



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
AGÊNCIA DE INOVAÇÃO, EMPREENDEDORISMO, PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INTERNACIONALIZAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E AMBIENTE

RÔLZELE ROBSON MARQUES

**RECUPERAÇÃO ECOLÓGICA DA RESTINGA DA PRAIA DE
PANAQUATIRA, SÃO JOSÉ DE RIBAMAR, MARANHÃO**

SÃO LUÍS

2026

RÔLZELE ROBSON MARQUES

**RECUPERAÇÃO ECOLÓGICA DA RESTINGA DA PRAIA DE
PANAQUATIRA, SÃO JOSÉ DE RIBAMAR, MARANHÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Saúde e Ambiente da Universidade Federal do
Maranhão, como requisito parcial para obtenção do
título de Mestre em Saúde e Ambiente.

Área de concentração: Saúde e Ambiente

Linha de pesquisa: Qualidade Ambiental e
Sustentabilidade

Orientadora: Prof^{fa} Dr^a Ilisandra Zanandrea

SÃO LUÍS

2026

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Robson Marques, Rôlzele.

RECUPERAÇÃO ECOLÓGICA DA RESTINGA DA PRAIA DE
PANAQUATIRA, SÃO JOSÉ DE RIBAMAR, MARANHÃO / Rôlzele
Robson Marques. - 2026.

57 f.

Orientador(a): Ilisandra Zanandrea.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Saúde e Ambiente/ccbs, Universidade Federal do Maranhão,
São Luis, Ma, 2026.

1. Ecossistemas de Restinga. 2. Regeneração Natural
Assistida. 3. Restauração Ecológica. 4. Sazonalidade
Climática. 5. Ecossistemas Costeiros. I. Zanandrea,
Ilisandra. II. Título.

**RECUPERAÇÃO ECOLÓGICA DA RESTINGA DA PRAIA DE
PANAQUATIRA, SÃO JOSÉ DE RIBAMAR, MARANHÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão como requisito para Qualificação do Mestrado em Saúde e Ambiente.

Área de concentração: Saúde e Ambiente

Linha de pesquisa: Qualidade Ambiental e Sustentabilidade

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ilisandra Zanandrea
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
Orientadora

Prof. Dr. Leonardo Teixeira Dall’Agnol
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
Avaliador interno – PPGSA

Profa. Dra. Adriani Hass
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
Avaliadora externa ao programa

Prof. Dr. Dr. Juliano dos Santos
Instituto Federal do Maranhão (IFMA)
Avaliador externo à UFMA

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, à Professora Ilisandra pelo apoio e, sobretudo, pela paciência. Sem a minha orientadora nada disso seria possível. Em meio a tantas incertezas, ela sempre acreditou em mim. A disponibilidade, o carinho e o cuidado que a Professora Ilisandra tem com seus orientandos me faz lembrar de Paulo Freire que dizia que “a educação é um ato de amor, por isso, um ato de coragem” e “ensinar e aprender não podem dar-se fora da procura, fora da boniteza e da alegria”. Obrigada por ter sido incansável e disponível sempre. Sorte de quem a tem como orientadora e professora.

Agradeço também à Professora Adriani pelo apoio, carinho e dedicação ao longo dessa caminhada. Sua sensibilidade e disposição para ajudar foram essenciais nos momentos mais desafiadores. Além do coração generoso e sensibilidade, sua inteligência e preocupação com o ensino são inspiradores.

Aos meus amores do LaFAV por tanto apoio, sorrisos e afetos. Não posso dizer que nunca foi sorte pois dela não posso reclamar já que encontrei vocês para deixar minha caminhada mais leve. Meus amigos Luís Davi, Davi Kzam, Cadu, Isa, Leonardo, Luana e Thiago, obrigada por tudo.

Aos meus amores, minha família e meus amigos que, alguns ainda que de longe, estiveram na torcida para que em vencesse mais essa etapa. Em especial à minha amiga Renata que trouxe da residência multiprofissional, que topou encarar comigo esse desafio de enfrentar um mestrado. Quem encontrou um amigo, descobriu um tesouro.

RESUMO

A restinga é um ecossistema costeiro resiliente, porém vulnerável a pressões antrópicas e a condições abióticas severas, como elevada radiação solar, ação dos ventos, salinidade e déficit hídrico sazonal. Este estudo foi estruturado em dois capítulos, integrando uma abordagem teórica e uma análise de campo. O Capítulo 1, intitulado “Restauração de restingas: técnicas, desafios e perspectivas para a recuperação de ecossistemas costeiros”, consistiu em uma revisão integrativa sobre estratégias de restauração aplicadas a restingas, indicando que a nucleação e a regeneração natural são alternativas promissoras e de baixo custo, embora sua efetividade dependa das condições ambientais e do histórico de degradação de cada sítio. O Capítulo 2, intitulado “Regeneração natural da Restinga de Panaquatira, São José de Ribamar”, avaliou a Regeneração Natural Assistida (RNA) em uma área de restinga maranhense submetida à retirada de espécies invasoras. O objetivo do estudo foi caracterizar a fisionomia e a composição florística de áreas em restauração, identificando grupos funcionais e avaliando a influência da sazonalidade climática sobre a estrutura da comunidade vegetal. Para isso, foram estabelecidas parcelas permanentes em duas áreas com diferentes fisionomias, nas quais indivíduos com DAS $\geq$ 3 cm foram monitorados ao longo de quatro campanhas. Foram analisados parâmetros fitossociológicos, diversidade, similaridade florística e respostas temporais da comunidade por meio de modelos lineares mistos. Foram registrados 808 indivíduos, distribuídos em 29 espécies e 13 famílias, com predominância de espécies nativas e grupos pioneiros. Os resultados indicaram respostas positivas da vegetação à RNA, com destaque para o papel das espécies lenhosas no aumento da cobertura do dossel e no desenvolvimento estrutural da comunidade. As diferenças ambientais entre as áreas influenciaram a estrutura da regeneração, evidenciando a importância de fatores como radiação, vento e disponibilidade hídrica. A sazonalidade climática também influenciou a riqueza e a abundância das espécies, com maior recrutamento no período chuvoso e limitações ecológicas durante a estiagem. O monitoramento temporal revelou que o período seco esteve associado à simplificação estrutural da comunidade e ao aumento da dominância de poucas espécies, enquanto o retorno das chuvas favoreceu o recrutamento. No período chuvoso, foram observados novos registros correspondentes a 48,27% da riqueza, com predominância de representantes das famílias Poaceae e Fabaceae, além de dissimilaridade florística de 0,45 em relação aos períodos anteriores. Esses resultados sugerem que a restauração da restinga maranhense responde positivamente às intervenções de manejo, mas permanece fortemente condicionada pela sazonalidade climática. A sobrevivência de espécies herbáceas mostrou-se limitada pelo déficit hídrico, reforçando a necessidade de monitoramento de longo prazo. Assim, a RNA constitui uma estratégia viável para favorecer a sucessão ecológica em restingas, sendo recomendada a continuidade dos estudos para avaliar a transição para estágios sucessionais mais avançados e a influência de variáveis como vento, umidade e disponibilidade hídrica na estabilidade do ecossistema.

Palavras-chave: Ecossistemas de restinga; Regeneração natural assistida; Restauração ecológica; Sazonalidade climática; Ecossistemas costeiros.

ABSTRACT

Restinga is a resilient coastal ecosystem, but it is vulnerable to anthropogenic pressures and severe abiotic conditions, such as high solar radiation, wind exposure, salinity, and seasonal water deficit. This study was structured into two chapters, integrating a theoretical approach and a field-based analysis. Chapter 1, entitled “Restoration of *restinga* ecosystems: techniques, challenges, and perspectives for the recovery of coastal ecosystems”, consisted of an integrative review of restoration strategies applied to *restinga* ecosystems. The review indicated that nucleation and natural regeneration are promising and low-cost alternatives, although their effectiveness depends on the environmental conditions and degradation history of each site. Chapter 2, entitled “Natural regeneration of the Panaquatira *restinga*, São José de Ribamar”, evaluated Assisted Natural Regeneration (ANR) in a *restinga* area in Maranhão after the removal of invasive species. The objective of this study was to characterize the physiognomy and floristic composition of areas undergoing restoration, identifying functional groups and assessing the influence of climatic seasonality on plant community structure. For this purpose, permanent plots were established in two areas with distinct physiognomies, and individuals with stem diameter at the base (SDB) ≥ 3 cm were monitored across four field campaigns. Phytosociological parameters, diversity, floristic similarity, and temporal responses of the community were analyzed using linear mixed models. A total of 808 individuals were recorded, distributed among 29 species and 13 families, with a predominance of native species and pioneer groups. The results indicated positive responses of the vegetation to ANR, particularly through the role of woody species in increasing canopy cover and promoting the structural development of the community. Environmental differences between the areas influenced regeneration structure, highlighting the importance of factors such as solar radiation, wind exposure, and water availability. Climatic seasonality also influenced species richness and abundance, with greater recruitment during the rainy season and ecological limitations during the dry season. Temporal monitoring revealed that the dry season was associated with structural simplification of the community and increased dominance of a few species, whereas the return of rainfall favored recruitment. During the rainy season, new species records represented 48.27% of the observed richness, with a predominance of representatives of the families Poaceae and Fabaceae, and floristic dissimilarity reached 0.45 in relation to previous periods. These results suggest that the restoration of *restinga* ecosystems in Maranhão responds positively to management interventions, but remains strongly conditioned by climatic seasonality. The survival of herbaceous species was limited by water deficit, reinforcing the need for long-term monitoring. Thus, ANR represents a viable strategy to promote ecological succession in *restinga* ecosystems, and further studies are recommended to evaluate the transition to more advanced successional stages and the influence of variables such as wind, humidity, and water availability on ecosystem stability.

Keywords: *Restinga* ecosystems; Transitional ecosystems; Assisted Natural Regeneration; Ecological restoration; Climatic seasonality.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	7
CAPÍTULO 1	11
INTRODUÇÃO	11
MÉTODOS.....	13
RESULTADOS	14
CONCLUSÃO.....	21
REFERÊNCIAS	23
CAPÍTULO 2.....	26
1 INTRODUÇÃO	26
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
3 METODOLOGIA.....	30
3.1 Área de Estudo	30
3.2 Coleta dos Dados	30
3.3 Caracterização florística e estrutural da comunidade arbórea das áreas em processo de restauração.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Crescimento estrutural da comunidade arbórea	41
4.2 Altura das plantas	41
4.3 Diâmetro do caule	42
4.4 Cobertura de copa	43
4.5 Número de bifurcações	45
4.6 Estrutura alométrica e variação temporal	45
4.7 Riqueza	47
4.8 Abundância.....	47
4.9 Diversidade efetiva da comunidade ($q = 0, 1, 2$)	47
4.10 Síntese dos índices de diversidade	49
4.11 Continuidade do Monitoramento (T5).....	50
4.12 Índice de Jaccard	52
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
REFERÊNCIAS	55

INTRODUÇÃO GERAL

As restingas são consideradas Áreas de Preservação Permanente - APP, de acordo com a Lei Federal nº 12.651/2012. Restinga pode ser definida de acordo com sua geomorfologia, como uma planície arenosa que datam do Quaternário, principalmente do Holoceno. Estas áreas são depósitos arenosos paralelos à linha da costa, produzido por processos de sedimentação (Zamith e Scarano, 2006; Souza *et al.*, 2008; Brasil, 2012).

Também podem ser definidas de acordo com o tipo de vegetação encontrada nesses locais, que costuma ser um mosaico de comunidades vegetais, encontrada em praias, cordões arenosos, dunas e depressões, apresentando, de acordo com o estágio sucessional, estrato herbáceo, arbustivo e arbóreo, funcionando como fixadoras de dunas e estabilizadoras de mangues (Lacerda *et al.*, 1993; Martin *et al.*, 1993; Zamith e Scarano, 2006; Souza *et al.*, 2008; Brasil, 2012).

A vegetação de restinga normalmente é rica em espécies, apesar das plantas desses ambientes estarem constantemente submetidas a várias restrições impostas pelos solos arenosos com baixa disponibilidade de nutrientes, seca, alta incidência de ventos, alta salinidade e altas temperaturas do solo e do ar (Reinert *et al.*, 1997; Pereira *et al.*, 2004). As condições climáticas desses ambientes agem de forma a moldar a vegetação local, promovendo adaptações (Guedes *et al.*, 2006; Dias e Soares, 2008; De Paiva e Almeida Jr., 2020; Gomes *et al.*, 2022). Além disso, por sua localização, a restinga atua como um tampão natural contra erosão marinha, protegendo áreas adjacentes.

As espécies nativas desenvolvem adaptações específicas, como modificações na arquitetura da planta e no sistema radicular alterando sua configuração espacial, por vezes crescendo de maneira acentuada no sentido das regiões de maior concentração de nutrientes a fim de lidar com condições adversas e garantir sua sobrevivência (Sato, 2007).

Localizadas em áreas de baixa altitude com suave declive em direção ao mar (Pereira e Assis, 2000), as restingas possuem solos arenosos e sujeitos a um processo que leva à lixiviação de nutrientes bastante significativa (Gomes *et al.*, 1998; Barcelos *et al.*, 2012). Ademais, a alta luminosidade e a escassez de nutrientes dos solos faz com que seja um ambiente desafiador para a vegetação, o que as torna um sistema modelo para o estudo de adaptações de plantas a condições extremas. Também fornece vários serviços ecossistêmicos, dentre eles a purificação do ar e das águas, regulação climática, controle de enchentes e provisão de recursos naturais (Da Costa *et al.*, 2014).

As restingas, embora legalmente protegidas, estão sujeitas a diversos impactos causados pela ação humana, como a expansão imobiliária, o turismo desordenado, a poluição por resíduos efluentes, a introdução de espécies exóticas e a extração de plantas nativas (Carvalho, 2018). No Brasil, esse ecossistema sofre considerável destruição pelas ações antrópicas, muitas vezes levando a fragmentação de habitats, pois muitas cidades brasileiras estão localizadas nas regiões litorâneas (Lacerda e Esteves, 2000).

Ambientes de restinga são considerados frágeis, com baixa capacidade resiliente, vegetação que se desenvolve em solos altamente lixiviados, com baixa disponibilidade de nutrientes, altas temperaturas, salinidade elevada, intensa exposição à luminosidade e estresse hídrico (Pereira *et al.*, 2004; Guedes *et al.*, 2006; Dias e Soares, 2008; Paiva e Almeida Jr., 2020; Gomes *et al.* 2022).

Todos esses fatores são considerados estressantes e limitantes para o desenvolvimento dos vegetais em ambientes costeiros (Gomes *et al.* 2022). As espécies que compõem a vegetação de restinga respondem a essa heterogeneidade das condições do ambiente por meio de modificações fisiológicas e morfológicas, de modo a alterar a arquitetura de sua parte aérea e de seu sistema radicular como uma resposta adaptativa compensatória (Sato, 2007).

Além disso, as restingas não são tratadas como prioridade quando se trata de conservação, pois há poucas espécies vegetais endêmicas (Barbosa *et al.*, 2004), sendo que a maioria da vegetação é proveniente de ecossistemas adjacentes, como Cerrado, Floresta Amazônica e caatinga (Cerqueira, 2000; Rocha *et al.*, 2004; Scarano, 2002). Apesar da grande redução de área, é importante salientar que as restingas servem de habitat para espécies de plantas, insetos, peixes e outros animais, muitos deles ameaçados de extinção (Vanzolini e Ab'Saber 1968; Araújo e Maciel 1998; Vargas, 2006). A introdução de plantas exóticas invasoras e o reflorestamento com fins econômicos são fatores que também contribuem para a degradação da restinga (Plucênio *et al.*, 2013).

Diante desse cenário de mudanças globais, a restauração de ecossistemas costeiros degradados é de suma importância e urgente (Zamith e Scarano; 2004; Bechara *et al.*, 2020). Entretanto, a falta de conhecimento a respeito das espécies que compõem esses ambientes, da sua capacidade de regeneração, assim como informações a respeito da germinação de sementes de espécies de restinga, ainda são um desafio muito grande, e precisam ser estudados.

Embora sejam áreas de proteção permanente, as restingas estão sofrendo impactos da degradação ambiental, principalmente pelas pressões antrópicas. Esses

ambientes estão sendo muito impactados devido ao crescimento desordenado de construções imobiliárias, turismo predatório, poluição pelo descarte de resíduos e efluentes residenciais, introdução de espécies exóticas e pelo recolhimento de espécies vegetais de interesse paisagístico (Carvalho *et al.*, 2018).

As atividades antrópicas desenvolvidas nas restingas contribuem para a redução dessas áreas e alteram os serviços ambientais fornecidos por este ecossistema, como a fixação de dunas, a manutenção do nível de aquíferos e a melhoria da qualidade do solo, além de ser local de abrigo e habitat de muitas espécies da fauna (Scherer-Widmer, 2001). Diante disso, com o intuito de se entender os processos que possam auxiliar na definição de estratégias de restauração, são necessárias medidas para conservar os fragmentos de restinga que ainda existem e para a restauração ecológica de áreas degradadas (Zamith e Scarano, 2006).

Ao falarmos do Estado do Maranhão, vale destacar que este apresenta grande diversidade de ecossistemas e fitofisionomias, com diferentes domínios fitogeográficos, como a Amazônia, a Caatinga e o Cerrado (Aragão e Conceição, 2008), possuindo uma zona costeira com cerca de 640 km de áreas de restinga (Oliveira *et al.*, 2010).

No Maranhão, as restingas são bem conhecidas floristicamente, mas pouco compreendidas quanto à origem das espécies associadas. As listas florísticas já publicadas apontam a presença de espécies da flora amazônica e do Cerrado, além de espécies amplamente distribuídas ao longo da costa brasileira (Almeida Jr. *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2017; Guterres *et al.*, 2020; Correia *et al.*, 2020). Esse cenário faz com que as restingas do Maranhão possuam um caráter único, já que é o único estado brasileiro onde as manchas de Cerrado e Amazônia alcançam o litoral simultaneamente.

A região norte da Ilha de São Luís compreende praias arenosas contendo dunas e pequenos cursos de água doce com manchas de mangue (Cabral-Freire e Monteiro, 1993). Situada nesta região, a Praia de Panaquatira caracteriza-se por ser uma das áreas de maior expressividade no que diz respeito à vegetação de dunas e restingas na Ilha de São Luís (Oliveira *et al.*, 2010).

De acordo com Lima *et al.* (2017), diversos impactos ambientais significativos foram encontrados na Praia de Panaquatira. Entre eles, destacam-se as queimadas, o descarte inadequado de lixo por turistas e os resíduos carreados das áreas urbanas pelas grandes marés. Ademais, o tráfego de veículos sobre as dunas é um problema grave, contribuindo para a supressão das espécies vegetais nativas e fixadoras dessas formações.

Apesar dos documentos legais que atestam a importância das restingas na ilha maranhense, criando e fortalecendo grande parte desse território por meio de áreas protegidas, ações que promovem a degradação destas áreas ainda são recorrentes e ações que promovam a recuperação das áreas degradadas e a preservação das áreas naturais são fundamentais.

Nesse sentido a restauração de ambientes impactados ganha destaque sobretudo por contribuir para a agenda de desenvolvimento sustentável que a Organização das Nações Unidas (ONU) em conjunto com outros parceiros internacionais, como a Society for Ecological Restoration (SER), estabeleceu, em 2021, princípios para a Restauração Ecológica de Ecossistemas. São 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para a agenda de 2030. Na área deste projeto, mostra-se de grande relevância especificamente o ODS 15, o qual informa que é necessário “proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade”, e dentre as metas estabelecidas até 2030 está a redução da degradação de habitats naturais, para deter a perda de biodiversidade e proteger e evitar a extinção de espécies ameaçadas, por meio de medidas urgentes e significativas, entre outras (ONU, 2024).

Assim, projetos de recuperação ecológica são fundamentais para o restabelecimento e manutenção da biodiversidade local. Isso, aliado a programas de preservação, pode garantir que o ecossistema se mantenha estável por um longo período de tempo.

CAPÍTULO 1

Publicado como capítulo de livro na Revista Científica Digital

ISBN: 978-65-6155-025-3

RESTAURAÇÃO DE RESTINGAS: TÉCNICAS, DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA A RECUPERAÇÃO DE ECOSISTEMAS COSTEIROS

Rôlzele Robson Marques

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Ilisandra Zanandrea

Universidade Federal do Maranhão (UFMA);

Docente Permanente do Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente/UFMA

RESUMO

Objetivo: Este trabalho objetivou realizar uma revisão integrativa sobre as técnicas e os desafios envolvidos na restauração de restingas, visando contribuir para a conservação da biodiversidade e para a recuperação dos serviços ecossistêmicos desses ecossistemas costeiros. **Métodos:** Realizou-se uma revisão integrativa de literaturas abordando estudos sobre ecossistemas de restinga, suas características ambientais, impactos causados por perturbações antrópicas, e as principais técnicas empregadas em projetos de restauração. A análise contemplou especialmente métodos de regeneração, com ênfase na nucleação, considerando sua aplicabilidade, limitações e dependência de condições específicas do local e dos recursos disponíveis. **Resultados:** As restingas, por serem ambientes com condições adversas como alta luminosidade, salinidade elevada e forte influência de ventos, apresentam flora altamente adaptada, mas vulnerável a pressões humanas. Os estudos analisados indicam que técnicas de restauração baseadas em regeneração natural e nucleação têm sido amplamente utilizadas e demonstram potencial significativo para acelerar o processo de recuperação ecológica. Contudo, a eficácia das técnicas varia conforme o grau de degradação, as características do sítio e a disponibilidade de recursos técnicos e financeiros. **Conclusão:** A restauração de restingas é um desafio contínuo, às condições ambientais e às pressões antrópicas. A nucleação se destaca como uma estratégia eficiente, mas sua aplicação depende do contexto ecológico e operacional de cada área. A compreensão dessas variáveis é essencial para selecionar técnicas adequadas e promover a conservação dos ecossistemas de restinga.

Palavras-chave: Regeneração natural, Espécies invasoras, Nucleação, Serviços ecossistêmicos

INTRODUÇÃO

As restingas são consideradas Áreas de Preservação Permanente - APP, de acordo com a Lei Federal nº 12.651/2012. Restinga pode ser definida de acordo com sua geomorfologia, como uma planície arenosa que datam do Quaternário, principalmente do

Holoceno. Estas áreas são depósitos arenosos paralelos à linha da costa, produzido por processos de sedimentação (Zamith; Scarano, 2006; Souza *et al.*, 2008; Brasil, 2012).

Também pode ser definida de acordo com o tipo de vegetação encontrada nesses locais, que costuma ser um mosaico de comunidades vegetais, encontrada em praias, cordões arenosos, dunas e depressões, apresentando, de acordo com o estágio sucessional, estrato herbáceo, arbustivo e arbóreo, funcionando como fixadoras de dunas e estabilizadoras de mangues (Lacerda *et al.* 1993; Martin *et al.* 1993; Zamith; Scarano, 2006; Souza *et al.*, 2008; Brasil, 2012).

A vegetação de restinga normalmente é rica em espécies, apesar das plantas desses ambientes estarem constantemente submetidas a várias restrições impostas pelos solos arenosos com baixa disponibilidade de nutrientes, seca, alta incidência de ventos, alta salinidade e altas temperaturas do solo e do ar (Reinert *et al.*, 1997; Pereira *et al.*, 2004). As condições climáticas desses ambientes agem de forma a moldar a vegetação local, promovendo adaptações (Guedes *et al.*, 2006; Dias; Soares, 2008; De Paiva; Almeida Jr., 2020; Gomes *et al.*, 2022). Além disso, por sua localização, a restinga atua como um tampão natural contra erosão marinha, protegendo áreas adjacentes.

As espécies nativas desenvolvem adaptações específicas, como modificações na arquitetura da planta e no sistema radicular alterando sua configuração espacial, por vezes crescendo de maneira acentuada no sentido das regiões de maior concentração de nutrientes a fim de lidar com condições adversas e garantir sua sobrevivência (Sato, 2007). Localizados em áreas de baixa altitude com suave declive em direção ao mar (Pereira; Assis, 2000), as restingas possuem solos arenosos e sujeitos a um processo que leva à lixiviação de nutrientes bastante significativa (Gomes *et al.*, 1998; Barcelos *et al.*, 2012). Ademais, a alta luminosidade e a escassez de nutrientes dos solos fazem com que seja um ambiente desafiador para a vegetação, o que as torna um sistema modelo para o estudo de adaptações de plantas a condições extremas. Também fornece vários serviços ecossistêmicos, dentre eles a purificação do ar e das águas, regulação climática, controle de enchentes e provisão de recursos naturais (Da Costa *et al.*, 2014).

As restingas, embora legalmente protegidas, estão sujeitas a diversos impactos causados pela ação humana, como a expansão imobiliária, o turismo desordenado, a poluição por resíduos efluentes, a introdução de espécies exóticas e a extração de plantas nativas (Carvalho, 2018). No Brasil, esse ecossistema sofre considerável destruição pelas ações antrópicas, muitas vezes levando a fragmentação de habitats, pois muitas cidades brasileiras estão localizadas nas regiões litorâneas (Lacerda; Esteves, 2000).

Além disso, as restingas não são tratadas como prioridade quando se trata de conservação, pois há poucas espécies vegetais endêmicas (Barbosa *et al.*, 2004), sendo que a maioria da vegetação é proveniente de ecossistemas adjacentes, como Cerrado, Floresta Amazônica e caatinga (Cerqueira, 2000; Rocha *et al.*, 2004; Scarano, 2002). Apesar da grande redução de área, é importante salientar que as restingas servem de habitat para espécies de plantas, insetos, peixes e outros animais, muitos deles ameaçados de extinção (Vanzolini; Ab'Saber 1968; Araújo; Maciel 1998; Vargas, 2006). A introdução de plantas exóticas invasoras e o reflorestamento com fins econômicos são fatores que também contribuem para a degradação da restinga (Plucênio *et al.*, 2013).

Diante desse cenário de mudanças globais, a restauração de ecossistemas costeiros degradados é de suma importância e urgente (Zamith; Scarano; 2004; Bechara *et al.*, 2020). Entretanto, a falta de conhecimento a respeito das espécies que compõem esses ambientes, da sua capacidade de regeneração, assim como informações a respeito da germinação de sementes de espécies de restinga, ainda são um desafio muito grande, e precisam ser estudados.

Ainda há muitas lacunas existentes a respeito dos processos ecológicos que ocorrem nas restingas, sobretudo em relação à dinâmica de sucessão e ao comportamento das espécies diante de diferentes técnicas de restauração, faz-se necessário que estudos mais aprofundados sobre técnicas de restauração mais eficientes, além de mais baratas, auxiliem na tomada de decisão sobre o planejamento da restauração de ambientes de restinga degradados. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi fazer uma revisão integrativa sobre as técnicas de restauração de restinga mais utilizadas, destacando os desafios enfrentados e algumas soluções encontradas.

MÉTODOS

A coleta de dados foi realizada na plataforma online SCIELO (*Scientific Electronic Library Online*) e base de dados dos Periódicos CAPES. Os tipos de estudos selecionados foram de caráter primário, nos idiomas inglês, espanhol e português, sendo utilizados os seguintes descritores: “restauração” AND “restinga”, “restoration” AND “restinga”, “coastal restoration” AND “restinga”, “*sand dunes*” AND “restinga” e “*recovery of degraded areas*” AND “restinga”.

Dentre os critérios de inclusão, foram englobados estudos sem considerar ano de publicação em virtude do número pequeno de trabalhos sobre o tema, incluindo artigos científicos, livros e capítulos de livros, monografias, teses e dissertações. Foram

excluídos trabalhos duplicados, que fugiam do tema e que não possuíam acesso liberado (Figura 1).

Figura 1: Fluxograma adaptado do método seguindo as diretrizes PRISMA para avaliação do tema.

01	02	03
Bases de Dados Consultadas	Descritores Utilizados	Critérios de Seleção
A pesquisa foi conduzida na plataforma SCIELO (Scientific Electronic Library Online) e na base de dados dos Periódicos CAPES, abrangendo estudos primários em inglês, espanhol e português.	Combinações estratégicas de termos: “restauração” AND “restinga”, “restoration” AND “restinga”, “coastal restoration” AND “restinga”, “sand dunes” AND “restinga” e “recovery of degraded areas” AND “restinga”.	Foram incluídos artigos científicos, livros, capítulos de livros, monografias, teses e dissertações, sem restrição temporal devido ao número limitado de publicações. Excluíram-se trabalhos duplicados, fora do tema ou sem acesso liberado.
109	17	2003-2025
Estudos identificados inicialmente sobre restauração de restingas nas bases de dados consultadas.	Trabalhos selecionados após aplicação rigorosa dos critérios de inclusão e exclusão para análise detalhada.	Período de publicação dos estudos selecionados, refletindo mais de duas décadas de investigação científica.

Foram identificados inicialmente 109 estudos sobre restauração de restingas. Após a aplicação rigorosa de critérios de inclusão, 17 trabalhos foram selecionados para a análise detalhada. Estes estudos, publicados entre 2003 e 2025, abordam diversas temáticas relacionadas à restauração de restingas, incluindo técnicas de restauração, escolha de espécies, monitoramento da sucessão ecológica e influência de fatores ambientais.

RESULTADOS

Após os critérios de exclusão adotados, foram analisados 17 trabalhos, que estão sistematizados e sintetizados no Quadro 1. Esse quadro permite uma rápida visualização e sucinta comparação dos estudos, favorecendo a identificação de tendências e lacunas sobre o tema.

Quadro 1: Trabalhos analisados na revisão integrativa, destacando ano de publicação, autores, título e principais conclusões.

Ano	Autores	Título	Conclusões
2003	Carrasco	Produção de mudas de espécies florestais de restinga, com base em estudos florísticos e fitossociológicos, visando a recuperação de áreas degradadas, em Ilha Comprida - SP	Falta de estudos sobre o tema além da competição com plantas invasoras e as perturbações antrópicas constituem fatores limitantes para o sucesso de ações que visem a restauração de áreas degradadas.
2003	Bechara	Restauração ecológica de restingas contaminadas por pinus no Parque Florestal do Rio Vermelho, Florianópolis, SC	O estudo analisou técnicas para restaurar áreas de restinga invadidas por pinus, indicando o sucesso do plantio de espécies nativas e a retirada da espécie invasora.
2004	Zamith e Scarano	Produção de mudas de espécies das Restingas do município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil	Destaca potencial da produção de mudas de espécies da restinga para restauração, indicando a necessidade de estudos futuros de cada espécie a fim de otimizar a produção.
2006	Bechara	Unidades Demonstrativas de Restauração Ecológica através de Técnicas Nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga	Sugeriu que o uso da nucleação aumentou a eficiência da restauração ecológica além de resultar em menor custo em relação a outras técnicas utilizadas.

2006	Zamith e Scarano	<i>Restoration of a restinga sandy coastal plain in brazil: survival and growth of planted woody species</i>	O plantio direto de mudas nativas foi considerado mais promissor, com alta taxa de sobrevivência.
2010	Albuquerque e	Avaliação da restauração em restinga do Parque Natural Municipal de Grumari, RJ	Observou diversidade de espécies em uma das áreas avaliadas e a ocorrência de espécies pioneiras, além de uma espécie ameaçada em outra área, demonstrando potencial das espécies encontradas na regeneração.
2010	Rodrigues <i>et al.</i>	Avaliação da chuva de sementes em áreas de restinga em diferentes estágios de regeneração	A chuva de sementes, mesmo em baixa densidade, contribui para a manutenção da diversidade e a regeneração natural de restingas.
2011	Bourscheid e Reis	Dinâmica da invasão de <i>Pinus elliottii</i> Engelm. em restinga sob processo de restauração ambiental no Parque Florestal do Rio Vermelho, Florianópolis, SC	Destaca a necessidade da retirada da invasora a fim de favorecer processos de restauração ecológica
2011	Tomazi <i>et al.</i>	Diversidade de formas de vida vegetal como indicador do status de regeneração de uma restinga arbustivo-arbórea em processo restaurativo	A pesquisa sugere que a recuperação de áreas afetadas pela ação antrópica poderá levar mais tempo do que o considerado no estudo.

2012	Gerzson <i>et al.</i>	Efetividade de medidas complementares de restauração em vegetação de restinga	O artigo destaca a necessidade de estudos futuros e mais aprofundados considerando que os dados obtidos não seriam suficientes para identificar diferenças significativas entre as áreas avaliadas.
2012	Alves <i>et al.</i>	Avaliação da regeneração inicial da vegetação de restinga após remoção de plantio de <i>Pinus elliottii</i> , no Parque Municipal da Lagoa do Peri, Florianópolis – SC	Retirada das espécies de <i>Pinus elliottii</i> demonstrou contribuir para a recuperação da vegetação de restinga local.
2016	Ribeiro e Melo Jr.	Richness and community structure of sand dunes (restinga) in Santa Catarina: subsidies for ecological restoration	O artigo propõe a restauração de um banco de areia utilizando espécies nativas pioneiras, além do plantio direto de mudas e a remoção de espécies exóticas. Ademais, o monitoramento constante das plantas após o plantio visando garantir a recuperação da área e a proteção da biodiversidade local.
2016	Rodrigues <i>et al.</i>	Técnicas de restauração florestal em restingas	Confirmou a existência de estudos na área de restauração florestal em restingas, e a técnica de regeneração natural por nucleação foi a mais eficiente.

2020	Carvalho <i>et al.</i>	Aggregated seed dispersal in a neotropical coastal thicket vegetation: the role of microhabitat, dispersal syndrome and growth form	A regeneração natural é limitada pela baixa dispersão de sementes, sendo necessária a restauração ativa.
2020	Weidlich <i>et al.</i>	Using ectomycorrhizae to improve the restoration of neotropical coastal zones	Sugere que a formação de ectomicorrizas pode ser uma das razões pelas quais as plantas conseguem se estabelecer e sobreviver em ambientes hostis como a restinga.
2021	Loureiro <i>et al.</i>	Survival, seedlings growth and natural regeneration in areas under ecological restoration in a sandy coastal plain (restinga) of southeastern Brazil	As mudas plantadas em depressões tiveram melhor desempenho, possivelmente relacionado à maior disponibilidade de água e nutrientes. A regeneração natural foi mais expressiva em áreas com poleiros artificiais.
2022	Souza <i>et al.</i>	Structural plasticity in leaves of <i>Schinus terebinthifolius</i> (Anacardiaceae) populations from the contrasting tropical ecosystems	O artigo destaca que a plasticidade da espécie <i>Schinus terebinthifolius</i> (Anacardiaceae) pode contribuir significativamente para sua adaptação em ambientes como a restinga.

A maioria dos estudos focaram na avaliação da eficácia de diferentes técnicas de restauração, como plantio de mudas, semeadura direta e nucleação, embora não haja um consenso sobre a melhor estratégia. Estudos demonstram que a elevada heterogeneidade de dados pode ter influência de fatores como condições microclimáticas locais,

perturbações antrópicas e a composição do solo, ainda que sejam necessárias investigações mais robustas para aprofundamento sobre o tema (Gerzson *et al.*, 2012).

Carrasco (2003) destaca a escassez de estudos sobre características de solos de restinga, bem como necessidades nutricionais das plantas que ocorrem nesse ecossistema. Ele relaciona a falta dessas informações, somada à competição com plantas invasoras e às perturbações antrópicas como fatores limitantes para o sucesso de ações que visem a restauração de áreas degradadas.

Tomazi *et al.* (2011) observaram que, conforme avaliação realizada após 10 dez anos da intervenção, a diversidade de espécies ainda permanecia aquém quando comparada às áreas naturais, sugerindo que o tempo de recuperação seria insuficiente para que ocorresse o avanço sucessional de maneira satisfatória.

Bechara (2003) evidencia o papel negativo das plantas invasoras. Em seu trabalho ele destaca o *Pinus*, considerada a planta exótica invasora mais problemática. Essa influência negativa de *Pinus* também ganhou destaques nos estudos de Alves *et al.* (2012) onde foi mostrado que, mesmo após a retirada relativamente recente, o favorecimento da regeneração com a vegetação já apresentava sinais de recuperação.

Bourscheid e Reis (2011) chamam atenção para o impacto negativo do plantio de espécies invasoras e reforçam a necessidade de sua retirada para que projetos de restauração sejam bem-sucedidos, considerando inclusive a possibilidade de reinfestação pelo *Pinus*. Os autores ainda destacam a necessidade de planejamento que considere tais fatores.

Ribeiro e Melo Jr (2016), corroborando com estudos de Zamith e Scarano (2006) consideram que o plantio direto de mudas nativas é uma técnica eficaz para restaurar restingas, com altas taxas de sobrevivência. No entanto, Zamith e Scarano (2006) destacaram que o crescimento é lento devido às condições do ambiente, com a melhor adaptação de algumas espécies. Nesse sentido, a escolha adequada das plantas é fundamental para o sucesso da restauração. A restauração com espécies nativas é essencial para a conservação da biodiversidade e oferece benefícios como o sequestro de carbono, além do uso de plantas-ninhos que podem potencializar os resultados da restauração.

Em outro estudo também realizado por Zamith e Scarano (2004) a produção de mudas também ganhou destaque, sendo considerada uma etapa importante para a restauração de áreas degradadas, indicando uma grande viabilidade de mudas destinadas ao plantio.

O plantio de mudas também foi avaliado por Loureiro *et al.* (2021) que observaram que aquelas plantadas em depressões apresentaram melhores desempenhos, o que pode estar relacionado à maior disponibilidade de água e nutrientes. Ademais, a regeneração natural foi mais expressiva em áreas com poleiros artificiais, indicando que essa técnica é eficaz para estimular o processo de restauração em restingas, especialmente considerando a limitada capacidade de regeneração natural em áreas de areia nua.

Weidlich *et al.* (2020) destacaram a necessidade de continuidade da pesquisa pioneira, mas sugere que a formação de ectomicorrizas pode ser uma das razões pelas quais as plantas conseguem se estabelecer e sobreviver em ambientes hostis como a restinga, uma vez que as plantas dependem de interações subterrâneas, incluindo mutualismo, decomposição e patogenicidade.

A plasticidade da espécie *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae) ganha destaque nos estudos de Souza *et al.* (2022), visto que esta característica da espécie pode contribuir significativamente para sua adaptação em ambientes como a restinga, pois a grande flexibilidade da estrutura foliar permite modificações frente a fatores como alta salinidade, alta luminosidade, escassez de água e de nutrientes.

Carvalho *et al.* (2020) destacaram em seu estudo que a regeneração natural em áreas de restinga é limitada em virtude da pouca efetividade da chuva de sementes. Nesse sentido, a restauração ativa pode ser necessária. Os autores chamam atenção para a importância de estudos sobre germinação de sementes e estabelecimento de mudas, bem como a interação planta-animal. Este trabalho vai de encontro aos estudos de Rodrigues *et al.* (2010), que concluiu que apesar da baixa densidade, a chuva de sementes demonstrou grande potencial para manter e renovar espécies tanto na floresta quanto na clareira, contribuindo para diversidade genética e resiliência desse ecossistema diante das condições adversas.

O estudo realizado por Albuquerque (2010), em Grumari – RJ, demonstrou que a área analisada possui grande potencial para a recuperação de áreas degradadas de restinga, observando diferentes estágios de sucessão ecológica, além da importante dinâmica da regeneração natural.

Segundo o levantamento bibliográfico realizado por Rodrigues *et al.* (2016) sobre técnicas de restauração em ambientes de restinga destacou a utilização de três estratégias: plantio direto de sementes, plantio de mudas e nucleação de bancos de propágulos com mudas das espécies. Apesar dos fatores limitantes característicos da restinga como alta salinidade, alta incidência da luz solar e as erosões eólicas, além do

solo altamente lixiviado, a técnica que se mostrou mais eficiente e promissora sob o aspecto ecológico foi a regeneração natural por nucleação.

A nucleação consiste em outra técnica muito eficiente utilizada na restauração de áreas degradadas de restinga. A utilização dessa técnica além de promover a restauração de áreas degradadas a um custo menor, favorece a conservação efetiva de todo o ecossistema já que considera toda cadeia produtiva, promovendo equilíbrio (Bechara, 2006).

Muitos trabalhos destacam que a utilização de espécies nativas adaptadas às condições locais é fundamental para garantir o sucesso da restauração e a manutenção da biodiversidade. No entanto, a coleta e produção de mudas de espécies nativas pode ser um desafio, especialmente para espécies raras e ameaçadas de extinção. Além disso, a presença de espécies exóticas representa uma das principais ameaças à restauração de restingas que impedem a regeneração da vegetação nativa, como o exemplo do *Pinus elliottii*, ou competem com as espécies nativas. Portanto, a retirada de espécies invasoras e o controle da reinfestação são etapas essenciais para o sucesso dos projetos de restauração.

Em suma, a restauração das restingas exige uma abordagem integrada que leve em consideração a complexidade ecológica e as particularidades desse ecossistema. Embora diversas técnicas de restauração tenham sido avaliadas, como o plantio de mudas e a nucleação, os resultados ainda apontam para a necessidade de mais estudos, especialmente em relação às interações entre as espécies nativas e invasoras, as condições microclimáticas e os fatores edáficos de cada região.

CONCLUSÃO

A restauração de restingas, embora necessária, apresenta-se como um desafio que precisa de enfrentamento com urgência. A pressão antrópica sobre esses ambientes, reconhecidos pelo baixo poder resiliente, é evidenciada pela literatura científica. Nesse sentido, diversos estudos têm explorado diferentes técnicas de restauração como o plantio de mudas, semeadura direta e nucleação. Vale destacar que a técnica mais adequada depende de diversos fatores, como as características do local, as espécies a serem restauradas e os recursos disponíveis.

Dentre as técnicas apresentadas, a nucleação tem se mostrado uma técnica bastante promissora já que a formação desses pequenos núcleos de vegetação nativa atua como ponto de partida para o processo de regeneração natural.

Outro ponto diz respeito às interações ecológicas, que também desempenham um papel crucial na restauração de restingas. A presença de polinizadores, dispersores de sementes e microrganismos do solo são essenciais para o estabelecimento e desenvolvimento das comunidades vegetais. A utilização de técnicas como a instalação de poleiros artificiais e a inoculação de micorrizas podem contribuir de maneira significativa para o sucesso do processo de restauração.

Estudos de longo prazo são necessários para avaliar a eficácia das diferentes estratégias de restauração e para identificar os fatores que limitam a recuperação desses ecossistemas, além do conhecimento acerca do avanço proporcionado pelo surgimento de novas técnicas.

Nesse sentido, a restauração de restingas pode ser um processo multifacetado, além de complexo e desafiador, que exige um conhecimento aprofundado dos ecossistemas. Além disso, o sucesso das iniciativas de restauração depende não apenas de métodos técnicos, mas também de um forte engajamento em políticas públicas que incentivem a preservação e recuperação dessas áreas, fundamentais para a biodiversidade e o equilíbrio ambiental.

Portanto, a combinação de diferentes abordagens, como a restauração ativa e a conservação de remanescentes, é fundamental para garantir a recuperação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos proporcionados pelas restingas. A conscientização da população sobre a importância das restingas, aliada a ações de educação ambiental e de fiscalização pelo poder público, pode potencializar os esforços de conservação, garantindo a sustentabilidade desses ecossistemas para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, V. O. A. Avaliação da restauração em restinga do Parque Natural Municipal de Grumari, RJ. 50p. **Monografia** (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica-RJ. 40p., 2010.
- ALVES, R. P. ALMEIDA, T. K. A.; CANCELA, E. B. O.; PASTORE, A. L. P.; PINHEIRO, C. B.; PEREIRA, M. F. A. Avaliação da regeneração inicial da vegetação de restinga após remoção de plantio de *Pinus elliottii*, no Parque Municipal da Lagoa do Peri, Florianópolis–SC. **Ecologia de Campo na Ilha de Santa Catarina**, p. 49-59. 2012.
- BARCELOS, M. E.; RIGUETE, J. R.; SILVA, L. T. P.; FERREIRA JR, P. D. Uma visão panorâmica sobre os solos das restingas e seu papel na definição de comunidades vegetais nas planícies costeiras do sudeste do Brasil. **Natureza online**, v.10, n.2, p.71-76. 2012.
- BECHARA, F. C. Restauração ecológica de restingas contaminadas por Pinus no Parque Florestal do Rio Vermelho, Florianópolis, SC. **Dissertação** (Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas). Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal. 2003.
- BECHARA, F. C. Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga. **Tese** (Doutorado. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz), Universidade de São Paulo, 249p. 2006.
- BECHARA, F. C.; SALVADOR, L. Z.; VENTURA, R. A.; TOPANOTTI, L. R.; GERBER, D.; CRUZ, I. S.; SIMONELLI, M. Vegetation and seed bank of an open-scrub bush restinga formation in the Southeastern coast of Brazil. **Revista de Biologia Tropical**, v. 68, n. 2, 2020.
- BOURSCHEID, K.; REIS, A. Dinâmica da invasão de *Pinus elliottii* Engelm. em restinga sob processo de restauração ambiental no Parque Florestal do Rio Vermelho, Florianópolis, SC. **Biotemas**, v.23, n.2, p.23-30, 2010.
- BRASIL. **Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o Código Florestal Brasileiro.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 mai 2012.
- CARRASCO, P. G. Produção de mudas de espécies florestais de restinga, com base em estudos florísticos e fitossociológicos, visando a recuperação de áreas degradadas, em Ilha Comprida - SP. 2003. XXII, 186 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2003.
- CARVALHO, A. S. D. R.; ANDRADE, C. S.; SÁ, C. F. C.; ARAUJO, D. S. D.; TIerno, L. R.; FONSECA-KRUEL, V. S. Restinga de Massambaba: vegetação, flora, propagação e usos. **Vertente edições**, Rio de Janeiro. 2018.
- CARVALHO, A. S. D. R.; VELASQUE, L. S.; ARAUJO, D. S. D.; ANDRADE, A. C. S. Aggregated seed dispersal in a Neotropical coastal thicket vegetation: The role of

microhabitat, dispersal syndrome and growth form. **Acta Oecologica**, v.108, n.103618. 2020.

DIAS, H. M.; SOARES, M. L. G. 2008. As fitofisionomias das restingas do município de Caravelas (Bahia-Brasil) e os bens e serviços associados. **Boletim técnico-científico do CEPENE**, v. 16, n. 1, p. 59-74.

GERZSON, N. D.; BAPTISTA, I.; SILVA, P. G.; NAKAMURA, E. **Efetividade de medidas complementares de restauração em vegetação de restinga**. Ecologia de Campo na Ilha de Santa Catarina, v. 37. P. 37-47, 2012.

GUEDES, D.; BARBOSA, L. M.; MARTINS, S. E. Composição florística e estrutura fitossociológica de dois fragmentos de floresta de restinga no Município de Bertioga, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 299-311, 2006.

GOMES, J. B.V.; RESENDE, M.; REZENDE, S. B.; MENDONÇA, E. S. Solos de três áreas de Restinga. II. Dinâmica de substâncias húmicas, ferro e alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.11, p.1921-1932, 1998.

GOMES, M. C. V.; BOEIRA JR, C.; VALDATI, J.; SILVA, M. P. Vegetação de restinga: condicionantes pedológicos e geomorfológicos em costa de alta energia (Florianópolis-SC). **Geosul**, v. 37, n. 83, p. 72-91, 2022.

LOUREIRO, N.; SOUZA, T. P.; NASCIMENTO, D. F.; NASCIMENTO, M. T. Survival, seedlings growth and natural regeneration in areas under ecological restoration in a sandy coastal plain (restinga) of southeastern Brazil. **Austral Ecology**, v.47, n.2, p. 326-340, 2022.

OLIVEIRA, F. S.; MENDONÇA, M. W. A.; VIDIGAL, M. C. S.; REGO, M. M. C.; ALBUQUERQUE, P. M. C. Comunidade de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) em ecossistema de dunas na praia de Panaquatira, São José de Ribamar, Maranhão, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 54, p. 82-90, 2010.

OLIVEIRA, M. A. M. Potencial de regeneração de um fragmento de Floresta Baixa de Restinga, em Ilha Comprida, SP, degradado para cultivo agrícola. **Tese** (Doutorado em Biodiversidade Vegetal e Meio ambiente. Instituto de Botânica. 2014.

PAIVA, B. H. I.; ALMEIDA JR., E. B. Diversidade, análise estrutural e serviços ecossistêmicos da vegetação lenhosa da restinga da praia da Guia, São Luís, Maranhão, Brasil. **Biodiversidade**, v. 19, p. 46-60, 2020.

PEREIRA, O. J.; ASSIS, A.M.D. Florística da restinga de Camburi, Vitória, ES. **Acta Botanica Brasilica**, v.14, p. 99-111, 2000.

PEREIRA, M. C. A.; CORDEIRO, S. Z.; ARAÚJO, D. S. D. Estrutura do estrato herbáceo na formação aberta de *Clusia* do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, RJ, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.18: p.677-687, 2004.

PLUCÊNIO, R. M.; DECHOUM, M. S.; CASTELLANI, T. Invasão biológica em restinga: o estudo de caso de *Terminalia catappa* L. (Combretaceae). **Biodiversidade Brasileira**, v.3, n.2, p.118-136, 2013.

RIBEIRO, P. Y.; MELO JR, J. C. F. Richness and community structure of sand dunes (restinga) in Santa Catarina: subsidies for ecological restoration. **Acta Biológica Catarinense**, v.3, n.1, p.25-35, 2016.

ROCHA, C. F. D.; FREITAS, A. F. N.; CARVALHO, L. C. Habitat disturbance in Brazilian Coastal sand dune vegetation and present richness and diversity of bromeliad species. **Vidalia**, v. 2, n. 2, p.50-56, 2004.

RODRIGUES, M. A.; PAOLI, A. A. S.; BARBOSA, J. M.; SANTOS JR, N. A. Avaliação da chuva de sementes em áreas de restinga em diferentes estágios de regeneração. **Revista árvore**, v.34, p.814-824, 2010.

RODRIGUES, L. G. D. S. M.; RODRIGUES, F. M.; VIROLI, S. L. M. Techniques of forest restoration in restingas/Técnicas de restauração florestal em restingas. **Journal of bioenergy and food science**, v.3, n.1, 2016.

SATO, C. A. Caracterização da fertilidade do solo e da composição mineral de espécies arbóreas de restinga do litoral paulista. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal). Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho. 2007.

SOUZA, E. V.; ANDRADE, G. C.; ARAÚJO, H. H.; PEREIRA, J. D. Structural plasticity in leaves of *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae) populations from three contrasting tropical ecosystems1. **The Journal of the Torrey Botanical Society**, v.149, n.3, p.187-193, 2022.

TOMAZI, A. L.; PALUDO, G. F.; SOUZA, J.; SILVEIRA, M. H. **Diversidade de formas de vida vegetal como indicador do status de regeneração de uma restinga arbustivo-arbórea em processo restaurativo**. Ecologia de Campo na Ilha de Santa Catarina, v.61, 2012.

WEIDLICH, E. W. A.; MIOTO, P. T.; FURTADO, A. N. M.; FERST, L. M.; ERNZEN, J. P.; NEVES, M. A. Using ectomycorrhizae to improve the restoration of neotropical coastal zones. **Restoration Ecology**, v.28, n.6, p.1324-1326, 2020.

WWF BRASIL. **Restauração ecológica no Brasil: Desafios e oportunidades**. Brasília/DF: 2014.

ZAMITH, L. R.; SCARANO, F. R. Produção de mudas de espécies das Restingas do município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.18, p.161-176, 2004.

ZAMITH, L. R.; SCARANO, F. R. Restoration of a restinga sandy coastal plain in Brazil: survival and growth of planted woody species. **Restoration Ecology**, v.14, n.1, p.87-94, 2006.

CAPÍTULO 2

REGENERAÇÃO NATURAL DA RESTINGA DE PANAQUATIRA, SÃO JOSÉ DE RIBAMAR

RESUMO

Introdução: As restingas são ecossistemas costeiros marcados por condições ambientais restritivas. A regeneração natural constitui um processo-chave para a recuperação da vegetação após distúrbios, especialmente diante da presença de espécies invasoras. **Objetivo:** Avaliar a regeneração natural em duas áreas de restinga na Praia de Panaquatira (MA), buscando compreender sua estrutura, composição florística e potencial de resiliência após manejo. **Métodos:** Foram estabelecidas parcelas permanentes em duas áreas com diferentes fisionomias, onde indivíduos com $DAS \geq 3$ cm foram monitorados ao longo de quatro campanhas. Foram analisados parâmetros fitossociológicos, diversidade e similaridade florística. **Resultados:** Foram registrados 808 indivíduos, distribuídos em 29 espécies e 13 famílias, com predominância de espécies nativas e grupos pioneiros. Diferenças ambientais entre as áreas influenciaram a estrutura da regeneração, destacando o papel de fatores como radiação, vento e disponibilidade hídrica. A sazonalidade influenciou a riqueza e abundância das espécies, evidenciando maior recrutamento no período chuvoso e limitações ecológicas durante a estiagem. **Conclusão:** A regeneração natural mostrou-se promissora, embora condicionada às limitações ambientais. O controle de espécies invasoras e o entendimento das variáveis locais são essenciais para orientar estratégias eficientes de restauração em restingas maranhenses.

Palavras-chave: Restauração ecológica, Sucessão ecológica, Fitossociologia, Espécies Invasoras.

1 INTRODUÇÃO

As restingas são ecossistemas costeiros caracterizados por comunidades vegetais de elevada riqueza biótica, ainda que estabelecidas sob condições ambientais severas. A biota dessas áreas enfrenta restrições impostas por solos arenosos bastante lixiviados, alta salinidade, ventos constantes e elevadas temperaturas. No Estado do Maranhão, essa fragilidade ambiental é acentuada por um regime climático com estiagem severa entre os meses de agosto e dezembro, o que impõe uma restrição hídrica que dificulta a sobrevivência de diversas espécies e a recomposição da cobertura vegetal após distúrbios.

A resiliência desses ambientes tem sido posta à prova por perturbações como incêndios e, notadamente, pela introdução de espécies vegetais exóticas invasoras. Tais

ameaças comprometem a estabilidade ecológica, tornando os estudos sobre os mecanismos de manutenção da diversidade e regeneração fundamentais, embora ainda escassos para a região. Nesse contexto, a análise da regeneração natural destaca-se como uma ferramenta indispensável para compreender a dinâmica florestal e a capacidade de autorrecuperação do ecossistema.

O monitoramento de indivíduos jovens, especialmente após intervenções de manejo como a retirada de espécies exóticas, permite avaliar o potencial de reocupação pelas plantas nativas. Vale destacar que a distribuição das espécies em classes de altura e diâmetro, associada à cobertura de copa, funciona como um indicador do sucesso dos processos ecológicos. Uma distribuição contínua entre as classes iniciais e superiores sinaliza uma comunidade em estruturação, enquanto descontinuidades podem revelar limitações ao restabelecimento da estabilidade ambiental.

Ademais, o entendimento da regeneração natural possui relevância prática na silvicultura e na restauração ecológica. Estudos indicam que o manejo dos processos regenerativos naturais é uma estratégia fundamental para a recuperação de grandes áreas, apresentando-se como uma alternativa economicamente viável ao plantio direto, dado o menor custo de implantação e manutenção. Assim, investigar a relação entre o componente arbóreo adulto e os indivíduos em estágios iniciais é o passo crucial para garantir a conservação e o manejo sustentável das restingas maranhenses.

Diante da complexidade biótica e das restrições abióticas das restingas maranhenses, este estudo fundamenta-se na análise da regeneração natural como indicador da resiliência ecossistêmica após a retirada de espécies invasoras. Para tanto, o objetivo geral é caracterizar fisionômica e floristicamente duas áreas de restinga em processo de regeneração natural e inferir sobre seu papel na conservação da biodiversidade. Como objetivos específicos, pretende-se fazer a caracterização florística e estrutural da comunidade arbórea das áreas em processo de restauração, verificar como a regeneração está distribuída em grupos funcionais nas duas áreas de estudo e fazer a comparação da composição de espécies entre as referidas áreas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A vegetação presente nas restingas geralmente possui uma riqueza muito grande de espécies, apesar do fato de as plantas estarem sujeitas a diversas restrições impostas pelo substrato arenoso pobre em nutrientes, vento, salinidade e altas temperaturas do solo

e do ar (Reinert *et al.*, 1997). Além disso, as restingas do estado do Maranhão apresentam mais dificuldade para restabelecer a vegetação quando há perturbações, como incêndios ou presença de espécies vegetais exóticas invasoras, devido ao fato de haver estiagem entre os meses de agosto e dezembro, que faz com que muitas espécies não sobrevivam à seca presente nesse período. Nesses ambientes, as comunidades vegetais enfrentam marcadas variações de temperatura, inundações, ventos constantes, alta salinidade e solos pobres em nutrientes, condições adversas que se refletem em menor diversidade e complexidade estrutural (Pereira, 1990; Scarano, 2002; Pimentel *et al.* 2007).

Nesse contexto, compreender a regeneração natural é crucial para entender a dinâmica das florestas, o que permite prever o comportamento e desenvolvimento futuro da vegetação, auxiliando silvicultores a otimizar o crescimento e o volume de espécies desejáveis (Gama *et al.*, 2002). A compreensão da regeneração natural é fundamental para a ecologia florestal, sendo descrita por Gama *et al.* (2002) como o processo basilar de renovação dos ecossistemas. Esse fenômeno, que compreende as fases iniciais de estabelecimento e desenvolvimento vegetal, é o resultado de uma intrincada interação de mecanismos bióticos e abióticos que buscam restaurar o ciclo de crescimento original da floresta. Todavia, a aplicação desse conceito em áreas de restinga revela limitações específicas; a baixa efetividade da chuva de sementes nesses ambientes pode restringir a recuperação autônoma, demandando, frequentemente, estratégias de restauração ativa (Carvalho *et al.*, 2020).

Apesar dessas limitações, há perspectivas otimistas na literatura. Rodrigues *et al.* (2010) argumentam que, mesmo com densidades reduzidas, a chuva de sementes possui um papel vital na manutenção da diversidade genética e na resiliência frente a condições adversas, tanto em dossel fechado quanto em clareiras. Essa capacidade de autorrecuperação é corroborada por Albuquerque (2010), que, ao estudar as restingas de Grumari (RJ), identificou uma dinâmica sucessional vigorosa, apontando um elevado potencial para a recuperação natural de áreas degradadas nesse ecossistema.

A eficácia desse processo está intrinsecamente ligada à composição do estoque de propágulos. Pesquisas realizadas na APA de Ilha Comprida (Oliveira, 2014) demonstram que áreas de floresta baixa de restinga degradada apresentam uma dicotomia interessante: enquanto a chuva de sementes é dominada por espécies pioneiras arbustivas zoocóricas, o banco de sementes concentra espécies herbáceas anemocóricas. Desse modo, a conectividade com fragmentos adjacentes atua como um facilitador determinante para o sucesso dessas trajetórias regenerativas.

O ecossistema de restinga vem enfrentando considerável degradação ambiental, sobretudo por sua localização na costa brasileira, onde se concentram os maiores centros urbanos, onde sofrem uma degradação contínua (Zamith; Scarano, 2006). Frequentemente negligenciadas em políticas de conservação devido a índices de endemismo considerados baixos (Barbosa *et al.*, 2004), as restingas sofrem com a fragmentação de habitats, o que, segundo Harper *et al.* (2005), desencadeia alterações biofísicas profundas. Tais mudanças afetam desde variáveis abióticas, como umidade e temperatura, até a complexa rede de interações biológicas e abundância de espécies (Murcia, 1995). Soma-se a isso o perigo das espécies exóticas invasoras, que promovem uma contaminação biológica capaz de alterar a fisionomia local e levar as populações nativas ao declínio genético (Ziller, 2006).

No âmbito normativo, a Portaria SEMA Nº 27/2021 do Estado do Maranhão surge como um instrumento balizador para mitigar esses impactos. Ao estabelecer critérios para os Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), a legislação abrange desde a condução da regeneração natural até o plantio consorciado de espécies nativas e exóticas, este último limitado a 50% da área e condicionado à não invasividade, em conformidade com a Lei Federal nº 12.651/2012 (Maranhão, 2021). A normativa ainda incentiva a inovação técnica, permitindo métodos como a nucleação, transposição de serrapilheira e o transplante de espécies nativas para ganhar escala na restauração.

Nesse sentido, a vegetação de restinga deve ser compreendida como um mosaico vegetacional complexo (Lacerda; Araújo; Maciel, 1993). O sucesso de sua recuperação depende de diversos fatores como a presença de plantas pioneiras facilitadoras (Scarano, 2002), o tamanho da área perturbada, a proximidade das fontes de sementes e seus mecanismos de dispersão, as características de latência, longevidade e germinação das sementes, as condições nutricionais e de umidade do solo, além da predação de sementes e plântulas (Rodrigues *et al.*, 2009). Dado o cenário de fragmentação crescente (Rocha *et al.*, 2007), o aprofundamento de estudos sobre a sucessão ecológica e a dinâmica de regeneração torna-se importante para a definição de estratégias de manejo que garantam a sobrevivência desse ecossistema vital (Rodrigues *et al.*, 2010; Uhl; Buschbacher; Serrão, 1988).

3. METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

A pesquisa foi realizada na restinga da Praia de Panaquatira, São José de Ribamar, em área previamente submetida a processo de degradação ambiental principalmente pela presença de espécies vegetais exóticas invasoras. Antes do início das avaliações, foi realizada a remoção dessas espécies, etapa considerada fundamental para a retomada dos processos ecológicos naturais.

Figura 1. Mapa de localização e delimitação da área de restinga em processo de regeneração natural, Panaquatira, São José de Ribamar, MA.



Fonte: Luís Davi Santos Fernandes

3.2 Coleta dos Dados

Em uma etapa inicial, foram definidas as unidades amostrais a partir de critérios fisionômico-estruturais da vegetação, seguida pela delimitação dos blocos amostrais e da remoção das espécies invasoras, visando padronizar as condições iniciais e o controle de fatores que poderiam interferir na regeneração natural. Foram selecionadas duas áreas representativas, distintas quanto à estrutura da vegetação. A primeira área apresentou predomínio de vegetação arbustiva e arbórea, enquanto a segunda foi caracterizada pela presença de vegetação arbustiva associada ao estrato herbáceo. A coleta de dados foi realizada em cinco momentos distintos, distribuídos ao longo de diferentes estações do

ano, visando avaliar variações temporais da regeneração natural: T1 (11/04/2025), T2 (05/07/2025), T3 (03/09/2025), T4 (17/11/2025) e T5 (13/03/2026).

Em cada área foi estabelecido um ponto de referência a partir do qual foram demarcadas oito parcelas permanentes com dimensões de 4m x 4m, espaçadas entre si por 2m, totalizando 16 parcelas. Para caracterizar o estrato arbustivo-arbóreo, dentro de cada parcela, foram registrados e identificados todos os indivíduos com diâmetro a 10 cm do solo maior ou igual a 3 cm ($DAS \geq 3\text{cm}$). Indivíduos que apresentavam bifurcação abaixo dessa altura foram incluídos na amostragem quando a área basal combinada de seus caules correspondesse à de um caule com $DAS \geq 3\text{ cm}$ (Silva *et al.*, 2003). A adoção de DAS deve-se à predominância de indivíduos jovens e de pequeno porte, sendo mais adequado para descrever a estrutura da vegetação em estágios iniciais de regeneração (Gehring; Park; Denich; 2008). A medida do DAS foi feita com auxílio de fita métrica e a altura dos indivíduos foi medida com auxílio de uma fita métrica rígida graduada. Todos os indivíduos amostrados receberam uma placa numerada de identificação em campo. A identificação botânica foi realizada preferencialmente *in loco*, e quando isso não foi possível, foram coletadas amostras do material vegetal, as quais foram herborizadas para posterior identificação com base em literatura especializada e consulta a especialistas. Os dados de temperatura foram coletados com termômetro digital e a intensidade luminosa foi medida com luxímetro digital Akrom.

3.3 Caracterização florística e estrutural da comunidade arbórea das áreas em processo de restauração

Foi elaborada uma listagem florística para cada área avaliada, contendo as espécies e sua respectiva família botânica. As espécies coletadas foram distribuídas em táxons de acordo com o sistema APG IV e a nomenclatura foi conferida com base na Lista de Espécies da Flora do Brasil (Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2026).

As espécies foram classificadas quanto a sua origem em nativa e exótica, sendo consideradas nativas aquelas de origem nas restingas do Estado do Maranhão, incluindo espécies com distribuição em áreas de cerrado e Floresta Amazônica. As espécies exóticas corresponderam àquelas oriundas de outras fitofisionomias brasileiras ou não registradas como nativas no território nacional.

Para caracterizar a sucessão ecológica, os indivíduos identificados até o nível taxonômico de espécie foram divididos em três categorias, definidas abaixo:

- Plantas Pioneiras: indivíduos mais dependentes de luz em processos como germinação, crescimento, desenvolvimento e sobrevivência do que os indivíduos das demais categorias. Tendem a ocorrer preferencialmente em clareiras, nas bordas ou em lugares abertos fora da floresta, com baixa frequência no sub-bosque.
- Plantas Secundárias iniciais: apresentam uma dependência intermediária da luz em processos como, germinação, crescimento, desenvolvimento e sobrevivência. Essas espécies podem se desenvolver nas bordas, no interior das clareiras e no sub-bosque. No sub-bosque, elas tendem a ocorrer mais frequentemente em áreas menos sombreadas, e são ausentes nas áreas de sombra muito densa.
- Espécies Clímax: são aquelas menos dependentes de luz quando comparadas aos indivíduos das demais categorias. Essas espécies tendem a apresentar uma maior ocorrência, abundância e permanência no sub-bosque, inclusive em locais de sombra densa. Dentro deste grupo podem se encontrar dois grupos distintos: espécies que podem permanecer sempre no sub-bosque (espécies típicas de sub-bosque) e espécies que podem crescer e se desenvolver inicialmente no sub-bosque, mas podem alcançar e compor o dossel da floresta (espécies típicas de dossel).

Para comparar a similaridade florística entre as duas áreas de estudo, foi utilizado o índice de Jaccard (Ellenberg; Mueller-Dombois, 1974), que se baseia no número de espécies em comum que os locais apresentam e varia de zero a um, onde zero indica comunidades totalmente dissimilares e um indica comunidades completamente similares. A caracterização da vegetação das áreas foi feita com base nos parâmetros fitossociológicos de densidade, dominância e frequência absoluta, e, a partir destes foram obtidos os valores de cobertura para cada espécie (Ellenberg; Mueller-Dombois, 1974).

Foram avaliados: a) dominância absoluta: representa a quantidade de espaço ocupado por uma espécie em uma área específica, e indica a importância de cada espécie na ocupação do espaço dentro da comunidade restaurada; b) dominância relativa: calculada dividindo a dominância absoluta de uma espécie pela dominância absoluta total e multiplicando por 100 para expressar em porcentagem. c) índices de diversidade de Shannon-Wiener e Equabilidade de Pielou (Brower *et al.*, 1998), que indicam a complexidade das comunidades, sendo que quanto maior o número de espécies e melhor distribuídos os indivíduos entre elas, maior a diversidade alfa dessas áreas (Durigan, 2003); d) frequência absoluta: calculada multiplicando o número de parcelas em que a espécie está presente por 100 e dividindo esse resultado pelo número total de parcelas; e) frequência relativa: calculada multiplicando a frequência da espécie por 100 e dividindo

o resultado pela frequência total de todas as espécies; f) densidade absoluta: calculada dividindo o número total de indivíduos da espécie pela área total amostrada; g) densidade relativa: multiplica-se a densidade da espécie por 100 e divide-se pelo valor da densidade total das espécies; h) abundância absoluta: calculada dividindo o número total de indivíduos da espécie pelo número total de parcelas em que a espécie está presente; i) abundância relativa: multiplica-se a abundância da espécie por 100 e divide-se pelo total de abundância de todas as espécies. Para a comparação de espécies em áreas de pastagem, foi empregado o índice de similaridade (IS), conforme Sorensen (1972), citado por Ferreira *et al.* (2019).

Os parâmetros fitossociológicos e os índices de diversidade foram calculados por meio do software estatístico R (R CORE TEAM, 2023). A utilização desta plataforma permitiu a manipulação rigorosa dos dados e a aplicação de testes de similaridade com maior precisão analítica.

Para a elaboração do infográfico apresentado neste trabalho, foi utilizada a ferramenta de Inteligência Artificial Generativa ChatGPT (OpenAI), com a finalidade de criação de representação visual sintética dos resultados. Os autores são integralmente responsáveis pelo conteúdo final produzido, conforme Art. 9º, inciso I, alínea 'c' da Portaria CNPq nº 2.664/2026.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise visual das condições ambientais nas áreas de estudo revela que diferenças nas variáveis abióticas influenciaram de forma distinta o crescimento e a sobrevivência das espécies. A primeira área (blocos de 1 a 8) apresenta maior altitude, maior proximidade com a praia, há incidência de ventos mais intensos, a temperatura média foi de 40°C, e a média da radiação solar incidente foi de 960 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, o que pode ter contribuído para um aumento na evaporação da água do solo e gerado estresse mecânico nas plantas, exigindo maior resistência e adaptação das espécies.

Em contrapartida, a segunda área (blocos de 9 a 16) é caracterizada por uma área mais fechada, maior distância da praia, menor altitude, com vegetação arbórea em volta, ventos mais fracos ou ausentes, a temperatura média foi de 39°C, e a média da radiação solar incidente foi de 1326 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Isso pode ter intensificado a perda de água e o estresse térmico, especialmente durante os períodos de maior incidência de radiação solar e maior seca (novembro a fevereiro). As condições observadas na segunda área podem ter sido responsáveis pela maior mortalidade de plantas arbustivas. Embora alguns desses

fatores ambientais tenham sido observados apenas visualmente, permitiram compreender como essas variações podem afetar de maneira diferenciada as áreas examinadas. As diferenças observadas sugerem que a intensidade do vento e a temperatura são fatores consideráveis na estruturação do ambiente e na resposta das espécies às condições adversas.

Convém mencionar que o litoral maranhense apresenta um regime climático caracterizado pela transição entre o clima equatorial da Amazônia e o semiárido do Nordeste, apresentando uma sazonalidade pluviométrica marcadamente dividida em dois semestres (IMESC, 2020). Segundo as Normais Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia, o período chuvoso estende-se de janeiro a junho, enquanto o período de estiagem compreende os meses de julho a dezembro (INMET, 2021).

Os períodos de avaliação T1 (11/04/2025) se insere no ápice do regime hídrico regional. Segundo o monitoramento do IMESC (2020), os meses de março e abril apresentam a maior frequência de dias de chuva devido à atuação direta da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Dados históricos indicam que abril é o mês com o maior volume acumulado de precipitação, com médias que superam os 340 mm (Weather Spark, 2026; INMET, 2021).

Já durante o registro das aferições ocorridas em T2 (05/07/2025) marca o início do período de transição, onde ocorre uma redução gradativa da nebulosidade e o fortalecimento dos ventos alísios, resultando na diminuição das chuvas (IMESC, 2020). Por fim, os pontos T3 (03/09/2025) e T4 (17/11/2025) situam-se no período de estiagem severa. Novembro (T4) é estatisticamente o mês menos chuvoso do ano em São Luís, com médias de precipitação que podem ser inferiores a 10 mm, caracterizando um cenário de déficit hídrico e baixa umidade relativa do ar (INMET, 2021; Weather Spark, 2026).

O levantamento registrou um total de 808 indivíduos, pertencentes a 29 espécies distribuídas em 13 famílias botânicas, com destaque para Fabaceae, Arecaceae, Sapindaceae, Myrtaceae e Cyperaceae (Tabela 1). Das espécies listadas, 13 (86,6%) são classificadas como nativas, enquanto apenas duas (*Cyperus sp.* e *Coccoloba P. Browne*) foram registradas como exóticas no contexto da área. A família Fabaceae apresentou a maior riqueza (9 espécies), seguida por Myrtaceae (3 espécies) e Polygalaceae e Arecaceae (2 espécies), corroborando com dados trazidos por Lima *et al.* (2017) em estudo também realizado na Restinga da Praia de Panaquatira, São José de Ribamar. Das famílias Asteraceae, Burseraceae, Cyperaceae, Eupobiaceae, Ochnaceae, Poaceae, Postulaceae, Sapindaceae e Turneraceae, com apenas uma espécie de cada família.

Tabela 1: Composição florística e características ecológicas do estrato de regeneração ecológica em Panaquatira, São José de Ribamar. ARB: arbustivo (lenhoso); HER: herbáceo; PALM: palmeira.

Família	Espécie	Nativa/ Exótica	Sucessão Ecológica	Hábito
Arecaceae	<i>Attalea speciosa</i> Mart. ex Spreng.	Nativa	Pioneira	PALM
	<i>Bactris setosa</i> Mart.	Nativa	Secundária inicial	PALM
Asteraceae	<i>Wedelia villosa</i> Gardner	Nativa	Pioneira	ARB
Burseraceae	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Nativa	Secundária inicial	ARB
Cyperaceae	<i>Cyperus</i> sp.	Exótica	Pioneira	HER
Euphorbiaceae	<i>Microstachys corniculata</i> (Vahl) Griseb.	Nativa	Pioneira	HER
	<i>Dalechampia pernambucensis</i> Baill	Nativa	Pioneira	HER
Fabaceae	<i>Aeschynomene</i> sp.	Nativa	Pioneira	HER
	<i>Centrosema brasilianum</i> (L.) Benth.v	Nativa	Secundária inicial	HER
	<i>Chamaecrista flexuosa</i> (L.) Greene	Nativa	Pioneira	HER
	<i>Chamaecrista hispidula</i> (Vahl) H.S.Irwin & Barneby	Nativa	Pioneira	HER
	<i>Chamaecrista ramosa</i> (Vogel) H.S.Irwin & Barneby	Nativa	Pioneira	ARB
	<i>Chloroleucon acacioides</i> (Ducke) Barneby & J.W.Grimes	Nativa	Secundária inicial	ARB
	<i>Desmodium barbatum</i> (L.) Benth.	Nativa	Pioneira	HER
	<i>Galactia</i> sp	Nativa	Pioneira	HER
	<i>Galactia striata</i> (Jacq.) Urb.	Nativa	Pioneira	HER
	<i>Zornia guanipensis</i> Pittier	Nativa	Pioneira	HER
Myrtaceae	<i>Eugenia biflora</i> (L.) DC.	Nativa	Secundária inicial	ARB
	<i>Eugenia punicifolia</i> (Kunth) DC.	Nativa	Pioneira/ Secundária inicial	ARB
	<i>Eugenia stictopetala</i> Mart. ex DC.	Nativa	Secundária inicial	ARB

Ochnaceae	<i>Ouratea fieldingiana</i> Engl.	Nativa	Secundária inicial	ARB
Poaceae	<i>Paspalum ligulare</i> Nees	Nativa	Pioneira	HER
	<i>Paspalum sp.</i>	Nativa	Pioneira	HER
Polygalaceae	<i>Asemeia martiana</i> (A.W.Benn.) J.F.B.Pastore & J.R.Abbott	Nativa	Pioneira/ Secundária inicial	HER
	<i>Coccoloba P.Browne</i>	Exótica	Secundária inicial	ARB
	<i>Polygala sp.</i>	Nativa	Secundária inicial	ARB
Portulacaceae	<i>Portulaca sp.</i>	Nativa	Pioneira	HER
Sapindaceae	<i>Matayba discolor</i> (Spreng.) Radlk.	Nativa	Secundária inicial	ARB
Turneraceae	<i>Turnera difusa</i> Willd. ex Schult.	Nativa	Pioneira	ARB

Fonte: Elaborada pela autora

Confirmando a tendência encontrada nos trabalhos de Almeida Jr. e Zickel (2009) e Albuquerque (2010), a família Fabaceae apresentou a maior riqueza de espécies (220 indivíduos). As espécies pertencentes a esta família, encontradas no estrato analisado em Panaquatira, incluem *Chamaecrista ramosa*, *Chamaecrista flexuosa* e *Chamaecrista hispidula*, *Galactia striata*, *Galactia sp.* e *Chloroleucon acacioides*, além das espécies *Zornia guanipensis* e *Desmodium barbatum*, encontrados apenas durante a última avaliação. Quanto à origem, houve predominância de espécies nativas na área, embora tenham sido registradas espécies exóticas, como *Cyperus sp.* e *Coccoloba sp.*

A segunda família mais representativa nesta pesquisa foi a Myrtaceae, com as espécies *Eugenia biflora*, *E. stictopetala* e *E. puniceifolia*, com predomínio de *E. biflora*. Scherer *et al.* (2007), ao analisarem estrato de regeneração em uma área de restinga do Rio Grande do Sul, encontraram predominância de espécies da família Myrtaceae, com a maior riqueza do gênero *Eugenia*. A família Myrtaceae é muito bem representada no Brasil, em diversos tipos vegetacionais, sendo uma das mais citadas em estudos florísticos e fitossociológicos, realizados nas diferentes formações vegetacionais do Brasil (Soares-Silva, 1998). Além disso, de acordo com Amorim e Almeida Jr (2021), as mirtáceas destacam-se como as mais representativas em levantamentos florísticos e fitossociológicos realizados na vegetação arbórea litorânea brasileira.

Em estudo realizado por Oliveira e colaboradores (2015) em uma área de preservação ambiental localizada no litoral de São Paulo, observou-se uma incidência

maior de indivíduos das famílias Fabaceae e Myrtaceae, corroborando com os achados na área avaliada no presente estudo. Dados também confirmados pelos estudos de Agapito e colaboradores (2023), que encontrou a composição das famílias botânicas na área de estudo semelhante à encontrada na restinga de Panaquatira, com destaque para as famílias Fabaceae e Myrtaceae.

A espécie com maior abundância absoluta nesta pesquisa foi a *Chamaecrista ramosa*, com 104 indivíduos, seguida pelo gênero *Cyperus sp.*, ambos presentes em 62,5% das parcelas, com 46 indivíduos, mostrando representatividade numérica significativa. No entanto, observou-se mortalidade de 56,62% (62 indivíduos) de *C. ramosa*, sugerindo uma elevada sensibilidade desta espécie às variações sazonais e às condições edáficas restritivas típicas do ambiente de restinga.

Em relação à sucessão ecológica, houve equilíbrio entre as espécies pioneiras e secundárias iniciais. A comunidade é composta majoritariamente por espécies pioneiras (58,62%) e secundárias iniciais (34,48%), com uma pequena parcela (6,90%) apresentando comportamento intermediário (pioneira/secundária inicial). Observou-se predominância de espécies com hábito herbáceo (HER) com 15 (quinze) representantes, seguidas das espécies de hábitos arbustivos (ARB) com 12 (doze) e a presença de 02 (duas) palmeiras (PALM) da família Arecaceae.

A predominância de espécies pioneiras e secundárias iniciais indica que a área de estudo se encontra em um estágio de sucessão ecológica inicial a intermediário. O alto número de indivíduos de *Chamaecrista ramosa* corrobora essa análise, pois esta espécie é reconhecida por sua capacidade de colonizar solos arenosos e pobres, típicos de restinga, atuando na fixação de nitrogênio e estabilização do solo. De acordo com Da Costa (2017), devido às associações com bactérias fixadoras de nitrogênio, muitas espécies são caracterizadas pelo pioneirismo e capacidade de colonizar os mais variados ambientes, e esse processo favorece a melhoria do solo, sendo fundamental para a restauração de áreas degradadas e solos pobres em nitrogênio.

De acordo com Scarano (2002), a estrutura e o funcionamento das comunidades de restinga aberta dependem intrinsecamente de um pequeno grupo de plantas pioneiras. Desse modo, a maioria das espécies da restinga é incapaz de se estabelecer por sementes diretamente na areia nua. As pioneiras, portanto, atuam como "espécies facilitadoras", pois ao colonizarem o solo degradado, alteram o microclima local, promovem o acúmulo de matéria orgânica e reduzem a temperatura da superfície.

Segundo Villela *et al.* (2020), as plantas pioneiras desempenham um papel fundamental na colonização de áreas abertas e degradadas, sendo as primeiras a se estabelecer em condições onde a maioria das espécies não sobreviveria. Dessa forma, em virtude da sua resistência ao sol direto e à baixa exigência de nutrientes no solo, há uma modificação do ambiente ao seu redor, criando sombras e melhorando a qualidade da terra com a queda de suas folhas de maneira a transformar o microclima local, tornando-o mais ameno e úmido. Espécies pioneiras contribuem para o aumento da cobertura vegetal e o sombreamento do solo, permitindo que a regeneração natural aconteça através do estabelecimento de espécies secundárias e tardias (Guevara *et al.*, 2004).

Além da biologia generalista (Grombone-Guaratini *et al.*, 2004), as espécies da família Asteraceae estão entre as primeiras plantas que surgem em campo, o que confirma seu grande potencial de desenvolvimento (Lorenzi, 2000). De acordo com Heiden *et al.* (2007) e Beretta *et al.* (2008), em função da eficiência na dispersão, a família Asteraceae tem grande importância nos processos de restauração de áreas degradadas, pois contribuem para a reestabilização da flora do local, por meio da sucessão ecológica.

Durante o período experimental, a ocorrência de estruturas reprodutivas nos blocos amostrais foi reduzida, indicando baixa atividade fenológica reprodutiva na comunidade avaliada. Em *Matayba discolor*, apenas quatro dos 28 indivíduos apresentaram flores ou frutos (o que representa 14,29%), evidenciando que a maior parte da população se encontrava em estágios vegetativos ao longo do período de monitoramento. Ainda assim, o registro de indivíduos reprodutivos em espécies como *Attalea speciosa*, *Chamaecrista ramosa* e *M. discolor* confirma que, embora limitada, a atividade reprodutiva esteve presente na área.

A presença de fenofases reprodutivas, ainda que de forma pontual, tem um papel relevante na dinâmica dessas populações avaliadas, pois contribui para a oferta de recursos bióticos e para preservação de diversidade genética na área de estudo (Rodarte *et al.*, 2022). Em ambientes como a restinga, marcados por sazonalidade hídrica marcante, a fenologia tende a ser muito sensível às variações ambientais, o que pode resultar em eventos de baixa intensidade ou fora de sincronia. Assim, a baixa proporção de indivíduos férteis observada nesta pesquisa pode refletir tanto limitações fisiológicas impostas pelo estresse ambiental quanto uma estratégia de escolha de alocação de recursos, investindo em crescimento vegetativo em vez de reprodução.

Estudos recentes demonstram que em ecossistemas costeiros tropicais a fenologia reprodutiva é modulada pela disponibilidade hídrica e pela condição nutricional

do solo, influenciando diretamente o sucesso reprodutivo e a estrutura genética das populações (Malecore *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2023). A manutenção de indivíduos em fase reprodutiva, mesmo que em baixa frequência, pode ser determinante para a manutenção populacional em médio e longo prazo, principalmente em áreas em processo de regeneração, onde a reposição via sementes e a conectividade genética ainda não se encontram totalmente estabelecidas.

A detecção de polinizadores em diversos táxons, como em *Protium heptaphyllum* e nos gêneros *Chloroleucon* sp. e *Coccoloba* sp., sugere que o ambiente mantém serviços ecossistêmicos vitais, mesmo com a presença de espécies exóticas na comunidade. Além disso, a observação de herbivoria em quase todas as espécies avaliadas, com exceção de *Cyperus* sp., pode sinalizar a existência de uma cadeia trófica ativa, na qual a vegetação local desempenha o papel de base alimentar fundamental para a fauna residente, onde a energia está fluindo dos produtores primários para os consumidores, validando a funcionalidade do ecossistema mesmo em condições extremas (Silva *et. al.*, 2022).

Importante destacar que a presença de *Cyperus* sp. e *Coccoloba* sp. na área de estudos requer atenção. Embora o gênero *Coccoloba* possua muitas espécies nativas de restinga, sua classificação como exótica em Panaquatira pode indicar uma introdução antrópica. Já o *Cyperus* sp., com 46 indivíduos, pode atuar como competidor agressivo em áreas perturbadas, fato observado nesta pesquisa, podendo dificultar o estabelecimento de plântulas de espécies clímax no futuro.

Os resultados observados neste trabalho indicam que a *Matayba discolor* deixou de ser apenas uma integrante da regeneração para se tornar uma espécie facilitadora. Ao ocupar o estrato superior, ela passou a projetar cobertura sobre o solo, criando um microclima favorável para os demais indivíduos do estrato inferior. A presença de 36 indivíduos de *M. discolor* sombreadores garante que o processo sucessional avance, permitindo que espécies nativas mais sensíveis à dessecação e ao excesso de luz se estabeleçam sob a proteção de sua copa, cumprindo assim o papel de restabelecer a dinâmica natural do ecossistema. Além disso, a dominância de *M. discolor* no estrato superior (75%) indica que a sucessão está progredindo para uma estrutura mais complexa, onde espécies secundárias começam a se estabelecer sob a proteção das pioneiras.

A alta densidade de Fabaceae é comum em solos em processo de recuperação, devido à capacidade de fixação de nitrogênio. Franco e Campelo (2005), ao avaliarem a sucessão ecológica em uma área de reflorestamento de 12 anos em solo arenoso em Porto

Trombetas, PA, verificaram que o uso de leguminosas arbóreas proporcionou uma maior biomassa vegetal e uma riqueza superior de espécies nativas provenientes da regeneração natural. Os autores destacam que, embora as espécies introduzidas não tenham apresentado regeneração própria significativa e poucos indivíduos originais tenham persistido, elas foram fundamentais para restaurar a resiliência do ecossistema, viabilizando o avanço do processo sucessional.

Portanto, a elevada riqueza da família Fabaceae no litoral deve-se à sua diversidade de hábitos e à simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio (Cantarelli *et al.*, 2012). A capacidade de adaptação a substratos arenosos e com baixa disponibilidade de nutrientes conferem uma vantagem competitiva a essa família, permitindo que suas espécies se estabeleçam com sucesso em regiões costeiras (Lima; Almeida Jr, 2018).

Os dados de campo revelam informações cruciais sobre o estado dinâmico da regeneração como a herbivoria, presença de flores e frutos. Foi observado um alto índice de herbivoria em espécies-chave. Em *Matayba discolor*, todos os indivíduos observados apresentaram sinais de herbivoria. Isso sugere uma forte pressão biótica que pode influenciar o recrutamento futuro dessas plantas para o estágio arbóreo.

Espécies como *Paspalum sp.* e *Desmodium barbatum* observadas na área são consideradas espécies ruderais e ocorrem em ambientes alterados, resistindo aos impactos antrópicos. Essas espécies são resistentes às condições ambientais desfavoráveis como a ocorrência de fogo, temperaturas elevadas e escassez de água e minerais (Maciel, 2009; Moro *et al.*, 2012; Roppa *et al.*, 2012).

A presença de espécies espontâneas, incluindo diversas espécies nativas e algumas exóticas como *Cassytha filiformis*, *Cnidoscolus urens* e *Dalechampia pernambucensis* foram observadas nas áreas de estudo, retiradas no início da pesquisa e encontradas novamente na última avaliação realizada. As espécies exóticas apresentam maior resistência e grande capacidade de adaptação a condições adversas, como é o caso da restinga de Panaquatira na época seca. Além disso, produzem grandes quantidades de sementes, que formam o banco de sementes do local e germina com o retorno da chuva, a partir do mês de fevereiro.

A presença de *Cassytha filiformis* apresenta um sério desafio para a conservação da biodiversidade e o equilíbrio dos ecossistemas costeiros em virtude da sua alta capacidade de adaptação e crescimento. Araújo *et al.* (2016) em estudo realizado na Praia de São Marcos, constataram que *C. filiformis* foi a segunda espécie mais frequente no local, porém obteve o terceiro maior valor de cobertura e embora considerada invasora,

seu potencial estabilizador ganha destaque em virtude da sua apresentação formando extensos tapetes, mesma característica encontrada por Gomes e Guedes (2014).

4.1 Crescimento estrutural da comunidade arbórea

Com o objetivo de compreender a dinâmica estrutural da vegetação ao longo da regeneração, foram ajustados modelos que indicaram efeitos temporais consistentes entre T1 e T4, mostrando o aumento progressivo da complexidade estrutural da comunidade (Tabela 2).

Tabela 2. Efeito do tempo de monitoramento (T1–T4) sobre atributos estruturais da vegetação em parcelas de Regeneração Natural Assistida. Valores de χ^2 e p se referem à comparação entre modelos com e sem o efeito do tempo. As setas indicam a tendência temporal.

Variável resposta	Tipo de modelo	Estatística do teste	gl	p-valor	Tendência temporal	Interpretação ecológica
Altura (cm)	LMM (Gaussian)	$\chi^2 = 248,08$	3	< 0,001	↑ contínua (T1 < T2 < T3 < T4)	Crescimento vertical acentuado
Diâmetro (cm)	LMM (Gaussian)	$\chi^2 = 270,21$	3	< 0,001	↑ contínua (todos os tempos diferem)	Consolidação estrutural
Cobertura de copa (m²)	LMM (log-transformado)	$\chi^2 = 15,56$	3	0,001	↑ até T3, estabiliza em T4	Ocupação espacial / fechamento do dossel
Nº de bifurcações	GLMM (binomial negativa)	$\chi^2 = 92,07$	3	< 0,001	↑ até T3, estabiliza em T4	Aumento da complexidade arquitetural

Fonte: Elaborado pela autora

4.2 Altura das plantas

A altura das plantas aumentou progressivamente ao longo do período de monitoramento, indicando crescimento vertical contínuo da vegetação durante o processo de regeneração ($\chi^2 = 248,08$; gl = 3; p < 0,001). Em relação ao tempo inicial (T1), os

incrementos médios foram de 13,31 cm em T2, 23,68 cm em T3 e 28,21 cm em T4, destacando o aumento consistente ao longo do tempo (Tabela 2).

As espécies lenhosas apresentaram alturas significativamente maiores em comparação ao grupo herbáceo ($\beta = 78,49 \pm 21,93$ cm; $t = 3,58$), utilizado como referência no modelo. Por outro lado, as palmeiras não diferiram significativamente desse grupo ($\beta = 32,89 \pm 44,22$ cm; $t = 0,74$). Parte substancial da variação observada foi atribuída a diferenças entre espécies, indivíduos e blocos, refletindo a heterogeneidade estrutural típica de áreas em processo de restauração.

Esse aumento foi acompanhado por mudanças na distribuição dos valores ao longo do tempo, com elevação progressiva das medianas de T1 a T4. No entanto, os padrões de variação diferiram entre os grupos funcionais, sendo mais heterogêneos nas espécies lenhosas e mais consistentes em herbáceas e palmeiras.

Os resultados demonstram a eficácia da Regeneração Natural Assistida no incremento estrutural da vegetação, com um ganho acumulado de altura que reflete o estabelecimento bem-sucedido das plantas no campo. O fato de o fator "Espécie" explicar a maior parte da variância aleatória é um indicador ecológico positivo, pois sugere que o crescimento não é uniforme, mas sim ditado pelas estratégias biológicas distintas de cada táxon. Essa diversidade de respostas é fundamental para a resiliência de ecossistemas em restauração, como a restinga, onde diferentes nichos são ocupados progressivamente.

Convém destacar que a superioridade do grupo das lenhosas em relação às palmeiras e herbáceas corrobora o papel das espécies arbustivo-arbóreas na rápida ocupação vertical e sombreamento da área, fatores cruciais para inibir gramíneas invasoras. O crescimento não significativo das palmeiras, por sua vez, é um fenômeno esperado em fases iniciais, visto que muitas espécies deste grupo priorizam o investimento no sistema radicular e diâmetro do estipe antes do crescimento vertical vigoroso.

Por fim, a forte heterogeneidade individual observada (indivíduos variando dentro do mesmo bloco) e a relevância estatística dos blocos indicam que fatores microambientais e a variabilidade genética individual exercem influência direta no desenvolvimento das plantas. A ausência de ruído excessivo no modelo permite concluir que o crescimento observado é uma resposta biológica real ao manejo de restauração adotado, validando o modelo para a defesa e interpretação ecológica do projeto.

4.3 Diâmetro do caule

O diâmetro do caule das plantas também apresentou efeito significativo do tempo de monitoramento ($\chi^2 = 270,21$; $gl = 3$; $p < 0,001$), indicando aumento progressivo do espessamento do caule ao longo do período avaliado. Em comparação ao tempo inicial (T1), o diâmetro médio aumentou $0,63 \pm 0,07$ cm em T2, $0,95 \pm 0,07$ cm em T3 e $1,33 \pm 0,08$ cm em T4.

O grupo funcional das palmeiras apresentou diâmetros significativamente maiores em relação ao grupo de referência do modelo ($\beta = 12,81 \pm 4,04$ cm; $t = 3,17$), enquanto o grupo lenhoso não diferiu significativamente ($\beta = 1,13 \pm 1,01$ cm; $t = 1,12$). A variância associada ao efeito aleatório de bloco foi nula, indicando que a variação espacial entre blocos foi pequena para esse atributo, enquanto diferenças entre espécies e indivíduos explicaram parcela relevante da variação observada.

4.4 Cobertura de copa

A cobertura de copa apresentou efeito significativo do tempo de monitoramento ($\chi^2 = 15,56$; $gl = 3$; $p = 0,001$), indicando aumento da ocupação espacial ao longo do período avaliado. O crescimento da área de copa foi mais evidente em T3 ($\beta = 0,32 \pm 0,09$; $t = 3,74$), enquanto T4 apresentou incremento mais discreto em relação ao tempo inicial ($\beta = 0,18 \pm 0,09$; $t = 1,98$), sugerindo tendência de estabilização após o pico de expansão horizontal.

O grupo funcional lenhoso apresentou maior cobertura de copa em comparação ao grupo de referência ($\beta = 2,33 \pm 0,48$; $t = 4,82$), assim como o grupo das palmeiras ($\beta = 2,30 \pm 0,95$; $t = 2,41$) (Tabela 2). A variação observada foi explicada por diferenças entre espécies, indivíduos e blocos, indicando heterogeneidade estrutural e funcional característica de áreas em restauração. Em conjunto, esses resultados indicam avanço no fechamento do dossel ao longo do tempo.

Esse resultado provavelmente está ligado ao fato de que na quarta avaliação o solo estava extremamente seco por estar no final do período de estiagem de seis meses, e sabe-se que os fatores ambientais influenciam drasticamente na cobertura de copa das espécies, principalmente pela senescência e queda de folhas.

A figura 2 mostra o aspecto de indivíduos de *C. ramosa* em diferentes épocas do ano, evidenciando alterações marcantes associadas à dinâmica ecofisiológica da espécie. Ao final do período chuvoso (julho), as plantas apresentaram grande quantidade de brotações, expansão foliar e presença de estruturas reprodutivas (flores e frutos), refletindo as condições favoráveis de disponibilidade hídrica (Figura 2A). Por outro lado,

no início do período chuvoso, foi observada acentuada senescência da parte aérea, com predominância de ramos basais secos e redução significativa da biomassa fotossinteticamente ativa, apresentando rebrota inicialmente restrita à porção apical da planta que apresenta gemas de regeneração e meristemas protegidos (Figura 2B). Este padrão de rebrota sugere a ocorrência de estratégias adaptativas baseadas na tolerância ao estresse, como dormência parcial ou total durante os períodos de maior déficit hídrico e nutricional, seguida por uma reativação dos mecanismos de rebrota com o retorno das condições hídricas favoráveis (Rowland et al, 2021, Jhaveri et al, 2024).

Figura 2: Planta de *Chamaecrista ramosa* no primeiro período de avaliação, em abril de 2025 (A) e no segundo período de avaliação, em julho de 2025 (B).



Fonte: Luís Davi Santos Fernandes

Essas estratégias são comuns em espécies de restinga, onde fatores como alta taxa de drenagem, baixa fertilidade do solo, alta salinidade e déficit hídrico intermitente selecionam espécies com maior plasticidade fenotípica e alta capacidade de regeneração vegetativa (Loureiro *et al.*, 2021; Pugnaire *et al.*, 2019). A maioria das plantas de *C. ramosa* que morreram durante o período avaliativo apresentavam menores diâmetros de caule e menores medidas de altura. Essa elevada taxa de mortalidade observada pode estar associada à combinação da intensidade dos estresses mencionados, principalmente em indivíduos mais jovens, com menor capacidade de armazenamento de recursos,

evidenciando limitações no estabelecimento e na persistência populacional ao longo do gradiente sazonal (Loureiro *et al.*, 2021; Poorter *et al.*, 2016).

4.5 Número de bifurcações

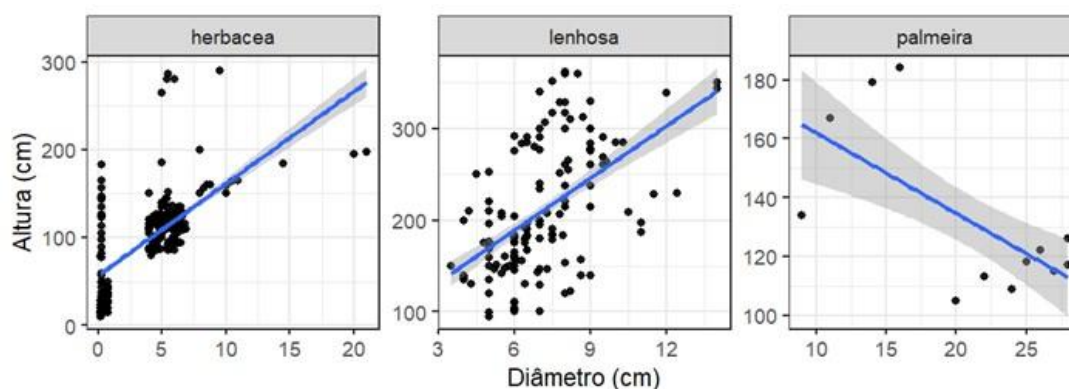
O número de bifurcações aumentou ao longo do período de monitoramento, indicando incremento progressivo da complexidade estrutural das plantas durante o processo de regeneração ($\chi^2 = 92,07$; $gl = 3$; $p < 0,001$).

O grupo funcional não apresentou efeito significativo sobre essa variável, indicando que o aumento da complexidade estrutural ocorreu de forma semelhante entre os grupos. Parte da variação observada foi explicada por diferenças entre espécies, indivíduos e blocos, refletindo a heterogeneidade estrutural característica de áreas em regeneração.

4.6 Estrutura alométrica e variação temporal

A relação entre altura e diâmetro do caule variou entre os grupos funcionais, exibindo padrões alométricos distintos na organização estrutural da vegetação (Figura 3). De modo geral, herbáceas e espécies lenhosas apresentaram relação positiva entre altura e diâmetro ($\beta = 10,48$ e $\beta = 18,93$, respectivamente; $p < 0,001$), indicando crescimento proporcional entre aumento vertical e espessamento do caule. Já as palmeiras apresentaram relação negativa ($\beta = -2,74$; $p < 0,001$), refletindo trajetória estrutural distinta em relação aos demais grupos.

Figura 3. Relação entre altura (cm) e diâmetro do caule (cm) em três grupos funcionais da vegetação em regeneração (herbáceas, lenhosas e palmeiras). As linhas representam os ajustes lineares e as áreas sombreadas indicam os intervalos de confiança de 95%. Há variação no padrão alométrico entre os grupos, com relações positivas para herbáceas e lenhosas e relação negativa para palmeiras.

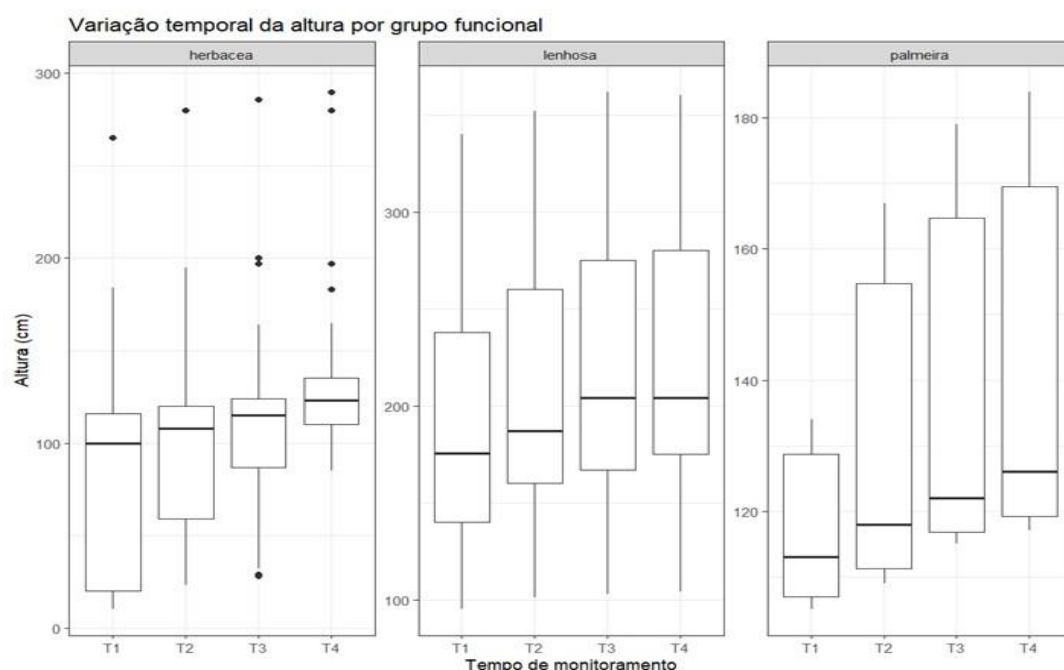


Fonte: Elaborado pela autora

A inclusão do tempo de monitoramento revelou diferenças na dinâmica dessa relação entre os grupos funcionais. Para herbáceas, foi observado aumento significativo da altura ao longo do tempo, mesmo após o controle do diâmetro ($F = 14,30$; $p < 0,001$), indicando intensificação do crescimento vertical ao longo do período. Para as espécies lenhosas, não foi detectado efeito significativo do tempo ($p = 0,70$), sugerindo estabilidade na relação entre altura e diâmetro ao longo do período avaliado. Já as palmeiras apresentaram forte efeito temporal ($F = 30,82$; $p < 0,001$), com aumento consistente da altura entre os períodos de monitoramento, independentemente do diâmetro.

Esses padrões são consistentes com a variação observada nas análises de crescimento estrutural, nas quais herbáceas e palmeiras apresentaram aumento contínuo da altura ao longo do tempo, enquanto as espécies lenhosas exibiram maior variabilidade na distribuição dos valores (Figura 4). Em conjunto, os resultados indicam diferenças nas trajetórias estruturais entre os grupos funcionais, refletidas na relação entre crescimento em altura e diâmetro do caule.

Figura 4: Variação temporal da altura (cm) em três grupos funcionais (herbáceas, lenhosas e palmeiras) ao longo dos períodos de monitoramento (T1–T4). As caixas representam Q1–Q3, as linhas representam as medianas e os pontos representam valores extremos. T1: 11/04/2025, T2: 05/07/2025, T3: 03/09/2025 e T4: 17/11/2025.



Fonte: Elaborado pela autora

4.7 Riqueza

A riqueza de espécies se manteve estável entre T1 e T4, sem evidência de variação temporal ao longo do período de monitoramento ($\chi^2 = 3,89$; gl = 3; $p = 0,27$). Em termos descritivos, T1, T2 e T3 apresentaram valores médios semelhantes, enquanto T4 indicou leve redução, com ampla sobreposição dos intervalos de confiança. No período subsequente (T5), correspondente ao início da estação chuvosa, foi registrada riqueza total de 23 espécies.

Esses resultados sugerem que a riqueza de espécies se manteve estável ao longo do período de monitoramento entre T1 e T4, sem perda expressiva de espécies em escala local.

4.8 Abundância

A abundância média de indivíduos por bloco, por sua vez, apresentou variação ao longo do período de monitoramento, com valores semelhantes entre T1, T2 e T3 e redução em T4. Esse padrão também sugere que a diminuição na abundância observada no período mais seco não foi acompanhada por perda significativa de espécies em escala local.

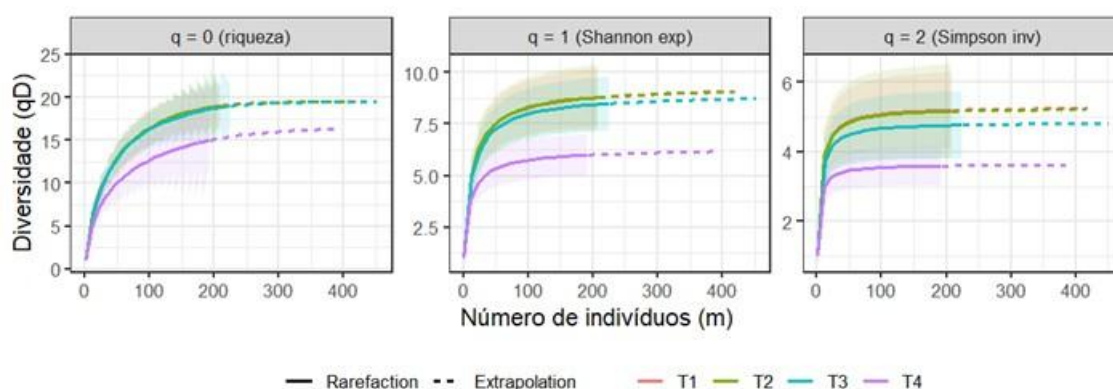
O número médio de indivíduos por bloco apresentou variação moderada ao longo do período de monitoramento, com valores semelhantes entre T1, T2 e T3, e redução em T4. Apesar dessa diminuição na abundância média no último tempo, a riqueza de espécies por bloco permaneceu relativamente estável ao longo do período avaliado. Os modelos estatísticos indicaram ausência de efeito significativo do tempo sobre a riqueza de espécies ($\chi^2 = 3,89$; gl = 3; $p = 0,27$), sugerindo que o número de espécies presentes em cada bloco não variou de forma consistente entre os tempos de monitoramento. Em termos descritivos, T1, T2 e T3 apresentaram valores médios semelhantes de riqueza, enquanto T4 apresentou tendência a valores ligeiramente menores, porém com ampla sobreposição dos intervalos de confiança.

Esses resultados mostram que, embora tenham ocorrido variações na abundância total de indivíduos ao longo do tempo, especialmente em T4, tais mudanças não se traduziram em perda expressiva de espécies em escala local, estabelecendo o pano de fundo para as análises subsequentes da diversidade efetiva e da estrutura das abundâncias relativas.

4.9 Diversidade efetiva da comunidade ($q = 0, 1, 2$)

A diversidade efetiva da comunidade arbórea foi avaliada por meio dos números de Hill, considerando a riqueza de espécies ($q = 0$), diversidade de Shannon exponenciada [$\exp(H')$, $q = 1$] e diversidade de Simpson inversa ($1/D$, $q = 2$), permitindo a comparação integrada entre tempos de monitoramento. As curvas de rarefação e extrapolação indicaram padrões consistentes de amostragem entre os tempos, com sobreposição dos intervalos de confiança em grande parte da extensão amostral (Figura 5).

Figura 5. Curvas de rarefação (linhas contínuas) e extrapolação (linhas tracejadas) baseadas no número de indivíduos para os tratamentos T1–T4, considerando números de Hill de ordem $q = 0$ (riqueza de espécies), $q = 1$ (diversidade de Shannon exponenciada) e $q = 2$ (diversidade de Simpson inversa). As áreas sombreadas representam os intervalos de confiança de 95%, apresentados apenas para o trecho de rarefação, onde as estimativas são suportadas por dados observados. As curvas indicam convergência assintótica em T1–T3, enquanto T4 apresenta consistentemente menor diversidade em todas as ordens de q , refletindo redução de riqueza, equabilidade e maior dominância.



Fonte: Elaborado pela autora

Diversidade de Shannon ($q = 1$): Em contraste com a riqueza, a diversidade efetiva baseada no índice de Shannon ($q = 1$) apresentou variação significativa entre os tempos de monitoramento. As curvas de rarefação indicaram valores semelhantes entre T1, T2 e T3, enquanto T4 apresentou valores consistentemente menores ao longo de toda a extensão amostral. Os modelos lineares mistos confirmaram efeito significativo do tempo sobre $\exp(H')$, com redução acentuada em T4 em comparação aos demais tempos, os quais não diferiram entre si. Essa redução em T4 provavelmente esteja diretamente ligado à estiagem extrema no período de avaliação.

Diversidade de Simpson ($q = 2$): Padrão semelhante foi observado para a diversidade de Simpson inversa ($q = 2$), que enfatiza a contribuição das espécies mais abundantes. As curvas de Hill indicaram redução consistente dos valores em T4, enquanto T1, T2 e T3

apresentaram curvas amplamente sobrepostas. Os resultados dos modelos estatísticos corroboraram esse padrão, evidenciando efeito significativo do tempo sobre o índice de Simpson inverso, com valores menores em T4 em relação aos demais tempos.

Em conjunto, os resultados para $q = 0$, $q = 1$ e $q = 2$ indicam que as mudanças temporais na diversidade da comunidade arbórea ocorreram principalmente por alterações na distribuição das abundâncias relativas das espécies, e não por variações expressivas na riqueza local.

Equabilidade da comunidade (índice de Pielou): A equabilidade apresentou variação limitada ao longo do período de monitoramento. Os valores médios foram semelhantes entre os tempos, com ampla sobreposição dos intervalos de confiança. Os modelos lineares mistos indicaram ausência de efeito significativo do tempo sobre a equabilidade ($\chi^2 = 6,61$; gl = 3; $p = 0,086$), embora tenha sido observada tendência a valores ligeiramente menores em T4. As comparações múltiplas não detectaram diferenças significativas entre os tempos após ajuste de Tukey, refletindo elevada variabilidade entre blocos. Esses resultados indicam que, apesar das alterações detectadas na diversidade efetiva e no grau de dominância ao longo do tempo, a equabilidade média da comunidade permaneceu relativamente estável, sugerindo que as mudanças estruturais observadas se manifestaram de forma heterogênea entre as unidades amostrais.

4.10 Síntese dos índices de diversidade

A análise integrada dos índices de diversidade evidencia que as mudanças temporais na comunidade arbórea ao longo do período de monitoramento ocorreram predominantemente na estrutura das abundâncias relativas, e não no número de espécies por unidade amostral. A riqueza de espécies por bloco manteve-se relativamente estável entre os tempos, apesar de uma tendência de redução em T4, enquanto a abundância total de indivíduos apresentou variação moderada ao longo do período.

Em contraste, os índices baseados em diversidade efetiva revelaram alterações estruturais consistentes no final do monitoramento. Tanto a diversidade de Shannon [$\exp(H')$] quanto o índice de Simpson inverso ($1/D$) apresentaram redução significativa em T4, indicando diminuição do número efetivo de espécies abundantes e aumento da dominância de poucas espécies. A equabilidade, expressa pelo índice de Pielou (J'), não variou significativamente entre os tempos, embora tenha apresentado tendência de valores ligeiramente menores em T4, refletindo elevada heterogeneidade espacial entre blocos.

Em conjunto, esses resultados indicam uma simplificação estrutural da comunidade no final do período avaliado, caracterizada por redistribuição desigual das abundâncias entre as espécies, mesmo na ausência de perda expressiva de riqueza local. Os valores médios dos principais índices de diversidade por tempo de monitoramento são apresentados no Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios ($\pm$ erro-padrão) dos índices de diversidade da comunidade arbórea por tempo de monitoramento (T1–T4), considerando os blocos como unidades amostrais independentes.

Tempo	n blocos	N (ind./bloco)	Riqueza (S)	Exp (H')	1/D	Pielou (J')
T1	15	14.0 $\pm$ 1.14	3.80 $\pm$ 0.36	2.93 $\pm$ 0.29	2.50 $\pm$ 0.27	0.79 $\pm$ 0.04
T2	15	13.9 $\pm$ 1.15	3.80 $\pm$ 0.36	2.96 $\pm$ 0.30	2.55 $\pm$ 0.28	0.79 $\pm$ 0.04
T3	16	14.1 $\pm$ 1.11	3.75 $\pm$ 0.35	2.91 $\pm$ 0.28	2.50 $\pm$ 0.26	0.79 $\pm$ 0.04
T4	16	12.1 $\pm$ 0.96	2.69 $\pm$ 0.31	2.24 $\pm$ 0.25	1.99 $\pm$ 0.23	0.78 $\pm$ 0.04

Fonte: Elaborado pela autora

A análise temporal dos indicadores de regeneração natural revela que a comunidade vegetal manteve um padrão de estabilidade estrutural e de diversidade entre os períodos T1 e T3. Durante esse intervalo, a riqueza de espécies (S) apresentou valores constantes em torno de 3,80, acompanhada por uma equabilidade de Pielou (J') de 0,79, o que indica uma distribuição uniforme dos indivíduos entre as espécies presentes. Essa consistência sugere que, nos estágios iniciais após a intervenção, os processos de recrutamento e estabelecimento das espécies pioneiras e secundárias ocorreram de forma equilibrada.

4.11 Continuidade do Monitoramento (T5)

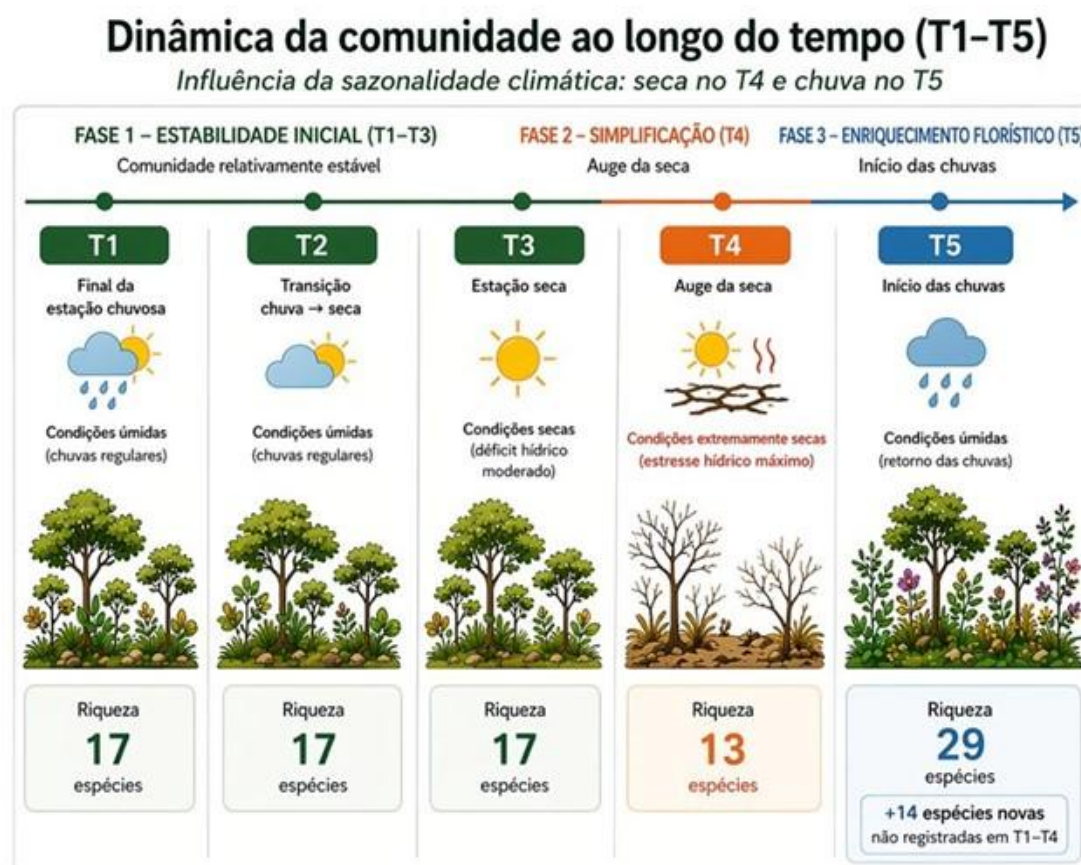
No período subsequente de monitoramento (T5), realizada no dia 13/03/2026, foi registrada riqueza total de 29 espécies, representando aumento expressivo em relação às campanhas anteriores (Figura 6). Destas, 14 espécies (48,27%) não haviam sido registradas nos períodos T1–T4, mostrando a alteração na composição da comunidade. Entre as espécies registradas exclusivamente em T5, destacam-se *Paspalum ligulare*, *Zornia guanipensis*, *Turnera diffusa*, *Portulaca* sp., *Microstachys corniculata* e

Aeschynomene sp., com predominância de espécies pertencentes às famílias Poaceae e Fabaceae.

Esse padrão é corroborado pela análise de similaridade, na qual a composição florística manteve-se constante entre T1 e T4 (índice de Jaccard = 0), enquanto T5 apresentou dissimilaridade de aproximadamente 0,45 em relação aos períodos anteriores, indicando substituição parcial na composição da comunidade.

Considerando que boa parte das espécies de hábito herbáceo foram encontradas apenas durante a avaliação T5, pode-se inferir que a sobrevivência das herbáceas costeiras é fortemente ligada à sazonalidade climática. No Maranhão, em especial no litoral, o déficit hídrico acentuado limita a permanência dessas plantas no campo, superando, muitas vezes, suas estratégias de escape e tornando a composição florística dessas áreas altamente dependente da sazonalidade (Lima; Almeida Jr, 2018).

Figura 6: Diagrama ilustrativo mostrando a dinâmica da comunidade durante o período de avaliação.



Fonte: Elaborado pela autora com auxílio de ChatGPT (OpenAI, 2026)

4.12 Índice de Jaccard

A composição florística permaneceu constante ao longo das quatro primeiras campanhas de monitoramento (T1–T4), conforme indicado pela ausência de dissimilaridade (índice de Jaccard = 0). A quinta campanha (T5) apresentou alteração na composição da comunidade, com valores de dissimilaridade de aproximadamente 0,45 em relação aos períodos anteriores. Esse padrão reflete o surgimento de novas espécies, correspondendo a 45,2% da riqueza registrada em T5, mostrando "forte" recrutamento após o período chuvoso.

A estabilidade florística observada entre T1 e T4 sugere que, nesse intervalo, a dinâmica da comunidade foi dominada pelo crescimento de indivíduos previamente estabelecidos, sem incorporação de novas espécies. Por outro lado, a mudança abrupta na composição em T5 indica um pulso de recrutamento, possivelmente associado a condições ambientais favoráveis, como o período chuvoso, promovendo a colonização por espécies pioneiras e herbáceas.

Entretanto, observa-se uma alteração significativa na dinâmica sucessional ao atingir o período T4. Houve uma redução na densidade média, que declinou para 12,1 indivíduos por bloco, refletindo diretamente na queda da riqueza para $2,69 \pm 0,31$. Esse decréscimo também foi acompanhado pela redução da diversidade alfa, conforme demonstrado pelo exponencial de Shannon ($\exp(H')$), que passou de 2,91 em T3 para 2,24 em T4, e pelo inverso de Simpson ($1/D$), que caiu de 2,50 para 1,99.

Apesar da redução no número de indivíduos e na riqueza, a equabilidade de Pielou permaneceu praticamente inalterada (0,78 em T4), evidenciando que a perda de espécies ocorreu de maneira proporcional, sem que houvesse a dominância abrupta de um único táxon. No contexto da restinga, esse comportamento no período T4 pode estar associado a pressões ambientais específicas ou à mortalidade natural decorrente da competição intraespecífica e interespecífica, fatores comuns em áreas que buscam o restabelecimento do equilíbrio ecológico após a remoção de espécies invasoras.

A estabilidade observada nos índices de diversidade entre T1 e T3, seguida por uma queda abrupta em T4, revela que a comunidade de restinga em regeneração atingiu um limiar de tolerância fisiológica imposto por fatores abióticos extremos. Nesse sentido, os baixos índices de diversidade (H') e equabilidade (J') observados na última avaliação corroboram a tese de que ecossistemas de restinga são regidos por severos filtros abióticos (Scarano, 2002).

Em ecossistemas de restinga, o solo arenoso possui baixíssima capacidade de retenção hídrica, tornando as plantas extremamente dependentes da regularidade das chuvas. Diante disso, o estresse hídrico e as altas temperaturas registradas no período atuaram como fatores limitantes, superando a capacidade de resiliência das plântulas em processo de regeneração. Conforme apontado por Zamith e Scarano (2006), o estresse hídrico em solos arenosos acelera a mortalidade de indivíduos jovens, o que poderia explicar a queda na riqueza de espécies (S) e a alteração na similaridade de Jaccard em relação às aferições anteriores.

A manutenção da riqueza estatística ($q=0$) frente à queda significativa em Shannon ($q=1$) e Simpson ($q=2$) em T4 indica que o evento de seca extrema não eliminou necessariamente as espécies da área, mas reduziu o número de indivíduos de diversas populações. De acordo com Chao *et al.* (2014), a diversidade efetiva é mais sensível às mudanças na equabilidade. Portanto, a redução em T4 reflete a perda de "indivíduos-chave" e a rarefação de espécies que antes contribuíam para a complexidade do sistema. Nesse sentido, a simplificação estrutural observada em T4 é uma resposta ecológica direta às anomalias climáticas. Trabalhos como o de Scherer *et al.* (2007) em restingas do sul do Brasil reforçam que oscilações temporais em índices de diversidade são frequentemente atreladas a variações na precipitação anual.

Outro ponto de destaque é a relativa estabilidade do índice de Pielou (J'), que se manteve em 0,78 mesmo em T4. Esse fenômeno sugere que a mortalidade causada pela seca foi generalizada ou proporcional entre as espécies. De acordo com Magurran (2004), quando a equabilidade permanece estável apesar da queda na diversidade, pode-se deduzir o estresse ambiental afetou a comunidade como um todo, não favorecendo a dominância de uma única espécie tolerante no curto prazo. No entanto, a tendência de queda em J' e o aumento da dominância refletido no Inverso de Simpson sinalizam um sinal de alerta para o início de um processo de degradação da qualidade da regeneração.

O sucesso do estabelecimento de espécies na regeneração natural é definido por filtros bióticos e abióticos, sendo um processo contínuo e dinâmico, o equilíbrio entre recrutamento e mortalidade é sensível a instabilidades climáticas, que alteram a estrutura florística ao longo do tempo (Scherer *et al.*, 2007; Scarano, 2002).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento da regeneração natural assistida na área de restinga revelou um ecossistema em franco processo de recuperação estrutural, embora ainda enfrente barreiras ecológicas típicas de estágios sucessionais iniciais. A análise temporal demonstrou que as intervenções de manejo foram eficazes em promover o crescimento em estatura e diâmetro das espécies nativas, com destaque para o grupo das lenhosas, que desempenha papel fundamental no sombreamento e na rápida ocupação do estrato superior. Os modelos estatísticos revelaram uma estabilidade na riqueza de espécies entre T1 e T3, seguida de uma simplificação estrutural em T4. Esta redução na diversidade efetiva (Shannon e Simpson) no último período não decorreu da perda de espécies, mas sim de uma redistribuição das abundâncias e do aumento da dominância de poucas espécies. Esse fenômeno é comum em processos de sucessão inicial, onde espécies mais competitivas começam a se sobressair, embora exija monitoramento contínuo para garantir que a equabilidade não seja comprometida a longo prazo.

Em suma, o uso de modelos lineares mistos validou a eficácia da Regeneração Natural Assistida como estratégia de baixo custo e alta resposta biológica para a restinga maranhense. A heterogeneidade observada entre as espécies e indivíduos reforça que o sucesso da restauração é ditado por estratégias biológicas distintas, garantindo a ocupação de diversos nichos ecológicos. Recomenda-se a continuidade do monitoramento para avaliar se a estabilização observada em alguns atributos, como cobertura de copa e bifurcações, resultará em uma transição efetiva para o estágio sucessional intermediário-avançado. Além disso, é importante destacar a necessidade de avaliar de forma mais aprofundada as condições ambientais, incluindo avaliações frequentes contínuas e de longo prazo, como direção e velocidade do vento e umidade relativa do ar.

A comunidade ecológica apresenta uma trajetória dinâmica fortemente modulada pela sazonalidade climática. Durante a seca (T4), houve filtragem ambiental e redução da riqueza. Com o retorno das chuvas (T5), ocorreu um pulso de recrutamento e enriquecimento florístico, com entrada de novas espécies, sinalizando regeneração ativa e expansão da comunidade.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, V. O. A. **Avaliação da restauração em restinga do Parque Natural Municipal de Grumari, RJ.** 50p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica-RJ 2010.
- ALMEIDA JR., E. B.; ZICKEL, C. S. Fisionomia psamófila-reptante: riqueza e composição de espécies na praia da pipa, rio Grande do Norte, Brasil. **Pesquisas Botânicas**, v.60, n.1, p. 289-299, 2009.
- BARBOSA, M. R de V. *et al.* Diversidade florística na Mata do Pau-Ferro, Areia, Paraíba. Em: **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 111-122, 2004.
- BERETTA, M. E. *et al.* A família Asteraceae no Parque Estadual de Itapuã, Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 6, n. 3, p. 186-216, 2008.
- BROWER, J. E. *et al.* **Field and laboratory methods for general ecology.** Boston: WCB McGraw-Hill, 1998, 273p.
- CARVALHO, A. S. D. R. *et al.* Aggregated seed dispersal in a Neotropical coastal thicket vegetation: The role of microhabitat, dispersal syndrome and growth form. **Acta Oecologica**, v. 108, 103618, 2020.
- DURIGAN, G. Métodos para análise de vegetação arbórea. **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre.** Curitiba: Editora da UFPR, p. 455-479, 2003.
- ELLENBERG, D.; MUELLER-DOMBOIS, D. **Aims and methods of vegetation ecology.** New York: Wiley, 1974, 584 p.
- FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. **Manejo nutricional integrado na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade dos sistemas produtivos utilizando a fixação biológica de nitrogênio como fonte de nitrogênio.** In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de (Ed.). *Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável.* Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, cap. 8. p. 201-220, 2005.
- GAMA, J. R. V.; BOTELHO, S. A.; BENTES-GAMA, M. de M. Composição florística e estrutura da regeneração natural de floresta secundária de várzea baixa no estuário amazônico. **Revista Árvore**, v. 26, p. 559-566, 2002.
- GROMBONE-GUARATINI, M. T.; SOLFERINI, V. N.; SEMIR, J. Reproductive biology in species of *Bidens* L. (Asteraceae). **Scientia Agricola**, v. 61, p. 185-189, 2004.
- HARPER, K. A. *et al.* Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 768-782, 2005.
- HEIDEN, G. *et al.* A família Asteraceae em São Mateus do Sul, Paraná. **Revista brasileira de Biociências**, v. 5, n. S2, p. 249-251, 2007.

LACERDA, L. D.; DE ARAUJO, D. S. D.; MACIEL, N. C. Dry coastal ecosystems of the tropical Brazilian coast. **Ecosystems of the World**, v. 2B, p. 477-477, 1993.

LIMA, G. P. *et al.* Caracterização fisionômica da Restinga da Praia de Panaquatira, São José de Ribamar, Maranhão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1910-1920, 2017.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 3. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 608 p., 2000.

MAGURRAN, A. E. *Measuring Biological Diversity*. Oxford: Blackwell Science, 215 p., 2004.

MARANHÃO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais - SEMA. Portaria SEMA nº 27, de 29 de abril de 2021. **Estabelece parâmetros e procedimentos para a elaboração, análise e monitoramento de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas ou Alteradas – PRAD e PRAD Simplificado no Estado do Maranhão**. São Luís: SEMA, 2021. Disponível em: <<https://www.sema.ma.gov.br>>. Acesso em: 19 nov 2025

MESACASA, L. *et al.* Effects of time since invasion and control actions on a coastal ecosystem invaded by non-native pine trees. **Ecological Solutions and Evidence**, v. 3, p. e12138, 2022.

MURCIA, Carolina. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in ecology & evolution**, v. 10, n. 2, p. 58-62, 1995.

OLIVEIRA, F. S. *et al.* Comunidade de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) em ecossistema de dunas na praia de Panaquatira, São José de Ribamar, Maranhão, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 54, p. 82-90, 2010.

OLIVEIRA, M. A. M. **Potencial de regeneração de um fragmento de Floresta Baixa de Restinga, em Ilha Comprida, SP, degradado para cultivo agrícola**. Tese de Doutorado. Instituto de Botânica, 84 p., 2014.

PEREIRA, O. J. Caracterização fitofisionômica da restinga de Setiba, Guarapari, Espírito Santo. p. 207-219. In: Anais do II Simpósio de Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira: estrutura, função e manejo. São Paulo, ACIESP, 1990.

PIMENTEL, M. C. P. *et al.* Spatial variation in the structure and floristic composition of "restinga" vegetation in southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 30, p. 543-551, 2007.

REINERT, F. *et al.* Gradação na composição de nutrientes e vias fotossintéticas na vegetação restinga do Brasil. **Botanica Acta**, v.110, p.135–142, 1997.

ROCHA, C. F. D. *et al.* The remnants of restinga habitats in the Brazilian Atlantic Forest of Rio de Janeiro state, Brazil: habitat loss and risk of disappearance. **Brazilian Journal of Biology**, v. 67, p. 263-273, 2007.

RODARTE, A. T. A., *et al.* Flowering phenology in a restinga community: 7 years of study. In: Aspects of Brazilian Floristic Diversity: From Botany to Traditional Communities. Cham: **Springer International Publishing**, p. 3-45, 2022,

RODRIGUES, R. R. *et al.* On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological conservation**, v. 142, n. 6, p. 1242-1251, 2009.

RODRIGUES, M. A. *et al.* Avaliação da chuva de sementes em áreas de restinga em diferentes estágios de regeneração. **Revista Árvore**, v. 34, p. 814-824, 2010.

SCARANO, F. R. Structure, function and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic rain forest. **Annals of Botany**, v. 90, p. 517-524, 2002.

SCHERER, A.; MARASCHIN-SILVA, F.; BAPTISTA, L. R. M. Florística e estrutura do componente arbóreo de matas de Restinga arenosa no Parque Estadual de Itapuã, RS, Brasil. **Acta botânica brasílica**, v. 19, p. 717-726, 2005.

SCHERER, A. *et al.* Regeneração arbórea num capão de restinga no Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia. Série Botânica**, v. 62, n. 1-2, p. 89-98, 2007.

SILVA, F. V.; MELO, J. C. F.; MATILDE-SILVA, M. Padrões de herbivoria e estratégias de defesa de comunidades de restinga em gradiente edáfico. **Hoehnea**, v. 49, p. e212021, 2022.

SOARES-SILVA, L. H. *et al.* Fitossociologia de um trecho de floresta de galeria no Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR, Brasil. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer**, v. 3, p. 46-62, 1998.

UHL, C.; BUSCHBACHER, R.; SERRAO, E. A. S. Abandoned pastures in eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. **The Journal of Ecology**, p. 663-681, 1988.

ZAMITH, L. R.; SCARANO, F. R. Restoration of a restinga sandy coastal plain in Brazil: survival and growth of planted woody species. **Restoration Ecology**, v.14, n.1, p. 87-94, 2006

ZILLER, S. R. Espécies exóticas da flora invasoras em Unidades de Conservação. **Unidades de Conservação: ações para valorização da biodiversidade. Instituto Ambiental do Paraná, Curitiba**, p. 34-52, 2006.