orientadora. Deu-se início a abertura dos trabalhos, por parte da professora Gislene Carvalho de Castro, que, após apresentar os membros da banca examinadora e esclarecer a tramitação da defesa, solicitou à candidata que iniciasse a apresentação da dissertação, intitulada “**Critérios e indicadores para a restauração ecológica**”, marcando um tempo de cinquenta minutos para a apresentação. Concluída a exposição, a Professora Gislene Carvalho de Castro passou a palavra ao examinador externo, Evandro Luiz Mendonça Machado, para arguir a candidata e, em seguida, para o examinador interno, Cleber José da Silva, para que fizesse o mesmo. Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, a candidata foi APROVADA conforme as normas vigentes na Universidade Federal de São João del – Rei. A versão final da dissertação deverá ser entregue ao programa no prazo de 30(trinta) dias, a contar da data de defesa, contendo as modificações sugeridas pela banca examinadora e constante na folha de correção anexa, conforme o artigo 97 da Resolução CONEP Nº 001, de 15 de março de 2023. A candidata não terá o título se não cumprir as exigências acima descritas.

Documento assinado digitalmente
 GISENE CARVALHO DE CASTRO
Data: 27/02/2025 20:05:20-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 Cleber José da Silva
Data: 27/02/2025 21:15:37-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 EVANDRO LUIZ MENDONÇA MACHADO
Data: 28/02/2025 08:34:25-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 CRISLAINE PAULA DE OLIVEIRA
Data: 28/02/2025 09:11:01-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Oliveira, Crislaine Paula de.
0932c Critérios e indicadores para a restauração
ecológica / Crislaine Paula de Oliveira ;
orientadora Gislene, Carvalho de Castro;
coorientador Iola, Gonçalves Boechat; Sérgio,
Gualberto Martins . -- São João del-Rei, 2025.
77 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em
Ecologia) -- Universidade Federal de São João del
Rei, 2025.

1. indicadores ecológicos. 2. roda da recuperação.
3. sucesso na restauração. 4. áreas degradadas. 5.
ecologia da restauração. I. Carvalho de Castro,
Gislene, , orient. II. , Iola, Gonçalves Boechat;
Sérgio, Gualberto Martins , co-orient. III. Título.

Financiamentos:



Universidade Federal
de São João del-Rei

Apoio e colaborações:



Universidade Federal
de São João del-Rei



Agradecimentos

A concretização desta dissertação é fruto de um trabalho árduo, mas também de muita colaboração. Chegar até aqui não teria sido possível sem o apoio incondicional de pessoas especiais, a quem dedico este espaço de agradecimento.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao João Batista, um visionário que dedicou sua vida a causas ambientais. Sua força, dedicação e amor pelo meio ambiente me inspiraram profundamente. Agradeço por ter me permitido compartilhar momentos tão especiais ao seu lado e de Irani, que ficarão eternizados para sempre em minha memória. Sua paixão foi fundamental para a implementação do projeto de restauração e transformação dessa área em RPPN. Sou grata por ter a oportunidade de acompanhar o desenvolvimento da área em processo de restauração desde o início até a finalização desta pesquisa em sua propriedade.

Aos meus orientadores, Gislene, Sérgio e Iola, agradeço pela inspiração, pelos ensinamentos, apoio e por me guiarem nos momentos de dificuldade. Sou grata, em especial, à professora Gislene, por ser a dona daquele abraço acolhedor que sempre me trouxe tranquilidade durante minha trajetória acadêmica.

Ao Dr. Björn Gücker pela disponibilidade em realizar o trabalho laboratorial para as análises de alguns indicadores de solo e ao Dr. Warley Caldas pela contribuição nas identificações botânicas.

Aos integrantes do LEVIN, em especial a Karen e Estela, pela dedicação nos trabalhos de campo e de laboratório, ao Samuel por toda ajuda ao longo trabalho e ao Júlio pela produção dos mapas para a dissertação. Sou grata aos integrantes do LABLIMNO pela acolhida e por me ajudarem com tanta dedicação no preparo das amostras de solo.

Ao ICMBIO, IEF e projeto social CAC, em especial, ao Paulão pela parceria e apoio.

Gratidão a todos os professores do PGE pelo aprendizado e contribuição para minha formação. Aos colegas de mestrado pelo apoio e companheirismo durante este período. À FAPEMIG, pela bolsa concedida, que possibilitou a finalização desta pesquisa.

Aos meus pais, Elisangela e Itamar, pelo amor incondicional e por acreditarem no meu potencial. Ao meu irmão, Ygor, pelas mensagens de apoio, e à minha avó, Silvia, por todo carinho e amor compartilhado nos momentos em que eu mais precisei. Ao meu cunhado André por emprestar em diversos momentos seu carro para que eu conseguisse realizar meu trabalho de campo.

Ao meu companheiro, Adriano, por estar sempre ao meu lado, me incentivando e me dando força para alcançar meus objetivos. Sou grata por sua ajuda no trabalho de campo, por sua compreensão nos momentos em que eu estive ausente e por sua paciência nos momentos de maior estresse.

Por fim, agradeço a mim, por ter me mantido resiliente ao longo de toda essa trajetória.

Sumário	
Resumo	13
Abstract	14
Introdução	15
Metodologia.....	17
Caracterização das áreas	17
Atributos e indicadores ecológicos escolhidos para a avaliação	20
Coleta dos dados	21
a) Indicadores de Composição, Estrutura e Funcionalidade arbustivo-arbóreo .	21
b) Chuva de sementes.....	22
c) Indicadores das condições do solo	23
Análise de dados	23
Resultados	25
A abundância, riqueza, diversidade e composição arbustiva-arbórea	25
Indicadores estruturais	29
Indicadores funcionais	32
Chuva de sementes.....	36
Condições do solo	40
Notas de todos indicadores de autossustentação.....	41
Discussão	46
Conclusões.....	56
Referências bibliográficas.....	57
Anexos.....	66

Lista de figuras

- Figura 1. Representação dos limites da Floresta Nacional de Ritópolis, com a indicação da localização dos respectivos estágios sucessionais. 18
- Figura 2. Representação da RPPN – Unidade Avançada de Meio Ambiente Sítio Córrego Seco ao longo dos anos, sendo o primeiro momento ainda apresentando erosão (2014), segundo momento após a implementação de um projeto de Recuperação (2017) e o terceiro após a implementação de um projeto de Restauração Ecológica de Ecossistemas (2023). 19
- Figura 3. Curva de rarefação apresentando a riqueza de espécies, baseado no número de indivíduos arbustivo-arbóreos encontrados nas áreas. 25
- Figura 4. Curva de rarefação apresentando a diversidade de Shannon e diversidade de Simpson, baseado no número de indivíduos arbustivo-arbóreos encontrados nas áreas. 26
- Figura 5. Diagrama de Venn com o número de espécies nos estágios inicial, intermediário, avançado e restauração, apresentando o número de espécies exclusivas e compartilhadas entre as áreas..... 28
- Figura 6. Dendrograma de dissimilaridade de Bray-Curtis da composição florística da área em restauração (RE), estágio inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV). 29
- Figura 7. Porcentagem de indivíduos classificados por classes de altura (estrato inferior $\leq 2,5$, estrato médio $> 2,5 - 11,3 <$, estrato superior $\geq 11,3$) encontrados na área de restauração (RE), inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV). 30
- Figura 8. Porcentagem de indivíduos classificados por classes de diâmetro (estrato inferior $10 \text{ cm} <$, estrato médio $\geq 10 - 20 \text{ cm} <$, estrato superior $\geq 20 \text{ cm}$) encontrados na área de restauração (RE), inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV). 31
- Figura 9. Média das porcentagens de cobertura de copa, com o respectivo desvio padrão, das áreas restauração (RE), inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV). 32

Figura 10. Porcentagem das síndromes de dispersão (A) e de grupos funcionais (B) dos indivíduos encontrados no estágio inicial (EIC), intermediário (EIT), avançado (EAV) e de restauração (RE).	33
Figura 11. Número de espécies em período de floração (A) e número de espécies em período de frutificação (B), no estágio inicial, intermediário, avançado e de restauração.	34
Figura 12. Porcentagem da frequência de classes de tamanho de fruto nas áreas restauração (RE), inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV).	35
Figura 13. Porcentagem da frequência de cores de flores encontradas na restauração (RE), inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV).	35
Figura 14. Curva de rarefação apresentando a riqueza de espécies, baseado no número de diásporos da chuva de sementes encontrados nas áreas.	37
Figura 15. Curva de rarefação apresentando a diversidade de Shannon e diversidade de Simpson, baseado no número de diásporos da chuva de sementes encontrados nas áreas.	37
Figura 16. Dendrograma de dissimilaridade de Bray-Curtis produzido por análise de agrupamento da composição da chuva de sementes na área em restauração (RE), estágio inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV).	39
Figura 17. Porcentagem da síndrome de dispersão encontrados na área de restauração (RE), inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV).	40
Figura 18. Representação gráfica das notas dos indicadores ecológicos da área em restauração em relação aos três estágios sucessionais de referência. TU: Teor de umidade, DSO: densidade do solo, MOS: matéria orgânica do solo, CSO: Carbono do solo, ICSO: razão isotópica d13C/12C do solo, NSO: nitrogênio do solo, INSO: razão isotópica d15N/14N do solo, RCNSO: razão carbono e nitrogênio do solo, MOSE: matéria orgânica da serrapilheira, CSE: carbono da serrapilheira, ICSE: razão isotópica d13C/12C da serrapilheira, NSE: nitrogênio da serrapilheira, INSE: razão isotópica d15N/14N da	

serrapilheira, RCNSE: razão carbono e nitrogênio da serrapilheira, ASE: aporte de serrapilheira, DEC: decomposição, ECS: estoque de carbono do solo, AL: altura da vegetação, DAP: diâmetro altura do peito, COB: cobertura de copa, PI: pioneiras, NPI: não pioneiras, ANF: anemocórica flora, NAF: não anemocórica flora, AF: abundância flora, RF: riqueza flora, DSF: diversidade de Shannon flora, EPF: equitabilidade de Pielou flora, RS: riqueza sementes, AS: abundância sementes, DSS: diversidade de Shannon sementes, EPS: equitabilidade de Pielou sementes, DG: diásporos grandes, DP: diásporos pequenos, ANS: anemocórica sementes, NAS: não anemocórica sementes.. 46

Lista de tabelas

Tabela 1. Apresentação dos princípios, atributos, indicadores e verificadores que serão avaliados nos estágios de sucessão e na Área em processo de Restauração Ecológica, com as respectivas bases metodológicas e/ou fonte de dados a serem utilizados.	20
Tabela 2. Índices de diversidade alfa para as áreas amostradas.	26
Tabela 3. Valores de p para o teste t de Hutcheson do índice de diversidade de Shannon.	27
Tabela 4. Índices de diversidade alfa da chuva de sementes para as áreas amostradas.....	38
Tabela 5. Valores de p para o teste t de Hutcheson do índice de diversidade de Shannon para a chuva de sementes.	38
Tabela 6. Número e porcentagem de diásporos por classe de tamanho.	39
Tabela 7. Média dos indicadores das condições do solo com o respectivo desvio padrão (\pm) das áreas. Letras comparam os valores em linha, de acordo com o teste de Tukey e Games Howell a 95% de confiança.	41
Tabela 8. Delimitação dos valores atribuídos para cada indicador ecológico, com a média e o desvio padrão e a nota da área em restauração em relação aos estágios sucessionais de referência. Restauração (RE), inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV)....	42

Resumo

A restauração é a forma mais simples e eficiente para amenizar os efeitos das mudanças climáticas, por ter a capacidade de reverter condições de degradação por meio do restabelecimento da biodiversidade e das funções ecossistêmicas. No entanto, apenas a implementação de técnicas e estratégias não garante o sucesso da restauração, é preciso avaliar a trajetória da área para compreender se está sendo em direção a autossustentação do ecossistema ou se ainda existe a necessidade de futuras intervenções. Assim, tendo como princípio que o sucesso da restauração está associado ao conjunto de indicadores ecológicos que exercem funções fundamentais para o restabelecimento desse novo ecossistema, foi realizado a comparação de um conjunto de indicadores ecológicos relacionados à composição, estrutura, função da comunidade arbustiva-arbórea, chuva de sementes e condições do solo entre uma área em processo de restauração e uma áreas em três diferentes estágios de sucessão, baseado no sistema 5 estrelas da roda da recuperação. A análise dos indicadores revelou que embora a área de restauração apresente maior semelhança com o estágio inicial, ainda existem atributos que obtiveram notas insatisfatórias. Esses resultados demonstram que a área em processo de restauração ainda não recuperou todo seu potencial de autossustentação, sendo recomendado a intervenção pontual para restabelecer alguns atributos necessários para a manutenção da área. Nossas descobertas indicam que o método utilizado é eficiente para avaliar de forma ampla e integrada os componentes essenciais para a autossustentação da área, fornecendo informações valiosas sobre as tendências de mudança.

Palavras-chave: indicadores ecológicos, roda da recuperação, sucesso na restauração, áreas degradadas, ecologia da restauração.

Abstract

Restoration is the simplest and most effective way to mitigate the effects of climate change, as it can reverse degradation by restoring biodiversity and ecosystem functions. However, the implementation of techniques and strategies alone does not guarantee restoration success. It is necessary to assess the trajectory of the area to understand whether it is moving towards functional self-sustainability or whether there is still a need for future intervention. Therefore, based on the principle that the success of restoration is linked to a set of ecological indicators that play a fundamental role in the re-establishment of this new ecosystem, we compared a set of ecological indicators related to the composition, structure, and function of the shrub-tree community, seed rain, and soil conditions of an area in the process of restoration with areas in three different stages of succession, based on the five-star system of the recovery wheel. Analysis of the indicators showed that although the restoration area was more similar to the initial stage, there were still attributes that received unsatisfactory scores. These results indicate that the restored area has not yet regained its full potential for self-sustainability, and specific interventions are recommended to restore some of the attributes needed to sustain the area. Analyzing the indicators revealed that although the restoration area bears greater resemblance to the initial stage, there are still attributes that received unsatisfactory scores. These results show that the area in the process of restoration has not yet recovered its full potential for self-sustainability, and specific intervention is recommended to re-establish some of the attributes needed to maintain the area. Our findings indicate that the method used proved to be efficient in assessing the essential components for the area's self-sustainability in a broad and integrated way, providing valuable information on trends of change.

Keywords: ecological indicators, recovery wheel, restoration success, degraded areas, restoration ecology.

Introdução

A influência dos seres humanos nos diferentes aspectos dos ecossistemas tem resultado na destruição, fragmentação e substituição de seus ecossistemas naturais, e tal efeito tem ocasionado escalas alarmantes de degradação ambiental (Oliveira & Engel, 2017; Holl, 2023). Em 2023, o mundo registrou a terceira maior perda de cobertura florestal, atingindo 11,9 milhões de megahectares devastados (Ripple *et al.*, 2024). Essa problemática acarreta perdas irreparáveis de serviços ecossistêmicos essenciais à vida no planeta. Assim, compromissos ambiciosos vêm surgindo nas últimas décadas com apoio de diversos setores da sociedade, como o desafio de Bonn e o projeto arco da Restauração na Amazônia. Também foi proclamada em assembleia geral das nações unidas (ONU), a década da restauração de ecossistemas (2021-2030). Essas iniciativas buscam reverter condições de degradação e se beneficiar dos múltiplos serviços que o ecossistema proporciona, como mitigação climática, manutenção da biodiversidade, regulação da água e qualidade do ar, polinização, segurança alimentar e regulação dos processos erosivos do solo (Santos *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2024; Ripple *et al.*, 2024).

A restauração é a forma mais simples e eficiente para amenizar os efeitos das mudanças climáticas (Zanini *et al.*, 2021), por sua capacidade de reverter condições de degradação por meio do restabelecimento da biodiversidade e das funções ecossistêmicas (SER, 2004; Rodrigues, 2013; Wortley, *et al.*, 2013; Holl, 2023). No entanto, apenas a implementação de técnicas e estratégias não garante a restauração da área, é preciso monitorar e quantificar as mudanças na comunidade biótica (Piaia *et al.*, 2021; Casimiro *et al.*, 2022) para compreender qual a trajetória da área, se está sendo em direção a autossustentação ou se ainda existe a necessidade de futuras intervenções (McDonald *et al.*, 2016; Nogueira, 2017; Pereira *et al.* 2024).

Nesse sentido, apesar do grande avanço nas práticas e técnicas envolvidas na restauração ecológica, por conta da complexidade desses sistemas, ainda é necessário esforço contínuo de pesquisa para compreender os mecanismos que impulsionam a reconstrução ecológica e que otimizam as práticas de restauração (Brancalion *et al.*, 2013; Zupo, *et al.* 2022), principalmente relacionadas aos procedimentos de avaliação do sucesso da restauração (Santos *et al.* 2021; Oliveira *et al.* 2022). Para isso, têm-se utilizado tanto florestas maduras quanto secundárias como metas intermediárias (Londe *et al.* 2020). Apesar de áreas de referência não serem um modelo possível de ser recriado

ou copiado, eles são capazes de fornecer informações sobre os caminhos que a restauração percorre, dando projeção do tempo necessário para atingir valores satisfatórios de naturalidade, o que de certo modo reflete na eficácia das ações realizadas (Rodrigues, *et al.*, 2009; Nogueira, 2017).

As formas de se avaliar o sucesso na restauração ecológica têm se baseado em atributos relacionados à diversidade, estrutura e processo ecológicos da comunidade vegetal (Wortley, *et al.*, 2013). Embora eles sejam fundamentais para compreensão dos aspectos ambientais desse novo ecossistema, é preciso incluir outros parâmetros para conseguir capturar as múltiplas potencialidades da área. Nosso estudo, por sua vez, adota uma abordagem mais abrangente, reunindo diversos indicadores para avaliação, como composição de espécies (Miranda *et al.*, 2019), a diversidade estrutural (Oliva *et al.*, 2018), as condições do solo (Sanglade, 2015), a chuva de sementes (Fróes *et al.*, 2020), e a cobertura do solo (Piaia *et al.*, 2021). De forma inédita, este é o primeiro trabalho que irá incluir os aspectos funcionais relacionados ao tamanho de fruto e período de frutificação, cor das flores e período de floração como forma de enxergar as potencialidades em atender diferentes polinizadores e dispersores para reconstrução da cadeia trófica.

Diante desse contexto, e tendo como princípio que o sucesso da restauração está associado ao conjunto de indicadores ecológicos que exercem funções fundamentais para o restabelecimento desse novo ecossistema, será realizada a comparação de um conjunto de indicadores ecológicos entre uma área em processo de restauração e outras áreas em três diferentes estágios de sucessão, baseado no sistema 5 estrelas da roda da recuperação proposto por McDonald *et al.* (2016).

Desta forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial de autossustentação de uma área em processo de Restauração Ecológica em relação a três diferentes estágios de sucessão como áreas de referência. Com o intuito de responder as seguintes questões: I- A abundância, riqueza, diversidade e composição arbustiva-arbórea foi restaurada? II- A integridade da estrutura da comunidade florestal foi restaurada? III- Os processos funcionais da comunidade estão sendo restaurados? IV- Os processos da chuva de sementes estão sendo restabelecidos? IV- As condições do solo foram restauradas? Espera-se que o conjunto de notas referente aos múltiplos indicadores

ecológicos da área em processo de restauração seja maior quando comparada ao estágio inicial de sucessão.

Metodologia

Caracterização das áreas

A floresta Nacional de Ritópolis foi tombada como patrimônio histórico por conta de ser o berço do mártir Alferes Joaquim José da Silva Xavier, popularmente conhecido como Tiradentes. A fazenda era produtora de açúcar e ocorria extração de ouro. Em 1948, a Fazenda do Pombal foi adquirida pelo Ministério da Agricultura, onde ocorreu atividades de produção suína e bovina. Em 1999, a Unidade de Conservação passou para a categoria de Floresta Nacional (FLONA), administrada pelo IBAMA (Machado *et al.*, 2005).

Considerando que as Unidades de Conservação apresentam maior potencial para proteção de seus limites e considerando que tanto florestas maduras quanto secundárias podem ser usadas como metas intermediárias para avaliação de áreas em processo de restauração (Londe *et al.* 2020) foram utilizados três estágios sucessionais distintos como áreas de referência localizados na Floresta Nacional de Ritópolis (Figura 1): Estágio Inicial (EIC), Estágio Intermediário (EIT) e Estágio Avançado (EAV). Os estágios sucessionais foram diferenciados conforme as observações em campo, e baseados na Resolução Conama Nº 392, de 25 de junho de 2007 e no Plano de Manejo da Unidade de Conservação. A unidade de conservação está situada na Fazenda do Pombal, zona rural do município de Ritópolis, Minas Gerais, na macrorregião do Campo das Vertentes, nas coordenadas 21°03'10" S, 44°16'41" W, com extensão de aproximadamente 89,19ha (IBAMA, 2004).

Por meio do mapa de uso e ocupação do solo encontrado no diagnóstico do plano de manejo, 8,72 ha do território foi utilizado como áreas de empréstimo e bota fora (9,78%). Essa área se localiza próximo a passagem ferroviária e a zona que se encontra a vegetação em processo inicial de sucessão ecológica (Machado *et al.*, 2005). No mesmo documento, apresenta que a UC possui em seus limites solos classificados como neossolo, argissolo, cambissolo e latossolo, porém os dois mais abundantes são cambissolo e latossolo (Machado *et al.*, 2005).

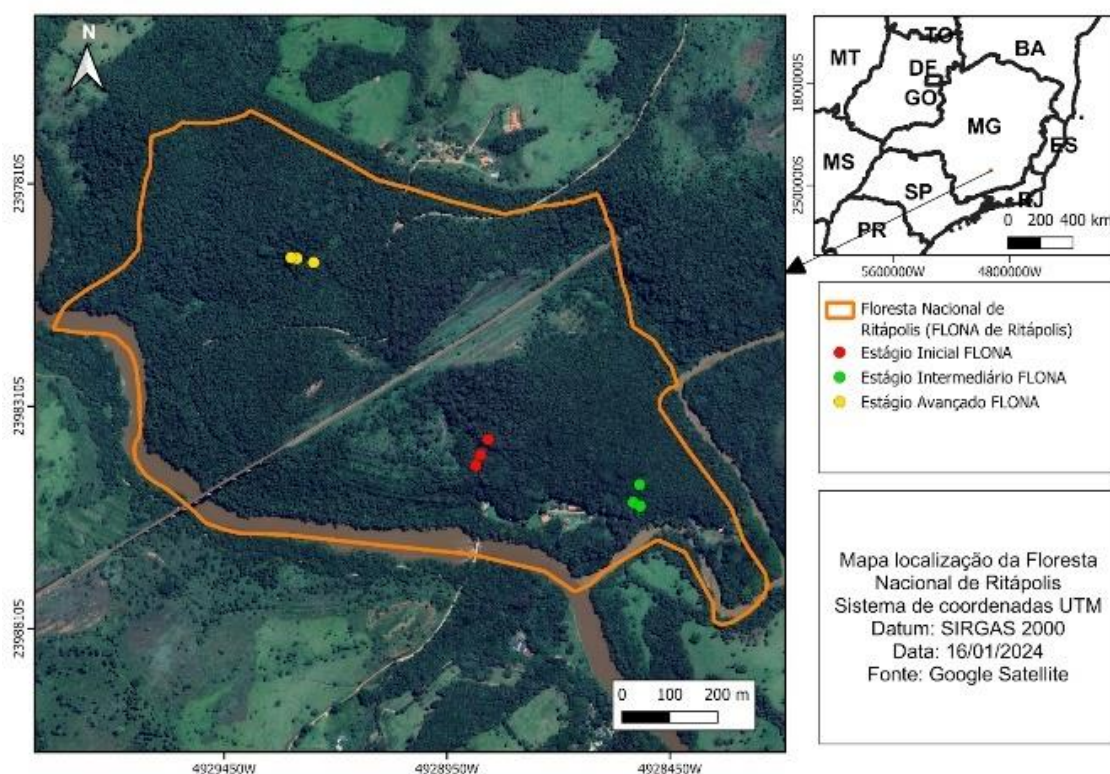


Figura 1. Representação dos limites da Floresta Nacional de Ritópolis, com a indicação da localização dos respectivos estágios sucessionais.

A área em processo de restauração (RE) está localizada em uma unidade de conservação de domínio privado denominada de Reserva Particular do Patrimônio Natural – Unidade Avançada de Meio Ambiente Sítio Córrego Seco (RPPN), situada nas coordenadas geográficas -21.264252° , -44.481951° , localizada ao lado da Ferrovia do Aço, no distrito de São Sebastião da Vitória, São João del-Rei, MG e distante aproximadamente 31 Km da FLONA (em linha reta).

Por conta da proximidade com a ferrovia do aço a área em restauração foi fortemente impactada, desde o início de sua construção em 1973. Pelo efeito crescente do processo erosivo Figura 2, o proprietário moveu ações judiciais contra a empresa que resultou na implementação de um projeto de recuperação da área. Essas intervenções antrópicas levaram a alterações expressivas dos horizontes do solo, porém nas áreas do entorno há grande ocorrência do solo da classe dos Cambissolos, classificado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (Santos *et al.*, 2018), solo este que apresenta alta susceptibilidade aos processos erosivos. Durante a fase de recobrimento do solo, a empresa utilizou algumas leguminosas e canais de drenagem de alvenaria, como

forma de amenizar os danos causados. Anos depois, devido a um incêndio criminoso, houve perda notória da vegetação ali presente. No entanto, devido ao alto poder invasivo das gramíneas exóticas, houve uma recolonização e dominância das mesmas na área, impedindo ou dificultando a regeneração natural no local. Por fim, as barreiras ecológicas que a área ainda apresentava exigiu intervenção técnica, já que apenas os processos naturais não estavam produzindo o resultado esperado.

Em dezembro de 2018, através de uma parceria entre docentes da UFSJ, e a Associação de Amigos do Projeto Criança, Adolescente, Cidadã (CAC), houve a implementação de projeto de restauração ecológica de ecossistemas na área de aproximadamente 1ha. Para isso, foram utilizados dois modelos de plantio: Linhas de Diversidade e Recobrimento, conforme metodologia proposta pela SER (2004) e Grupo de Anderson (baseado em Anderson, 1953), totalizando 2320 mudas de espécimes arbustivo-arbóreos.

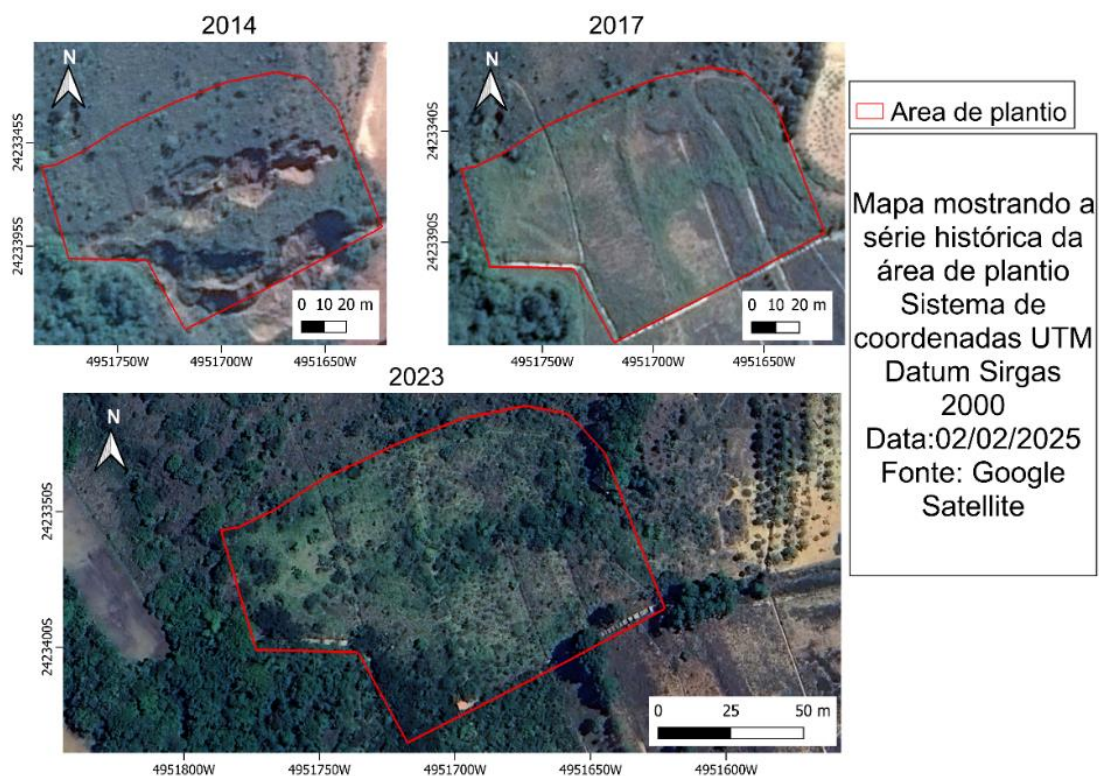


Figura 2. Representação da RPPN – Unidade Avançada de Meio Ambiente Sítio Córrego Seco ao longo dos anos, sendo o primeiro momento ainda apresentando erosão (2014), segundo momento após a implementação de um projeto de Recuperação (2017) e o terceiro após a implementação de um projeto de Restauração Ecológica de Ecossistemas (2023).

As áreas desse trabalho estão localizadas em região ecotonal dos domínios Atlântico e do Cerrado, com o predomínio da fitofisionomia descrita como Floresta Estacional Semidecidual. O clima da região, conforme Martins *et al.*, (2018), através da classificação climática de Köppen se enquadra no tipo Cwa, característico de verões chuvosos e invernos secos, com precipitações médias de 1500 mm e temperatura média anual de 20°C.

Atributos e indicadores ecológicos escolhidos para a avaliação

Com base a nortear este trabalho, foi organizado conforme a Tabela 1, os princípios que guiam o monitoramento de acordo com alguns atributos de um ecossistema restaurado (SER, 2004, McDonald *et al.*, 2016; NOGUEIRA 2017). Foram escolhidos cinco atributos-chave para avaliar áreas em processo de restauração, priorizando indicadores recomendados para áreas com plantio de 4 ou mais anos de desenvolvimento (BRANCALION *et al.*, 2013), sendo selecionado indicadores com seus respectivos verificadores. A metodologia adotada foi a mesma em todas as áreas com a finalidade de possibilitar a comparação dos valores encontrados.

Tabela 1. Apresentação dos princípios, atributos, indicadores e verificadores que serão avaliados nos estágios de sucessão e na área em processo de restauração ecológica, com as respectivas bases metodológicas e/ou fonte de dados a serem utilizados.

Princípio	Atributo	Indicador	Verificador	Baseado
<i>As condições do solo foram recuperadas?</i>	Condições do solo	Teor de umidade	Massa de água presente na amostra de solo	Viana et.al (2007) Mapeamento deste trabalho
		Matéria Orgânica	Método de perda por ignição	Serra, et al., 2007 Mapeamento deste trabalho
		Densidade	Método do cilindro volumétrico	Almeida, et al. (2017) Mapeamento deste trabalho
		Carbono	Espectrômetro de massa de razão isotópica (IRMS)	Mapeamento deste trabalho
		Nitrogênio	Espectrômetro de massa de razão isotópica (IRMS)	Mapeamento deste trabalho
		Estoque de carbono	Fórmula de VeldKamp	Veldkamp (1994) Mapeamento deste trabalho
		Aporte de serrapilheira	Quadrantes de 25x25 cm	Torres (2019)* Cristina (2024)*
		Decomposição	Método de <i>litter bag</i>	Torres (2019)* Cristina (2024)*
		<i>Os processos da chuva de sementes estão sendo restabelecidos?</i>	Fluxos externos	Chuva de sementes	Chuva de sementes	Pasini (2023)*

<i>Os processos funcionais da comunidade florestal estão restaurados?</i>	Funcionalidade da comunidade arbustivo-arbóreo	Síndrome de dispersão	% de espécies zoocóricas	Mapeamento deste trabalho
		Síndrome de dispersão	% de espécies não zoocórica	Mapeamento deste trabalho
		Flores	Cor das flores	Mapeamento deste trabalho
		Flores	Período de floração	Mapeamento deste trabalho
		Frutos	Tamanho dos diásporos	Mapeamento deste trabalho
		Frutos	Período de disponibilidade	Mapeamento deste trabalho
<i>A integridade da estrutura da comunidade florestal foi restaurada?</i>	Estrutura da comunidade arbustivo-arbóreo	Cobertura do povoamento	Classes de Diâmetro acima do peito	Reis (2020)* Mapeamento deste trabalho
		Estratificação vertical	Classes de altura média do estrato arbustivo-arbóreo	Reis (2020)* Mapeamento deste trabalho
		Cobertura florestal	Aplicativo " Canopy Capture"	Torres (2019) * Cristina (2023)*
		Densidade estrato arbustivo-arbóreo	Densidade estrato arbustivo-arbóreo	Reis (2020)*
<i>O processo sucessional e a composição de espécies estão restaurados?</i>	Composição das espécies	Grupo funcional	% de espécies pioneiras	Mapeamento deste trabalho
		Grupo funcional	% de espécies não pioneiras	Mapeamento deste trabalho
		Nativas	% de espécies nativas	Mapeamento deste trabalho
		Exóticas	% de espécies exóticas	Mapeamento deste trabalho
		Diversidade	Diversidade de Shannon e Simpson	Mapeamento deste trabalho
		Equabilidade	Equabilidade de Pielou	Mapeamento deste trabalho
		Similaridade	Bray-Curtis	Mapeamento deste trabalho

*Coletas do Laboratório de Ecologia Vegetal e Interações (LEVIN), Departamento de Ciências Naturais, UFSJ.

Fonte: Adaptado de Nogueira (2017).

Coleta dos dados

a) Indicadores de Composição, Estrutura e Funcionalidade arbustivo-arbóreo

Para o levantamento amostral foram estabelecidas 3 parcelas de área fixa com dimensões de 20x20 metros, para cada área: estágio inicial, estágio intermediário, estágio avançado e restauração. Como critério de inclusão foram medidos todos os espécimes arbustivo-arbóreos que apresentaram o perímetro altura do peito (DAP - a 1,30m do solo) igual ou maior que 3 centímetros, sendo registradas as seguintes informações: número do indivíduo, nome da espécie, DAP e altura estimada de cada indivíduo. Foram feitas

coletas botânicas para posterior identificação dos indivíduos, com ajuda de especialistas, conforme Angiosperm Phylogeny Group (2016) e Flora do Brasil (2025).

Além disso, foram classificadas todas as espécies de acordo com sua síndrome de dispersão como anemocóricas e não anemocóricas (Lorenzi, 1998), seu grupo ecológico em pioneiras e não pioneiras (Swaine MD e Whitmore TC, 1988); sua naturalidade em nativa ou exótica (Flora do Brasil, 2025) e características relacionadas ao período de floração e frutificação, tamanho dos frutos e cor das flores (Carvalho 2002, Carvalho 2003, Carvalho 2008, Carvalho 2010; Carvalho 2014). Em relação ao tamanho dos frutos, eles foram classificados em pequenos (<0,6cm), médios (0,6–1,5 cm), grandes (1,6–3,0) e muito grandes (>3,0 cm) (Tabarelli e Peres, 2002; Magno *et al.*, 2014). Já para a cor das flores, elas foram separadas de acordo com a visão humana em cor branca (incluindo tonalidades cremes e esbranquiçado), amarelo, roxa (incluindo tonalidades rosa, violeta e azuis), verde e vermelho (incluindo laranja) (Martins *et al.*, 2021). Também foram classificadas as espécies de acordo com seu *status* de ameaça, seguindo a Lista Vermelha Nacional Brasileira (Portaria MMA Nº 148, de 7 de junho de 2022) e Centro Nacional de Conservação da Flora (CNCFlora, 2025).

Para calcular a porcentagem de cobertura de copa foi utilizado o aplicativo *Canopy Capture* (Copyright, 2018), que consiste no cálculo da cobertura do dossel por meio dos pixels de cada imagem. Em cada parcela de área fixa foram delimitados três pontos equidistantes (0 m, 10m e 20 m), nos quais foram capturadas três fotos em cada ponto amostral na altura de 1,10 m em relação ao solo por meio de um tripé nivelado, sendo esta metodologia adaptada de Lusk (2022); Pinho *et al.* (2023) e Schweizer *et al.* (2024).

b) Chuva de sementes

Para a chuva de sementes, foram confeccionados coletores de sementes com tamanho 0,5 x 0,5 metros e dispostos a 30 cm do chão (Campos *et al.*, 2009 e Silva *et al.*, 2018). Foram realizadas quatro coletas em todo o período de estudo. Uma no verão, uma na primavera, uma no outono e uma no inverno. Para cada coleta, foram dispostos 3 coletores em cada parcela de área fixa de forma equidistante (0 m, 10m e 20 m) que após 15 dias foram recolhidos. Os diásporos foram classificados em anemocóricos e não anemocóricos conforme observação das características dos mesmos e ocorrência ou não de acessórios dos frutos e sementes. No laboratório, os diásporos foram quantificados,

morfotipados quando não identificados e medidos através de um paquímetro para posteriormente serem classificados em pequenos (<0,6cm), médios (0,6–1,5 cm), grandes (1,6–3,0) e muito grandes (>3,0 cm) (Tabarelli e Peres, 2002; Magno *et al.*, 2014).

c) Indicadores das condições do solo

A densidade do solo foi medida ao centro de cada parcela de área fixa por meio do método do cilindro volumétrico (Almeida *et al.*, 2017). O teor de matéria orgânica do solo e serrapilheira foram determinados pelo método de perda por ignição (Serra *et al.*, 2007), após a amostra passar pela estufa, era pesado 5g e colocado em mufla com aproximadamente 550 °C por 3 horas, a amostra remanescente foi pesada e calculada a porcentagem de MO. Para medir o teor de carbono e nitrogênio do solo e da serrapilheira, as amostras foram secas em estufa, maceradas e inseridas 5 mg (solo) e 2mg (serrapilheira), em cápsulas de estanho. Após passarem por esse processo foram submetidas ao espectrômetro de massa de razão isotópica (IRMS), localizado no laboratório de limnologia aplicada da Universidade Federal de São João del-Rei. Para analisar o estoque de carbono presente no solo foi utilizado a equação de Veldkamp (1994).

O aporte de serrapilheira foi coletado utilizando um quadrante de 25x25 cm sobre o solo, em três pontos equidistantes em cada parcela. A amostra foi submetida em estufa a 70°C até atingir o peso constante e posteriormente pesada em balança de precisão (0,001g).

A análise de decomposição foi utilizada o método de *litter bag* (Balieiro, 2004) que consiste na coleta de serrapilheira, que posteriormente é seca a 70°C até atingir o peso constante e pesada 10 g para serem inseridos em saquinhos de *nylon* com dimensão de 20x10 cm, onde é deixado em três pontos equidistantes de cada parcela por 100 dias. Após esse período, eles são recolhidos, pesados e submetidos novamente à estufa (70°C até o peso constante) e verificado o peso remanescente do material orgânico do *litter bag* (adaptado de Lagos e Marimon, 2012).

Análise de dados

Para estimar a riqueza e diversidade rarefeita, com a interpolação e extrapolação, foram utilizadas as funções do pacote iNEXT, que permite estimar a riqueza e diversidade

das espécies por meio da família Hill-numbers (Hill, 1973). O argumento q foi ajustado, onde: 0 = riqueza de espécies, 1 = diversidade de Shannon e 2 = diversidade de Simpson, a análise foi realizada no software R, versão 4.4.1 (R Development Core Team, 2024).

A análise de diversidade florística foi realizada pelo índice Shannon-Wiener (H') (Pielou, 1975), índice de Simpson (Simpson, 1949) e a equabilidade de Pielou (J). Para as comparações da diversidade entre as áreas, foi utilizado o teste t de Hutcheson (Zar, 1996). Essas análises foram realizadas utilizando o software Past, versão 5.0.2 (Hammer, 2024).

O cálculo de similaridade da composição florística entre as áreas foi realizado por meio da análise de dissimilaridade de Bray-Curtis, utilizando as funções dos pacotes Vegan (Oksanen *et al.*, 2024) e Cluster (Maechler *et al.*, 2024) no software R (R Development Core Team, 2024).

Para os indicadores categóricos foram realizados o teste de qui-quadrado de independência (R Development Core Team, 2024). Para os indicadores quantitativos foram realizados o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados e o teste de Levene para verificar a homogeneidade das variâncias (Levene, 1960). Quando os dados atendiam esses pressupostos estatísticos, foi realizada a análise de variância (ANOVA) e, quando detectadas diferenças significativas, utilizado o teste de Post-Hoc Tukey a 95% de confiança. Para os dados não paramétricos, foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis e, quando detectadas diferenças significativas, foi utilizado o teste de Post-Hoc de Games-Howell, as análises foram calculadas no software Jamovi (Jamovi, 2023) e R Studio (R Development Core Team, 2024).

Baseado na análise da “Roda da Recuperação” (McDonald *et al.*, 2016) em um sistema 5 estrelas, foi considerada a média do estágio de sucessão e seu respectivo desvio padrão como referência para a distribuição das notas, sendo nota 5 ($2\sigma + \mu$), 4 ($1\sigma + \mu$), 3 ($\mu - 1\sigma$), 2 ($\mu - 2\sigma$), 1 ($\mu - 3\sigma$), como forma a nortear a trajetória da área em processo de restauração. Dessa forma, a partir dos dados encontrados nos estágios de referência foram delimitados os valores de cada estrela, posteriormente enquadrado o valor médio do indicador encontrado na restauração com a respectiva pontuação em relação a cada estágio de referência (adaptado de Nogueira, 2017). Para a representação gráfica das

pontuações foi construído gráfico tipo radar (*spiderplot*), utilizando o pacote *plotly* (Sievert, 2020), no *software* R Studio (R Development Core Team, 2024).

Resultados

A abundância, riqueza, diversidade e composição arbustiva-arbórea

Foram amostrados um total de 1174 indivíduos, divididos em 152 espécies, 99 gêneros e 44 famílias botânicas. A área em processo de restauração apresentou 195 indivíduos, 44 espécies, 35 gêneros, 15 famílias; a área em estágio inicial, 202 indivíduos, 56 espécies, 39 gêneros, 21 famílias; a área em estágio intermediário, 461 indivíduos, 73 espécies, 55 gêneros, 32 famílias; e a área em estágio avançado, 315 indivíduos, 56 espécies, 41 gêneros e 26 famílias. A riqueza de espécies rarefeita não difere entre as áreas, pois há sobreposição entre o intervalo de confiança (Figura 3).

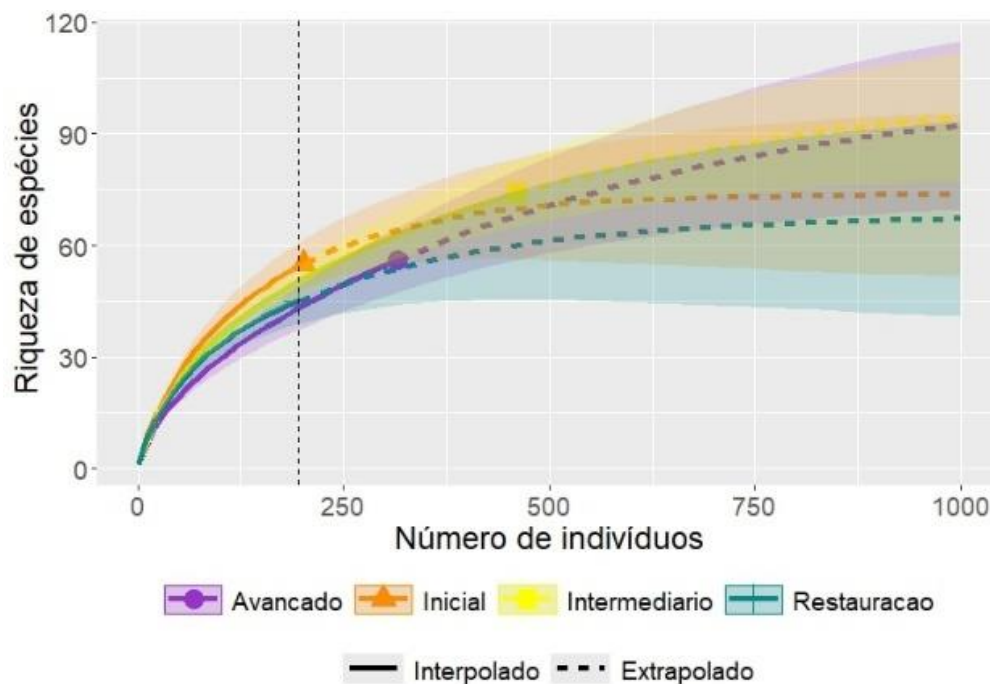


Figura 3. Curva de rarefação apresentando a riqueza de espécies, baseado no número de indivíduos arbustivo-arbóreos encontrados nas áreas.

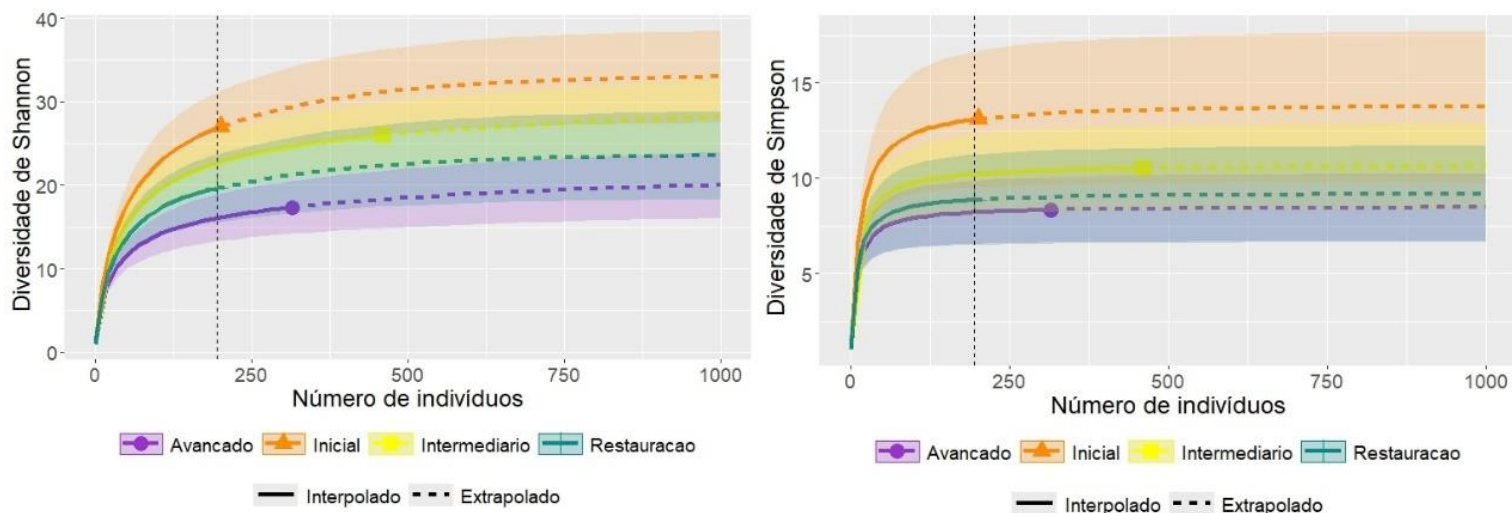


Figura 4. Curva de rarefação apresentando a diversidade de Shannon e diversidade de Simpson, baseado no número de indivíduos arbustivo-arbóreos encontrados nas áreas.

De acordo com os índices de diversidade alfa, o estágio inicial apresenta maior valor nos indicadores analisados em relação às outras áreas, evidenciando maior diversidade e melhor distribuição dos seus indivíduos entre as espécies existentes. A área em estágio avançado apresenta os menores valores dos índices de diversidade de Shannon, Simpson (quanto mais próximo de 1 maior é a diversidade) e equabilidade de Pielou, atribuindo a menor diversidade e com possível predominância de algumas espécies. A área em restauração apresentou valores intermediários em comparação com os outros estágios sucessionais (Tabela 2).

Tabela 2. Índices de diversidade alfa para as áreas amostradas.

Áreas	Diversidade de Shannon (H')	Diversidade de Simpson	Equabilidade de Pielou (J')
Restauração	2,978	0,887	0,782
Inicial	3,296	0,923	0,822
Intermediário	3,241	0,904	0,755
Avançado	2,855	0,880	0,709

Com base no teste t de Hutcheson, existe diferença significativa da diversidade de Shannon entre a área de restauração quando comparada ao estágio inicial e intermediário e do estágio avançado também em relação a essas duas áreas. No entanto, não há diferença entre a diversidade de RE e EAV (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de p para o teste t de Hutcheson do índice de diversidade de Shannon.

	Inicial	Intermediário	Avançado
Inicial	—		
Intermediário	0,6407	—	
Avançado	0,0006	0,0006	—
Restauração	0,0226	0,0349	0,3567

Foram encontradas no estágio inicial 2 indivíduos da espécie *Chomelia sericea* (Müll.Arg.), pertencente à família Rubiaceae, está classificada como “em perigo” de extinção, na área em estágio intermediário e avançado foram encontrados 2 indivíduos da espécie *Xylopia brasiliensis* (Sprengel), pertencente à família Annonaceae, está classificada como “vulnerável” e na área de restauração 3 indivíduos de *Cedrela fissilis* (Vell.), pertencente à família Meliaceae, classificada como “vulnerável” à extinção com base na portaria MMA Nº 148, de 7 de junho de 2022. Considerando a lista vermelha do Centro Nacional de Conservação da Flora (CNCFlora, 2025), foram encontradas 1 indivíduo de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos na área de restauração e 7 indivíduos de *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.Grose, que está presente entre todas as áreas, sendo essas duas espécies classificadas como “quase ameaçadas” de extinção (Anexo 1).

Na área em restauração houve maior prevalência de *Baccharis dracunculifolia* DC. (29,2 %) e de *Schinus terebinthifolius* Raddi (10,8%), plantas que possuem maior tolerância a luminosidade e rápido crescimento, características importantes para fase inicial de colonização em áreas degradadas. No estágio inicial *Myrcia splendens* (Sw.) DC. foi a espécie mais abundante representando 11,8 %, conhecida pela sua ampla plasticidade às condições ambientais; no estágio intermediário *Clethra scabra* Pers. com 7,2 %, no avançado as mais abundantes foram *Psychotria vellosiana* Benth. com 19,1% e *Mollinedia widgrenii* A. DC. com 10,2%.

Por meio do Diagrama de Venn foi possível observar que o estágio inicial possui 25 espécies exclusivas, o intermediário 32, o avançado 24 e a restauração 34. Além do mais, apenas 4 espécies foram encontradas em todas as áreas, sendo *Copaifera*

langsdorffii Desf., *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.Grose, *Machaerium villosum* Vogel e *Tapirira guianensis* Aubl. as espécies em comum (Figura 5).

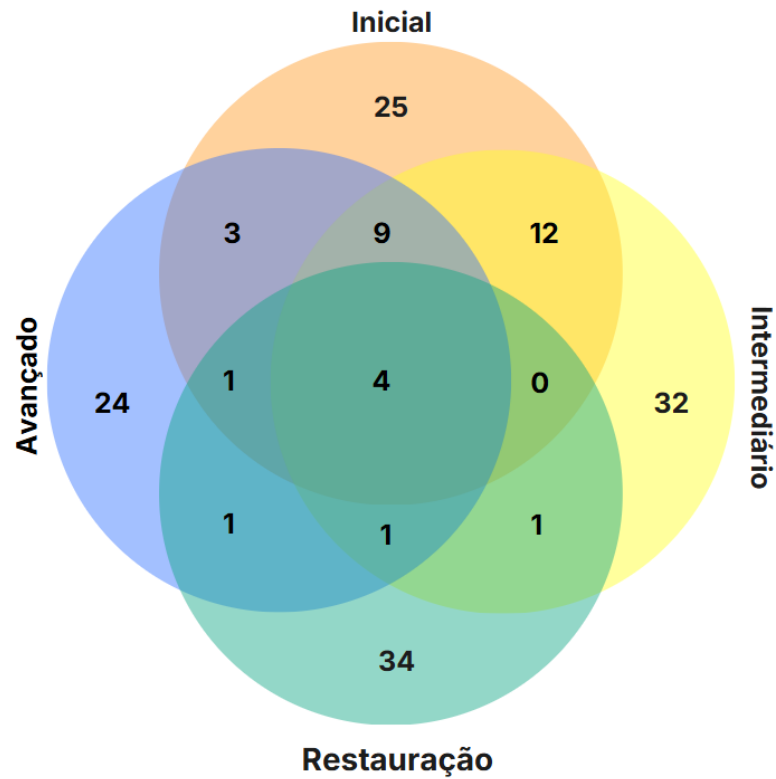


Figura 5. Diagrama de Venn com o número de espécies nos estágios inicial, intermediário, avançado e restauração, apresentando o número de espécies exclusivas e compartilhadas entre as áreas.

A análise do dendrograma de Bray-Curtis indicou que a composição florística da área em restauração (RE) é mais dissimilar em relação às demais áreas. As áreas mais similares na composição de espécies são o estágio intermediário (EIT) e o avançado (EAV), como pode ser observado na Figura 6 e Anexo 2.

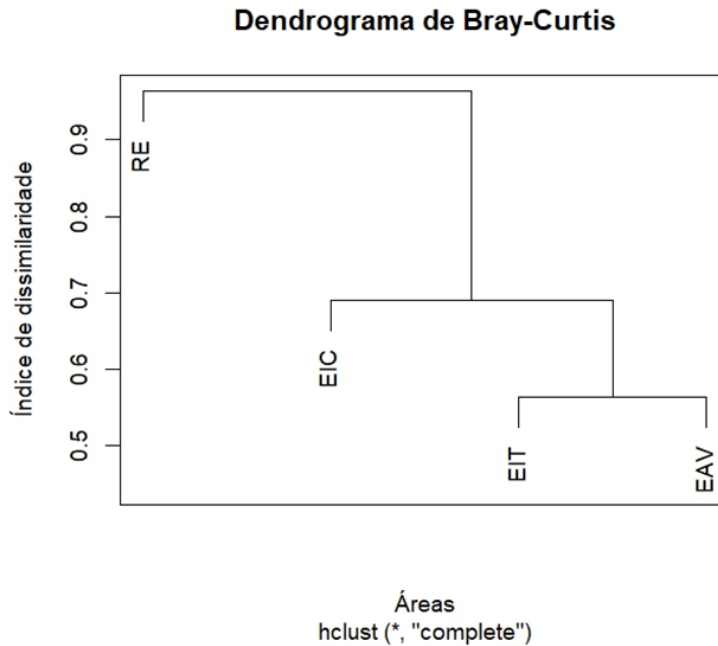


Figura 6. Dendrograma de dissimilaridade de Bray-Curtis da composição florística da área em restauração (RE), estágio inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV).

Indicadores estruturais

Foram definidas classes de altura baseado no conjunto de dados de todas áreas, sendo o estrato inferior $2,5 \text{ m} \leq$, estrato médio $> 2,5 - 11,3 \text{ m} <$, estrato superior $\geq 11,3 \text{ m}$. Observamos que no estrato inferior à área em restauração apresentou maior porcentagem de indivíduos (20,5%), seguida pelo estágio avançado (8,7%), inicial (7,2%) e intermediário (4,8%); no estrato médio todas as áreas variaram entre 70 a 80% de seus indivíduos nesta classe de altura; no estrato superior o estágio intermediário e avançado apresentou a maior porcentagem em torno de 20% de seus indivíduos e o estágio inicial com 6,1% (Figura 7). A área em restauração não apresentou nenhum indivíduo no estrato superior, ou seja, ainda não possui indivíduos com altura maior que 11,3 metros.

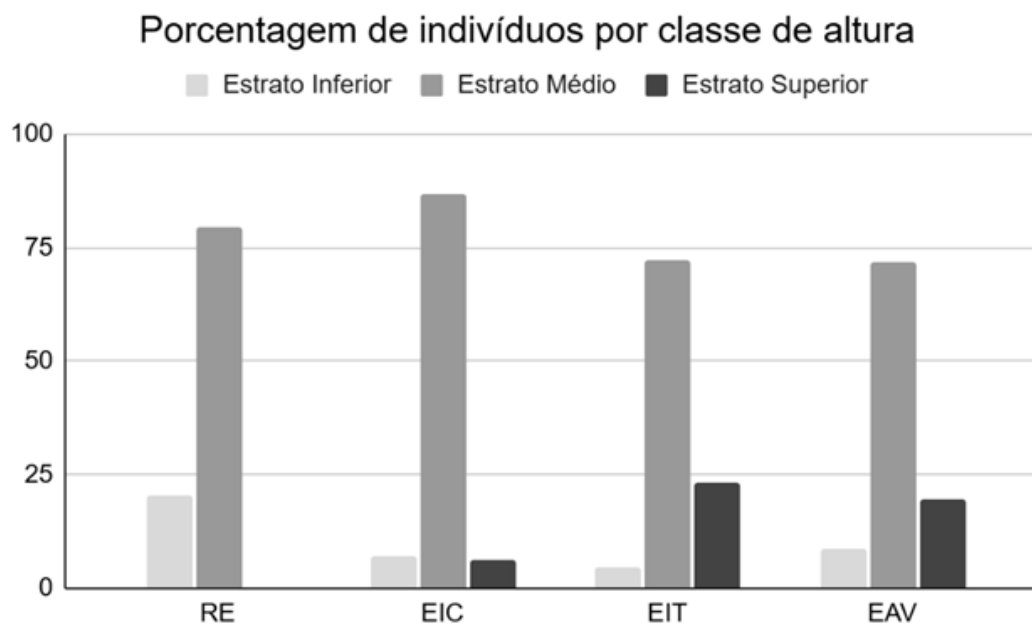


Figura 7. Porcentagem de indivíduos classificados por classes de altura (estrato inferior $\leq 2,5$, estrato médio $> 2,5 - 11,3 <$, estrato superior $\geq 11,3$) encontrados na área de restauração (RE), inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV).

Foram definidas classes de diâmetro altura do peito (DAP), sendo o estrato inferior < 10 cm, estrato médio $\geq 10 - 20$ cm $<$, estrato superior ≥ 20 cm. Observamos que a maior proporção de indivíduos foi encontrada na classe inferior de DAP, com valores superiores a 80% em todas as áreas. No estrato médio, a proporção variou entre 8 a 17%, sendo que RE apresentou o menor valor. No estrato superior foi encontrado a maior proporção de indivíduos em EAV, em contrapartida, RE não apresentou nenhum indivíduo no estrato superior, ou seja, ainda não possui indivíduos com DAP maior que 20 cm (Figura 8).

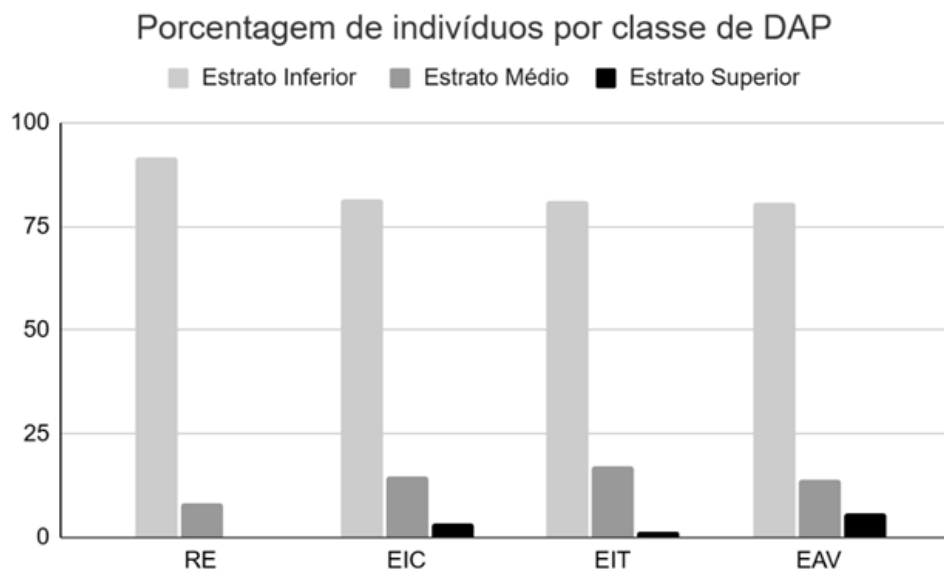


Figura 8. Porcentagem de indivíduos classificados por classes de diâmetro (estrato inferior 10 cm <, estrato médio $\geq 10 - 20$ cm <, estrato superior ≥ 20 cm) encontrados na área de restauração (RE), inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV).

Observamos que RE apresentou o menor percentual de cobertura de copa (28,3%) e as áreas referências apresentaram percentual acima de 80% de cobertura (

Figura 9). Além do mais, encontramos diferença significativa na cobertura de copa entre as áreas ($\chi^2 = 28.509$, $p < 0,001$), o teste de Games Howell indicou que a média das porcentagens em RE é diferente quando comparada com o estágio inicial ($p = 0,004$), intermediário ($p < 0,001$), avançado ($p < 0,001$).

Porcentagem de cobertura de copa

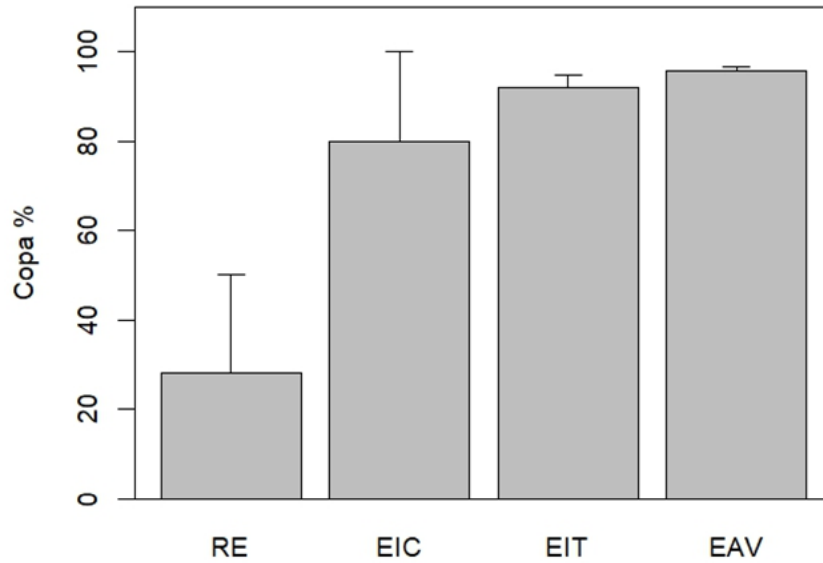


Figura 9. Média das porcentagens de cobertura de copa, com o respectivo desvio padrão, das áreas restauração (RE), inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV).

Indicadores funcionais

Encontramos diferença significativa na distribuição da frequência em relação a síndrome de dispersão entre as áreas ($\chi^2 = 139$, $gl=3$, $P < 0,001$), a área em processo de restauração apresentou porcentagem de espécies anemocóricas superior aos demais estágios e em contrapartida menor porcentagem de espécies não anemocóricas (Figura 10A). Também houve diferença significativa quanto ao grupo funcional ($\chi^2 = 141$, $gl=3$, $P < 0,001$), os estágios sucessionais EIC, EIT, EAV apresentaram maior frequência de indivíduos classificados como não pioneiras, ao contrário do que encontramos na área de restauração (Figura 10B).

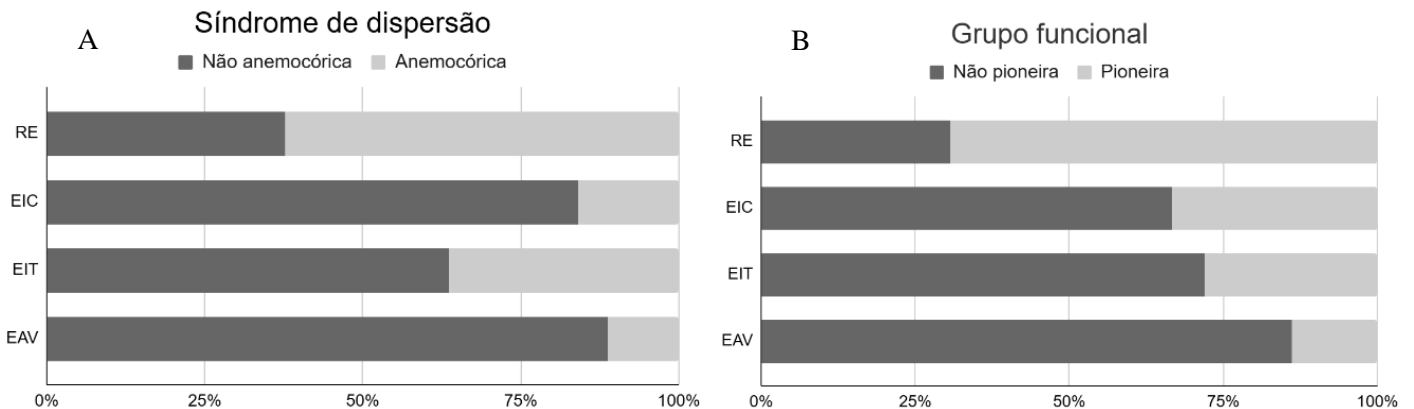
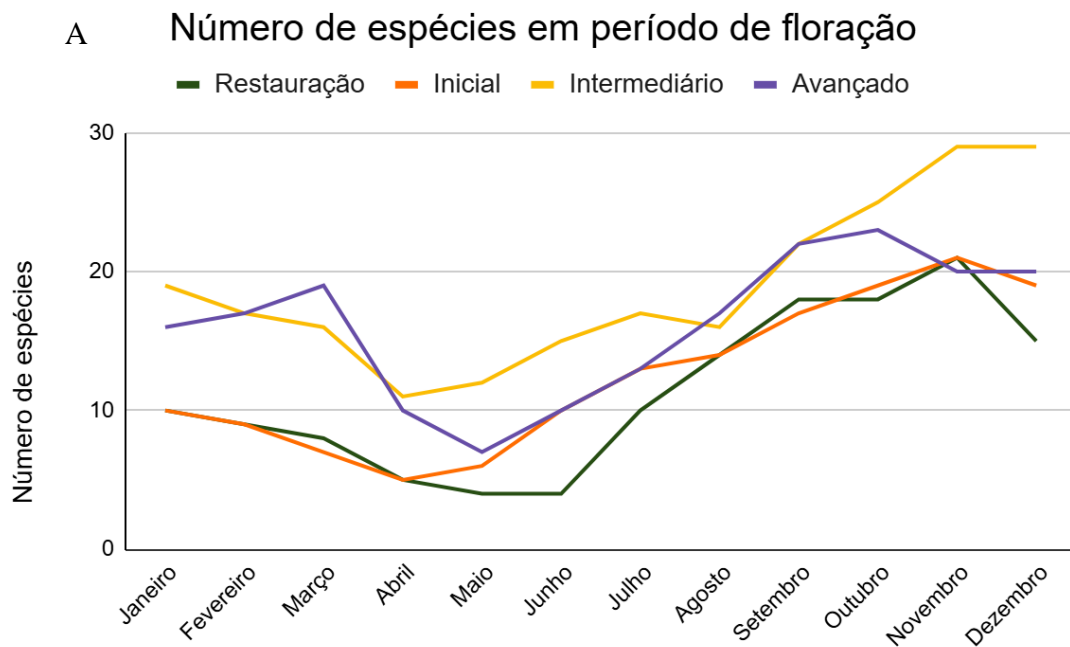


Figura 10. Porcentagem das síndromes de dispersão (A) e de grupos funcionais (B) dos indivíduos encontrados no estágio inicial (EIC), intermediário (EIT), avançado (EAV) e de restauração (RE).

Com base na lista florística das áreas, existe disponibilidade de flores ao longo de todo ano independente da área observada, ocorrendo maior prevalência no período chuvoso, entre as estações primavera e verão. O período com menor prevalência é no outono e inverno (Figura 11A). Também encontramos disponibilidade de frutos ao longo de todo ano independente da área. No entanto, a área em restauração apresentou os menores valores no período entre os meses de janeiro a abril, diferente do observado nas demais áreas (maio a julho). A maior prevalência de espécies em frutificação ocorre entre os meses de setembro a outubro (Figura 11B).



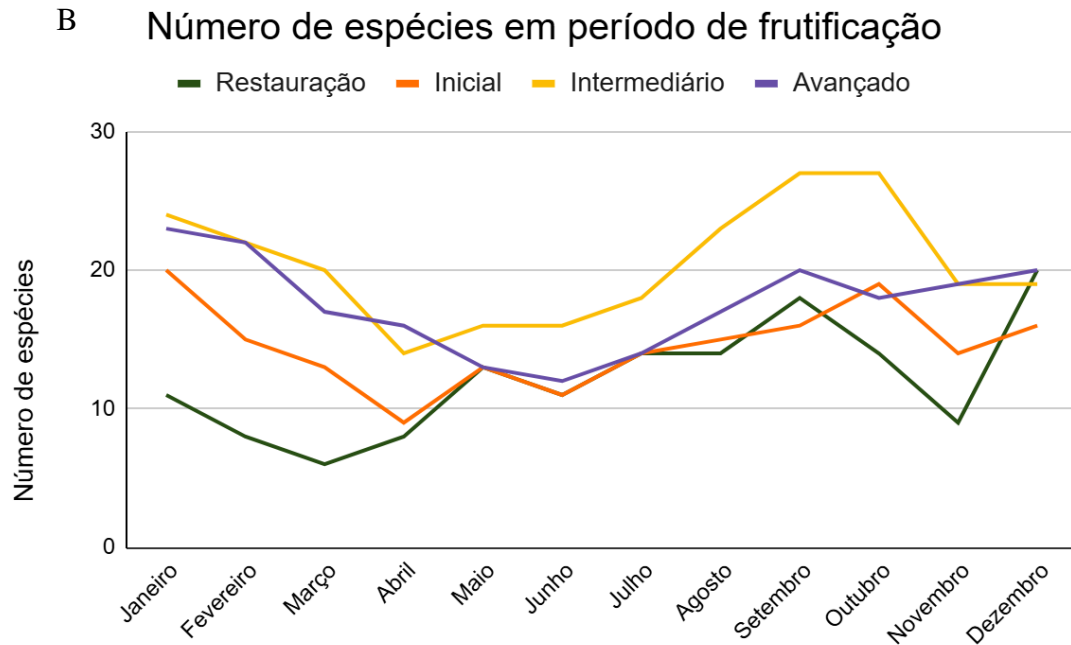


Figura 11. Número de espécies em período de floração (A) e número de espécies em período de frutificação (B), no estágio inicial, intermediário, avançado e de restauração.

A classificação dos tamanhos dos frutos, com base na lista florística, nos indica que tem maior prevalência de tamanhos médios nas áreas, com exceção de EAV. Em contrapartida, o tamanho muito grande está em menor frequência nas áreas de referência, com exceção de RE que apresenta um percentual elevado e menor frequência de tamanho grande, como demonstrado na Figura 12.

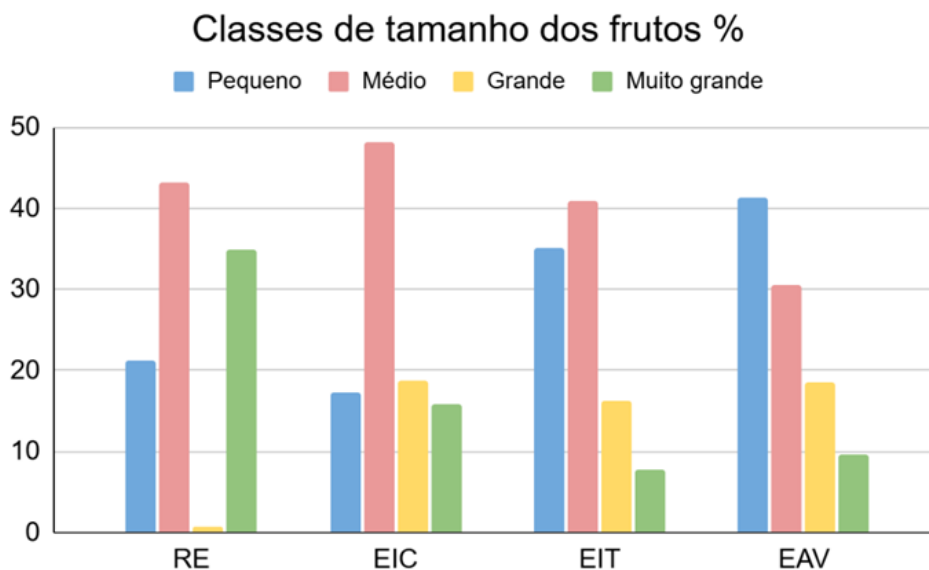


Figura 12. Porcentagem da frequência de classes de tamanho de fruto nas áreas restauração (RE), inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV).

A cor mais frequente encontrada em todas as áreas foi a branca com porcentagem superior a 40%, seguida pela cor amarela variando de 7 a 19% e, posteriormente, pela roxa com variação de 2 a 7%. A cor verde não foi encontrada nas áreas RE e EIC, sendo em EIT 1% e EAV 5%. Já a cor vermelha apenas foi encontrada em RE e EAV (Figura 13).

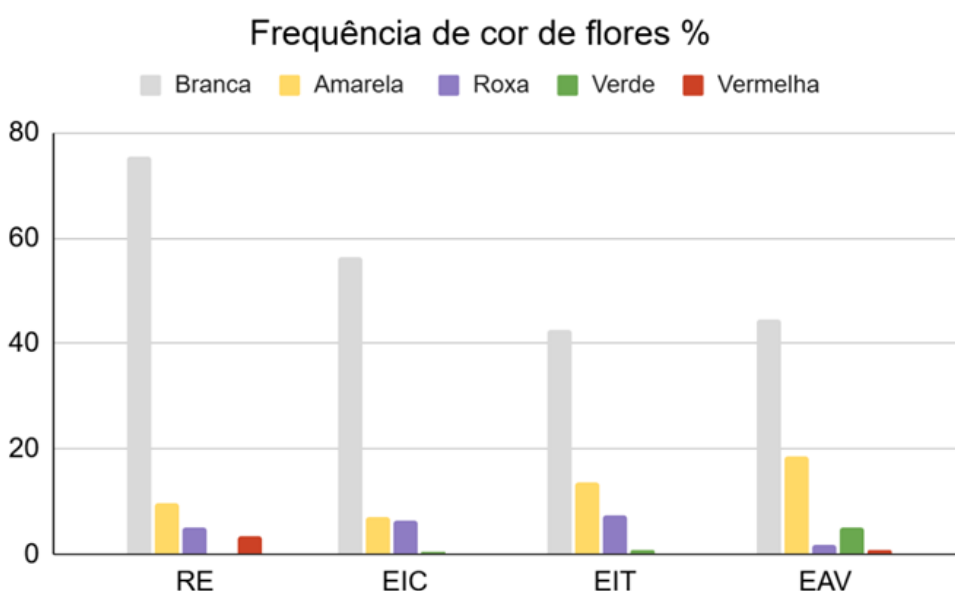


Figura 13. Porcentagem da frequência de cores de flores encontradas na restauração (RE), inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV).

Chuva de sementes

Considerando as quatro estações amostradas, encontramos um total de 4829 diásporos, divididos em 129 morfoespécies nas quatro áreas avaliadas. A área em processo de restauração apresentou 3068 diásporos representados por 30 morfoespécies. Apesar do elevado número de diásporos encontrados na área, 1742 são referentes a *Urochloa decumbens* popularmente conhecido por capim braquiária, pertencente à família Poaceae, espécie exótica e conhecida por ser um potencial invasor no território brasileiro (Barbosa *et al.*, 2018). A área em estágio inicial apresentou 289 diásporos de 45 morfoespécies, foi encontrado nessa área 1 diásporo de *Urochloa sp.*; o estágio intermediário apresentou 547 diásporos de 50 morfoespécies, sendo 17 diásporos de *Urochloa sp.* localizados em apenas um coletor; o estágio avançado possui 925 diásporos de 59 morfoespécies, sendo 1 diásporo de *Urochloa sp.*

A riqueza rarefeita da chuva de sementes difere entre as áreas de estágio intermediário e avançado em relação a área em processo de restauração, pois não ocorre a sobreposição do intervalo de confiança (Figura 14). Em relação a diversidade de Shannon rarefeita, RE apresenta a menor diversidade e existe diferença considerável quando comparada com as demais áreas (Figura 15).

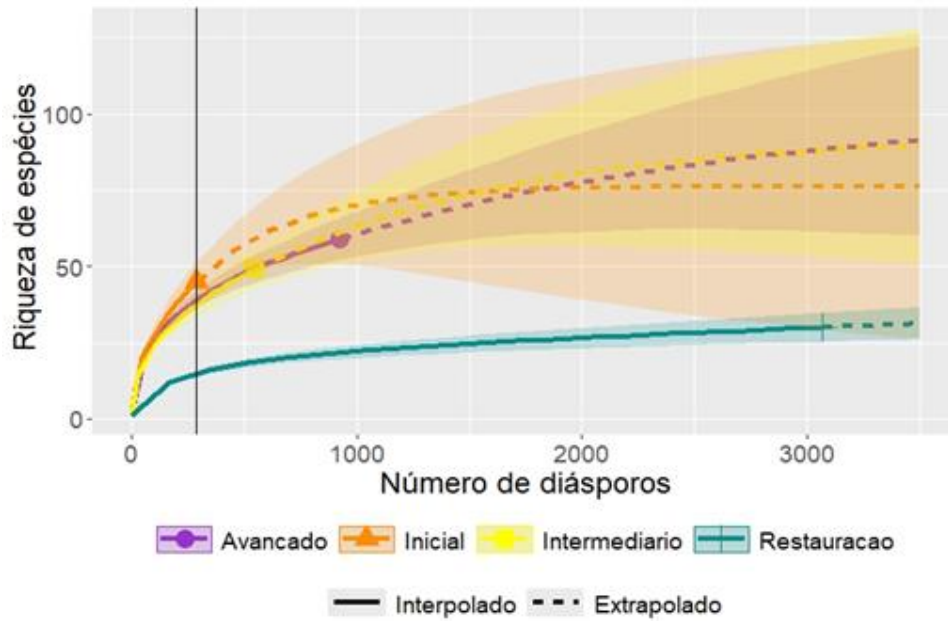


Figura 14. Curva de rarefação apresentando a riqueza de espécies, baseado no número de diásporos da chuva de sementes encontrados nas áreas.

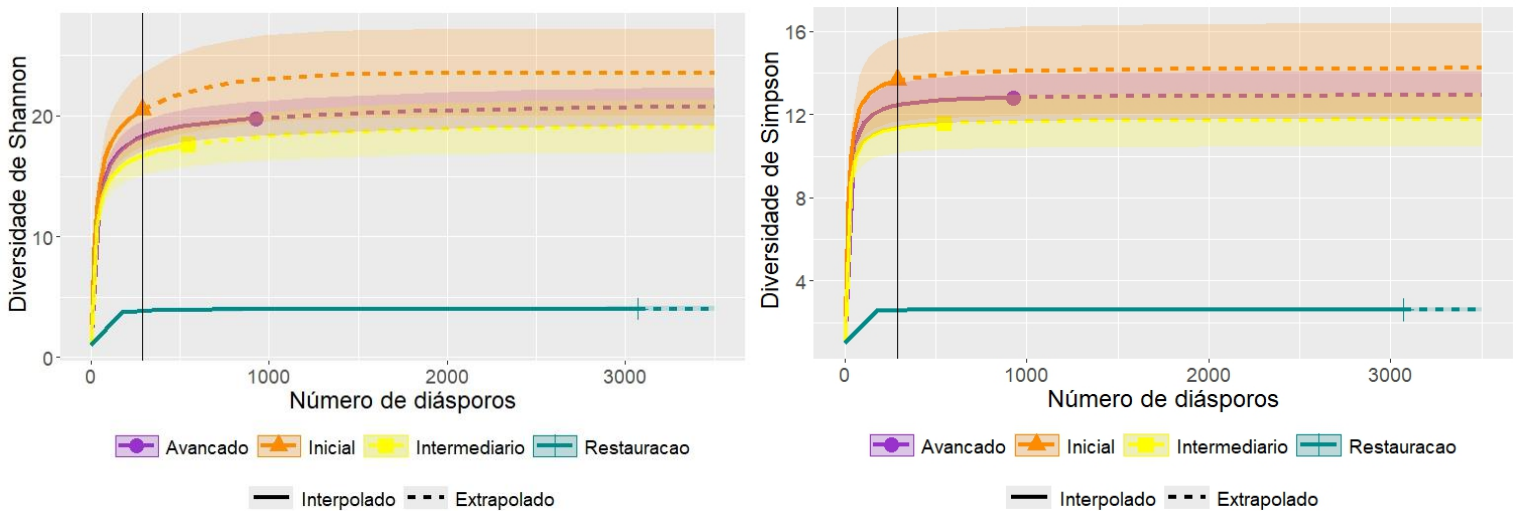


Figura 15. Curva de rarefação apresentando a diversidade de Shannon e diversidade de Simpson, baseado no número de diásporos da chuva de sementes encontrados nas áreas.

De acordo com os índices de diversidade alfa, o estágio inicial apresenta maior valor nos indicadores analisados em relação às outras áreas, evidenciando maior diversidade e melhor distribuição dos seus indivíduos entre as espécies existentes. A área em restauração apresenta os menores valores dos índices de diversidade de Shannon, Simpson e equabilidade de Pielou (Tabela 4), atribuindo a menor diversidade e sendo indicado a possível predominância de espécies.

Tabela 4. Índices de diversidade alfa da chuva de sementes para as áreas amostradas.

Áreas	Diversidade de Shannon (H')	Diversidade de Simpson (D)	Equabilidade de Pielou (J')
Restauração	1,397	0,617	0,4094
Inicial	3,096	0,9299	0,7932
Intermediário	2,911	0,9152	0,7368
Avançado	3,015	0,9229	0,7317

Com base no teste t de Hutcheson, verifica-se que existe diferença significativa da diversidade de Shannon entre a área de restauração quando comparada com qualquer estágio de referência. No entanto, não existe diferença na diversidade entre as áreas de referência (Tabela 5).

Tabela 5. Valores de p para o teste t de Hutcheson do índice de diversidade de Shannon para a chuva de sementes.

	Inicial	Intermediário	Avançado
Inicial	—		
Intermediário	0,07093	—	
Avançado	0,64529	0,072852	—
Restauração	5,92E-73	1,17E-109	1,70E-194

A análise do dendrograma de Bray-Curtis indicou que a composição florística da chuva de sementes na área RE é mais dissimilar em relação às demais áreas. As áreas mais similares na composição de espécies são o estágio EIT e EAV, como pode ser observado na Figura 16 e Anexo 3.

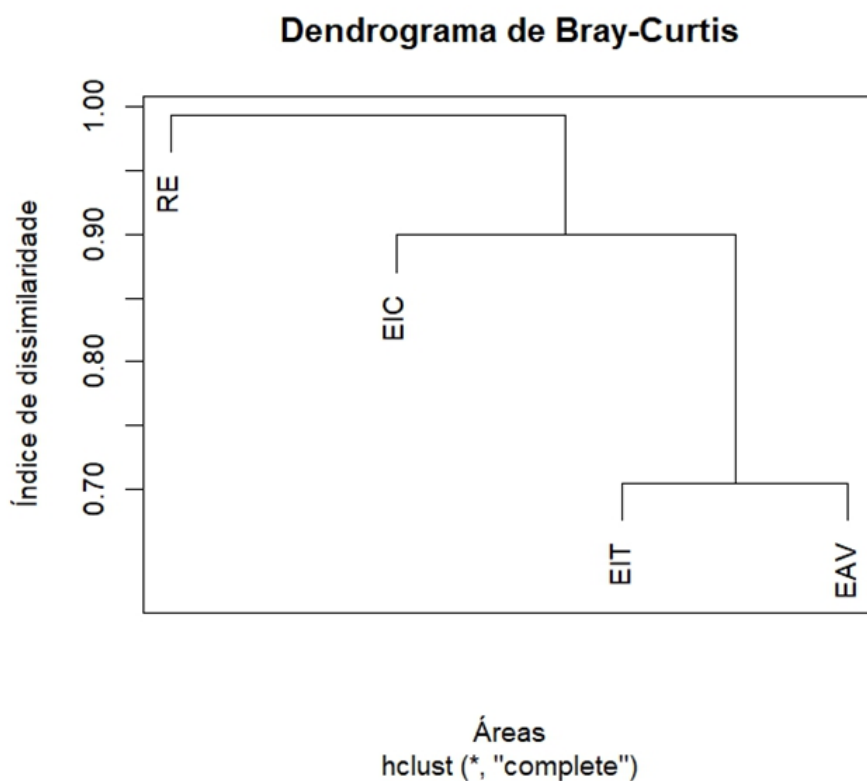


Figura 16. Dendrograma de dissimilaridade de Bray-Curtis produzido por análise de agrupamento da composição da chuva de sementes na área em restauração (RE), estágio inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV).

Em relação as classes de tamanho dos diásporos, observamos que todas as áreas apresentaram o maior percentual de diásporos pequenos, seguido pela diminuição da porcentagem à medida que os tamanhos de diásporos aumentavam, como demonstra a Tabela 6. O número de diásporo “muito grande” encontrado em RE é referente a espécies da família Fabaceae, sendo elas *Erythrina speciosa* Andrews e *Plathymenia reticulata* Benth.

Tabela 6. Número e porcentagem de diásporos por classe de tamanho.

	Número de diásporos				Porcentagem de diásporos			
	Pequeno	Médio	Grande	Muito grande	Pequeno	Médio	Grande	Muito grande
Restauração	2623	404	36	5	85,5	13,2	1,2	0,2
Inicial	266	21	1	1	92,0	7,3	0,3	0,3
Intermediário	430	114	3	0	78,6	20,8	0,5	0,0
Avançado	747	162	14	2	80,8	17,5	1,5	0,2

Considerando a frequência da síndrome de dispersão encontramos diferença significativa ($\chi^2= 699.08$, $df = 3$, $p < 0.001$) entre as áreas. As áreas de referência apresentaram valores acima de 70% de dispersão não anemocórica, já RE apresentou maior prevalência de síndrome de dispersão anemocórica $\approx 40\%$ (Figura 17), colaborado em grande parte por diásporos de *Urochloa decumbens*.

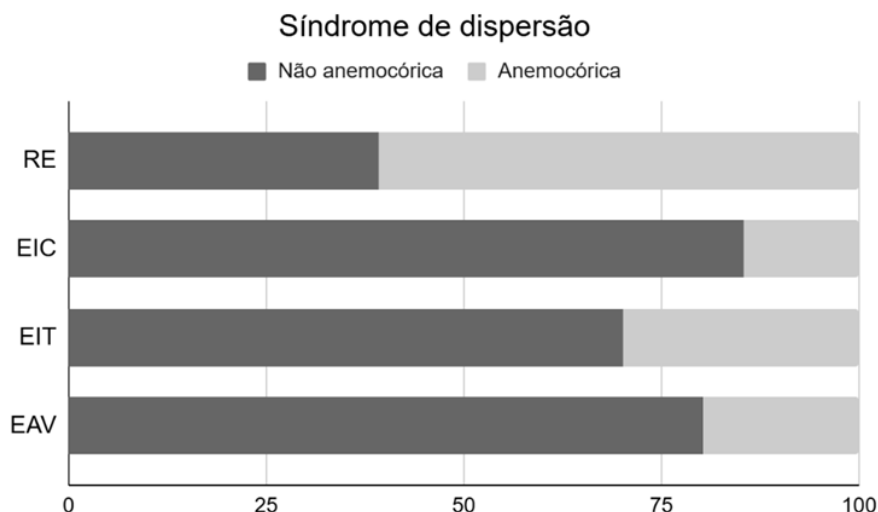


Figura 17. Porcentagem da síndrome de dispersão encontrados na área de restauração (RE), inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV).

Condições do solo

Para as áreas de referência em relação a RE, não encontramos diferenças significativas nos parâmetros de densidade do solo, carbono do solo, nitrogênio do solo, estoque de carbono e nitrogênio, matéria orgânica da serrapilheira, razão isotópica da serrapilheira, C:N da serrapilheira, aporte e decomposição da serrapilheira. Apesar de não haver diferença estatística, RE apresentou os menores valores da maioria desses indicadores em relação às outras áreas (EIC, EIT e EAV), com exceção da matéria orgânica da serrapilheira, razão isotópica de nitrogênio da serrapilheira e decomposição que tiveram valores intermediários e a relação C:N da serrapilheira que foi maior que as áreas de referência (Tabela 7).

Por meio da anova ou Kruskal-Wallis, encontramos diferenças significativas ($p < 0,05$) no teor de umidade do solo, na matéria orgânica do solo, razão isotópica de

$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ do solo e da serrapilheira, razão isotópica de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ do solo, razão C:N do solo, carbono e nitrogênio da serrapilheira em relação com pelo menos uma área de referência (EIC, EIT e EAV) (Tabela 7). RE apresentou maiores valores no teor de umidade, matéria orgânica do solo, C: N do solo, em contrapartida encontramos menores valores no carbono e nitrogênio da serrapilheira.

Tabela 7. Média dos indicadores das condições do solo com o respectivo desvio padrão (\pm) das áreas. Letras comparam os valores em linha, de acordo com o teste de Tukey e Games Howell a 95% de confiança. ns: não significativo.

Indicadores	Restauração		Inicial		Intermediário		Avançado	
Densidade (g/cm ³)	1,040 \pm 0,09	ns	1,21 \pm 0,05	ns	1,12 \pm 0,03	ns	1,07 \pm 0,09	ns
MO do solo (%)	21,94 \pm 1,48	a	10,18 \pm 1,24	b	13,02 \pm 1,13	b	12,68 \pm 1,66	b
Carbono do solo (%)	2,34 \pm 0,65	ns	2,87 \pm 0,61	ns	3,56 \pm 1,06	ns	2,87 \pm 0,42	ns
$\delta^{13}\text{C}$ (‰) solo	-16,78 \pm 0,78	a	-26,14 \pm 0,47	b	-27,55 \pm 0,44	b	-26,84 \pm 1,17	b
N do solo (%)	0,15 \pm 0,05	ns	0,22 \pm 0,05	ns	0,24 \pm 0,06	ns	0,26 \pm 0,03	ns
$\delta^{15}\text{N}/\delta^{14}\text{N}$ (‰) do solo	7,89 \pm 2,26	a	4,33 \pm 0,56	ab	3,95 \pm 0,84	b	6,77 \pm 1,21	ab
C:N do solo	16,08 \pm 2,50	a	13,12 \pm 0,61	b	14,63 \pm 1,96	b	10,99 \pm 0,52	b
Estoque Carbono (Mg ha ⁻¹)	48,8 \pm 14,81	ns	68,9 \pm 12,13	ns	79,2 \pm 21,24	ns	60,9 \pm 7,52	ns
Estoque Nitrogênio (Mg ha ⁻¹)	3,16 \pm 1,39	ns	5,27 \pm 1,07	ns	5,42 \pm 1,21	ns	5,53 \pm 0,49	ns
MO da serrapilheira (%)	59,06 \pm 5,72	ns	61,38 \pm 8,42	ns	57,22 \pm 1,39	ns	57,68 \pm 11,52	ns
Carbono da serrapilheira (%)	28,98 \pm 6,52	a	42,19 \pm 4,61	ab	41,05 \pm 5,63	ab	44,21 \pm 4,51	b
$\delta^{13}\text{C}$ (‰) serrapilheira	-17,69 \pm 4,87	a	-29,99 \pm 1,12	b	-30,07 \pm 2,66	b	-30,40 \pm 6,07	b
N da serrapilheira (%)	0,84 \pm 0,12	a	1,55 \pm 0,35	b	1,40 \pm 0,05	ab	2,30 \pm 0,36	c
$\delta^{15}\text{N}/\delta^{14}\text{N}$ (‰) da serrapilheira	4,37 \pm 0,46	ns	4,43 \pm 1,89	ns	3,30 \pm 0,46	ns	4,35 \pm 0,24	ns
C:N da serrapilheira	35,14 \pm 10,74	ns	28,32 \pm 7,52	ns	29,51 \pm 5,12	ns	19,33 \pm 2,02	ns
Aporte (g)	22,20 \pm 6,98	ns	60,74 \pm 19,99	ns	68,82 \pm 34,01	ns	51,63 \pm 27,05	ns
Decomposição (g)	2,75 \pm 0,61	ns	3,37 \pm 1,35	ns	2,73 \pm 0,65	ns	3,53 \pm 0,71	ns

Notas de todos indicadores de autossustentação

As classes de notas atribuídas para cada indicador avaliado na área em processo de restauração em relação aos estágios inicial, intermediário e avançado, com seus

respectivos valores médios e teste de Post Hoc podem ser visualizados na Tabela 8. Os valores acumulados das notas dos indicadores de RE para cada área de referência foram, EIC = 48, EIT = 43 e EAV = 41, indicando a maior semelhança de RE com o estágio inicial.

Tabela 8. Delimitação dos valores atribuídos para cada indicador ecológico, com a média e o desvio padrão e a nota da área em restauração em relação aos estágios sucessionais de referência. Inicial (EIC), intermediário (EIT) e avançado (EAV).

Indicador	Estágio	5 ($2\sigma + \mu$)	4 ($1\sigma + \mu$)	3 ($\mu - 1\sigma$)	2 ($\mu - 2\sigma$)	1 ($\mu - 3\sigma$)	μ	σ	Nota	p-value
Densidade do solo	EIC	[1.03 - 1.09]	[1.09 - 1.15]	[1.15 - 1.21]	[1.21 - 1.27]	[1.33 - 1.39]	1.21	0.06	5	0.098
	EIT	[1.03 - 1.06]	[1.06 - 1.09]	[1.09 - 1.12]	[1.15 - 1.18]	[1.18 - 1.21]	1.12	0.03	5	0.613
	EAV	[0.8 - 0.89]	[0.89 - 0.98]	[0.98 - 1.07]	[1.16 - 1.25]	[1.25 - 1.34]	1.07	0.09	3	0.970
Matéria Orgânica do solo (%)	EIC	[12.66 - 11.42]	[11.42 - 10.18]	[10.18 - 8.94]	[8.94 - 7.7]	[7.7 - 6.46]	10.18	1.24	0	<.001
	EIT	[15.28 - 14.15]	[14.15 - 13.02]	[13.02 - 11.89]	[11.89 - 10.76]	[10.76 - 9.63]	13.02	1.13	0	<.001
	EAV	[16 - 14.34]	[14.34 - 12.68]	[12.68 - 11.02]	[11.02 - 9.36]	[9.36 - 7.7]	12.68	1.66	0	<.001
Carbono do solo (%)	EIC	[4.09 - 3.48]	[3.48 - 2.87]	[2.87 - 2.26]	[2.26 - 1.65]	[1.65 - 1.04]	2.87	0.61	3	0.806
	EIT	[5.7 - 4.63]	[4.63 - 3.56]	[3.56 - 2.49]	[2.49 - 1.42]	[1.42 - 0.35]	3.56	1.07	2	0.242
	EAV	[3.71 - 3.29]	[3.29 - 2.87]	[2.87 - 2.45]	[2.45 - 2.03]	[2.03 - 1.61]	2.87	0.42	2	0.809
Isótopos de carbono do solo ($\delta^{13}C/^{12}C$)	EIC	[-25.2 - 25.67]	[-25.67 - 26.14]	[-26.14 - 26.61]	[-26.61 - 27.08]	[-27.08 - 27.55]	26.14	0.47	0	<.001
	EIT	[-26.67 - 27.11]	[-27.11 - 27.55]	[-27.55 - 27.99]	[-27.99 - 28.43]	[-28.43 - 28.87]	27.55	0.44	0	<.001
	EAV	[-24.48 - 25.66]	[-25.66 - 26.84]	[-26.84 - 28.02]	[-28.02 - 29.2]	[-29.2 - 30.38]	26.84	1.18	0	<.001
Nitrogênio do solo (%)	EIC	[0.32 - 0.27]	[0.27 - 0.22]	[0.22 - 0.17]	[0.17 - 0.12]	[0.12 - 0.07]	0.22	0.05	2	0.389
	EIT	[0.36 - 0.30]	[0.30 - 0.24]	[0.24 - 0.18]	[0.18 - 0.12]	[0.12 - 0.06]	0.24	0.06	2	0.190
	EAV	[0.32 - 0.29]	[0.29 - 0.26]	[0.26 - 0.23]	[0.23 - 0.20]	[0.20 - 0.17]	0.26	0.03	1	0.109
Isótopos de nitrogênio do solo ($\delta^{15}N/^{14}N$)	INI	[5.45 - 4.89]	[4.89 - 4.33]	[4.33 - 3.77]	[3.77 - 3.21]	[3.21 - 2.65]	4.33	0.56	0	0.05
	INT	[5.63 - 4.79]	[4.79 - 3.95]	[3.95 - 3.11]	[3.11 - 2.27]	[2.27 - 1.43]	3.95	0.84	0	0.03
	AV	[9.19 - 7.98]	[7.98 - 6.77]	[6.77 - 5.56]	[5.56 - 4.35]	[4.35 - 3.14]	6.77	1.21	4	0.76
Razão Carbono e Nitrogênio do solo	EIC	[11.9 - 12.51]	[12.51 - 13.12]	[13.12 - 13.73]	[13.73 - 14.34]	[14.34 - 14.95]	13.12	0.61	0	0.200
	EIT	[10.71 - 12.67]	[12.67 - 14.63]	[14.63 - 16.59]	[16.59 - 18.55]	[18.55 - 20.51]	14.63	1.96	3	0.707
	EAV	[9.93 - 10.46]	[10.46 - 10.99]	[10.99 - 11.53]	[11.53 - 12.05]	[12.05 - 12.58]	10.99	0.53	0	0.022
Estoque Carbono do solo (Mg ha ⁻¹)	EIC	[93.16 - 81.03]	[81.03 - 68.9]	[68.9 - 56.77]	[56.77 - 44.64]	[44.64 - 32.51]	68.9	12.13	2	0.399
	EIT	[121.68 - 100.44]	[100.44 - 79.2]	[79.2 - 57.96]	[57.96 - 36.72]	[36.72 - 15.48]	79.2	21.24	2	0.130
	EAV	[75.94 - 68.42]	[68.42 - 60.9]	[60.9 - 53.38]	[53.38 - 45.86]	[45.86 - 38.34]	60.9	7.52	2	0.752
	EIC	[7.41 - 6.34]	[6.34 - 5.27]	[5.27 - 4.2]	[4.2 - 3.13]	[3.13 - 2.06]	5.27	1.07	2	0.164

Estoque de Nitrogênio do solo (Mg ha ⁻¹)	EIT	[7.84 - 6.63[	[6.63 - 5.42[	[5.42 - 4.21[	[4.21 - 3[	[3 - 1.79[	5.42	1.21	2	0.130
	EAV	[6.51 - 6.02[	[6.02 - 5.53[	[5.53 - 5.04[	[5.04 - 4.55[	[4.55 - 4.06[	5.53	0.49	0	0.110
Matéria Orgânica da serrapilheira (%)	EIC	[78.22 - 69.8[	[69.8 - 61.38[	[61.38 - 52.96[	[52.96 - 44.54[	[44.54 - 36.12[	61.38	8.42	3	0.982
	EIT	[60.00 - 58.61[	58.61 - 57.22[	[57.22 - 55.83[	[55.83 - 54.44[	[54.44 - 53.05[	57.22	1.39	5	0.991
	EAV	[80.72 - 69.2[	[69.2 - 57.68[	[57.68 - 46.16[	[46.16 - 34.64[	[34.64 - 23.12[	57.68	11.52	4	0.996
Carbono da serrapilheira (%)	EIC	[51.41 - 46.8[	[46.8 - 42.19[	[42.19 - 37.58[	[37.58 - 32.97[	[32.97 - 28.36[	42.19	4.61	1	0.066
	EIT	[52.33 - 46.69[	[46.69 - 41.05[	[41.05 - 35.41[	[35.41 - 29.77[	[29.77 - 24.13[	41.05	5.64	1	0.095
	EAV	[53.23 - 48.72[	[48.72 - 44.21[	[44.21 - 39.7[	[39.7 - 35.19[	[35.19 - 30.68[	44.21	4.51	0	0.034
Isótopos de carbono da serrapilheira (δ ¹³ C/12C)	EIC	[-27.75 - 28.87[	[-28.87 - 29.99[	[-29.99 - 31.11[	[-31.11 - 32.23[	[32.23 - 33.35[	29.99	1.12	0	<.001
	EIT	[-29.53 - 29.8[	[-29.8 - 30.07[	[-30.07 - 30.34[	[-30.34 - 30.61[	[-30.61 - 30.88[	30.07	0.27	0	<.001
	EAV	[-29.17 - 29.78[	[-29.78 - 30.39[	[-30.39 - 31.0[	[-31.0 - 31.61[	[-31.61 - 32.22[	30.39	0.61	0	<.001
Nitrogênio da serrapilheira (%)	EIC	[2.25 - 1.9[	[1.9 - 1.55[	[1.55 - 1.2[	[1.2 - 0.85[	[0.85 - 0.5[	1.55	0.35	1	0.043
	EIT	[1.5 - 1.45[	[1.45 - 1.40[	[1.40 - 1.35[	[1.35 - 1.3[	[1.3 - 1.25[	1.40	0.05	0	0.115
	EAV	[3.03 - 2.67[	[2.67 - 2.31[	[2.31 - 1.95[	[1.95 - 1.59[	[1.59 - 1.23[	2.31	0.36	0	<.001
Isótopos de nitrogênio da serrapilheira (δ ¹⁵ N/14N)	EIC	[8.21 - 6.31[	[6.32 - 4.43[	[4.43 - 2.54[	[2.54 - 0.65[	[0.65 - 0[	4.43	1.89	3	0.108
	EIT	[4.22 - 3.76[	[3.76 - 3.30[	[3.30 - 2.84[	[2.84 - 2.38[	[2.38 - 1.92[	3.30	0.46	0	0.116
	EAV	[4.83 - 4.59[	[4.59 - 4.35[	[4.35 - 4.11[	[4.11 - 3.87[	[3.87 - 3.63[	4.35	0.24	4	0.108
Razão Carbono e Nitrogênio da serrapilheira	EIC	[13.26 - 20.79[	[20.79 - 28.32[	[28.32 - 35.85[	[35.85 - 43.38[	[43.38 - 50.91[	28.32	7.53	3	0.658
	EIT	[19.27 - 24.39[	[24.39 - 29.51[	[29.51 - 34.63[	[34.63 - 39.75[	[39.75 - 44.87[	29.51	5.12	2	0.770
	EAV	[15.29 - 17.31[	[17.31 - 19.33[	[19.33 - 21.35[	[21.35 - 23.37[	[23.37 - 25.39[	19.33	2.02	0	0.098
Aporte da serrapilheira (g)	EIC	[100.72 - 80.73[	[80.73 - 60.74[	[60.74 - 40.75[	[40.75 - 20.76[	[20.76 - 0.77[	60.74	19.99	2	0.284
	EIT	[136.84 - 102.83[	[102.83 - 68.82[	[68.82 - 34.81[	[34.81 - 0.8[	[0.8 - 0[	68.82	34.01	2	0.165
	EAV	[106.43 - 79.03[	[79.03 - 51.63[	[51.63 - 24.23[	[24.23 - 0[	[0 - 0[	51.63	27.40	2	0.488
Decomposição da serrapilheira (g)	EIC	[6.07 - 4.72[	[4.72 - 3.37[	[3.37 - 2.02[	[2.02 - 0.67[	[0.67 - 0[	3.37	1.35	3	0.829
	EIT	[4.03 - 3.38[	[3.38 - 2.73[	[2.73 - 2.08[	[2.08 - 1.43[	[1.43 - 0.78[	2.73	0.65	4	1.000
	EAV	[4.95 - 4.24[	[4.24 - 3.53[	[3.53 - 2.82[	[2.82 - 2.11[	[2.11 - 1.4[	3.53	0.71	2	0.709
Abundância - chuva de sementes	EIC	(204 - 151)	(150 - 97)	(96 - 42)	42 - 0	(0 - 0)	96	54	0	<.001
	EIT	(394 - 288)	(288 - 182)	(182 - 76)	(76 - 0)	(0 - 0)	182	106	0	<.001
	EAV	(562 - 435)	(435 - 308)	(308 - 181)	(181 - 54)	(54 - 0)	308	127	0	<.001
Riqueza - chuva de sementes	EIC	[30 - 24[	[24 - 18[	[18 - 12[	[12 - 6[	[6 - 0[	18	6	2	0.503
	EIT	[32 - 27[	[27 - 22[	[22 - 17[	[17 - 12[	[12 - 7[	22	5	1	0.122
	EAV	[35 - 33[	[33 - 31[	[31 - 29[	[29 - 27[	[27 - 25[	31	2	0	0.005
Diversidade Shannon -	EIC	[3.05 - 2.64[	[2.64 - 2.23[	[2.23 - 1.82[	[1.82 - 1.41[	[1.41 - 1.00[	2.23	0.41	0	0.005
	EIT	[2.35 - 2.31[	[2.31 - 2.27[	[2.27 - 2.23[	[2.23 - 2.19[	[2.19 - 2.15[	2.27	0.04	0	0.004

chuva de sementes	EAV	[2.98 - 2.72[	[2.72 - 2.46[	[2.46 - 2.2[	[2.2 - 1.94[	[1.94 - 1.68[	2.46	0.26	0	0.002
Equabilidade de Pielou - chuva de sementes	EIC	[0.86 - 0.82[	[0.82 - 0.78[	[0.78 - 0.74[	[0.74 - 0.7[	[0.7 - 0.66[	0.78	0.04	0	0.002
	EIT	[0.83 - 0.77[	[0.77 - 0.71[	[0.71 - 0.65[	[0.65 - 0.59[	[0.59 - 0.53[	0.74	0.06	0	0.003
	EAV	[0.87 - 0.79[	[0.79 - 0.71[	[0.71 - 0.63[	[0.63 - 0.55[	[0.55 - 0.47[	0.71	0.08	0	0.005
Diásporos grandes (%) - chuva de sementes	EIC	[15.3 - 10.8[	[10.8 - 6.3[	[6.3 - 1.8[	[1.8 - 0[	[0 - 0[	6.3	4.5	5	0.911
	EIT	[39.7 - 29.6[	[29.6 - 19.5[	[19.5 - 9.4[	[9.4 - 0[	[0 - 0[	19.5	10.1	3	0.983
	EAV	[29.4 - 24.3[	[24.3 - 19.2[	[19.2 - 14.1[	[14.1 - 9[	[9 - 3.9[	19.2	5.12	3	0.983
Diásporos pequenos (%) - chuva de sementes	EIC	[100 - 98.2[	[98.2 - 93.7[	[93.7 - 89.2[	[89.2 - 84.7[	[84.7 - 80.2[	93.7	4.5	2	0.911
	EIT	[100 - 90.6[	[90.6 - 80.5[	[80.5 - 70.4[	[70.4 - 60.3[	[60.3 - 50.2[	80.5	10.1	4	0.983
	EAV	[91 - 80.8	[85.9 - 80.8[	[80.8 - 75.7[	[75.7 - 70.6[	[70.6 - 65.5[	80.8	5.1	4	0.983
Anemocóricas (%) - chuva de sementes	EIC	[22.5 - 17.9[	[17.9 - 13.3[	[13.3 - 8.7[	[8.7 - 4.1[	[4.1 - 0[	13.3	4.6	0	0.092
	EIT	[51.3 - 40[	[40 - 28.7[	[28.7 - 17.4[	[17.4 - 6.1[	[6.1 - 0[	28.7	11.3	0	0.326
	EAV	[32.4 - 25.5[	[25.5 - 18.6[	[18.6 - 11.7[	[11.7 - 4.8[	[4.8 - 0[	18.6	6.9	0	0.144
Não anemocóricas (%) - chuva de sementes	EIC	[95.9 - 91.3[	[91.3 - 86.7[	[86.7 - 82.1[	[82.1 - 77.5[	[77.5 - 72.9[	86.7	4.6	0	0.093
	EIT	[93.9 - 82.6[	[82.6 - 71.3[	[71.3 - 60[	[60 - 48.7[	[48.7 - 37.4[	71.3	11.3	0	0.326
	EAV	[95.2 - 88.3[	[88.3 - 81.4[	[81.4 - 74.5[	[74.5 - 67.6[	[67.6 - 60.7[	81.4	6.9	0	0.145
DAP - Flora	EIC	[10.93 - 9.55[	[9.55 - 8.17[	[8.17 - 6.79[	[6.79 - 5.41[	[5.41 - 4.03[	8.17	1.38	1	0.007
	EIT	[8.06 - 7.9[	[7.9 - 7.74[	[7.74 - 7.58[	[7.58 - 7.42[	[7.42 - 7.26[	7.74	0.16	0	<.001
	EAV	[8.91 - 8.45[	[8.45 - 7.99[	[7.99 - 7.53[	[7.53 - 7.07[	[7.07 - 6.61[	7.99	0.46	0	<.001
Altura - Flora	EIC	[8.53 - 6.53[	[7.53 - 6.53[	[6.53 - 5.53[	[5.53 - 4.53[	[4.53 - 3.53[	6.53	1.00	0	0.007
	EIT	[9.03 - 8.51[	[8.51 - 7.99[	[7.99 - 7.47[	[7.47 - 6.95[	[6.95 - 6.43[	7.99	0.52	0	<.001
	EAV	[10.15 - 8.97[	[8.97 - 7.79[	[7.79 - 6.61[	[6.61 - 5.43[	[5.43 - 4.25[	7.79	1.18	0	<.001
Cobertura de copa (%) - Flora	EIC	[100 - 97.86[	[97.86 - 79.81[	[79.81 - 61.76[	[61.76 - 43.71[	[43.71 - 25.66[	79.81	18.05	1	0.005
	EIT	[94.31 - 93.16[	[93.16 - 92.01[	[92.01 - 90.86[	[90.86 - 89.71[	[89.71 - 88.56[	92.01	1.15	0	0.001
	EAV	[96.8 - 96.3[	[96.3 - 95.80[	[95.80 - 95.3[	[95.3 - 94.8[	[94.8 - 94.3[	95.80	0.50	0	<.001
Pioneiras (%) - Flora	EIC	[36.28 - 40.14[	[40.14 - 44.0[	[44.0 - 47.86[	[47.86 - 51.72[	[51.72 - 55.58[	44.0	3.86	0	0.005
	EIT	[13.04 - 20.72[	[20.72 - 28.4[	[28.4 - 36.08[	[36.08 - 43.76[	[43.76 - 51.44[	28.4	7.68	0	<.001
	EAV	[0 - 6.01[	[6.01 - 15.0[	[15.0 - 23.99[	[23.99 - 32.98[	[32.98 - 41.97[	15.0	8.99	0	<.001
Não pioneiras (%) - Flora	EIC	63.72 - 59.86[	[59.86 - 56.0[	[56.0 - 52.14[	[52.14 - 48.28[	[48.28 - 44.42[	56.0	3.86	0	0.005
	EIT	[86.96 - 79.28[	[79.28 - 71.6[	[71.6 - 63.92[	[63.92 - 56.24[	[56.24 - 48.56[	71.6	7.68	0	<.001
	EAV	[100 - 93.99[	[93.99 - 85.0[	[85.0 - 76.01[	[76.01 - 67.02[	[67.02 - 58.03[	85.0	8.99	0	<.001
Anemocóricas - Flora (%)	EIC	[0.22 - 8.31[	[8.31 - 16.4[	[16.4 - 24.49[	[24.49 - 32.58[	[32.58 - 40.67[	16.4	8.09	0	0.001
	EIT	[29.4 - 32.75[	[32.75 - 36.1[	[36.1 - 39.45[	[39.45 - 42.8[	[42.8 - 46.15[	36.1	3.35	0	0.028
	EAV	[0 - 5.02[	[5.02 - 11.8[	[11.8 - 18.58[	[18.58 - 25.36[	[25.36 - 32.14[	11.8	6.78	0	<.001
	EIC	[99.78 - 91.69[	[91.69 - 83.6[	[83.6 - 75.51[	[75.51 - 67.42[	[67.42 - 59.33[	83.6	8.09	0	0.001

Não anemocóricas - Flora (%)	EIT	[70.6 - 67.25[	[67.25 - 63.9[	[63.9 - 60.55[	[60.55 - 57.2[	[57.2 - 53.85[	63.9	3.35	0	0.028
	EAV	[100 - 94.98[	[94.98 - 88.2[	[88.2 - 81.42[	[81.42 - 74.64[	[74.64 - 67.86[	88.2	6.78	0	<.001
Abundância - Flora	EIC	[112.85 - 90.26[	[90.26 - 67.67[	[67.67 - 45.08[	[45.08 - 22.49[	[22.49 - 0[	67.67	22.59	3	0.998
	EIT	[197.73 - 175.7[	[175.7 - 153.67[	[153.67 - 131.64[	[131.64 - 109.61[	[109.61 - 87.58[	153.7	22.03	0	0.003
	EAV	[150.74 - 127.87[	[127.87 - 105.00[	[105.00 - 82.13[	[82.13 - 59.26[	[59.26 - 36.39[	105.0	22.87	2	0.140
Riqueza - Flora	EIC	[40.00 - 32.8[	[32.8 - 25.67[	[25.67 - 18.65[	[18.65 - 11.63[	[11.63 - 4.61[	25.67	07.02	3	0.842
	EIT	[45.73 - 44.2[	[44.2 - 42.67[	[42.67 - 41.14[	[41.14 - 39.61[	[39.61 - 38.08[	42.67	1.53	0	0.001
	EAV	[30.83 - 29.25[	[29.25 - 27.67[	[27.67 - 26.09[	[26.09 - 24.51[	[24.51 - 22.93[	27.67	1.58	1	0.511
Diversidade Shannon - Flora	EIC	[3.48 - 3.11[	[3.11 - 2.74[	[2.74 - 2.37[	[2.37 - 2.00[	[2.00 - 1.63[	2.74	0.37	3	0.895
	EIT	[3.38 - 3.19[	[3.19 - 3.00[	[3.00 - 2.81[	[2.81 - 2.62[	[2.62 - 2.43[	3.00	0.19	1	0.356
	EAV	[2.92 - 2.74[	[2.74 - 2.56[	[2.56 - 2.38[	[2.38 - 2.2[	[2.2 - 2.02[	2.56	0.18	3	1.000
Equabilidade de Pielou - Flora	EIC	[0.95 - 0.9[	[0.9 - 0.85[	[0.85 - 0.8[	[0.8 - 0.75[	[0.75 - 0.7[	0.85	0.05	3	0.926
	EIT	[0.88 - 0.84[	[0.84 - 0.8[	[0.80 - 0.76[	[0.76 - 0.72[	[0.72 - 0.68[	0.80	0.04	4	0.985
	EAV	[0.87 - 0.82[	[0.82 - 0.77[	[0.77 - 0.72[	[0.72 - 0.67[	[0.67 - 0.62[	0.77	0.05	4	0.812

Conforme o modelo de distribuição normal, notas igual ou menor que 1 indica que a possibilidade dessa média fazer parte do conjunto de dados é menor que 1%, sendo reforçado pela indicação do valor $p > 0,05$ do teste de post-hoc. Assim, notas igual ou menor que 1 são consideradas insatisfatórias. Portanto, essa baixa probabilidade de a média pertencer ao mesmo conjunto de dados demonstra que a área ainda precisa de acompanhamento, ou seja, ainda não alcançou a autossustentação. As notas finais encontradas para os indicadores de autossustentabilidade de RE em contraste com as áreas de referência podem ser observadas na Figura 18, que demonstra que 56% dos indicadores foram restabelecidos.

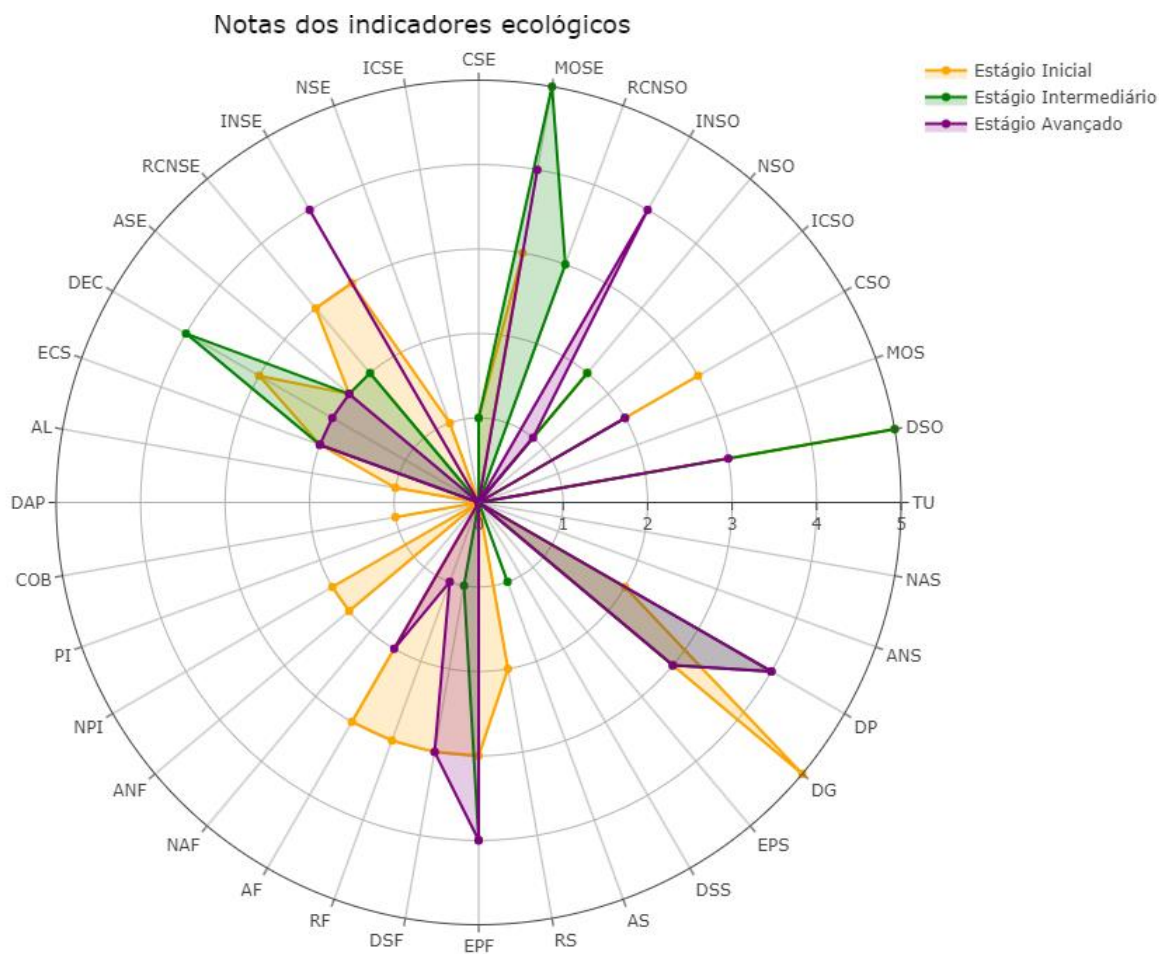


Figura 18. Representação gráfica das notas dos indicadores ecológicos da área em restauração em relação aos três estágios sucessionais de referência. DSO: densidade do solo, MOS: matéria orgânica do solo, CSO: Carbono do solo, ICSO: razão isotópica $d^{13}C/^{12}C$ do solo, NSO: nitrogênio do solo, INSO: razão isotópica $d^{15}N/^{14}N$ do solo, RCNSO: razão carbono e nitrogênio do solo, MOSE: matéria orgânica da serrapilheira, CSE: carbono da serrapilheira, ICSE: razão isotópica $d^{13}C/^{12}C$ da serrapilheira, NSE: nitrogênio da serrapilheira, INSE: razão isotópica $d^{15}N/^{14}N$ da serrapilheira, RCNSE: razão carbono e nitrogênio da serrapilheira, ASE: aporte de serrapilheira, DEC: decomposição, ECS: estoque de carbono do solo, AL: altura da vegetação, DAP: diâmetro altura do peito, COB: cobertura de copa, PI: pioneiras, NPI: não pioneiras, ANF: anemocórica flora, NAF: não anemocórica flora, AF: abundância flora, RF: riqueza flora, DSF: diversidade de Shannon flora, EPF: equitabilidade de Pielou flora, RS: riqueza sementes, AS: abundância sementes, DSS: diversidade de Shannon sementes, EPS: equitabilidade de Pielou sementes, DG: diásporos grandes, DP: diásporos pequenos, ANS: anemocórica sementes, NAS: não anemocórica sementes.

Discussão

A abundância, riqueza, diversidade e composição arbustiva-arbórea foi recuperada?

Nosso estudo indicou que a área em restauração já possui notas satisfatórias na abundância, riqueza, diversidade e equitabilidade. As notas da equitabilidade de Pielou em

RE foram elevadas em comparação a EIT e EAV, indicando que RE possui melhor distribuição das espécies do que essas áreas. Esses achados evidenciam que esforços têm sido feitos desde o início do projeto de restauração, o aumento na variedade de espécies não só ajuda a criar um ambiente mais equilibrado, mas também aumenta a capacidade de lidar com as mudanças ambientais e as chances de sucesso a longo prazo (Rodrigues *et al.*, 2009; Poorter, 2021).

A vegetação de áreas em processo de restauração ecológica com o passar do tempo tende a se desenvolver e se assemelhar a ecossistemas com pouca intervenção humana (SER, 2004; Londe *et al.*, 2020), uma vez que as fontes externas tendem a contribuir para a dinâmica da restauração (Daronco C, Galvão AC, Durigan G., 2013). No entanto, nossos resultados demonstram que em cinco anos RE ainda não alcançou similaridade florística com os demais estágios sucessionais de referência. O plantio direto realizado possivelmente influencia a composição de RE devido à disponibilidade limitada de mudas nos viveiros locais e à escolha de plantas capazes de suportar as condições de degradação no início da implementação do projeto.

As espécies *Copaifera langsdorffii*, *Handroanthus serratifolius*, *Machaerium villosum* e *Tapirira guianensis* foram comuns em todas as áreas, indicando seu potencial para serem utilizadas em projetos de restauração ecológica em áreas com fitofisionomia de floresta estacional semidecidual. Além do mais, a maioria das espécies identificadas foram classificadas como pouco preocupantes de risco de extinção. Ainda assim, *Chomelia sericea*, *Xylopia brasiliensis* e *Cedrela fissilis* foram consideradas como vulneráveis de extinção na natureza, isso reforça a importância dessas unidades de conservação como refúgio de espécies em algum grau de ameaça.

A integridade da estrutura da comunidade florestal está restaurada?

A análise da estrutura vertical mostrou que as áreas de referência apresentam três estratos bem definidos e RE ainda não possui estrato superior, indicando que a área ainda não apresenta indivíduos com altura superior 11,3 metros. Esse resultado demonstra que a RE ainda não atingiu os parâmetros esperados de acordo com critério adotado por Brancalion *et al.* (2013) para avaliar o estado de conservação de ambientes de Floresta estacional semidecidual. Entretanto, Mandetta (2007) encontrou um valor médio da

comunidade arbustiva-arbórea com aproximadamente 4 metros de altura em um ambiente em processo de restauração com poucos anos de desenvolvimento. Esse fato indica que, embora RE apresente notas insatisfatórias em relação à altura das áreas de referência, os valores observados são satisfatórios em relação a outras áreas de restauração com idades semelhantes, o que evidencia que esse indicador necessita de maior tempo para seu restabelecimento.

Assim como observado na estrutura vertical, a área em RE ainda não apresenta o estrato superior da distribuição do diâmetro de seus indivíduos. Embora RE apresente nota 1 em relação a EIC, nossos resultados se diferenciam aos encontrados por Mandetta (2007), que relata presença de alguns poucos indivíduos com DAP maiores que 20 cm. Souza e Batista (2004) relatam que reflorestamentos com cerca de cinco anos podem favorecer o desenvolvimento em altura ao invés do deslocamento de energia para o incremento de diâmetro.

A cobertura de copa é considerada como indicador com elevado grau de importância para o restabelecimento da estrutura de áreas em restauração (Brancalion *et al.*, 2013), os padrões de distribuição de luz interferem na sobrevivência de plântulas que consequentemente afetam a composição futura da área (Melo *et al.*, 2007). Entretanto, as notas de cobertura de copa de RE foram insatisfatórias em relação às áreas de referência (nota 1 em EIC e 0 em EIT e EAV), evidenciando o problema de fechamento do dossel. Essa condição de luminosidade dificulta o estabelecimento de espécies de outros estágios sucessionais, o que pode comprometer o desenvolvimento da área. Para áreas com 5 anos é esperado que tenha restabelecido o mínimo de 30 a 80% de sua cobertura, valores menores que 30% são considerados como preocupantes para fitofisionomias florestais (SMA, 2009; Brancalion *et al.*, 2013; SMA Nº 32 de 03/04/2014).

Por se tratar de uma região de transição entre cerrado e mata atlântica, inicialmente RE pode ser influenciada por de plantas do cerrado. A maior abundância de *Baccharis dracunculifolia*, um arbusto de 2 a 4 metros com ramos muito finos e esparsos (Plá, 2013), possivelmente exerce um efeito considerável sobre os parâmetros estruturais da vegetação encontrada em RE.

No geral, as notas obtidas na roda da recuperação evidenciam que a área em restauração ainda não recuperou os componentes estruturais da comunidade arbustiva-arbórea, esses resultados são corroborados pelos achados de Londe *et al.*, (2020), que relatam que esses indicadores se recuperam mais lentamente em ambientes florestais, muita das vezes precisando de ao menos 10 anos para se assemelhar a áreas de referência. Por conta do estado crítico da cobertura de copa, fica evidente a necessidade de intervenções para potencializar o aumento da cobertura do dossel e dificultar o estabelecimento de gramíneas agressivas.

Os processos funcionais da comunidade estão sendo restaurados?

Os grupos funcionais e as informações das espécies mais abundantes são importantes para indicar o progresso na sucessão ecológica das áreas. À medida que a sucessão avança é esperado que as proporções de espécies arbustivas-arbóreas zoocóricas e não pioneiras aumente (Londe *et al.*, 2020), porém notamos que RE ainda não atingiu as proporções esperadas em relação as áreas de referência. Diferente das áreas naturais conservadas, onde predominam espécies não pioneiras, as áreas em restauração recém-implantadas necessitam da presença de espécies pioneiras por conta do seu crescimento rápido, formação de copa e tolerância à luminosidade, que criam condições favoráveis para o posterior desenvolvimento de plantas menos adaptadas a tais condições, como algumas espécies de plantas não pioneiras.

Florestas conservadas comumente apresentam taxa de zoocoria superior a 60% e áreas florestais que sofreram alguma perturbação ambiental apresentam percentuais inferiores de zoocoria (Piña-Rodrigues e Aoki, 2014). Isso nos alerta sobre esse quesito, já que Londe *et al.*, 2020 encontrou essas proporções estabelecidas em áreas de restauração e esse baixo percentual encontrado afeta diretamente os consumidores primários que dependem da disponibilidade de frutos para sua permanência na área (Mikich e Silva 2001, Jordano *et al.*, 2006).

A restauração de ecossistemas deve considerar a importância dos polinizadores na manutenção da biodiversidade. A criação de habitats adequados, com oferta de recursos florais e a garantia de conectividade entre diferentes áreas, é fundamental para atrair e sustentar populações de polinizadores, o que de certa forma irá contribuir para a

manutenção do equilíbrio ecológico e a perpetuação de diversas espécies de plantas (Dixon 2009; Montoya-Pfeiffer e Rodrigues, 2020).

As flores apresentam várias características que desempenham seu papel de atrair os polinizadores como cor, forma, tamanho e aroma, mas os sinais de cor são considerados os mais importantes (Martins, 2019; Martins et al. 2021). Entretanto, as espécies de polinizadores enxergam de maneira diferente os espectros de cores (Altshuler 2003; Dyer *et al.*, 2012; Martins *et al.*, 2021). A diversidade de cores entre as áreas propicia maior possibilidade em atrair diferentes tipos de polinizadores, por exemplo, o espectro de cor vermelha é efetivo na atração de beija-flores sendo essa cor encontrada apenas em RE e EAV, em áreas de estágio avançado, a detecção de flores pode ser mais difícil devido à presença de obstáculos como folhas e galhos. Assim, possivelmente, as cores vibrantes podem ajudar os polinizadores a localizar as flores. Para abelhas, cores vibrantes, como o vermelho, não são tão atrativas por conta de não terem sensibilidade a esse espectro de cor (Dyer *et al.*, 2012), o que poderia explicar a maior proporção de flores brancas e amarelas em todas as áreas, visto que atendem a maior quantidade de polinizadores. No trabalho de Martins *et al.*, (2021) em uma área de cerrado, as cores mais comuns foram as brancas, amarelas e rosas de acordo com as cores de visão humana e relatam que as abelhas são os polinizadores mais comuns nessa comunidade. Vale ressaltar que os plantios realizados em áreas de restauração melhoram recuperação das comunidades de abelhas, entretanto é necessário um maior tempo para o restabelecimento de recursos para nidificação para algumas espécies (Montoya-Pfeiffer e Rodrigues, 2020).

Além do mais, incorporar a avaliação de diferentes tamanhos de frutos em áreas de restauração pode nortear sobre as possíveis condições para a reconstrução da cadeia trófica. O maior percentual de síndrome de dispersão zoocórica em áreas conservadas, demonstram que as características morfológicas, fisiológicas e comportamentais de plantas e animais coevoluíram (Gautier-Hion *et al.*, 1985; Rehling *et al.*, 2021). Assim, o tamanho do fruto está relacionado aos seus dispersores, por exemplo com o aumento do tamanho do fruto ocorre a limitação dos animais que irão consumir esse diásporo, ou seja, com o aumento do tamanho do fruto é possível que também aumente o tamanho do animal que irá conseguir dispersá-lo. Logo, diferentes tamanhos de frutos tendem a aumentar a diversidade de animais dispersores dado a maior possibilidade de diferentes recursos alimentares (Guimarães *et al.*, 2008; Rehling *et al.*, 2021). Essa constatação corrobora

com os nossos achados, espécies vegetais com a produção de frutos pequenos e médios estão presente em maior quantidade nas áreas de referência (EIC, EIT e EAV), dado o potencial de atender a maior parte de dispersores (Mikich e Silva, 2001). Um outro ponto, é que RE apresenta espécies que produzem tamanho de frutos muito grandes, indicando que possivelmente a área tem a capacidade de fornecer frutos para alguns animais maiores.

Para garantir a máxima permanência de polinizadores e dispersores em áreas de restauração, recomenda-se organizar o plantio de modo que tenha disponibilidade desses recursos ao longo do ano (Jordano *et al.*, 2006). Nesse sentido, nossos resultados baseados na composição florística demonstram que existe disponibilidade de floração e frutificação ao longo do ano independente da área avaliada. Foram encontradas mais espécies com floração no período chuvoso, assim como encontrado nos trabalhos por Mikich e Silva (2001). Esse fato pode estar relacionado com o aumento na abundância de insetos durante esse mesmo período, que possibilita a maior oferta de polinizadores e eventual reprodução das plantas. Em relação a frutificação, Mikich e Silva (2001) encontrou maior disponibilidade durante os períodos mais frios e menos chuvosos, diferente do encontrado em nosso levantamento. Em geral, mesmo que RE apresente disponibilidade de floração durante o ano todo, ficou evidente a menor riqueza de espécies que florescem entre os meses de abril a junho e menor frutificação entre janeiro a março, assim caso ocorra um eventual plantio de enriquecimento, é recomendado a utilização de espécies que floresçam e frutifiquem durante esse período.

Em geral, pensando de forma oposta a síndrome da floresta vazia que diz respeito ao esvaziamento e empobrecimento da fauna nas florestas, nossos indicadores funcionais avaliados demonstram a possibilidade da área em restauração em fornecer condições para a reconstrução da cadeia trófica, ou seja, o quão vivo de recursos esse novo ecossistema possui para a fauna e conseqüentemente para sua manutenção.

Os processos da chuva de sementes estão sendo restabelecidos?

O ciclo de vida e o tempo de maturação reprodutiva apresentam variabilidade entre espécies de plantas. Em áreas de restauração ecológica, onde a introdução de indivíduos ocorreu em um tempo inicial, é necessário um período mais prolongado para

que as plantas atinjam a plena capacidade reprodutiva. Essa dinâmica se reflete na menor riqueza de diásporos encontrados nesses ambientes. De fato, houve diferença na riqueza e diversidade rarefeita em relação às áreas de referência, o que evidencia que em cinco anos a área ainda não atingiu pleno desenvolvimento reprodutivo.

Nossos resultados indicaram que RE apresentou a diversidade de Shannon Weaver (H') 1,397 e Equabilidade de Pielou (J') 0,409, diferente de Fróes *et al.*, (2020) que observou áreas com fitofisionomia de floresta estacional semidecidual em processo de restauração com 12, 13 e 16 anos com a diversidade de Shannon maiores que 2,7 e Equabilidade de Pielou maiores que 0,87, indicando que essas características necessitam de maior tempo para seu restabelecimento.

Nossas descobertas demonstram que 56,8% dos diásporos encontrados em RE são de *Urochloa decumbens*, espécie conhecida por seu potencial invasor. A elevada abundância dessa espécie colabora para o menor valor encontrado no índice de equabilidade de Pielou, indicando sua dominância na área. Conforme apontado por Hooper *et al.*, (2005), os fatores como a pressão de propágulos, regime de perturbação e disponibilidade de recursos podem favorecer o contínuo sucesso da invasão, além de seus diásporos conseguirem permanecer dormentes por décadas no solo e na serrapilheira (Bieluczyk *et al.*, 2023). Apesar da menor riqueza encontrada em RE, é possível observar a existência de disponibilidade de diásporos na área mesmo com elevada abundância de *Urochloa decumbens*.

Florestas tropicais apresentam uma importante característica de disseminação de propágulos por animais, representando a maior proporção em ambientes conservados. Em contrapartida, em ambientes florestais, o padrão observado de anemocoria é inferior a 40% (Rodrigues e Aoki, 2014; Venzenk *et al.*, 2014). Desse modo, os dados obtidos possivelmente indicam que RE sofreu com o grau de degradação e ainda não recuperou esse quesito. Resultado similar foi encontrado por Barbosa (2004), sementes anemocóricas foram mais abundantes (51,2%) que sementes zoocóricas (44,3%) em área de restauração, no entanto ela alerta sobre a influência da composição florística artificialmente plantada na dinâmica da chuva de sementes em áreas de restauração com curto tempo de desenvolvimento. Nesse sentido, o baixo percentual de espécies não anemocóricas pode afetar a atração de frugívoros, que desempenham um papel importante

na dispersão e reintrodução de propágulos de fontes externas, que poderiam contribuir para o aumento da riqueza específica da área (Jordano *et al.*, 2006).

Em geral, nosso estudo indicou que diferente da comunidade arbustiva-arbórea que já recuperou atributos relacionados à abundância, riqueza, diversidade de Shannon, e a equabilidade de Pielou a chuva de sementes ainda não possui nota considerável nesses indicadores. O percentual das síndromes de dispersão encontrados em RE ainda não assemelha ao padrão encontrado nas áreas de referência (Venzenk *et al.*, 2014), no entanto vai de encontro às proporções encontradas na comunidade arbustiva-arbórea.

As condições do solo foram recuperadas?

Nosso estudo indicou que apesar da área em restauração apresentar o menor valor de C do solo, não houve diferença entre as áreas (nota 3 em EIC e 2 em EIT e EAV), evidenciando que esse indicador não mudou ao longo da sucessão ecológica. O restabelecimento da biomassa pode favorecer a produção e decomposição de serapilheira e, portanto, ajudar a rápida recuperação do C do solo (Poorter *et al.*, 2021). Além do mais, esse indicador se mostrou pouco afetado pelas perturbações acima do solo, demonstrando que em aproximadamente 5 anos ocorre sua recuperação. Entretanto, nas camadas mais profundas do solo pode ser necessário um período mais prolongado para seu pleno restabelecimento (Bieluczyk *et al.*, 2023 b).

Os processos antrópicos podem modificar a abundância isotópica do carbono, como por exemplo o desmatamento altera áreas florestais que possuem via metabólica C3 e podem resultar na modificação da assinatura isotópica ao longo do tempo (Novello *et al.*, 2021; Pereira e Benedito, 2007). De fato, esse estudo observou diferença significativa na razão de isótopos estáveis de carbono do solo, com RE com nota zero em todos estágios, o valor encontrado em RE foi de ($\delta^{13}\text{C} = -16,8\text{‰}$) e os outros estágios sucessionais ($\delta^{13}\text{C} \approx -26,0\text{‰}$), o que evidencia a predominância de plantas C4 (gramíneas) na área restaurada, em contraste com a maior presença de plantas C3 (árvores) nos demais estágios de sucessão. Esses achados são corroborados pelos resultados de Zanini *et al.*, (2021), que obtiveram um valor de $\delta^{13}\text{C}$ de $-25,8\text{‰}$ em uma área de referência com fitofisionomia de Floresta Estacional Semidecidual e um valor de $-17,1\text{‰}$ em uma área com restauração ativa com cinco anos de intervenção. Isso chama atenção para o tempo

necessário para a transição da abundância dos isótopos de carbono do solo, ou seja, áreas de restauração com cinco anos ainda não possuem recomposição dos padrões observados em áreas de referência, possivelmente por conta do impacto da degradação e da prevalência de gramíneas C4. Entretanto, espera-se que a proporção de C3 aumente com a idade da restauração florestal (Bieluczyk *et al.*, 2023 a). O mesmo padrão foi observado na composição isotópica de carbono da serrapilheira, onde a média da área em restauração foi de $\delta^{13}\text{C} = -17,7\text{‰}$ diferente das áreas referência $\delta^{13}\text{C} \approx -30,0\text{‰}$, indicando que em RE ocorre maior prevalência de plantas C4 na composição da serrapilheira do que nas demais áreas.

Na área de restauração encontramos ($0,15 \pm 0,05$) de teor de N do solo, resultados próximos ao observado por Amazonas *et al.*, (2011), que encontrou em áreas em restauração com 21 anos ($0,13 \pm 0,08$) e 52 anos ($0,12 \pm 0,07$). O teor de N da serrapilheira foi consideravelmente menor ($0,84 \pm 0,12$) em relação às áreas em restauração com 21 anos ($2,57 \pm 0,66$) e 52 anos ($2,87 \pm 0,80$) do mesmo trabalho. Em geral, os teores de nitrogênio do solo e serrapilheira aumentaram à medida em que o processo de sucessão ecológica avançou, sugerindo que as mudanças do teor de nitrogênio estão associadas com as mudanças que ocorrem na vegetação, esse sistema faz com que florestas antigas aumente o N e diminua a limitação deste nutriente no ecossistema (Amazonas *et al.*, 2011). Assim, nossas descobertas indicam que a recuperação de N da serrapilheira ainda não foi alcançada na área restaurada, mas está seguindo uma trajetória de desenvolvimento esperada em relação à sucessão ecológica.

A dinâmica do ecossistema é regulada por uma série de fatores, dentre os quais a decomposição da matéria orgânica desempenha um papel crucial. A decomposição está intimamente ligada à relação carbono-nitrogênio (C:N), uma vez que a relação C:N está elevada, os microrganismos tendem a imobilizar o nitrogênio retardando a decomposição da matéria orgânica (Teodoro, 2016; Leite, 2004). Nossos resultados de C:N da serrapilheira em RE ($35,14 \pm 10,74$) e estágio avançado ($19,33 \pm 2,02$) divergiram em relação a áreas em restauração com 8 anos ($26,30 \pm 3,25$), 15 anos ($24,06 \pm 1,54$) e convergiram em relação a área de referência com fitofisionomia de floresta estacional semidecidual ($18,40 \pm 1,06$), evidenciando que a relação C:N do solo diminuiu à medida que o tempo passa e o processo de sucessão avança. Os valores elevados de C:N da

serrapilheira refletiram nos valores encontrados no solo, mantendo o mesmo padrão de diminuição com o avanço da sucessão.

Assim como nosso trabalho, Machado *et al.*, (2021) não encontrou diferença na entrada de serrapilheira de áreas em processo de restauração. No entanto, deve ser levado em consideração que o aumento da densidade de plantas favorece a entrada de serrapilheira no sistema e a composição das espécies refletem na qualidade da serrapilheira (Hobbie, 1992; Machado *et al.*, 2021). Além disso, plantas herbáceas podem contribuir para o aumento inicial de MOS, por conta do seu rápido crescimento e a renovação das suas abundantes raízes (Bieluczyk *et al.*, 2023), além de possivelmente contribuir para o aumento do teor de umidade do solo, confirmado pelos dados encontrados em nosso trabalho. Essas características favorecem o aumento do estoque de C do solo ao longo do tempo (Bieluczyk *et al.*, 2023). De fato, não encontramos diferença significativa no estoque de carbono entre as áreas, assim como nos trabalhos de Bieluczyk *et al.*, (2023 a) e Zanini *et al.*, (2021), evidenciado o potencial de estoque de carbono do solo em área de restauração ecossistêmica.

Na análise de densidade, do teor de carbono do solo e serrapilheira nossos resultados não apresentaram discrepâncias significativas entre os tratamentos, diferente do trabalho realizado por (Zanini *et al.*, 2021) que observaram variações desses indicadores entre as áreas com diferentes métodos de restauração e a área de referência. A menor densidade na área em restauração possivelmente é explicada pelo contexto histórico da área, o qual o solo foi revolvido e incorporado para a recuperação de uma voçoroca encontrada anteriormente na área. Nesse sentido, a densidade foi próxima ao encontrado nas áreas referências, inclusive da área RF de Zanini *et al.*, (2021), essa menor densidade favorece a aeração e infiltração de água no solo condições que possivelmente favorecem o crescimento de raízes e incorporação de matéria orgânica e carbono no solo (Bieluczyk *et al.* 2023 a). Essa constatação, portanto, corrobora com a ideia de que a área em restauração está recuperando essas funções no ecossistema.

O potencial de autossustentação foi restabelecido?

Por meio da metodologia utilizada, foi possível observar que RE apresenta trajetória mais próxima ao estágio inicial e que apenas 56% dos indicadores avaliados

foram restabelecidos em relação aos estágios sucessionais de referência. Isso ressalta que ainda existe a necessidade de acompanhamento da área e que ela ainda não atingiu seu potencial de autossustentação, mesmo que, em alguns casos, o tempo seja um fator primordial para que esse indicador seja recuperado.

Conclusões

A análise dos atributos do solo revela que a restauração ativa está acelerando o processo de recuperação da saúde do solo, isso se deve ao bom manejo realizado na área pelo proprietário. Cabe ressaltar que alguns atributos do solo possivelmente serão restabelecidos à medida que a vegetação avance no processo de sucessão ecológica. Além do mais, RE apresenta abundância, riqueza e diversidade próxima das condições de referência, o que aponta que esforços foram feitos desde o início do projeto para criar um ambiente mais equilibrado e propício para recuperação dos serviços ecossistêmicos.

No entanto, os indicadores relacionados a chuva de sementes, grupo funcional, síndromes de dispersão e componentes estruturais não alcançaram pontuação satisfatória em relação aos estágios de referência. Isso indica que RE ainda não recuperou todo seu potencial de autossustentação, sendo recomendado a intervenção pontual para restabelecer alguns atributos necessários para sua manutenção e posterior avaliação para o acompanhamento da trajetória da área.

Além do mais, nossas descobertas indicam que o método utilizado se mostrou eficiente para avaliar de forma ampla e integrada os componentes essenciais para a autossustentação da área, fornecendo informações valiosas das tendências de mudança, principalmente se for acompanhar a evolução da área ao longo do tempo. Assim, por ser uma ferramenta de simples execução e de fácil interpretação, recomenda-se a sua adaptação para indicadores de fácil obtenção e que forneça informações robustas para serem utilizados por consultores e órgãos ambientais.

Por fim, esse trabalho tem implicações importantes para a grande área da restauração de ecossistemas, para a mitigação das mudanças climáticas e, principalmente para a conservação da biodiversidade.

Referências bibliográficas

Almeida, B.G; Viana, J.H.M; Teixeira, W.G; Donagemma, G.K. (2017). Densidade do solo. In Manual de Métodos de Análise de Solo. Embrapa. Brasília. Cap.7. 3º edição. ISBN 978-85-7035-771-7.

Altshuler DL (2003) Flower Color, Hummingbird Pollination, and Habitat Irradiance in Four Neotropical Forests¹. *Biotropica* 35: 344–355. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2003.tb00588.x>

Amazonas NT, Martinelli LA, Piccolo MDC, Rodrigues RR (2011). Nitrogen dynamics during ecosystem development in tropical forest restoration. *Forest Ecology and Management* 262: 1551–1557. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.07.003>.

Angiosperm Phylogeny Group (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181 (1): 1-20.

Balieiro, F. C.; Dias, L. E.; Franco, A. A.; Campello, E. F. C.; Faria, S. M. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium* Willd. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 59-65, 2004.

Barbosa JBM, Gomes WB, Malaquias JV, Aquino FDG, Albuquerque LBD (2018) Métodos de controle de braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf.) em área de restauração ecológica de mata ripária, DF. *Ciência Florestal* 28: 1491–1501. <https://doi.org/10.5902/1980509835096>

Barbosa, K. C. (2004). Chuva de sementes em uma área em processo de restauração vegetal em santa cruz das palmeiras (SP). Dissertação. Universidade Estadual Paulista. <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/658db774-7edc-4e70-bdab-ecda2a96d461/content>

Bieluczyk W, Merloti LF, Cherubin MR, Mendes LW, Bendassolli JA, Rodrigues RR, Camargo PBD, Van Der Putten WH, Tsai SM (2023a) Forest restoration rehabilitates soil

multifunctionality in riparian zones of sugarcane production landscapes. *Science of The Total Environment* 888: 164175. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164175>.

Bieluczyk W, Asselta FO, Navroski D, Gontijo JB, Venturini AM, Mendes LW, Simon CP, Camargo PBD, Tadini AM, Martin-Neto L, Bendassolli JA, Rodrigues RR, Van Der Putten WH, Tsai SM (2023b) Linking above and belowground carbon sequestration, soil organic matter properties, and soil health in Brazilian Atlantic Forest restoration. *Journal of Environmental Management* 344: 118573. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118573>.

Brancalion, Pedro Henrique Santin e Lima, Letícia Ribes e Rodrigues, Ricardo Ribeiro (2013). Restauração ecológica como estratégia de resgate e conservação da biodiversidade em paisagens antrópicas tropicais. in *Conservação da Biodiversidade em paisagens antropizadas do Brasil*. Tradução. Curitiba: UFPR. p. 587

Carvalho PER (2002) *Espécies Arbóreas Brasileiras*, v.1. Embrapa Informação Tecnológica.

Carvalho PER (2003) *Espécies arbóreas brasileiras*, v.2. Embrapa Informação Tecnológica.

Carvalho PER (2008) *Éspecies Arbóreas Brasileiras*, v.3. Embrapa Informação Tecnológica.

Carvalho PER (2010) *Espécies Arbóreas Brasileiras*, v.4. Embrapa Informação Tecnológica.

Carvalho PER (2014) *Espécies arbóreas brasileiras*. v.5. Embrapa Informação Tecnológica.

Casimiro MS, Filardi RAE, Sansevero JBB, Santangelo JM, Feitosa RM, Queiroz JM (2022) Concordância entre plantas regenerantes, formigas e outros artrópodes na Mata Atlântica: a importância da identidade das árvores no dossel. *Iheringia. Série Zoologia* 112: e2022008. <https://doi.org/10.1590/1678-4766e2022008>

C. Sievert. *Interactive Web-Based Data Visualization with R, plotly, and shiny*. Chapman and Hall/CRC Florida, 2020.

Daronco C, Galvão AC, Durigan G. (2013) Ecosistema em restauração versus ecossistema de referência: estudo de caso da comunidade vegetal de mata ciliar em região de Cerrado, Assis, SP, Brasil. *Hoehnea* 40(3): 485-498

De Souza FM, Batista JLF (2004) Restoration of seasonal semideciduous forests in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure. *Forest Ecology and Management* 191: 185–200. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.12.006>

Dixon KW (2009) Pollination and Restoration. *Science* 325: 571–573. <https://doi.org/10.1126/science.1176295>

Dyer AG, Boyd-Gerny S, McLoughlin S, Rosa MGP, Simonov V, Wong BBM (2012) Parallel evolution of angiosperm colour signals: common evolutionary pressures linked to hymenopteran vision. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 279: 3606–3615. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.0827>

Gautier-Hion, A., Duplantier, J. M., Quris, R., Feer, F., Sourd, C., Decoux, J. P., et al. (1985). Fruit characters as a basis of fruit choice and seed dispersal in a tropical forest vertebrate community. *Oecologia* 65, 324–337. doi: 10.1007/BF00378906

Guimarães PR, Galetti M, Jordano P (2008) Seed Dispersal Anachronisms: Rethinking the Fruits Extinct Megafauna Ate. Hansen DM (Ed.). *PLoS ONE* 3: e1745. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001745>

Hammer, Øyvind (2024). Past 5, versão 5.0.2. Natural History Museum, University of Oslo. Disponível em: <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/>.

Hobbie SE (1992) Effects of plant species on nutrient cycling. *Trends in Ecology & Evolution* 7: 336–339. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(92\)90126-V](https://doi.org/10.1016/0169-5347(92)90126-V).

Hool, K.D., Fundamentos da Restauração Ecológica. México CDMX: CopIt-arXives. ISBN: 978-1-938128-50-9 ebook. 2023.

Hooper DU, Chapin FS, Ewel JJ, Hector A, Inchausti P, Lavorel S, Lawton JH, Lodge DM, Loreau M, Naeem S, Schmid B, Setälä H, Symstad AJ, Vandermeer J, Wardle DA (2005) EFFECTS OF BIODIVERSITY ON ECOSYSTEM FUNCTIONING: A

CONSENSUS OF CURRENT KNOWLEDGE. *Ecological Monographs* 75: 3–35.
<https://doi.org/10.1890/04-0922>

Jordano, P. et al. (2006). Ligando frugivoria e dispersão de sementes à Biologia da Conservação. In: Rocha, C. F. D. et al. (ed.). *Biologia da conservação: essências*. São Paulo: Rima. p. 411-436.

Lagos, M. Do C. C.; Marimon, B. S. Chuva de Sementes em Uma Floresta de Galeria no Parque do Bacaba, em Nova Xavantina, Mato Grosso, Brasil. *Revista Árvore*, v. 36, n.2. p.311-320. 2012.

Leite LFC (2004). *Matéria orgânica do solo*. 1º edição. Embrapa Meio-Norte. ISSN 0104-866.

Levene, H. (1960) Robust Tests for Equality of Variances. In: Olkin, I., Ed., *Contributions to Probability and Statistics*, Stanford University Press, Palo Alto, 278-292.

Londe V, Turini Farah F, Ribeiro Rodrigues R, Roberto Martins F (2020) Reference and comparison values for ecological indicators in assessing restoration areas in the Atlantic Forest. *Ecological Indicators* 110: 105928.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105928>.

Lusk CH (2022) A field test of forest canopy structure measurements with the CanopyCapture smartphone application. *PeerJ* 10: e13450.
<https://doi.org/10.7717/peerj.13450>

Machado DL, Engel VL, Podadera DS, Sato LM, De Goede RGM, De Moraes LFD, Parrotta JA (2021) Site and plant community parameters drive the effect of vegetation on litterfall and nutrient inputs in restored tropical forests. *Plant and Soil* 464: 405–421.
<https://doi.org/10.1007/s11104-021-04964-3>.

Machado JNM *et al.*, (2005). Plano de manejo diagnóstico: Floresta Nacional de Ritópolis. Disponível em:
<https://www.gov.br/icmbio/ptbr/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/mata-atlantica/lista-de-ucs/flona-de->

ritapolis/arquivos/pm_flona_ritapolis_diagnosticoplano1.pdf. Acesso em: 29 de janeiro de 2025.

Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M., Hornik, K.(2024). cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. R package version 2.1.8.

Magnago LFS, Edwards DP, Edwards FA, Magrach A, Martins SV, Laurance WF (2014) Functional attributes change but functional richness is unchanged after fragmentation of Brazilian Atlantic forests. Bellingham P (Ed.). *Journal of Ecology* 102: 475–485. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12206>.

Mandetta ECN. (2007). Avaliação florística e de aspectos da estrutura da comunidade de um reflorestamento com dois anos e meio de implantação no município de Mogi Guaçu-SP. Dissertação (mestrado). Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista. São Paulo – Brasil.

Martins, A.E. (2019) Padrões sazonais de cores de flores e a polinização em vegetações sazonais. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto.

Martins AE, Camargo MGG, Morellato LPC (2021) Flowering Phenology and the Influence of Seasonality in Flower Conspicuousness for Bees. *Frontiers in Plant Science* 11: 594538. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.594538>

McDonald T, Gann GD, Jonson J, and Dixon KW (2016) International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts. Society for Ecological Restoration, Washington, D.C.

Melo ACGD, Miranda DLCD, Durigan G (2007) Cobertura de copas como indicador de desenvolvimento estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no Médio Vale do Paranapanema, SP, Brasil. *Revista Árvore* 31: 321–328. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000200015>

Mikich SB, Silva SM (2001) Composição florística e fenologia das espécies zoocóricas de remanescentes de floresta estacional semidecidual no centro-oeste do Paraná, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 15: 89–113. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062001000100010>

Montoya-Pfeiffer PM, Rodrigues RR, Alves Dos Santos I (2020) Bee pollinator functional responses and functional effects in restored tropical forests. *Ecological Applications* 30: e02054. <https://doi.org/10.1002/eap.2054>

Moura De Oliveira R, Melzer Aquino G, Henrique Pompiano Do Carmo G, De Paulo Dos Santos J (2022) Avaliação do sucesso da restauração florestal de matas ciliares na transição Amazônia-Cerrado EM MATO GROSSO. *Nativa* 10: 356–365. <https://doi.org/10.31413/nativa.v10i3.13659>.

Nogueira, M. O. G. (2017). Autossustentabilidade em projeto de restauração florestal. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras.

Novello VF, Campos MDC, Chiessi CM, Paula-Santos GMD, Pessenda LCR, Gomes T, Utida G, Cruz FWD (2021) Aplicação de isótopos estáveis de carbono no estudo das mudanças climáticas e ambientais. *Derbyana* 42. <https://doi.org/10.14295/derb.v42.735>

Nikhil Patel. Copyright 2018. CanopyCapture, versão. Disponível em: <https://nikp29.github.io/CanopyCapture/>.

Oksanen J, Simpson G, Blanchet F, Kindt R, Legendre P, Minchin P, O'Hara R, Solymos P, Stevens M, Szoecs E, Wagner H, Barbour M, Bedward M, Bolker B, Borcard D, Carvalho G, Chirico M, De Caceres M, Durand S, Evangelista H, FitzJohn R, Friendly M, Furneaux B, Hannigan G, Hill M, Lahti L, McGlinn D, Ouellette M, Ribeiro Cunha E, Smith T, Stier A, Ter Braak C, Weedon J (2024). *vegan: Community Ecology Package*.

Oliveira RED, Engel VL (2018) Indicadores de monitoramento da restauração na Floresta Atlântica e atributos para ecossistemas restaurados. *Scientia Plena* 13. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.127301>.

Pereira, A. L.; Benedito, E. (2007). Isótopos estáveis em estudos ecológicos: métodos, aplicações e perspectivas. *Revista Biociências, Taubaté*, v.13, n.1-2, p.16-27.

Piaia BB, Rovedder APM, Procknow D, Camargo B (2021) Avaliação de indicadores ecológicos na restauração por plantio em núcleo com diferentes idades. *Ciência Florestal* 31: 1512–1534. <https://doi.org/10.5902/1980509848105>

Pielou, E. C. (1975). *Ecological diversity*. John Wiley & Sons.

Piña-Rodrigues & Aoki (2014), Chuva de sementes como indicadora do estágio de conservação de fragmentos florestais em Sorocaba - SP. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 24, n. 4, p. 911-923. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902015000100024>

Pinho LC, Scipioni MC, Siminski A (2023). Avaliação de aplicativos tecnológicos na mensuração de abertura de dossel na Floresta Ombrófila Mista. *Ciência Florestal* 33: e67685. <https://doi.org/10.5902/1980509867685>

Plá, Cássia (2013). Interações interespecíficas de *Baccharis dracunculifolia* e espécies sob sua copa: uma abordagem ecofisiológica. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Botânica. Porto Alegre.

Poorter L, Craven D, Jakovac CC, Van Der Sande MT, Amissah L, Bongers F, Chazdon RL, Fariior CE, Kambach S, Meave JA, Muñoz R, Norden N, Rüger N, Van Breugel M, Almeyda Zambrano AM, Amani B, Andrade JL, Brancalion PHS, Broadbent EN, De Foresta H, Dent DH, Derroire G, DeWalt SJ, Dupuy JM, Durán SM, Fantini AC, Finegan B, Hernández-Jaramillo A, Hernández-Stefanoni JL, Hietz P, Junqueira AB, N'dja JK, Letcher SG, Lohbeck M, López-Camacho R, Martínez-Ramos M, Melo FPL, Mora F, Müller SC, N'Guessan AE, Oberleitner F, Ortiz-Malavassi E, Pérez-García EA, Pinho BX, Piotto D, Powers JS, Rodríguez-Buriticá S, Rozendaal DMA, Ruíz J, Tabarelli M, Teixeira HM, Valadares De Sá Barretto Sampaio E, Van Der Wal H, Villa PM, Fernandes GW, Santos BA, Aguilar-Cano J, De Almeida-Cortez JS, Alvarez-Davila E, Arreola-Villa F, Balvanera P, Becknell JM, Cabral GAL, Castellanos-Castro C, De Jong BHI, Nieto JE, Espírito-Santo MM, Fandino MC, García H, García-Villalobos D, Hall JS, Idárraga A, Jiménez-Montoya J, Kennard D, Marín-Spiotta E, Mesquita R, Nunes YRF, Ochoa-Gaona S, Peña-Claros M, Pérez-Cárdenas N, Rodríguez-Velázquez J, Villanueva LS, Schwartz NB, Steininger MK, Veloso MDM, Vester HFM, Vieira ICG, Williamson GB, Zanini K, Hérault B (2021) Multidimensional tropical forest recovery. *Science* 374: 1370–1376. <https://doi.org/10.1126/science.abh3629>.

R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Rehling F, Jaroszewicz B, Braasch LV, Albrecht J, Jordano P, Schlautmann J, Farwig N, Schabo DG (2021) Within-Species Trait Variation Can Lead to Size Limitations in Seed

Dispersal of Small-Fruited Plants. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9: 698885.
<https://doi.org/10.3389/fevo.2021.698885>

Rodrigues, E. (2013). *Ecologia da restauração*. Editora Planta. Londrina. ISBN 978-85-99144-06-0.

Rodrigues, RR.; Brancalion, PHS.; Isernhagen, I. Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: LERF, 2009. 256 p.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumbreras JF, Coelho MR, Almeida JA, Araujo Filho JC; Oliveira JB, Cunha TJF. (2018) Sistema brasileiro de classificação de solos. 5ª edição. Embrapa. Brasília. ISBN: 978-85-7035-817-2.

Santos JDPD, Rodrigo De Souza C, Pereira Da Silva MA, Silva JDP, Botelho SA (2021). Efetividade na restauração de florestas tropicais: como o desempenho diferencial das espécies e o contexto ecológico influenciam o estabelecimento e ocupação. *Nativa* 9: 442–453. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i4.11783>.

Santos JPB, Romanelli JP, Gardon FR, Krainovic PM, De Resende AF, Souza LR, Piotto D, Rodrigues RR (2023) Multifunctional Forest Restoration in Brazil: A Critical Analysis of the Trends and Knowledge Gaps in the Scientific Literature. *Sustainability* 15: 15782. <https://doi.org/10.3390/su152215782>

Secretaria de Estado do Meio Ambiente (2009), Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais, Unidade de Coordenação do Projeto de Recuperação das Matas Ciliares. *Cadernos da Mata Ciliar - N. 1* São Paulo. ISSN 1981-6235

SER - Society for ecological restoration international science and policy working group. The SER primer in ecological restoration. Society for Ecological Restoration International, Tucson, v.2, pp. 1-15, 2004.

Serra, A. B.; Carvalho, C. J. R.; Sá, T. D. de A.; Sousa, G. F. (2007). Estoque de serrapilheira e matéria orgânica do solo em sistemas alternativos ao uso do fogo, desenvolvido por agricultores familiares na Região Transamazônica e Xingu - oeste do Pará. In: semana de integração das ciências agrárias, 7., 2007, Altamira. Desenvolvimento

agrícola sustentável: limites e potencialidades no cenário amazônico: anais. Altamira: UFPA, 2007.

Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379-423.

Silva EPD, Figueiredo FG, Fernandes SSL, Pereira ZV (2016) Evaluation of the potential of seed rain as an alternative for forest restoration in permanent preservation areas1. *Revista Árvore* 40: 21–28. <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000100003>

Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *nature*, 163(4148), 688-688.

Schweizer D, Cole RJ, Werden LK, Cedeño GQ, Rodriguez D, Navarro K, Esquivel JM, Max S, Chiriboga FE, Zahawi RA, Holl KD, Crowther TW (2024) Review and assessment of smartphone apps for forest restoration monitoring. *Restoration Ecology* 32: e14136. <https://doi.org/10.1111/rec.14136>

Swaine MD, Whitmore TC (1988) On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. *Vegetatio* 75: 81–86. <https://doi.org/10.1007/BF00044629>

Tabarelli M, Peres CA (2002) Abiotic and vertebrate seed dispersal in the Brazilian Atlantic forest: implications for forest regeneration. *Biological Conservation* 106: 165–176. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(01\)00243-9](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00243-9).

Teodoro MS. (2016) *Confecção de Compostos Orgânicos em Parnaíba, PI*. Embrapa. ISSN 0104-7647

The jamovi project (2023). *jamovi*. (Version 2.4) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.

Toma TSP, Oliveira HFM, Overbeck GE, Grelle CEV, Roque FO, Negreiros D, Rodrigues DJ, Guimaraes AF, Streit H, Dechoum MS, Fonsêca NC, Rocha TC, Pereira CC, Garda AA, Bergallo HG, Domingos FMCB, Fernandes GW (2024) Aim for heterogeneous biodiversity restoration. *Science* 383: 376–376. <https://doi.org/10.1126/science.adn3767>.

Veldkamp, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. Soil Science Society of America Journal, v.58, p.175-180, 1994.

Venzke TS, Martins SV, Neri AV, Kunz SH (2014) Síndromes de dispersão de sementes em estágios sucessionais de mata ciliar, no extremo sul da Mata Atlântica, Arroio do Padre, RS, Brasil. Revista Árvore 38: 403–413. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000300002>.

Viana, J.H.M; Teixeira, W.G; Donagemma, G.K. (2017). Umidade atual. In Manual de Métodos de Análise de Solo. Embrapa. Brasília. Cap.2. 3º edição. ISBN 978-85-7035-771-7.

Wortley, L., Hero, J.-M., & Howes, M. (2013). Evaluating Ecological Restoration Success: A Review of the Literature. Restoration Ecology, 21(5), 537–543. doi:10.1111/rec.12028

Zanini AM, Mayrinck RC, Vieira SA, De Camargo PB, Rodrigues RR (2021). The effect of ecological restoration methods on carbon stocks in the Brazilian Atlantic Forest. Forest Ecology and Management 481: 118734. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118734>

Zupo T, Lazzarotto Freitas J, Almeida Dos Reis D, Ferreira De Siqueira M (2022) Trends and knowledge gaps on ecological restoration research in the Brazilian Atlantic Forest. Restoration Ecology 30: e13645. <https://doi.org/10.1111/rec.13645>

Anexos

Anexo 1. Composição e abundância das espécies encontradas nas áreas avaliadas, com as respectivas informações de Origem, estado de conservação, grupo funcional e síndrome de dispersão. Restauração (RE); estágio inicial (EIC); estágio intermediário (EIT); estágio avançado (EAV). NE: Não avaliada, LC: Pouco preocupante; VU: vulnerável; NT: quase ameaçada; EM: em perigo; P: pioneira; NP: não pioneira; NA: não anemocórica; A: anemocórica; SI: sem informações.

Família e Espécie	Nº indivíduos				Origem	Estado de conservação	Grupo funcional	Síndrome de dispersão
	RE	EIC	EIT	EAV				
Anacardiaceae								
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	3	0	0	0	Nativa	LC	NP	A
<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	0	2	0	0	Nativa	NE	P	NA
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	21	0	0	0	Nativa	NE	P	NA

<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	1	4	17	2	Nativa	NE	P	NA
<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch	0	5	0	4	Nativa	LC	NP	NA
Annonaceae								
<i>Annona dolabripetala</i> Raddi	0	0	1	0	Nativa	LC	P	NA
<i>Guatteria australis</i> A. St. - Hil.	0	0	1	0	Nativa	LC	NP	NA
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	0	7	0	0	Nativa	LC	P	NA
<i>Xylopia brasiliensis</i> Sprengel	0	0	1	1	Nativa	VU	NP	NA
<i>Xylopia sericea</i> A.St.-Hil.	0	4	12	8	Nativa	NE	NP	NA
Apocynaceae								
<i>Aspidosperma australe</i> Müll. Arg.	0	0	0	1	Nativa	LC	SI	A
Aquifoliaceae								
<i>Ilex cerasifolia</i> var. <i>glaziovii</i> Loes.	0	0	5	7	Nativa	LC	NP	SI
Araliaceae								
<i>Dendropanax cuneatus</i> (DC.) Decne. & Planch.	0	0	1	10	Nativa	LC	P	NA
Areaceae								
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	1	0	0	0	Nativa	LC	NP	NA
Asteraceae								
<i>Baccharis brachylaenoides</i> DC.	0	0	2	0	Nativa	NE	P	A
<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	57	0	0	0	Nativa	NE	P	A
<i>Baccharis</i> sp.	2	2	0	0	SI	SI	SI	SI
<i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less.	2	0	1	0	Nativa	NE	SI	A
<i>Moquiniastrum polymorphum</i> (Less.) G. Sancho	8	0	0	0	Nativa	NE	P	A
<i>Piptocarpha macropoda</i> (DC.) Baker	0	1	1	0	Nativa	NE	P	A
<i>Vernonanthura divaricata</i> (Spreng.) H.Rob.	0	0	2	0	Nativa	NE	P	A
<i>Vernonanthura polyanthes</i> (Sprengel) Vega & Dematteis	5	0	0	0	Nativa	NE	P	A
<i>Vernonanthura</i> sp.	0	1	0	0	SI	SI	SI	SI
Bignoniaceae								
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	1	0	0	0	Nativa	NT	NP	A
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	1	2	3	1	Nativa	NT	NP	A
<i>Jacaranda micrantha</i> Cham.	3	0	0	0	Nativa	NE	P	A
<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	1	0	0	0	Nativa	NE	NP	A
Burseraceae								
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	0	0	0	4	Nativa	NE	NP	NA
<i>Protium spruceanum</i> (Benth.) Engl.	0	0	2	1	Nativa	NE	NP	NA
<i>Protium widgrenii</i> Engler	0	4	15	15	Nativa	LC	NP	NA
Celastraceae								
<i>Monteverdia gonoclada</i> (Mart.) Biral	0	0	4	2	Nativa	NE	NP	NA
Clethraceae								
<i>Clethra scabra</i> Pers.	0	0	33	2	Nativa	NE	NP	A
Cunoniaceae								
<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	0	0	4	0	Nativa	NE	NP	A
Erythroxylaceae								
<i>Erythroxylum deciduum</i> A.St.-Hil.	0	0	1	0	Nativa	LC	NP	NA
Euphorbiaceae								

<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.	0	2	0	0	Nativa	NE	NP	NA
<i>Croton floribundus</i> Spreng.	2	0	0	0	Nativa	LC	P	A
<i>Croton urucurana</i> Baill. urucurana	0	1	0	0	Nativa	NE	P	A
Fabaceae								
<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.)								
Burkart	1	0	0	0	Nativa	NE	NP	A
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	6	0	0	0	Nativa	NE	P	A
<i>Andira fraxinifolia</i> Benth.	0	3	1	1	Nativa	LC	NP	NA
<i>Andira</i> sp.	0	0	1	0	SI	SI	SI	SI
<i>Bauhinia forficata</i> Link	3	0	0	0				
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	3	4	7	2	Nativa	NE	NP	NA
<i>Dalbergia villosa</i> (Benth.) Benth.	0	0	24	1	Nativa	NE	NP	A
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.)								
Morong	1	1	0	1	Nativa	NE	NP	NA
<i>Erythrina speciosa</i> Andrews	4	0	0	0	Nativa	LC	NP	A
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	3	0	0	0	Nativa	NE	NP	Z
<i>Inga vulpina</i> Mart. ex Benth.	0	0	0	1	Nativa	LC	SI	SI
<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	0	1	0	0	Nativa	LC	NP	A
<i>Machaerium nictitans</i> (Vell.) Benth.	0	1	2	1	Nativa	LC	NP	A
<i>Machaerium</i> sp.	0	1	0	0	SI	SI	SI	SI
<i>Machaerium villosum</i> Vogel	1	9	5	6	Nativa	LC	NP	A
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	6	0	3	1	Nativa	NE	NP	A
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.)								
J.F.Macbr.	2	1	0	0	Nativa	LC	P	A
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	2	0	0	0	Nativa	LC	NP	A
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	0	0	4	0	Nativa	NE	NP	A
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S. F. Blake	3	0	0	0	Nativa	NE	P	A
<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S.Irwin & Barneby	4	0	0	1	Nativa	NE	P	A
Hypericaceae								
<i>Vismia brasiliensis</i> Choisy	0	0	1	0	Nativa	NE	NP	NA
Lamiaceae								
<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	1	0	0	0	Nativa	NE	P	NA
<i>Aegiphila verticillata</i> Vell.	15	0	0	0	Nativa	NE	P	NA
<i>Hyptidendron asperrimum</i> (Epling) Harley	0	0	7	0	Nativa	LC	P	SI
<i>Vitex polygama</i> Cham.	0	1	0	0	Nativa	NE	NP	NA
Lauraceae								
<i>Endlicheria paniculata</i> (Spreng.) J.F. Macbr.	0	1	2	0	Nativa	SI	SI	SI
<i>Eriotheca candolleana</i> (K.Schum.) A.Robyns	0	0	0	1	Nativa	NE	NP	NA
<i>Nectandra grandiflora</i> Nees & C. Mart. ex Nees	0	0	0	3	Nativa	NE	NP	NA
<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees	0	0	0	5	Nativa	NE	NP	NA
<i>Nectandra puberula</i> (Schott) Nees	0	0	1	0	Nativa	NE	NP	NA
<i>Ocotea lancifolia</i> (Schott) Mez.	1	0	0	0	Nativa	LC	SI	NA
<i>Persea major</i> (Nees) L.E. Kopp	0	1	0	0	Nativa	NE	NP	NA
Lythraceae								
<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	0	0	1	0	Nativa	LC	NP	A
Malpighiaceae								

<i>Byrsonima laxiflora</i> Griseb.	0	0	0	1	Nativa	NE	NP	NA
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss.	0	3	0	0	Nativa	NE	SI	NA
Malvaceae								
<i>Abutilon</i> sp.	0	0	0	1	SI	SI	SI	SI
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	0	0	0	1	Nativa	NE	NP	NA
<i>Helicteres brevispira</i> A.St.-Hil.	0	0	0	2	Nativa	NE	NP	A
<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.	0	0	4	2	Nativa	NE	NP	A
<i>Luehea grandiflora</i> Mart. & Zucc.	0	2	5	8	Nativa	NE	NP	A
Melastomataceae								
<i>Leandra scabra</i> DC.	0	5	2	0	Nativa	NE	SI	NA
<i>Leandra</i> sp.	0	0	1	0	SI	SI	SI	SI
<i>Miconia pepericarpa</i> DC.	0	2	0	0	Nativa	LC	SI	NA
<i>Miconia sellowiana</i> Naudin	0	2	1	0	Nativa	LC	P	NA
<i>Miconia</i> sp.	0	2	0	0	SI	SI	SI	SI
<i>Miconia tristis</i> Spring	0	6	0	0	Nativa	NE	SI	NA
<i>Tibouchina stenocarpa</i> (DC.) Cogn.	0	1	0	0	Nativa	LC	SI	NA
<i>Tibouchina striphnocalyx</i> (DC.) Gleason	0	1	0	0	Nativa	NE	SI	SI
Meliaceae								
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	3	0	0	0	Nativa	VU	NP	A
<i>Trichilia claussoni</i> C.DC.i	0	1	0	0	Nativa	LC	NP	NA
<i>Trichilia pallida</i> Sw.	0	0	1	2	Nativa	NE	NP	NA
<i>Trichilia pavoniana</i> C. DC.	0	0	0	1	Nativa	LC	SI	NA
<i>Trichilia silvatica</i> C.DC.	0	0	0	1	Nativa	LC	NP	NA
Monimiaceae								
<i>Mollinedia widgrenii</i> A. DC.	0	0	0	32	Nativa	NE	NP	NA
Moraceae								
<i>Ficus enormis</i> (Mart. ex Miq.) Mart.	0	0	1	1	Nativa	NE	NP	NA
<i>Ficus pertusa</i> L.f.	1	0	0	0	Nativa	NE	SI	SI
Myrtaceae								
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	0	2	14	0	Nativa	LC	NP	NA
<i>Calyptranthes</i> sp.	0	0	1	0				
<i>Eugenia</i> sp.	0	0	10	0	SI	SI	SI	SI
<i>Eugenia uniflora</i> L.	1	0	0	0	Nativa	NE	NP	NA
<i>Fruto_1</i>	1	0	0	0	SI	SI	SI	SI
<i>Myrcia excoriata</i> (Mart.) E.Lucas & C.E.Wilson	0	0	1	0	Nativa	NE	SI	NA
<i>Myrcia claussoniana</i> (O.Berg) A.Maruy. & Gaem	0	2	2	0	Nativa	LC	SI	NA
<i>Myrcia vellozoi</i> Mazine	0	3	0	0	Nativa	LC	NP	NA
<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC.	0	1	1	0	Nativa	LC	NP	NA
<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.	0	1	0	0	Nativa	NE	P	NA
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	0	24	26	3	Nativa	NE	NP	NA
<i>Myrcia tomentosa</i> (Aublet) DC.	0	12	16	0	Nativa	NE	NP	NA
<i>Myrcia venulosa</i> DC.	0	0	4	0	Nativa	LC	SI	NA
<i>Myrciaria glanduliflora</i> (Kiaersk.) Mattos & D.Legrand	0	1	1	0	Nativa	NE	SI	SI
<i>Myrtaceae_1</i>	2	0	0	0	SI	SI	SI	SI
<i>Psidium cattleianum</i>	0	0	1	0	Nativa	LC	NP	NA

<i>Psidium guajava</i> L.	1	0	0	0	Naturalizada	NE	P	NA
<i>Psidium pohlianum</i> O. Berg	0	2	0	0	Nativa	NE	SI	NA
<i>Psidium rufum</i> Mart. ex DC.	0	5	0	0	Nativa	LC	NP	NA
<i>Siphoneugena densiflora</i> O. Berg	0	0	2	0	Nativa	LC	SI	NA
<i>Siphoneugena widgreniana</i> O.Berg	0	0	1	0	Nativa	NE	P	NA
Nyctaginaceae								
<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	0	0	1	1	Nativa	NE	NP	NA
Peraceae								
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp.	0	0	1	0	Nativa	NE	P	NA
Piperaceae								
<i>Piper gaudichaudianum</i> Kunth	0	0	0	1	Nativa	NE	NP	NA
Primulaceae								
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	0	3	2	0	Nativa	NE	P	NA
<i>Myrsine gardneriana</i> A.DC.	0	1	0	0	Nativa	NE	P	NA
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	0	0	9	4	Nativa	NE	P	NA
<i>Myrsine lineata</i> (Mez) Imkhan.	0	0	2	0	Nativa	NE	NP	NA
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	0	0	1	0	Nativa	NE	NP	NA
Proteaceae								
<i>Roupala montana</i> Aubl.	0	0	1	0	Nativa	NE	NP	A
Rosaceae								
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	1	0	0	0	Nativa	NE	NP	NA
Rubiaceae								
<i>Alibertia concolor</i> (Cham.) K.Schum.	0	0	1	0	Nativa	NE	P	NA
<i>Amaioua guianensis</i> Aublet	0	1	1	0	Nativa	NE	NP	NA
<i>Amaioua intermedia</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.	0	0	6	1	Nativa	NE	NP	NA
<i>Chomelia sericea</i> Müll.Arg.	0	2	0	0	Nativa	EN	NP	NA
<i>Cordia sessilis</i> (Vell.) Kuntze	0	0	2	0	Nativa	NE	SI	NA
<i>Guettarda uruguensis</i> Cham. & Schltld.	0	0	0	1	Nativa	NE	NP	NA
<i>Ixora warmingii</i> Müll.Arg.	0	0	2	0	Nativa	SI	SI	SI
<i>Psychotria hastisepala</i> Müll. Arg.	0	0	0	2	Nativa	NE	NP	NA
<i>Psychotria suterella</i> Müll.Arg.	0	0	0	2	Nativa	NE	NP	NA
<i>Psychotria vellosiana</i> Benth.	0	2	16	60	Nativa	NE	NP	NA
Rutaceae								
<i>Dictyoloma vandellianum</i> A.H.L. Juss.	0	1	9	0	Nativa	NE	NP	A
<i>Metrodorea stipularis</i> Mart.	3	0	0	0	Nativa	NE	SI	SI
Salicaceae								
<i>Casearia decandra</i> Jacquin	0	0	6	0	Nativa	NE	NP	NA
<i>Casearia obliqua</i> Spreng.	0	0	0	1	Nativa	LC	NP	NA
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	0	1	2	1	Nativa	SI	NP	NA
<i>Casearia ulmifolia</i> Vahl ex Vent.	0	1	0	0	Nativa	NE	NP	NA
Santalaceae								
<i>Phoradendron</i> sp.	0	0	3	0	SI	SI	SI	SI
Sapindaceae								
<i>Cupania anacardioides</i> A. Rich.	0	0	4	12	Exotica	SI	SI	NA
<i>Cupania emarginata</i> Cambess.	0	0	1	0	Nativa	NE	SI	NA
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	0	0	0	6	Nativa	NE	NP	NA

<i>Cupania zanthoxyloides</i> Radlk.	0	0	0	1	Nativa	LC	SI	NA
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	0	0	0	1	Nativa	NE	NP	NA
Sapotaceae								
<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk	0	0	1	0	Nativa	NE	P	NA
Siparunaceae								
<i>Siparuna guianensis</i> Aublet	0	0	0	1	Nativa	NE	NP	NA
Solanaceae								
<i>Iochroma arborescens</i> (L.) J.M.H. Shaw	5	0	0	0	Nativa	NE	P	NA
<i>Solanaceae_1</i>	1	0	0	0	SI	SI	SI	SI
<i>Solanum cernuum</i> Vell.	0	1	0	1	Nativa	NE	SI	NA
<i>Solanum lycocarpum</i> A.St.-Hil.	4	0	0	0	Nativa	NE	P	NA
Thymelaeaceae								
<i>Daphnopsis brasiliensis</i> Mart.	0	2	0	0	Nativa	LC	P	NA
Urticaceae								
<i>Cecropia hololeuca</i> Miq.	4	0	0	0	Nativa	LC	P	NA
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	1	0	0	0	Nativa	NE	P	NA
Vochysiaceae								
<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.	0	6	6	1	Nativa	NE	P	A
Não identificada								
<i>não identificada</i>	2	44	126	80	SI	SI	SI	SI
<i>Amora</i>	1	0	0	0	SI	SI	SI	SI
<i>cipó</i>	0	1	0	1	SI	SI	SI	SI

Anexo 2. Matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis da composição florística arbustiva-arbórea.

	Restauração	Inicial	Intermediário
Inicial	0.9395466		
Intermediário	0.9634146	0.6048265	
Avançado	0.9607843	0.6905222	0.5644330

Anexo 3. Matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis da composição florística da chuva de sementes.

	Restauração	Inicial	Intermediário
Inicial	0.9851057		
Intermediário	0.9933592	0.7413174	
Avançado	0.9924869	0.899505	0.7049626

Anexo 4. Teste à normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Levene) das condições do solo.

	Shapiro-Wilk			Levene		
	W	p	F	gl1	gl2	p
Teor de umidade (%)	0.820	0.016	11.364	3	8	0.003
Densidade (g/cm ³)	0.971	0.923	2.106	3	8	0.178
MO(%) solo	0.901	0.164	0.377	3	8	0.772
C(%) solo	0.908	0.204	1.889	3	8	0.210
d13C/12C	0.961	0.795	1.908	3	8	0.207
N(%)_solo	0.933	0.410	0.729	3	8	0.563
d15N/14N	0.948	0.608	3.322	3	8	0.077
C/N solo	0.900	0.157	5.224	3	8	0.027
Estoque C (Mg ha-1)	0.950	0.640	1.84	3	8	0.218
Estoque Nitrogênio (Mg ha-1)	0.946	0.580	0,707	3	8	0.574
MO(%) serrapilheira	0.960	0.780	3.402	3	8	0.074
C(%) serrapilheira	0.924	0.325	0.157	3	8	0.922
d13C/12C serrapilheira	0.838	0.026	10.805	3	8	0.003
N(%) serrapilheira	0.962	0.805	2.863	3	8	0.104
d15N/14N serrapilheira	0.894	0.134	7.484	3	8	0.010
C/N serrapilheira	0.927	0.354	3.133	3	8	0.087
Aporte (g)	0.921	0.291	3.165	3	8	0.086
Decomposição (g)	0.952	0.659	1.073	3	8	0.414

Anexo 5. Script para estimar a riqueza, diversidade de Shannon e Simpson rarefeita por meio do software R, versão 4.4.1 (R Development Core Team, 2024).

```
# Chamar o diretório, onde estão os dados que serão usados na
análisesetwd("C:/Documentos/dados_mestrado/dados_flora")
```

```
##Importar a planilha
```

```
read.table ("Rarefacao_individuos.txt")
```

```
rarefacao_individuos<- read.table ("Rarefacao_individuos.txt",head=TRUE)
```

```
rarefacao_individuos
```

```
## Instalar pacote
```

```
install.packages("iNEXT")
```



```

##abrir pacote
library(iNEXT)
library(ggplot2)

## Cabeçalho dos dados
head(rarefacao_individuos)

## Número de indivíduos por local
colSums(rarefacao_individuos)

## Rarefação
# 0 = riqueza de espécies, 1 = diversidade de Shannon e 2 = diversidade de Simpson.
# Datatype refere-se ao tipo de dados que você vai analisar (e.g. abundância,
incidência).
# Endpoint refere-se ao valor máximo que você determina para a extrapolação.
resultados_rarefacao <- iNEXT(rarefacao_individuos, q = 0, datatype = "abundance",
endpoint = 4000)

## Reorganizando a ordem que os grupos irão aparecer no gráfico
rarefacao_individuos$Estagio <- factor(rarefacao_individuos$Estagio,
levels = c("Restauracao", "Inicial", "Intermediario", "Avancado"))

## Gráfico
# type define o tipo de curva de rarefação
# 1 = curva de rarefação baseada no indivíduo ou amostra
# 2 = curva de representatividade da amostra
# 3 = curva de rarefação baseada na representatividade (coverage-based)

ggiNEXT(resultados_rarefacao, type = 1) +
  geom_vline(xintercept = 289, ty = 2) +
  scale_linetype_discrete(labels = c("Interpolado", "Extrapolado")) +
  scale_colour_manual(values = c("darkorchid", "darkorange", "yellow", "cyan4")) +
  scale_fill_manual(values = c("darkorchid", "darkorange", "yellow", "cyan4")) +
  labs(x = "Número de diáspo= " Diversidade de Simpson")

### Rarefação diversidade de Shannon

resultados_rarefacao <- iNEXT(rarefacao_individuos, q = 1,
  datatype = "abundance", endpoint = 3500)
## Reorganizando a ordem que os grupos irão aparecer no gráfico
rarefacao_individuos$Estagio <- factor(rarefacao_individuos$Estagio,
  levels = c("Restauracao", "Inicial", "Intermediario", "Avancado"))

## Gráfico

```

```
ggiNEXT(resultados_rarefacao, type = 1) +
  geom_vline(xintercept = 289, lty = 2) +
  scale_linetype_discrete(labels = c("Interpolado", "Extrapolado")) +
  scale_colour_manual(values = c("darkorchid", "darkorange", "yellow", "cyan4")) +
  scale_fill_manual(values = c("darkorchid", "darkorange", "yellow", "cyan4")) +
  labs(x = "Número de indivíduos", y = "Diversidade de Shannon")
```

```
### Diversidade de Simpson
```

```
resultados_rarefacao <- iNEXT(rarefacao_individuos, q = 2,
  datatype = "abundance", endpoint = 3500)
```

```
## Reorganizando a ordem que os grupos irão aparecer no gráfico
```

```
rarefacao_individuos$Estagio <- factor(rarefacao_individuos$Estagio,
  levels = c("Restauracao", "Inicial", "Intermediario", "Avancado"))
```

```
## Gráfico
```

```
ggiNEXT(resultados_rarefacao, type = 1) +
  geom_vline(xintercept = 289, lty = 2) +
  scale_linetype_discrete(labels = c("Interpolado", "Extrapolado")) +
  scale_colour_manual(values = c("darkorchid", "darkorange", "yellow", "cyan4")) +
  scale_fill_manual(values = c("darkorchid", "darkorange", "yellow", "cyan4")) +
  labs(x = "Número de diásporos Diversidade de Simpson")
```

Anexo 6. Script para realizar dendrograma do índice de dissimilaridade de Bray-Curtis no software R (R Development Core Team, 2024).

```
# Carregar as bibliotecas necessárias
```

```
library(vegan) # Para análise de comunidades (inclui Bray-Curtis)
```

```
library(cluster) # Para métodos de clusterização
```

```
library(ape) # Para visualização de árvores filogenéticas (opcional, para dendrogramas)
```

```
citation("vegan")
```

```
citation('cluster')
```

```
# Chamar o diretório, onde estão os dados que serão usados na análise
```

```
setwd("C:/Documentos/dados_mestrado/dados_flora")
```

```
##Importar a planilha
```

```
read.table("cluster.txt")
```

```
dados_bray <- read.table("cluster.txt", head=TRUE)
```

```

dados_bray

dados_bray[] <- lapply(dados_bray, as.numeric)
sum(is.na(dados_bray)) # Conta o número de valores ausentes
dados_bray[!sapply(dados_bray, function(x) all(is.finite(as.numeric(x)))) ,]

dados_bray
str(dados_bray)
class(dados_bray)

# Calcular a matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis
matriz_bray_curtis <- vegdist(dados_bray, method = "bray")

# Visualizar a matriz de dissimilaridade
matriz_bray_curtis

# Realizar a análise de cluster com diferentes métodos de ligação
# "complete" (ligação completa ou vizinho mais distante)
cluster_completo <- hclust(matriz_bray_curtis, method = "complete")

plot(cluster_completo, main = "Ligação Completa", xlab = "Amostras", ylab =
"Dissimilaridade")

# Criar um vetor de nomes personalizados para as 4 primeiras amostras
nomes_amostras <- c("RE", "EIC", "EIT", "EAV", rep("Amostra", nrow(dados_bray) -
4))

# Definir a fonte e o tamanho da fonte
par(family = "Times New Roman", cex = 1.2) # Ajustar a fonte para Times New
Roman e o tamanho (cex ajusta o tamanho)

# Plotar o dendrograma com os nomes das amostras
plot(cluster_completo,
      main = "Dendrograma de Bray-Curtis",
      xlab = "Áreas",
      ylab = "Índice de dissimilaridade",
      labels = nomes_amostras,
      ylim = c(0, 1)) # Limite do eixo Y de 0 a 1, por exemplo)

# Adicionar um quadro ao redor do gráfico
box() # Adiciona um quadro ao redor do gráfico

```

Anexo 7. Script com o passo a passo para a utilização dos testes Anova e Tukey (testes paramétricos) e Kruskal wallis e Games Howell (testes não paramétricos), realizado no software R (R Development Core Team, 2024).

```
# Chamar o diretório, onde estão os dados que serão usados na análise
setwd("C:/Documentos/dados_mestrado/dados_flora")

##Importar a planilha
read.table ("cobertura.txt")
dados_copa<- read.table ("cobertura.txt",head=TRUE)
dados_copa

install.packages("ExpDes.pt")

## Pacotes ##
library(car)
library(ggpubr)
library(ggforce)
library(lsmmeans)
library(lmtest)
library(sjPlot)
library(tidyverse)
library(vegan)
library(rstatix)

##### Análise ANOVA de um fator
Modelo_anova <- aov(Copa ~ Area, data = dados_copa)
Modelo_anova

## Vamos verificar a normalidade dos resíduos e homogeneidade da variância usando
# os testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente.

## Normalidade
shapiro.test(residuals(Modelo_anova))

## Homogeneidade da variância
bartlett.test(Copa ~ Area, data = dados_copa)

#Visualizar os resultados do teste ANOVA
summary(Modelo_anova)

#Ver as diferenças entre as médias
TukeyHSD(Modelo_anova)
```

```
##No entanto, se os dados não atenderem os pressupostos de padrão de homogeneidade e normalidade dos dados.
```

```
#Substituindo a anova pelo kruskal wallis (teste não paramétrico)
```

```
kruskal.test(Copa ~ Area, data = dados_copa)
```

```
#Substituindo o teste de Post Hoc de Tukey pelo Teste de Games Howell (não paramétrico)
```

```
#Para rodar o teste de Games Howell é preciso do pacote xstatis
```

```
games_howell_test(Copa ~ Area, data = dados_copa)
```

```
## Reorganizando a ordem que os grupos irão aparecer no gráfico
```

```
dados_copa$Estagio <- factor(dados_copa$Estagio,  
                             levels = c("Restauracao", "Inicial", "Intermediario", "Avancado"))
```

```
## Gráfico
```

```
ggplot(data = dados_copa,  
        aes(x = Estagio, y = Copa, color = Estagio)) +  
  geom_boxplot(fill = c("darkorchid", "darkorange", "yellow", "cyan4"),  
               color = "black", show.legend = FALSE, alpha = 0.4) +  
  geom_jitter(shape = 16, position = position_jitter(0.1),  
              cex = 4, alpha = 0.7) +  
  scale_color_manual(values = c("darkorchid", "darkorange", "yellow", "cyan4")) +  
  geom_text(x = 1, y = 45, label = "*", color = "black", size = 7) +  
  scale_y_continuous(limits = c(0, 100), breaks = c(0,20,40,60,80,100)) +  
  scale_x_discrete(labels = c("Restauração", "Inicial", "Intermediário", "Avançado")) +  
  labs(x = "Áreas", y = "Cobertura de copa (%)", size = 20, title = "Porcentagem de  
cobertura de copa por área") +  
  tema_livro() +  
  theme(legend.position = "none")
```

Anexo 8. Script com o passo a passo para realização do gráfico de radar realizado no software R (R Development Core Team, 2024).

```
# Carregando a biblioteca plotly
```

```
library(plotly)
```

```
citation('plotly')
```

```
# Estágio Inicial
```

```
fig <- fig %>%
```

```
  add_trace(  
    r = c(0,5,0,3,0,2,0,0,3,1,0,1,3,3,2,3,2,  
          1,0,1,0,2,2,0,3,3,3,3,
```

```

    2,0,0,0,5,2,0,0),
    theta = c('DSO', 'MOS', 'CSO', 'ICSO', 'NSO', 'INSO', 'RCNSO', 'MOSE', 'CSE',
'ICSE', 'NSE', 'INSE', 'RCNSE', 'ASE', 'DEC', 'ECS',
    'AL', 'DAP', 'COB', 'PI', 'NPI', 'ANF', 'NAF', 'AF', 'RF', 'DSF', 'EPF',
    'RS', 'AS', 'DSS', 'EPS', 'DG', 'DP', 'ANS', 'NAS'),
    name = 'Estágio Inicial',
    fillcolor = 'rgba(255, 165, 0, 0.2)', # Cor laranja com maior transparência
    line = list(color = 'rgba(255, 165, 0, 1)'), # Linha laranja
    marker = list(color = 'rgba(255, 165, 0, 1)') # Ponto laranja
)

```

Estágio Intermediário

```

fig <- fig %>%
add_trace(
    r = c(0,5,0,2,0,2,0,3,5,1,0,0,0,2,2,4,2,
    0,0,0,0,0,0,0,0,1,4,
    0,1,0,0,3,4,0,0),
    theta = c('DSO', 'MOS', 'CSO', 'ICSO', 'NSO', 'INSO', 'RCNSO', 'MOSE', 'CSE',
'ICSE', 'NSE', 'INSE', 'RCNSE', 'ASE', 'DEC', 'ECS',
    'AL', 'DAP', 'COB', 'PI', 'NPI', 'ANF', 'NAF', 'AF', 'RF', 'DSF', 'EPF',
    'RS', 'AS', 'DSS', 'EPS', 'DG', 'DP', 'ANS', 'NAS'),
    name = 'Estágio Intermediário',
    fillcolor = 'rgba(0, 128, 0, 0.2)', # Cor verde escuro com maior transparência
    line = list(color = 'rgba(0, 128, 0, 1)'), # Linha verde escuro
    marker = list(color = 'rgba(0, 128, 0, 1)') # Ponto verde escuro
)

```

Estágio Avançado - Roxo (com preenchimento mais transparente)

```

fig <- fig %>%
add_trace(
    r = c(0,3,0,2,0,1,4,0,4,0,0,0,4,0,2,2,2,
    0,0,0,0,0,0,0,2,1,3,4,
    0,0,0,0,3,4,0,0),
    theta = c('DSO', 'MOS', 'CSO', 'ICSO', 'NSO', 'INSO', 'RCNSO', 'MOSE', 'CSE',
'ICSE', 'NSE', 'INSE', 'RCNSE', 'ASE', 'DEC', 'ECS',
    'AL', 'DAP', 'COB', 'PI', 'NPI', 'ANF', 'NAF', 'AF', 'RF', 'DSF', 'EPF',
    'RS', 'AS', 'DSS', 'EPS', 'DG', 'DP', 'ANS', 'NAS'),
    name = 'Estágio Avançado',
    fillcolor = 'rgba(128, 0, 128, 0.2)', # Cor roxa com maior transparência
    line = list(color = 'rgba(128, 0, 128, 1)'), # Linha roxa
    marker = list(color = 'rgba(128, 0, 128, 1)') # Ponto roxo
)

```

```
# Ajustando a escala do eixo radial e adicionando título
fig <- fig %>%
  layout(
    title = list(
      text = "Notas dos indicadores ecológicos",
      font = list(size = 18, color = "black"),
      x = 0.2 # Centraliza o título (0: esquerda, 0.5: centro, 1: direita)
    ),
    polar = list(
      radialaxis = list(
        visible = TRUE,
        range = c(0, 5))))

# Exibindo o gráfico
fig
```