



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMÁTICA, USO E CONSERVAÇÃO
DA BIODIVERSIDADE

MYCHELLE DE SOUSA FERNANDES

COMPOSIÇÃO E DIVERSIDADE FILOGENÉTICA DA CHUVA DE SEMENTES:
EFEITOS DE MANEJOS AGROPASTORIS E DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA
EM ÁREAS DE CAATINGA

FORTALEZA

2024

MYCHELLE DE SOUSA FERNANDES

COMPOSIÇÃO E DIVERSIDADE FILOGENÉTICA DA CHUVA DE SEMENTES:
EFEITOS DE MANEJOS AGROPASTORIS E DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA EM
ÁREAS DE CAATINGA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemática, Uso e Conservação da Biodiversidade da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Mestre em Sistemática, Uso e Conservação da Biodiversidade. Área de concentração: Biodiversidade.

Orientador: Prof. Dr. Itayguara Ribeiro da Costa.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F41c Fernandes, Mychelle de Sousa.

Composição e Diversidade Filogenética da Chuva de Sementes: : Efeitos de Manejos Agropastoris e da Sazonalidade Climática em Áreas de Caatinga / Mychelle de Sousa Fernandes. – 2024.
52 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Sistemática, Uso e Conservação da Biodiversidade, Fortaleza, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Itayguara Ribeiro da Costa.

1. Diásporos. 2. Filogenia. 3. Floresta Tropical Sazonalmente Seca. I. Título.

CDD 578.7

MYCHELLE DE SOUSA FERNANDES

COMPOSIÇÃO E DIVERSIDADE FILOGENÉTICA DA CHUVA DE SEMENTES:
EFEITOS DE MANEJOS AGROPASTORIS E DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA EM
ÁREAS DE CAATINGA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemática, Uso e Conservação da Biodiversidade da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Sistemática, Uso e Conservação da Biodiversidade. Área de concentração: Biodiversidade.

Aprovada em 26 de março de 2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Itayguara Ribeiro da Costa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Mariana de Oliveira Bünger
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dr. Rafael Carvalho da Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ao meu maior incentivador e apoiador, na vida acadêmica ou fora dela: Jefferson Thiago Souza

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Luisa e Mazim, e, em especial, à minha irmã, Letícia, que me incentivaram e me apoiaram o quanto puderam! Obrigada pela compreensão, pelo incentivo e pelo acolhimento de sempre!

Ao meu companheiro, Jefferson Thiago, que foi mais do que meu namorado, foi também um parceiro de pesquisa, orientador auxiliar e base fundamental por todo apoio que me deu, desde a seleção até a defesa. E sei que posso contar com ele para o que vier depois disso também. Obrigada por tudo, meu bem!

Ao meu orientador Dr. Itayguara Costa por ter aceitado me orientar durante esse período do mestrado, por todo conhecimento compartilhado comigo, pela paciência e pelo bom humor de sempre!

À professora Dra. Marla Oliveira por sempre se demonstrar disponível a me ajudar, por compartilhar seus conhecimentos e me inspirar a continuar!

Aos professores membros da banca avaliadora, por terem dedicado tempo e atenção a este trabalho e por compartilharem preciosas contribuições. Com certeza a colaboração de vocês fez toda diferença!

A todos os professores que fazem o Programa de Pós-Graduação em Sistemática, Uso e Conservação da Biodiversidade (PPGSis) por toda oportunidade de formação, por todo apoio e direcionamento.

À Faculdade de Educação, Ciências e Letras de Iguatu (FECLI), campus da Universidade Estadual do Ceará (UECE), por liberar o uso do laboratório para realização desta pesquisa.

À professora Dra. Helba Palácio, do Instituto Federal do Ceará, campus Iguatu, por nos fornecer a permissão de uso das áreas experimentais e por nos ajudar, junto com seus alunos do grupo de pesquisa, a implementar nosso experimento e tornar este estudo possível.

Aos meus amigos e amigas do PPGSis da turma de 2021.1 (Edz, Derley, Thabata, Paulo, Hugo, Charles, Robs, Letícia e Cecília) que fazem parte do grupo do Vórtex da Extinção, e que foram fundamentais nessa caminhada, por estarem sempre disponíveis a ajudar e ouvir, e por proporcionarem o alívio cômico necessário diante dos desafios compartilhados. Sou muito grata por nosso encontro (mesmo que tenha sido apenas virtualmente)!

Um agradecimento especial aos meus colegas do PPGSis Hugo Nascimento e Igor Gonçalves, por terem me suportado cheia de dúvidas, por todos os esclarecimentos, dicas e referências compartilhadas!

Aos integrantes e amigos do Grupo de Pesquisa em Ecologia e Conservação de Ecossistemas (ECOEM/UECE), que sempre foram parceiros na vida acadêmica (e fora dela) e no desenvolvimento dessa pesquisa, em especial a Mikael, Marlos, Carol, Luana e Laís.

Às minhas amigas/irmãs, Lara, Nathália e Carol, que sempre estiveram na torcida por mim, festejando as minhas conquistas, chorando minhas dores e incentivando o melhor de mim. Vocês são demais e eu amo muito vocês!!!

Aos meus amigos da tal da “OS”, Márcia, Fernando, Sara e Isa, por sempre me incentivarem ao compartilhar suas experiências, por terem sido companhia boa nesses últimos anos, pelas boas conversas e debates filosóficos e cotidianos.

À minha psicóloga, Adrian Assunção, que me deu todo suporte psicológico durante essa caminhada, fazendo seu trabalho com excelência e, sobretudo, com empatia, me dando todo apoio que demandei diante dos desafios da vida na pós-graduação. Seu trabalho também foi essencial para que eu chegasse até aqui! Obrigada por tudo!

Agradeço, de coração, a todos e todas que me auxiliaram a chegar até aqui!

“Vos e yo somos chiquitos en este universo enorme.

Pero por que algo sea chiquito no significa que no sea importante.

Seamos importantes, bichito!” (LINIERS, em Macanudo, 2008)

RESUMO

Florestas no mundo todo têm sido impactadas e modificadas por atividades antrópicas. Na Floresta Tropical Sazonalmente Seca brasileira, a Caatinga, encontra-se uma porcentagem muito baixa de sua vegetação nativa preservada devido, principalmente, às práticas agropastoris, as quais envolvem o corte e queima da vegetação original, a retirada de lenha e a implementação de pastagens para objetivos pecuários. Somado a este contexto, a Caatinga caracteriza-se pela sazonalidade climática, com eventos de precipitação irregulares e com média anual baixa. As modificações do ambiente por meio de manejos da vegetação e a sazonalidade climática têm influenciado as tendências de diferentes processos da história de vida das espécies, sobretudo de plantas. Para compreender a estrutura e organização das comunidades de plantas é fundamental levar em consideração a diversidade, a filogenia e evolução dos componentes e os processos ecológicos chave, como a dispersão de sementes. Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi investigar a influência do manejo agropastoril e da sazonalidade climática na composição e diversidade filogenética da chuva de sementes em uma área de caatinga. Para isso, foi implementado um experimento com coletores para captar a chuva de sementes na estação seca e chuvosa em diferentes áreas de manejo agropastoril. Os frutos e sementes foram separados e identificados taxonomicamente, de modo a fornecer dados importantes sobre a composição e diversidade filogenética das espécies dispersas. Com a lista de táxons foi elaborada uma filogenia, com o pacote U.PhyloMaker, a qual serviu de base para calcular a Diversidade Filogenética (PD), as distâncias médias entre os táxons e do parente mais próximo (MPD e MNTD), bem como os dados padronizados de parentesco (NRI e NTI). Foram encontrados diásporos/sementes de 42 espécies, pertencentes a 26 gêneros e 13 famílias botânicas. Dentre as espécies ocorrentes, 31 foram registradas na área de Caatinga Conservada, 21 na Caatinga com Raleamento e 18 na Caatinga com Pastagem. As famílias com maior riqueza de espécies foram Fabaceae, Poaceae, Convolvulaceae e Asteraceae, o que reforça padrões de ocorrência e riqueza de outros estudos de caatinga. Houve interação significativa entre o manejo e a sazonalidade na diversidade filogenética, com destaque para o manejo raleado e a estação seca, cuja interação resultou em uma redução comparativa na diversidade filogenética, indicando que os efeitos da estação seca sobre a PD podem ser modulados pelo tipo de manejo implementado. O contrário ocorre quando é avaliada a PD durante o período chuvoso na área conservada, com um aumento da diversidade. Não foram observadas diferenças significativas entre as áreas de manejo e estações no NRI, apontando que tais variáveis não afetaram o grau de parentesco relativo entre as espécies. Já o NTI demonstrou uma maior

proximidade filogenética entre as espécies na área raleada durante a estação chuvosa em comparação a área de pastagem na estação seca. Estes achados evidenciam que as práticas de manejo da terra e as condições sazonais estão intimamente ligadas, desempenhando papéis fundamentais na modelagem da diversidade filogenética de plantas, podendo por outro lado ter um impacto moderado nas métricas da estrutura filogenética.

Palavras-chave: diásporos; filogenia; floresta tropical sazonalmente seca.

ABSTRACT

Forests worldwide have been impacted and modified by anthropogenic activities. In the Brazilian Seasonally Dry Tropical Forest, the Caatinga, a very low percentage of its native vegetation is preserved mainly due to agropastoral practices, which involve cutting and burning of the original vegetation, wood extraction, and implementation of pastures for livestock purposes. In addition to this context, the Caatinga is characterized by climatic seasonality, with irregular precipitation events and low annual averages. Environmental modifications through vegetation management and climatic seasonality have influenced the trends of different life history processes of species, especially plants. To understand the structure and organization of plant communities, it is essential to consider the diversity, phylogeny, and evolution of components, as well as key ecological processes such as seed dispersal. Therefore, the aim of this research was to investigate the influence of agropastoral management and climatic seasonality on the composition and phylogenetic diversity of seed rain in a Caatinga area. For this purpose, an experiment with collectors was implemented to capture seed rain in the dry and rainy seasons in different agropastoral management areas. Fruits and seeds were separated and taxonomically identified to provide important data on the composition and phylogenetic diversity of dispersed species. A phylogeny was constructed from the taxon list using the U.PhyloMaker package, which served as the basis for calculating Phylogenetic Diversity (PD), mean distances between taxa and nearest relatives (MPD and MNTD), as well as standardized measures of relatedness (NRI and NTI). Diaspores/seeds from 42 species belonging to 26 genera and 13 botanical families were found. Among the occurring species, 31 were recorded in the Preserved Caatinga area, 21 in the Thinned Caatinga, and 18 in the Caatinga with Pasture. The families with the highest species richness were Fabaceae, Poaceae, Convolvulaceae, and Asteraceae, which reinforces occurrence and richness patterns found in other Caatinga studies. There was a significant interaction between management and seasonality in phylogenetic diversity, with emphasis on thinning management and the dry season, whose interaction resulted in a comparative reduction in phylogenetic diversity, indicating that the effects of the dry season on PD can be modulated by the type of management implemented. The opposite occurs when PD is evaluated during the rainy season in the preserved area, with an increase in diversity. No significant differences were observed between management areas and seasons in the NRI, indicating that such variables did not affect the degree of relative kinship between species. The NTI demonstrated greater phylogenetic proximity between species in the thinned area during the rainy season compared to the pasture area in the dry season. These findings

show that land management practices and seasonal conditions are closely linked, playing fundamental roles in modeling the phylogenetic diversity of plants, and may, on the other hand, have a moderate impact on the metrics of phylogenetic structure.

Keywords: diaspores; phylogeny; seasonally dry tropical forest

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Áreas de estudo com diferentes manejos e estado de conservação na estação chuvosa e na estação seca	24
Figura 2 – Exemplos de frutos e sementes das espécies encontradas nas três áreas de caatinga.....	31
Figura 3 – Riqueza de espécies por família na chuva de sementes das áreas estudadas.....	32
Figura 4 – Árvore filogenética com as espécies identificadas na chuva de sementes das três áreas de caatinga estudadas.....	36
Figura 5 – Variações de Diversidade Filogenética (PD) entre as áreas de Manejo e entre Estações Climáticas (Seca e Chuva) na Bacia Experimental de Iguatu/Ceará.....	37
Figura 6 – Valores do Índice de Parentesco Líquido (NRI) entre as áreas de Manejo e entre Estações Climáticas (Seca e Chuva) na Bacia Experimental de Iguatu/Ceará.....	39
Figura 7 – Valores do Índice do Taxon mais Próximo (NTI) entre as áreas de Manejo e entre Estações Climáticas (Seca e Chuva) na Bacia Experimental de Iguatu/Ceará.....	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	O processo de dispersão e chuva de sementes	16
2.2	Diversidade filogenética: importâncias e aplicações	18
2.3	Relação entre manejos agropastoris, sazonalidade climática, dispersão de sementes e diversidade filogenética	20
3	OBJETIVOS	22
3.1	Objetivo geral	22
3.2	Objetivos específicos	22
4	MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1	Área de estudo	23
4.2	Desenho experimental e coleta de dados	24
4.3	Diversidade filogenética da chuva de sementes	25
4.4	Análise de dados	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais, e de forma mais intensa, o ambiente tem sido modificado com o intuito de atender demandas das populações humanas, resultando em dados significativos de impactos antrópicos às formações florestais em todo o mundo (GRANTHAM *et al.*, 2020). Este padrão se repete ao considerar florestas tropicais sazonalmente secas, como a Caatinga, a qual possui apenas 11%, aproximadamente, de sua vegetação nativa preservada (ARAUJO *et al.*, 2023). Tais modificações decorrem sobretudo de atividades com objetivos agropastoris, que envolvem o manejo das áreas com corte, queima e implementação de pastagens, por exemplo (JARDIM *et al.*, 2022). Estudos demonstram que esses impactos são ainda mais intensificados em áreas em que há baixos índices de precipitação, o que é uma característica expressiva da Caatinga, que possui uma forte sazonalidade climática, com períodos de chuva e seca bem delimitados e irregulares (ARAUJO *et al.*, 2023; PRADO, 2003).

Para compreender a estrutura e a organização das comunidades, as medidas de diversidade biológica são consideradas fundamentais (RICOTTA, 2005). No entanto, a utilização restrita de medidas tradicionais de diversidade pode levar a interpretações limitadas do retrato das comunidades estudadas, tornando necessário a aplicação de medidas que levem em consideração aspectos mais detalhados, tais como as histórias evolutivas das espécies e as relações filogenéticas entre elas (CIANCIARUSO; SILVA; BATALHA, 2009). Dentre estas medidas, a diversidade filogenética tem se destacado cada vez mais entre os estudos de comunidades biológicas (SOBRAL; CIANCIARUSO, 2012), permitindo ampliar a compreensão acerca das mesmas ao incorporar as idades evolutivas e as relações de parentesco entre as espécies (PINTO; DINIZ; LOPES, 2023). Além disso, a diversidade filogenética pode indicar dados importantes quanto à função das espécies dentro do ecossistema (SRIVASTAVA *et al.*, 2012) e, assim, está fortemente relacionada aos padrões de ocorrência de processos-chave na dinâmica das espécies.

Um dos processos-chave na estruturação e na dinâmica das comunidades é a dispersão de sementes, que se trata do processo de separação e distanciamento dos diásporos da planta-mãe (HOWE; SMALLWOOD, 1982; SEALE; NAKAYAMA, 2020). Dessa forma, a dispersão de sementes contribui para o fluxo genético e a ocupação de novos espaços por populações de plantas (JORDANO *et al.*, 2006). Este processo pode ocorrer por meio de diferentes vetores, que estão associados, geralmente, às estratégias evolutivas das espécies. Tais estratégias geralmente estão relacionadas ao ambiente em que estão inseridas as espécies, como

é comum que em florestas úmidas seja mais encontrada a dispersão mediada por animais (espécies zoocóricas), enquanto em florestas tropicais sazonalmente secas ocorra mais a dispersão pelo vento (anemocóricas) (HOWE; SMALLWOOD, 1982).

Os padrões de riqueza, diversidade e composição da chuva de sementes pode indicar um padrão distinto ou semelhante ao encontrado na vegetação das áreas estudadas, isto ocorre pois o deslocamento dos diásporos ao longo do espaço permite que as sementes que caem em um local sejam de origem da própria área ou de áreas circunvizinhas, o que pode levar a uma contribuição de áreas preservadas na dispersão de sementes para áreas em restauração (SOUZA, J. T. *et al.*, 2014).

Diante do exposto, surgiram as seguintes perguntas, as quais nortearam esta pesquisa: 1) *De que modo as modificações do ambiente, como as práticas de manejos agropastoris, influenciam na diversidade filogenética da dispersão de sementes?* e 2) *A sazonalidade climática influencia a diversidade filogenética das sementes dispersas em áreas de caatinga?*. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi investigar o efeito dos manejos agropastoris e da sazonalidade climática na diversidade filogenética da dispersão de sementes na caatinga. Espera-se que esta pesquisa possa contribuir para a compreensão acerca de aspectos mais profundos da dispersão de sementes e, assim, auxiliar em medidas de restauração para áreas de caatinga manejadas, levando em consideração os componentes filogenéticos envolvidos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O processo de dispersão e chuva de sementes

A dispersão de sementes é um processo ecológico de grande importância para as plantas, tendo em vista que é o momento em que há a separação e deslocamento dos diásporos da planta-mãe (JORDANO *et al.*, 2006) e representa a conquista de outros locais, bem como a propagação genética das espécies (SAASTAMOINEN *et al.*, 2018). Esse distanciamento da planta de origem aumenta as possibilidades de sobrevivência das sementes dispersadas pois garante uma diminuição da competição e predação nas proximidades da planta-mãe, possibilitando uma maior distribuição da espécie no espaço (HOWE; SMALLWOOD, 1982). No entanto, a separação e distanciamento dos diásporos não garante o sucesso da dispersão, sendo necessário avaliar outros aspectos envolvidos neste processo.

Os estudos acerca da dispersão de sementes nem sempre estão interessados na efetivação da dispersão, mas buscam compreender como as plantas realizam este processo, com foco nas estratégias evolutivas envolvidas, nos fatores que influenciam a dispersão e como este processo pode auxiliar na compreensão sobre a restauração natural de áreas degradadas (DEMINICIS *et al.*, 2009). É importante ressaltar que a dispersão de sementes é um processo que pode ocorrer espacialmente e temporalmente (CHEN *et al.*, 2020), isso significa que a dispersão envolve aspectos relacionados ao alcance espacial das espécies, bem como o tempo que cada semente leva para se estabelecer nos locais alcançados.

Essa dispersão das sementes no espaço depende de alguns vetores (van der PIJL, 1982). As primeiras classificações sobre os modos de dispersão eram baseadas nos aspectos morfológicos das sementes/frutos dispersos (diásporos), definindo apenas um modo de dispersão por planta. Estas unidades de dispersão podem ser dispersas por animais (zoocoria), como peixes, répteis, aves, formigas e mamíferos, pelo vento (anemocoria) ou por mecanismos da própria planta (autocoria; van der PIJL, 1982). Hoje, compreende-se que o potencial de dispersão das sementes é bem mais complexo, podendo uma única semente ser dispersa mais de uma vez até chegar ao local final (ROGERS *et al.*, 2019), assim como pode abranger mais de um modo de dispersão, como é o caso de plantas que inicialmente tem dispersão autocórica, mas possuem diásporos com mecanismos que propiciam a dispersão secundária por animais também, podendo ampliar seu alcance (CAMARGO *et al.*, 2019; VANDER WALL; KUHN; BECK, 2005).

Exemplo disso, a Caatinga possui uma espécie conhecida popularmente como imburana-de-espinho, a *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett, que possui frutos carnosos verdes e discretos entre suas folhas, mas, quando abertos, exibem uma semente preta que se destaca por possuir um arilo avermelhado em sua base (CARVALHO, 2009). Tal característica proporciona uma atratividade de aves que consomem as sementes e podem atuar como dispersores finais da espécie (SILVA *et al.*, 2020a), mas, essa dispersão pode ser realizada secundariamente por lagartos (RIBEIRO; GOGLIATH; FREIRE, 2008), ao consumir as sementes que caem no solo através da regurgitação ou defecação das aves.

Percebe-se, assim, que a dispersão de sementes está fortemente relacionada às características morfológicas dos diásporos, que são também consideradas características funcionais (SAATKAMP *et al.*, 2019), e estas características podem refletir a história evolutiva das espécies e como estão distribuídas entre os clados das plantas. Embora tais características estejam intrinsecamente relacionadas à dispersão de sementes e como ela ocorre nos diferentes táxons, outro fator relevante a ser considerado é o ambiente onde está inserido o grupo de

plantas dispersoras. Esta questão é bastante considerada nos estudos e, desde muito tempo, demonstra padrões recorrentes como é o caso de ambientes secos, tais como as florestas tropicais sazonalmente secas, apresentarem uma maior riqueza e abundância plantas que dispersam pelo vento (ou seja, anemocóricas), enquanto em ambientes mais úmidos é mais comum encontrar espécies que dispersam com ajuda de animais (zoocóricas; GRIZ; MACHADO, 2001; HOWE; SMALLWOOD, 1982).

No entanto, é importante ressaltar que tais padrões não se aplicam sempre e dependem bastante do contexto local a ser estudado, podendo apresentar mudanças à medida que se incorporam outros fatores, como as mudanças climáticas, por exemplo, ou as atividades humanas de exploração do ambiente.

2.2 Diversidades filogenéticas e funcional: importâncias e aplicações

Muitos estudos que buscam compreender as comunidades biológicas se restringem a mensurar e analisar a riqueza das espécies (JARA-GUERRERO *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2014). Além desses, há também aqueles que incluem as medidas tradicionais de diversidade, tais como a diversidade alfa e a diversidade beta (CHEN *et al.*, 2010; SCHULZ *et al.*, 2019). Tais medidas são de grande importância para os estudos da biologia da conservação, tendo em vista que expressam informações relevantes para a compreensão acerca das comunidades estudadas e dos diferentes padrões encontrados. No entanto, tem-se defendido que existe a necessidade de acrescentar outros parâmetros nas investigações para que, assim, seja possível ampliar e aprofundar os conhecimentos sobre a estrutura e organização das comunidades biológicas (PAVOINE; BAGUETTE; BONSALL, 2010).

Dentre esses parâmetros, pode-se destacar as relações filogenéticas expressas entre os componentes das comunidades biológicas, sendo que estes podem ser avaliados através de medidas como a diversidade filogenética (FAITH, 1992; WEBB *et al.*, 2002). Tal medida tem sido foco em diversos estudos com o objetivo de identificar e analisar a organização das comunidades, sobretudo de grupos de plantas (CALAÇA; GRELE, 2016). Segundo estes autores, este padrão pode ser relacionado ao número de pesquisas já realizadas e consolidadas com as plantas, enquanto para os outros grupos ainda necessita de maior exploração e disponibilidade de bancos de dados que possam auxiliar nas análises de diversidade supracitada. De todo modo, vários autores têm se empenhado a compreender as tendências filogenéticas de

vários táxons, como as aves (BEŁCIK *et al.*, 2020; CHAPMAN *et al.*, 2018) e as formigas (ARNAN *et al.*, 2018; HOENLE *et al.*, 2023).

Embora os estudos possam ser realizados utilizando diferentes índices de diversidade filogenética (CIANCIARUSO; SILVA; BATALHA, 2009; MAMMOLA *et al.*, 2021), eles têm como base uma definição geral. A diversidade filogenética é considerada a “*quantidade total de distância filogenética entre as espécies em uma comunidade*” (SRIVASTAVA *et al.*, 2012, p. 637), envolvendo assim informações evolutivas e de parentesco dos táxons e podendo indicar a distribuição cladística de uma área. Dessa forma, os dados de diversidade filogenética de uma comunidade podem apresentar a organização estrutural da comunidade, podendo expressar padrões aglomerados, com espécies proximamente relacionadas filogeneticamente, ou padrões dispersos, com espécies distantes filogeneticamente (WEBB *et al.*, 2002).

É importante ressaltar que a realização de pesquisas que envolvem as métricas de diversidade filogenética pode ser utilizada para além de simplesmente descrever taxonomicamente as áreas estudadas ou elaborar as filogenias das comunidades biológicas, mas, também, para auxiliar a compreender contextos mais complexos e contribuir para a aplicação de medidas de conservação baseadas em dados filogenéticos. Exemplo disso são os estudos que buscam identificar áreas que podem ser consideradas “insubstituíveis”, pela sua composição florística e diversidade filogenética, e que, conseqüentemente, necessitam de maior atenção e financiamento nos planos de conservação (CARTA *et al.*, 2019; KLING *et al.*, 2019).

Com tudo isso, percebe-se que as medidas de diversidade podem ser utilizadas em diferentes cenários de investigação e em diferentes grupos, com o intuito de verificar hipóteses relevantes para a biodiversidade regional e até mesmo global. Na literatura atual é possível encontrar diversos exemplos aplicados em que as estimativas de diversidade filogenética foram utilizadas para compreender alguns contextos, como, por exemplo, os padrões filogenéticos entre plantas invasoras, indicando um possível conservadorismo evolutivo entre elas (QIAN; SANDEL, 2023), ou para contribuir na delimitação de áreas biologicamente importantes, como os biomas e as áreas de proteção (BROOKS *et al.*, 2015; CARDOSO *et al.*, 2021). Diante disso, é importante que os futuros estudos busquem compreender quais os fatores que podem influenciar e afetar essas informações evolutivas para que, assim, possa se estabelecer direções efetivas para a conservação.

2.3 Relação entre manejos agropastoris, sazonalidade climática, dispersão de sementes e diversidade filogenética

Historicamente, as populações humanas desenvolveram práticas de subsistência que estão intrinsecamente relacionadas ao uso da terra e da vegetação e, conseqüentemente, tais práticas exercem uma intensa modificação das paisagens e das áreas florestais em todo o mundo. Dados atuais indicam que aproximadamente 31% das florestas estão sendo impactadas por atividades humanas, como, por exemplo, a construção de infraestruturas e as práticas agropastoris (GRANTHAM *et al.*, 2020). Este padrão se repete quando se trata especialmente de florestas tropicais (JAKOVAC *et al.*, 2021) e, mais restritamente, da Caatinga (JARDIM *et al.*, 2022), as quais têm apresentado uma diminuição significativa de suas áreas de florestas primárias e das suas espécies vegetais nativas, devido, sobretudo, às atividades de agricultura e pastagem.

Ao avaliar a cobertura vegetal da Caatinga, os dados demonstram que somente 11,04% da vegetação nativa ainda se encontra preservada na região, sendo atribuído principalmente às modificações antrópicas para uso da terra (ARAUJO *et al.*, 2023). As atividades de manejo da vegetação da caatinga, com objetivos agropastoris, envolvem práticas de queima e corte da flora nativa, de retirada de lenha e raleamento das plantas lenhosas e de implementação de pastagens para forrageio animal (SILVA *et al.*, 2017).

Os impactos relatados são ainda mais intensos em áreas em que a precipitação é baixa (ARAUJO *et al.*, 2023). Quando se trata de florestas tropicais sazonalmente secas, como a Caatinga, além das perturbações humanas, é importante considerar o impacto das alterações climáticas, tendo em vista que tais formações florestais estão fortemente associadas às variações nos valores médios de precipitação ao longo do ano e entre anos (RITO *et al.*, 2017). Esta sazonalidade climática é expressivamente encontrada na região semiárida brasileira, que apresenta um sistema de precipitações irregulares, com uma grande variação espacial e temporal, apresentando um período seco mais longo (PRADO, 2003).

As práticas de manejo da terra e a sazonalidade climática, que são características notáveis da Caatinga, podem ser consideradas como filtros ambientais (MORO *et al.*, 2015; RITO *et al.*, 2017), por atuarem significativamente nos padrões de riqueza, composição e diversidade das espécies. Esses efeitos podem ser verificados inclusive nos padrões de diversidade filogenética de diferentes grupos taxonômicos (ARNAN *et al.*, 2018; DAINESE; LEPŠ; DE BELLO, 2015). Ribeiro *et al.* (2016) reforçam que, para além dos impactos já conhecidos advindos das atividades humanas, há também o impacto na diversidade filogenética

da vegetação, tendo em vista que tais atividades podem gerar um empobrecimento filogenético nas áreas de caatinga. Isso fica evidente ao verificar, também, que a organização da estrutura filogenética de áreas não perturbadas é menos aglomerada e mais diversa em comparação às áreas antropizadas (FENG *et al.*, 2014).

O agrupamento ou distanciamento nos padrões de diversidade filogenética também podem explicar os padrões funcionais das espécies (WINTER; DEVICTOR; SCHWEIGER, 2013), inclusive no que se refere às sementes, como, por exemplo, evidências indicam que características de dormência e germinação das sementes têm forte relação com a filogenia das espécies, com padrões distintos ou comuns a depender a distância filogenética entre os táxons analisados (SEGLIAS *et al.*, 2018). Do mesmo modo, cabe se perguntar como a filogenia se expressa nos diferentes padrões da dispersão das sementes. Estudos demonstram que este processo ecológico é significativamente influenciado pelos filtros ambientais citados acima, mas ainda há poucos estudos que consideram a relação da organização evolutiva e filogenética com os padrões de dispersão (mas, ver CORTÉS-FLORES *et al.*, 2019; KUHLMANN; RIBEIRO, 2016). Além disso, o estudo da composição da chuva de sementes pode revelar dados importantes para compreender a estrutura das paisagens (JESUS *et al.*, 2012), incluindo a análise acerca da contribuição de áreas vizinhas na formação de banco de sementes de áreas em restauração (SOUZA, J. T. *et al.*, 2014), por isso, o estudo focado na chuva de sementes consegue indicar padrões relevantes para a restauração de áreas manipuladas ou degradadas no semiárido, inclusive no que se refere à estrutura filogenética da vegetação.

Então, existe influência dos manejos e da sazonalidade climática na diversidade filogenética da chuva de sementes? Esta é a pergunta central que fundamenta este estudo e norteia a discussão dos achados, de modo a contribuir com a literatura atual e proporcionar novos direcionamentos aos estudos futuros nessa área.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Investigar a influência do manejo agropastoril e da sazonalidade climática na composição e diversidade filogenética da chuva de sementes em áreas de diferentes manejos agropastoris na Caatinga

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar as espécies dos diásporos presentes na chuva de sementes de áreas com diferentes tempos de manejo em uma área de caatinga no município de Iguatu, estado do Ceará;
- Avaliar a influência dos manejos agropastoris na diversidade filogenética das sementes dispersas;
- Verificar o efeito da sazonalidade climática na diversidade filogenética da chuva de sementes na caatinga.

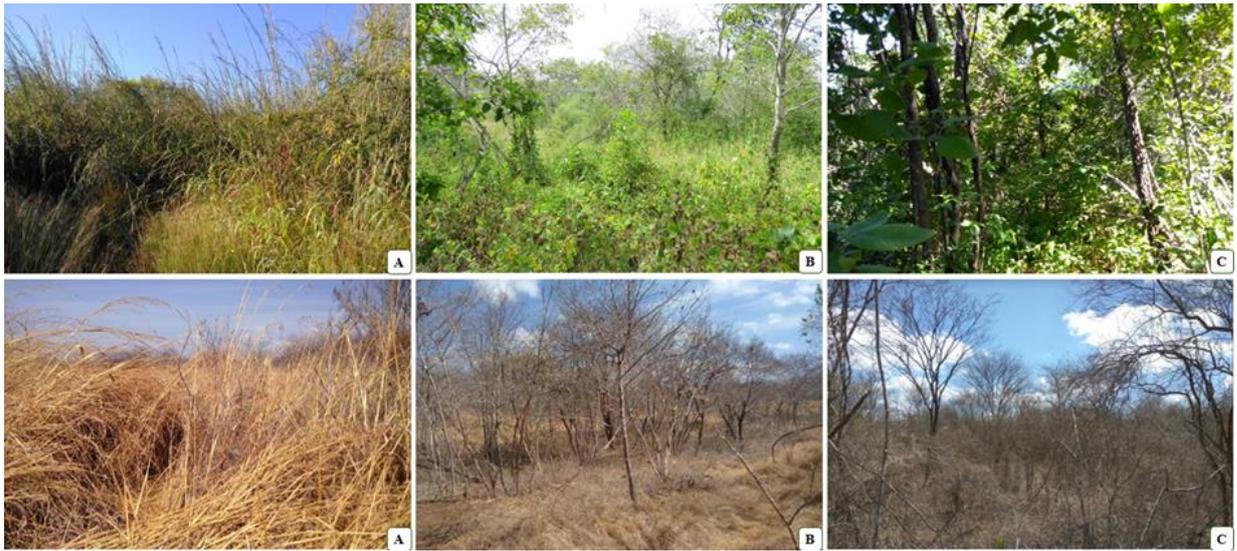
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área onde foi realizada esta pesquisa está localizada no município de Iguatu, região Centro-Sul do estado do Ceará-Brasil, a aproximadamente 360 km da capital Fortaleza. O local possui vegetação do tipo caatinga arbustiva-arbórea, caracterizada por ser uma floresta tropical sazonal, além de apresentar um clima Tropical Quente Semiárido, tipo BSh na classificação Köppen. A média de precipitação anual é de 806,5 mm e a média anual de temperatura é de 27°C (IPECE, 2022). Os tipos de solos encontrados são argissolos, neossolos e vertissolos, com o relevo levemente ondulado, baixa profundidade e pedregoso (IPECE, 2022).

A área de estudo, pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará (IFCE Campus Iguatu), compõe a Bacia Experimental de Iguatu e é subdividida em três microbacias integradas, que variam entre 1 e 3 ha de extensão (SANTOS *et al.*, 2017). Cada microbacia possui características próprias que auxiliaram no desenho experimental desta pesquisa. Na primeira área, Caatinga com Pastagem (CP - Figura 1A), é encontrado um manejo, implementado entre os anos de 2009 e 2010, em que a vegetação nativa passou pelo processo de corte e queima, e substituída pelo plantio do capim *Andropogon gayanus* Kunt (PALACIO *et al.*, 2019). A segunda área é caracterizada por uma Caatinga com Raleamento (CR - Figura 1B). Este manejo consiste na retirada de plantas com diâmetro inferior a 10 cm, o qual geralmente é feito com o objetivo de aumentar a produção de biomassa vegetal através das herbáceas, e foi realizado nos anos de 2008, 2010, 2012 (RIBEIRO FILHO *et al.*, 2016). Esses dois tipos de manejo foram implementados na área de estudo a fim de simular práticas que são bastante comuns no semiárido, tanto a pastagem quanto o raleamento, também conhecido como desbaste. Por último, a terceira área teve sua vegetação nativa mantida e se encontra, por mais de 40 anos, em estado de conservação (CAMPOS *et al.*, 2020), caracterizando assim uma Caatinga Conservada (CC - Figura 1C).

Figura 1 – Áreas de estudo com diferentes manejos e estado de conservação na estação chuvosa e na estação seca



Legenda: A – Caatinga com Pastagem (CP); B – Caatinga com Raleamento (CR); C – Caatinga Conservada. Fotos de Mikael Alves de Castro

4.2 Desenho experimental e coleta de dados

Para levantamento de dados acerca da dispersão de sementes, foi implementado um experimento utilizando 90 coletores, os quais são feitos de material de polietileno (baldes), com 81 cm de circunferência (cerca de 25 cm de diâmetro) e 30 cm de altura, seguindo o desenho experimental utilizado em outras áreas de caatinga (ver SOUZA *et al.*, 2014). Os coletores foram distribuídos nas três áreas de caatinga, totalizando 30 coletores em cada área, fixados com apoio de estacas de madeira e organizados em transectos, com 10 m de distância entre eles. Na abertura superior dos coletores, foram utilizadas malhas do tipo *voil*, com aberturas de 1 mm, para facilitar o escoamento de água em momentos de precipitação. Estas malhas ficavam suspensas até metade do coletor, com o intuito de evitar que as sementes saltassem para fora, visto que o impacto da queda é, assim, amenizado. Por fim, foram feitos furos na parte de baixo dos coletores para evitar o acúmulo de água e colocada uma faixa de graxa na parte externa, a fim de impedir o contato de pequenos invertebrados com o material (SOUZA, J. T. *et al.*, 2014).

Para identificar os padrões de sazonalidade climática, o conteúdo dos coletores foi coletado mensalmente, contemplando o período seco (julho a dezembro de 2020) e o período chuvoso (janeiro a junho de 2021), considerando a média histórica de precipitação do município de Iguatu, Ceará (BRASIL *et al.*, 2018). Todo material coletado foi armazenado em sacos de

papel etiquetados e triados em laboratório. Neste processo, os diásporos foram separados do restante do material, como folhas, gravetos e resíduos que também foram encontrados dentro dos coletores. Após separados, os diásporos foram contabilizados e identificados até o nível taxonômico possível, com auxílio de guias, referências bibliográficas e especialistas (van der PIJL, 1982).

4.3 Diversidade filogenética da chuva de sementes

Para investigar a diversidade filogenética das comunidades vegetais nas três áreas de manejo (conservada, raleada e pastagem), foi essencial construir a filogenia da assembleia da chuva de sementes. Para tal, foi utilizado a função *phylo.maker* do pacote U.PhyloMaker (JIN; QIAN, 2023), uma ferramenta desenvolvida especificamente para a integração de listas de espécies em mega árvores filogenéticas existentes, permitindo uma análise filogenética detalhada de comunidades ecológicas. A mega árvore base escolhida para este estudo foi a **GBOTB.extended.WP.tre**, conforme recomendado por Jin e Qian (2023). Esta mega árvore incorpora a abrangente árvore de plantas com sementes reportada por Smith e Brown, (2018), além da parte de pteridófitas da mega árvore descrita por Zanne *et al.* (2014), oferecendo uma representação filogenética extensiva e atualizada do reino Plantae. O U.PhyloMaker permitiu a inclusão eficiente das espécies encontradas em nossas áreas de estudo nesta estrutura filogenética pré-existente, gerando uma árvore filogenética única que reflete as relações evolutivas entre as espécies observadas nas áreas de manejo. Essa árvore filogenética unificada foi posteriormente utilizada para calcular as métricas de diversidade filogenética, fornecendo *insights* sobre a estrutura filogenética das comunidades vegetais em resposta ao manejo da terra e variações sazonais. Foram calculadas as seguintes métricas da diversidade filogenética: I) *PD* – Diversidade Filogenética (FAITH, 1992), II) *MPD* – distância média entre os pares, III) *MNTD* – distância média do táxon mais próximo, IV) *NRI* – índice de parentesco líquido, e V) *NTI* – índice do táxon mais próximo (WEBB, 2000). A *PD* é caracterizada como a soma dos comprimentos dos ramos da árvore filogenética de uma comunidade, indicando o tempo evolutivo e a distinção entre os táxons da comunidade estudada. A medida de *MPD* revela a distância filogenética média entre os pares combinados de todas as espécies da amostra, enquanto a *MNTD* calcula a distância filogenética média entre as espécies de seu parente mais próximo. As medidas de *NRI* e *NTI* representam os valores de *MPD* e *MNTD* padronizados, excluindo o efeito da riqueza das espécies (WEBB, 2000).

4.4 Análise de dados

Para avaliar os efeitos do manejo no uso da terra e das estações sazonais na diversidade filogenética das assembleias de plantas, foram empregadas análises estatísticas utilizando o ambiente de programação R (R Core Team, 2024). As métricas de PD, MPD, MNTD, NRI e NTI foram calculadas através do pacote *picante* (KEMBEL *et al.*, 2010). Para testar as hipóteses de que o manejo e a sazonalidade afetam significativamente métricas da diversidade filogenética, foram ajustados modelos lineares mistos (LMMs) por meio do pacote *lme4* (BATES *et al.*, 2015). Os modelos foram estruturados para incluir o manejo da terra (conservada, raleada, pastagem) e a estação climática (seca, chuvosa) como variáveis fixas, enquanto a identidade do coletor foi considerada como um efeito aleatório para contabilizar a variabilidade espacial e temporal inerente à coleta de dados. Os pressupostos dos LMMs, incluindo normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias, foram verificados visualmente por meio de diagnósticos gráficos padrão e pelo teste de Shapiro-Wilk, usando funções disponíveis nos pacotes *lme4* e *lmerTest* (KUZNETSOVA; BROCKHOFF; CHRISTENSEN, 2017), sendo este último para fornecer estatísticas t como valores de p para os efeitos fixos dos modelos. Após o ajuste dos modelos, comparações múltiplas *post hoc* foram realizadas utilizando o teste de Tukey HSD para detalhar diferenças específicas entre os níveis de manejo e estação, implementadas no pacote *emmeans* (LENTH, 2020).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quais espécies estão presentes em áreas de manejos agropastoris na caatinga?

Através do material analisado, foram identificados diásporos de 42 espécies, pertencentes a 26 gêneros e 13 famílias botânicas (Tabela 1; Figura 2). Dentre as espécies representadas na chuva de sementes, quatro foram identificadas apenas no nível de gênero e nove no nível de família. Estas foram classificadas com os nomes dos táxons correspondentes e numeradas, de modo que pudessem ser diferenciadas uma das outras, mesmo pertencendo ao mesmo grupo. Embora, este nível de identificação dificulte a estimativa real da diversidade filogenética, é comum que em estudos de dispersão de sementes haja a presença de morfotipos sem identificação no nível de espécie (GONÇALVES *et al.*, 2021), tendo em vista que os diásporos ficam expostos às adversidades do ambiente e percam características primordiais para identificação. De todo modo, foram consideradas aquelas que pudessem ser agrupadas a gêneros ou famílias, de modo que pudessem representar a riqueza e a diversidade por grupo taxonômico.

Tabela 1 – Lista das famílias e espécies das sementes, com seus respectivos nomes populares, encontradas nas áreas de caatinga estudadas. (Continua)

Famílias e Espécies	Nome popular	CC	CR	CP
Acanthaceae				
<i>Ruellia asperula</i> (Mart. ex Nees) Lindau	melosa-vermelha	X	X	
Anacardiaceae				
<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemão) Engl.	aroeira	X	X	X
Apocynaceae				
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. & Zucc.	pereiro		X	
<i>Ruehssia altissima</i> (Jacq.) F.Esp.Santo & Rapini	cipó-de-leite	X		
Asteraceae				
<i>Bidens subalternans</i> DC.	picão-preto		X	
<i>Blainvillea acmella</i> (L.) Philipson	picão	X	X	
<i>Delilia biflora</i> (L.) Kuntze	amorosa	X	X	
Burseraceae				
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett	imburana-de-espinho	X	X	
Combretaceae				
<i>Combretum leprosum</i> Mart.	mofumbo	X		X
Convolvulaceae				
<i>Ipomoea bahiensis</i> Willd. ex Roem. & Schult.	salsa-brava	X		

Tabela 1 – Lista das famílias e espécies das sementes, com seus respectivos nomes populares, encontradas nas áreas de caatinga estudadas. (Continuação)

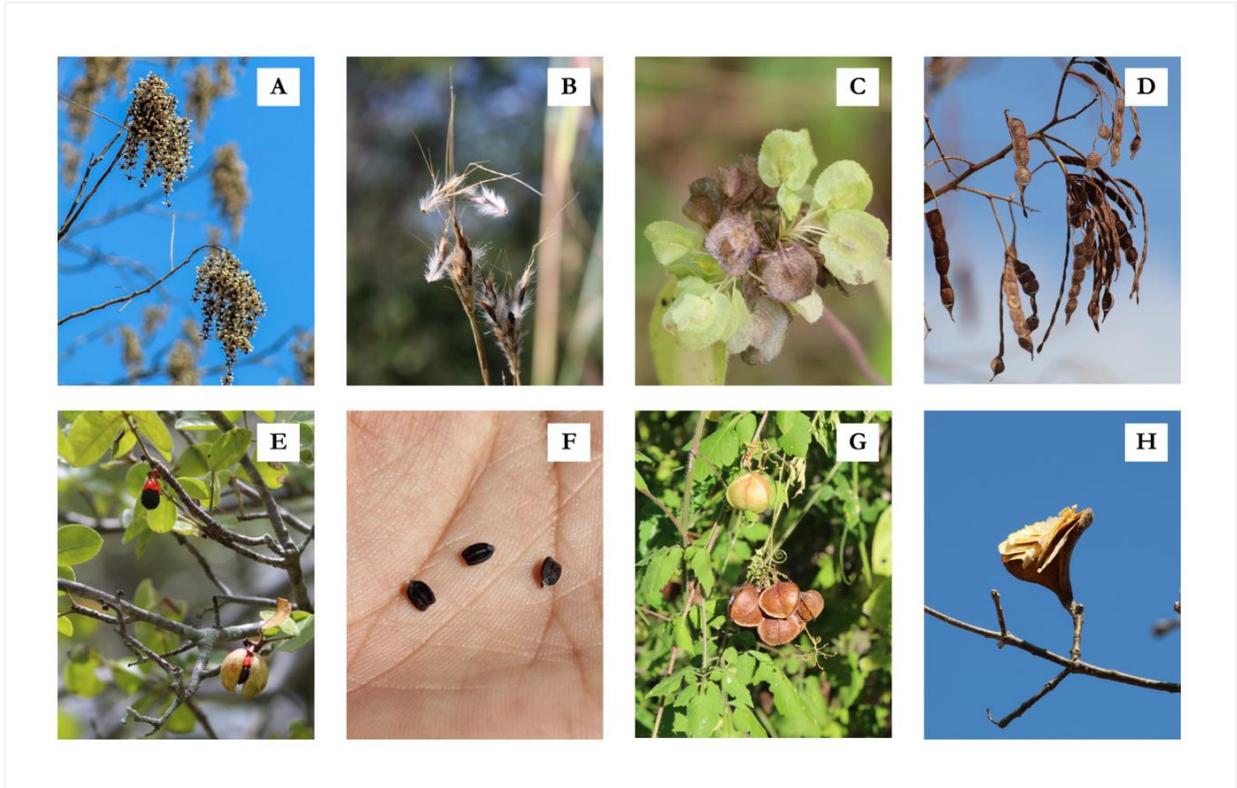
<i>Ipomoea brasiliana</i> (Choisy) Meisn.	batata-de-purga	X	X	X
<i>Ipomoea</i> 3	-	X	X	X
<i>Ipomoea</i> 4	-	X	X	
<i>Ipomoea</i> 5	-	X		
Euphorbiaceae				
<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	marmeleiro	X	X	X
<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	pinhão-bravo			X
Fabaceae				
<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	imburana-de-cheiro		X	
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	angico	X		
<i>Centrosema pubescens</i> Benth.	jitirana		X	
<i>Desmanthus virgatus</i> (L.) Willd.	jureminha		X	X
<i>Desmodium glabrum</i> (Mill.) DC.	rapadura-de-cavalo	X	X	
<i>Desmodium</i> 2	-		X	
Fabaceae 01	-		X	X
Fabaceae 09	-		X	
Fabaceae 22	-		X	X
Fabaceae 23	-			X

Tabela 1 – Lista das famílias e espécies das sementes, com seus respectivos nomes populares, encontradas nas áreas de caatinga estudadas. (Conclusão)

Fabaceae 24	-	X		
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.	sabiá	X	X	
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	jurema-preta		X	X
<i>Piptadenia retusa</i> (Jacq.) P.G.Ribeiro, Seigler & Ebinger	jurema-branca	X	X	X
<i>Rhynchosia minima</i> (L.) DC.	favinha-branca		X	X
<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link	fedegoso			
<i>Senna uniflora</i> (Mill.) H.S.Irwin & Barneby	mata-pasto		X	
Lamiaceae				
<i>Mesosphaerum suaveolens</i> (L.) Kuntze	bamburral		X	X
Poaceae				
<i>Andropogon gayanus</i> Kunth	capim-gambá	X	X	X
Poaceae 7	-	X	X	X
Poaceae 12	-			
Poaceae 16	-		X	X
Poaceae 17	-	X	X	
<i>Setaria verticillata</i> (L.) P.Beauv.	capim-rabo-de-raposa		X	X
Sapindaceae				
<i>Cardiospermum corindum</i> L.	balãozinho		X	
Total		21	31	18

Legenda: CC: Caatinga Conservada, CR: Caatinga com Raleamento e CP: Caatinga com Pastagem.

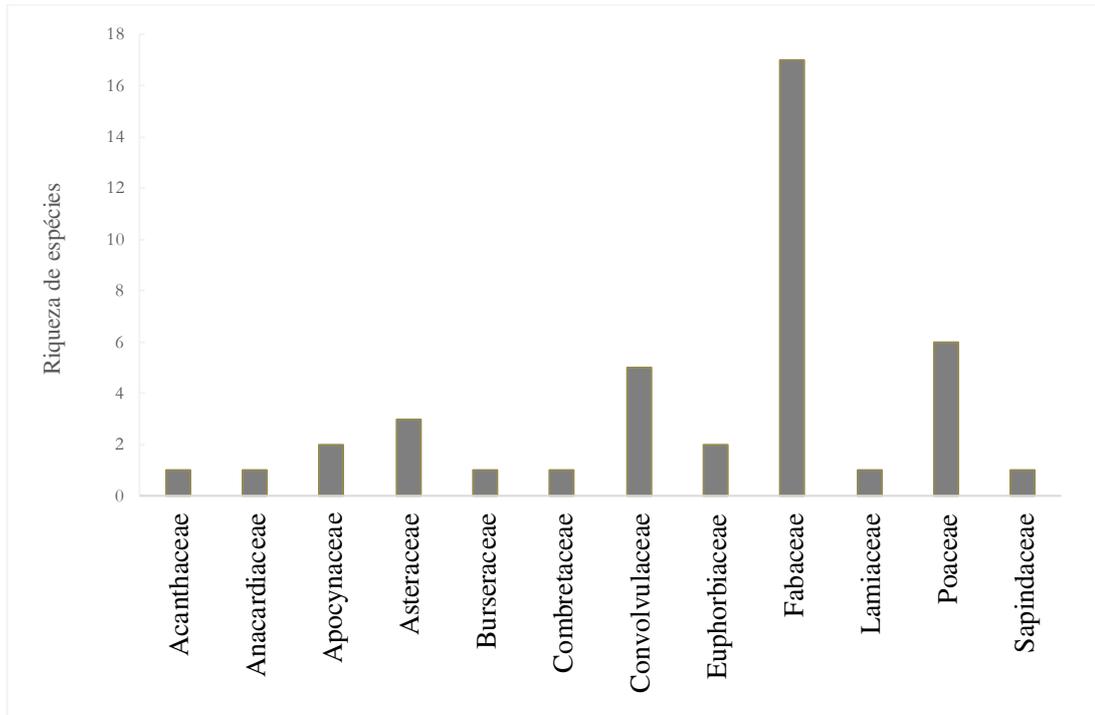
Figura 2 – Exemplos de frutos e sementes das espécies encontradas nas três áreas de caatinga



Legenda: A – *Astronium urundeuva*; B – *Andropogon gayanus*; C – *Delilia biflora*; D – *Mimosa caesalpiniiifolia*; E – *Commiphora leptophloeos*; F – *Mesosphaerum suaveolens*; G – *Cardiospermum corindum*; H – *Aspidosperma pyriformium*. Fotos de Mychelle de S. Fernandes.

Houve um maior número de espécies das famílias Fabaceae, Poaceae, Convolvulaceae e Asteraceae (Figura 3). O destaque da família das leguminosas (17 spp.) dentre as sementes dispersas reflete a riqueza e abundância deste grupo em áreas de florestas tropicais sazonalmente secas (PENNINGTON; LAVIN; OLIVEIRA-FILHO, 2009). Na Caatinga, a família Fabaceae aparece como maior representante dos grupos vegetais, com mais de 86 gêneros e 320 espécies ocorrendo na região (QUEIROZ, 2009). Esse padrão de dominância das leguminosas é comum até mesmo em áreas antropizadas e em sucessão secundária, como pode ser percebido através de alguns trabalhos (DE CARVALHO *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2012).

Figura 3 – Riqueza de espécies por família na chuva de sementes das áreas estudadas



As leguminosas são consideradas um grupo monofilético e apresentam características não-moleculares que reforçam a monofilia, como por exemplo a formação dos frutos (QUEIROZ, 2009). Na Caatinga elas apresentam, com mais frequência, frutos do tipo legume, seco e deiscente, que abriga uma ou mais sementes, e se abre no momento da dispersão. O processo da dispersão entre as espécies de Fabaceae ocorre principalmente por forma autocórica (CÓRDULA; MORIM; ALVES, 2014), mas também pode ser realizada de diferentes formas, a depender das características dos diásporos. Por exemplo, a *Amburana cearensis*, conhecida popularmente como imburana-de-cheiro, possui um fruto do tipo legume, com o endocarpo desenvolvido em forma de ala, que propicia a dispersão da semente pelo vento, sendo caracterizada como uma espécie anemocórica (CUNHA; FERREIRA, 2003; SELEME, 2024). Além disso, de modo geral, espécies da família possuem sementes com características morfológicas e de germinação que indicam seu potencial como pioneiras em áreas de restauração (LIMA, S. P.; BRITO, 2022).

Após Fabaceae, as famílias que tiveram maior riqueza foram Poaceae (6 *spp.*) e Convolvulaceae (5 *spp.*). Em relação à família das gramíneas, é comum que ela esteja de forma expressiva entre a composição de áreas de caatinga (DE CARVALHO *et al.*, 2022; SILVA;

TAVARES; CORTEZ, 2012). Isto ocorre também ao analisar a chuva e o banco de sementes (LIMA *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2020a). As gramíneas apresentam grande importância ecológica, com riqueza e abundância acentuadas na Caatinga, e econômica, tendo em vista que são bastante utilizadas na implementação de pastagens para fins agrícolas. Exemplo disso é o capim-gambá (*Andropogon gayanus*), que tem origem africana, e bastante utilizado para compor áreas de cultivo animal, mas tem grande potencial invasor, com alta produção de sementes e resistência às mudanças ambientais (MUSSO *et al.*, 2019). No presente estudo, inclusive, mesmo tendo sido plantado apenas na área de Caatinga com Pastagem, o capim-gambá (*A. gayanus*), foi encontrado, de forma dominante (abundância), nas demais áreas estudadas.

Convolvulaceae também é considerada uma família monofilética com significativa ocorrência no Brasil e, especificamente, na Caatinga, com aproximadamente 140 espécies registradas (SANTOS, D. *et al.*, 2020). A família foi representada na chuva de sementes unicamente pelo gênero *Ipomea*, o qual aparece como mais frequente entre os estudos de composição de áreas de caatinga (BANDEIRA *et al.*, 2019; JÚNIOR; BURIL; ALVES, 2014), até mesmo ao analisar o banco de sementes de áreas degradadas (DUTRA JÚNIOR *et al.*, 2021). As convolvuláceas geralmente apresentam frutos do tipo cápsula, com a média de quatro sementes, e tem a síndrome de dispersão autocórica (BANDEIRA *et al.*, 2019), seguindo, assim, um padrão recorrente da vegetação da Caatinga, tendo em vista que a autocoria é a síndrome de dispersão mais comum em áreas de caatinga (CARVALHO *et al.*, 2022; MEIADO *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2013). Outra síndrome de dispersão significativa em áreas de florestas tropicais sazonalmente secas e em áreas da Caatinga (OLIVEIRA, A. C. P. *et al.*, 2020; VIEIRA; SCARIOT, 2006) é a anemocoria, ou seja, a dispersão pelo vento. Este vetor é o principal meio de dispersão entre as espécies da família Asteraceae, a qual também aparece de forma expressiva nos estudos florísticos e fitossociológicos de caatinga (AMORIM; BAUTISTA, 2016; ANDRADE *et al.*, 2009; SOUSA *et al.*, 2021), e, aqui, esteve representada na chuva de sementes com três espécies.

Cabe destacar também a ocorrência da espécie *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. nas três áreas de estudo. A aroeira-do-sertão (*A. urundeuva*) está entre as espécies consideradas com alto risco de extinção, com sua população fragmentada e em forte declínio nos últimos anos (NASCIMENTO *et al.*, 2022). Embora a espécie possua um fruto/semente de formato globoso e com um cálice persistente formado por sépalas, o qual funciona como uma estrutura de alas que auxiliam na dispersão pelo vento, o que somado ao tamanho dos diásporos e a altura dos indivíduos da espécie, contribui para que dispersão alcance longas distâncias, sua

conservação tem sido comprometida devido ao uso intenso de sua madeira (NASCIMENTO *et al.*, 2022). Mesmo com a chegada das sementes da aroeira nas áreas de pastagem e raleamento, nas quais encontra-se uma expressiva camada de vegetação herbácea, experimentos indicam que a cobertura herbácea não favorece o estabelecimento de sementes de *A. urundeuva* (FRANCO; PATERNO; GANADE, 2022), reforçando, assim, que a análise da chuva de sementes é importante para avaliar a chegada de dos diásporos nas diferentes áreas, mas é preciso complementar os estudos com outras abordagens, para que se possa compreender a restauração de áreas degradadas de forma mais próxima da realidade.

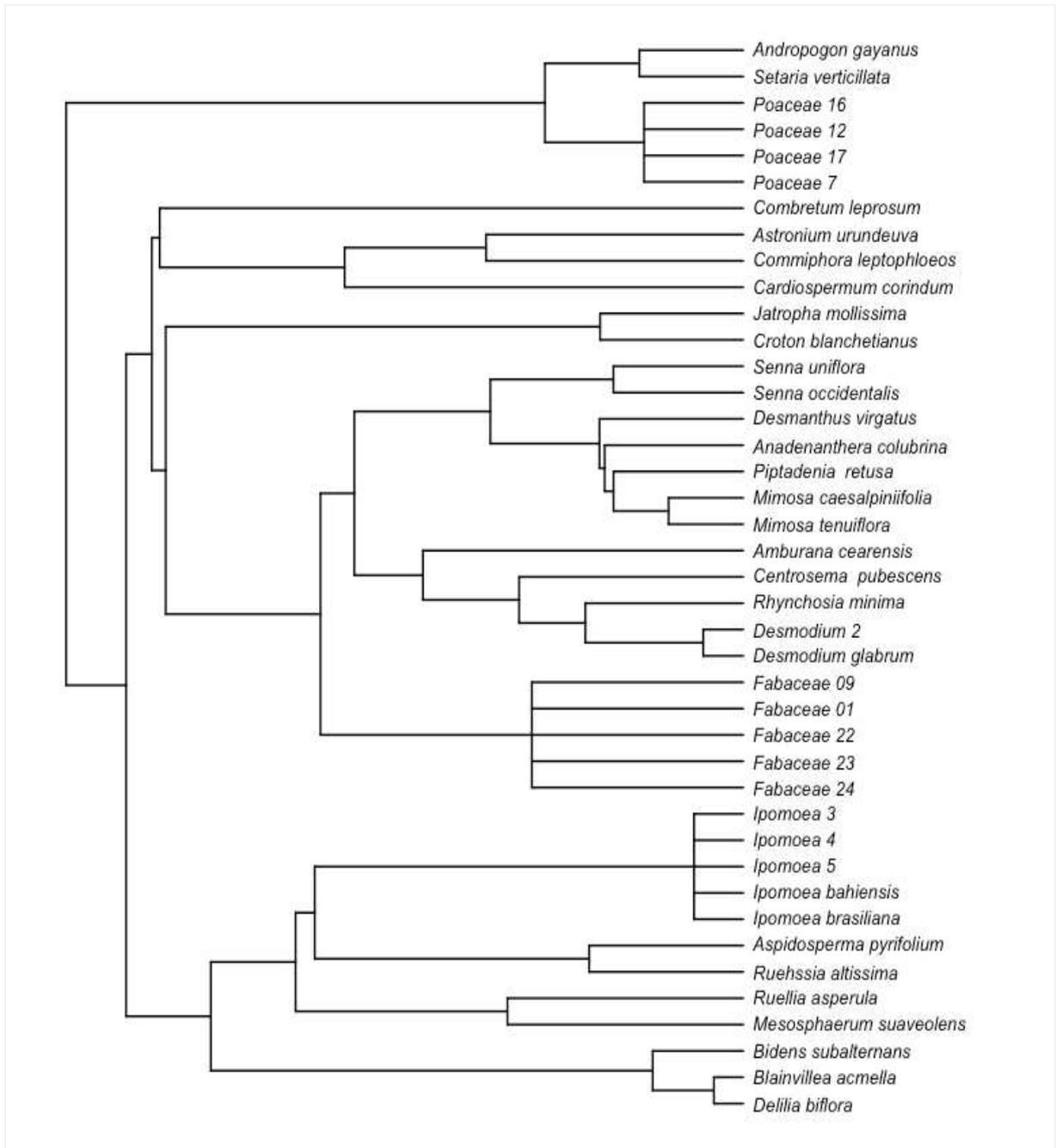
Por fim, ressalta-se que a avaliação da chuva de sementes indicar tendências importantes acerca do efeito das atividades humanas, do padrão frente aos eventos de precipitação ou a ausência desta, e outros processos que envolvem diretamente ou indiretamente as comunidades vegetais, porém, estudos de curtos períodos não refletem completamente a riqueza e a composição da vegetação adulta e da flora regional (DE PAULA *et al.*, 2023).

Efeitos dos manejos e da sazonalidade climática sobre a diversidade filogenética da dispersão de sementes

A partir da identificação da composição da chuva de sementes das três áreas estudadas, foi elaborada uma filogenia base (Figura 4), a qual permitiu o cálculo das medidas de diversidade filogenética, bem como confirmar as proximidades evolutivas entre as espécies ocorrentes no local de estudo. Isto fica evidente ao observar que as espécies da mesma família ficaram agrupadas, mas também ficaram próximas aos representantes de outras famílias que fazem parte do mesmo grupo filogenético. Exemplo disso é a proximidade clara entre *A. urundeuva*, *C. leptophloeos* e *C. corindum*, que pertencem a famílias distintas, mas estão juntos na ordem Sapindales, além de compor o grupo das Malvídeas junto com *C. leprosum* (APG IV, 2016). Além desse exemplo, a filogenia também evidencia a proximidade dos ramos de *R. asperula* e *M. suaveolens* que fazem parte da mesma ordem, Lamiales, que pertence ao clado das Asterídeas, o que explica sua aproximação com as espécies de Convolvulaceae, Apocynaceae e Asteraceae, que compõem o mesmo grupo (APG IV, 2016).

As proximidades destacadas revelam o compartilhamento de caracteres entre os grupos (BACHELIER; ENDRESS, 2009), mas não necessariamente estes caracteres estão associados aos frutos e sementes e, conseqüentemente, à dispersão das sementes. Isto porque o processo de dispersão das sementes envolve múltiplos aspectos, os quais refletem processos evolutivos ao longo do tempo e do espaço (LEVIN *et al.*, 2003). Então, mesmo encontrando grupos com tipos de frutos e sementes típicos, as formas de dispersão variam a depender a história evolutiva das espécies, o local de ocorrência e as condições ambientais locais. Em espécies de Fabaceae, por exemplo, pode-se encontrar espécies zoocóricas, autocóricas e anemocóricas, mesmo dentro da mesma família e com um tipo de fruto tão comum (SILVA *et al.*, 2013)

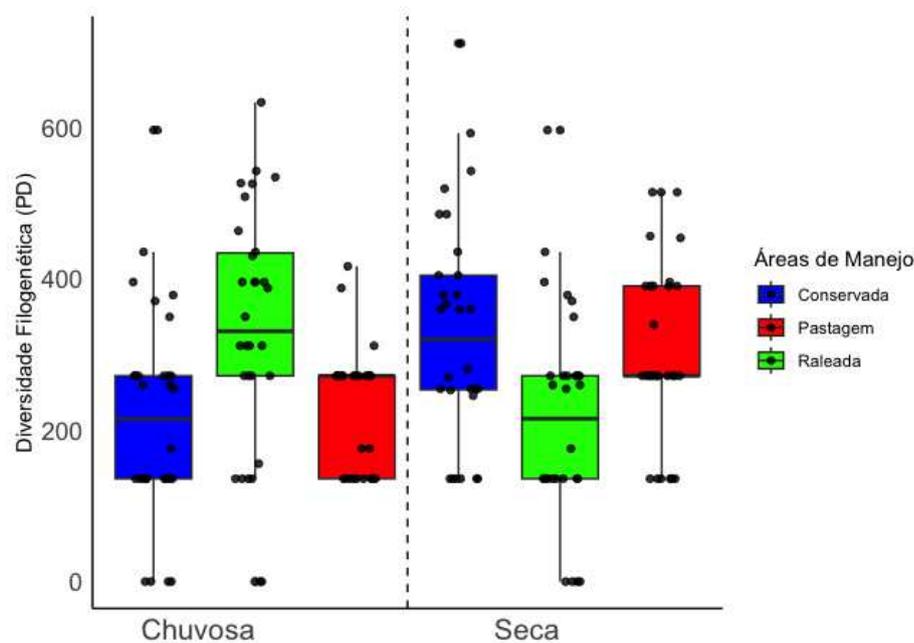
Figura 4 – Árvore filogenética com as espécies identificadas na chuva de sementes das três áreas de caatinga estudadas.



Ao considerar a diversidade filogenética das sementes nos diferentes manejos e nas estações seca e chuvosa, o modelo revelou uma interação significativa entre o tipo de manejo e a estação ($p < 0.001$), com variações na diversidade filogenética entre os cenários testados (Figura 5). Foi observado que durante a estação chuvosa, a diversidade filogenética na área raleada foi significativamente mais elevada do que na área conservada ($p < 0.001$), sugerindo

que práticas de manejo raleado podem favorecer uma maior diversidade de linhagens evolutivas. Não se observou diferença significativa entre as áreas de pastagem e conservada durante a mesma estação ($p > 0.05$), indicando que no momento deste estudo, a pastagem não apresentou distinção significativa na diversidade filogenética comparada a área conservada. Com a transição para a estação seca, todas as áreas mostraram um aumento na PD. No entanto, a interação entre a estação seca e o manejo raleado resultou em uma redução comparativa na diversidade filogenética ($p < 0,001$), indicando que os efeitos da estação seca sobre a PD podem ser modulados pelo tipo de manejo implementado. As comparações múltiplas entre manejos e estações, ressaltaram que as maiores diferenças na PD ocorreram entre a área raleada na estação seca e a área conservada na estação chuvosa ($p < 0.001$). As diferenças entre a estação chuvosa e seca na área conservada também foram marcantes, refletindo um padrão sazonal claro, no qual a estação seca promove um aumento na diversidade filogenética ($p < 0.01$).

Figura 5 – Variações de Diversidade Filogenética (PD) entre as áreas de Manejo e entre Estações Climáticas (Seca e Chuva) na Bacia Experimental de Iguatu/Ceará



As alterações ambientais, tais como o aumento da temperatura e a diminuição de precipitação, tem forte impacto sobre as espécies e comunidades, gerando um aumento na perda de biodiversidade no mundo todo (HABIBULLAH *et al.*, 2022). Mesmo em um ambiente como o de Caatinga, que engloba espécies com forte tolerância à baixa disponibilidade de água, é

possível encontrar indicativos de que a precipitação, ou a ausência desta, desempenha uma influência significativa sobre os processos. Esses efeitos podem ser percebidos também nos parâmetros de diversidade filogenética. Nossos resultados, por exemplo, demonstram que a dispersão de sementes tem diferentes padrões de diversidade a depender da estação do ano. Na área de Caatinga Raleada (CR) a diversidade filogenética (PD) foi significativamente maior na estação chuvosa, seguindo o padrão esperado de que a precipitação é um forte preditor de processos em áreas de florestas tropicais sazonalmente seca (RITO *et al.*, 2021). Além disso, este padrão pode estar relacionado a padrões relatados acerca da fenologia de plantas de caatinga, dentre as quais muitas tendem a dispersar suas sementes no início das chuvas, quando o ambiente passa a ser mais favorável para germinação e estabelecimento (DANTAS *et al.*, 2014; MEIADO *et al.*, 2012), sendo esta característica comum a diferentes grupos filogenéticos.

Mesmo se tratando de uma área modificada, a Caatinga Raleada (CR) apresentou dados significativos de diversidade, o que pode estar relacionado ao argumento da Hipótese de Distúrbio Intermediário (HDI), na qual defende-se que níveis intermediários do distúrbio (aqui, considerando o tipo de manejo) propicia uma maior diversidade tendo em vista que ainda não há dominância de algumas espécies, o que é presenciado principalmente em áreas de sucessão mais tardia e com equilíbrio já estabelecido (ARAÚJO; SANTOS; COELHO, 2016).

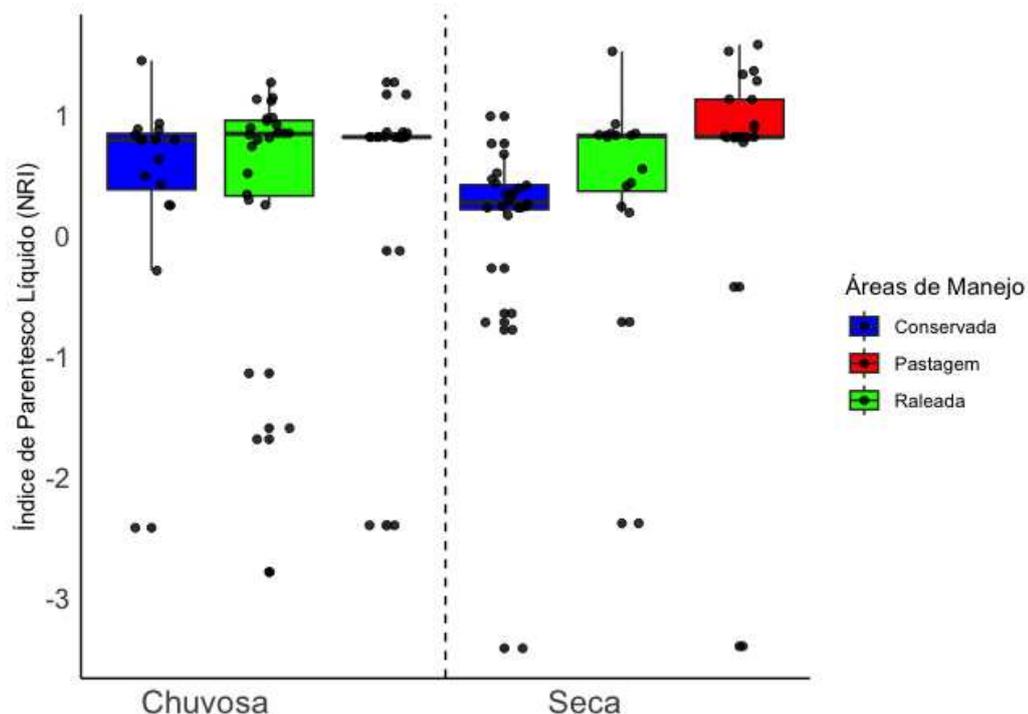
Fica evidente que, mesmo com interferências consideradas medianas, como a retirada seletiva de indivíduos no manejo de raleamento, os padrões de diversidade filogenética se apresentam de forma distinta diante das modificações realizadas por meio de atividades antrópicas, tendo em vista que a Caatinga Conservada (CC) apresentou uma tendência significativamente oposta a da área de Raleamento, com maior dispersão filogenética entre as espécies de sementes que caíram durante a estação mais seca do ano. O mesmo ocorre quando se observa os resultados da área de pastagem. Tal padrão pode indicar que na área conservada, há uma maior diversidade de linhagens que dispersam no período seco do que no chuvoso. Sem levar em conta os aspectos filogenéticos, alguns estudos acerca da chuva de sementes em áreas de caatinga relatam maiores métricas (e.g. riqueza, abundância, diversidade) durante a estação seca (DE PAULA *et al.*, 2023; SOUZA, J. T., 2010) tendência esta que frequentemente é associada a expressiva ocorrência da síndrome de dispersão anemocórica, a qual é beneficiada pelos ventos nos meses secos (LIMA, A. B.; RODAL; SILVA, 2008).

É importante destacar que os resultados indicam que não há diferenças significativas entre os valores de diversidade filogenética, nas duas estações, entre as áreas de Caatinga com Pastagem (CP) e Caatinga Conservada (CC). Esses indicativos podem revelar uma possível contribuição da área conservada na chuva de sementes que cai na área de

pastagem, como já possível observar em outros estudos, como o escrito por Souza *et al.*, 2014, no qual é relatado que a proximidade de fragmentos degradados a áreas conservadas favorece a chegada de sementes de espécies já estabelecidas nos locais de sucessão avançada.

Além da diversidade filogenética, também foi avaliado o impacto do manejo da terra e das variações sazonais no Índice de parentesco Líquido (NRI; Figura 6). No modelo para o NRI, o efeito fixo do intercepto, que corresponde à área conservada durante a estação chuvosa, foi significativamente diferente de zero ($t = 2.159$, $p < 0.05$), sugerindo que o parentesco médio entre espécies neste cenário é substancialmente diferente do que seria esperado por uma distribuição aleatória. Contudo, não se observaram diferenças significativas entre as áreas de manejo nem entre as estações, indicando que, dentro das condições do presente estudo, as práticas de manejo e as variações sazonais não afetaram o grau de parentesco relativo entre as espécies. De forma semelhante, as análises de comparação múltipla não revelaram diferenças significativas no NRI entre nenhum dos pares de manejo e estação, reforçando a noção de que o manejo florestal e as variações sazonais não exerceram um efeito substancial sobre o parentesco relativo dentro das comunidades estudadas.

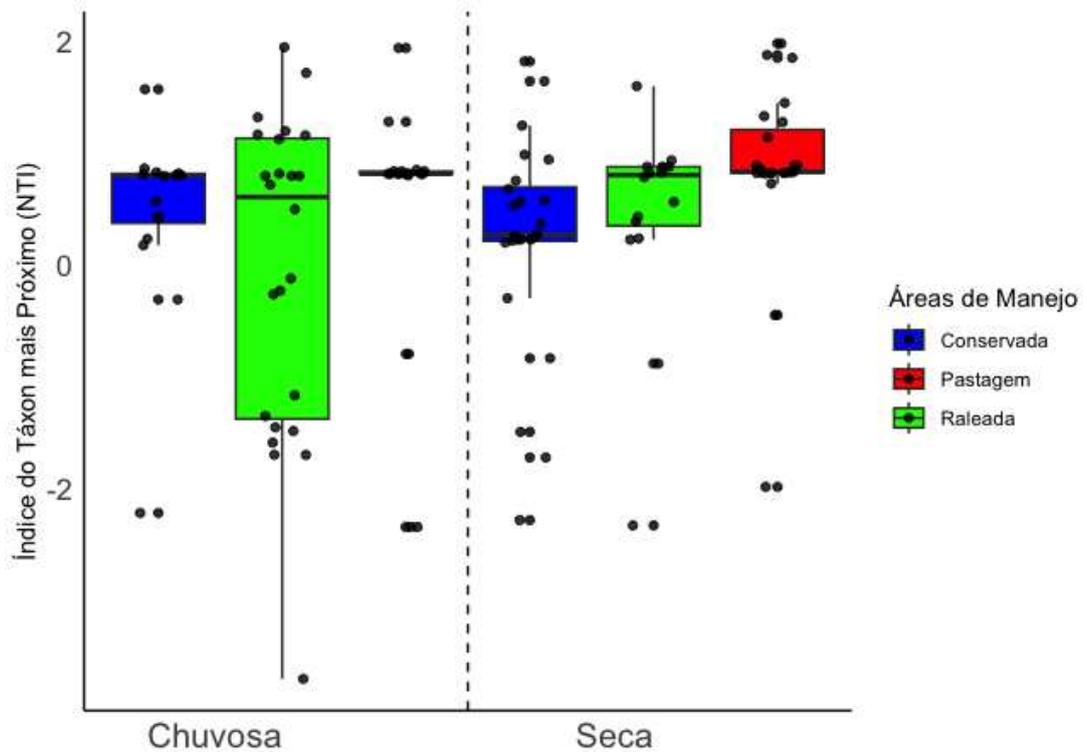
Figura 6 – Valores do Índice de Parentesco Líquido (NRI) entre as áreas de Manejo e entre Estações Climáticas (Seca e Chuva) na Bacia Experimental de Iguatu/Ceará.



Dessa forma, a organização de agrupamento ocorre de forma aleatória ou por influência estocástica de variáveis não consideradas neste estudo. Ao investigar a diversidade filogenética em outra floresta tropical sazonalmente seca, Arroyo-Rodríguez *et al.* (2012) identificaram que os valores padronizados de MPD não eram influenciados pela fragmentação da paisagem. O mesmo foi relatado ao considerar diferentes estágios de sucessão em áreas de Caatinga, como pode ser confirmado através dos resultados apresentados por Barros *et al.* (2021). Esses padrões indicam que as variáveis avaliadas não inferiram sobre a diversidade dos clados mais basais da árvore filogenética.

Assim como no NRI, o intercepto do modelo, representando a área conservada na estação chuvosa, mostrou uma tendência de um NTI elevado, indicando um parentesco mais próximo entre as espécies do que o esperado aleatoriamente, embora não tenha sido estatisticamente significativo ($t = 1.889$, $p = 0.0614$). Este resultado sugere uma tendência para o agrupamento filogenético na área conservada durante a estação chuvosa, embora as evidências não sejam suficientemente fortes para conclusões definitivas. Nas comparações múltiplas, uma diferença significativa foi observada entre a área raleada na estação chuvosa e a área pastagem na estação seca ($t = -2.988$, $p < 0.05$), indicando uma maior proximidade filogenética entre as espécies na área raleada durante a estação chuvosa em comparação com a área de pastagem na estação seca (Figura 7). Este resultado pode refletir a presença de um conjunto de espécies mais relacionadas na área raleada durante períodos chuvosos, potencialmente devido a condições ambientais específicas que favorecem clados particulares.

Figura 7 – Valores do Índice do Táxon mais Próximo (NTI) entre as áreas de Manejo e entre Estações Climáticas (Seca e Chuva) na Bacia Experimental de Iguatu/Ceará.



Assim, percebe-se que a prática de manejo e sazonalidade foram preditoras sobre a diversidade entre os clados terminais (e.g. espécies, gêneros), o que reforça as tendências de outros estudos que indicam que o declínio de diversidade filogenética causado por variáveis abióticas é percebido também no nível de espécie (LI; MILLER; HARRISON, 2019). No contexto da Caatinga com Pastagem, o padrão de agrupamento pode ser entendido ao identificar que a maior parte das espécies dispersas nesta área estão distribuídas entre o grupo das gramíneas (Poaceae) e um grupo de espécies consideradas pioneiras, tais como *C. blanchetianus* e *J. mollissima* (Euphorbiaceae), *M. tenuiflora* e *P. retusa* (Fabaceae; (LIMA; BRITO, 2022; OLIVEIRA, P. T. B. *et al.*, 2009; PEREIRA *et al.*, 2001), sendo as duas últimas famílias componentes do mesmo clado filogenético (APG IV, 2016).

De modo geral, os resultados aqui apresentados indicam que há uma influência dos manejos agropastoris e da sazonalidade climática nos padrões de diversidade filogenética encontrada na chuva de sementes e que, poderá refletir nas variáveis que foram consideradas como componentes filogenéticos seguidos, como a formação do banco de sementes e a

restauração das áreas de caatinga modificadas. Com isso, reforça-se a importância do estudo da filogenia e da diversidade filogenética nos diferentes contextos e considerando diferentes elementos. No caso dos diásporos, a investigação da diversidade filogenética pode relevar além da organização frente aos impactos, mas também a história evolutiva do desenvolvimento das diferentes estratégias de dispersão ao longo do tempo e entre as plantas com flores, podendo indicar ou não uma evolução convergente, por exemplo, de uma síndrome de dispersão (LENGYEL *et al.*, 2010).

Cabe ressaltar que a diminuição de diversidade filogenética, ou seja, comunidades com agrupamento dos componentes filogenéticos, pode indicar também uma diminuição de diversidade funcional, tendo em vista que características das espécies que representam ou desempenham um papel funcional estão intrinsecamente associadas à história evolutiva do grupo, e, conseqüentemente, à diversidade filogenética (OWEN *et al.*, 2019). E, isto, implica também no potencial de restauração de áreas degradadas, pois, os estudos indicam que uma maior diversidade filogenética, ou seja, uma comunidade composta por espécies distantes filogeneticamente, aumenta as chances de se encontrar espécies ou clados com maior potencial evolutivo e com maior capacidade de se adaptar às mudanças ambientais (WINTER; DEVICTOR; SCHWEIGER, 2013).

Na literatura atual, com avanço das pesquisas filogenéticas, encontra-se estudos direcionados a compreender a influência da filogenia em diferentes aspectos da reprodução das plantas (GIORIA *et al.*, 2020; MOLES *et al.*, 2005; VALENTA *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2016). A presente pesquisa colabora com este conhecimento ao incorporar outro aspecto importante na reprodução das plantas: a dispersão das sementes. A reconhecida importância deste processo para a sucessão em áreas degradadas é o que fundamenta diversas pesquisas que buscam compreender melhor como ocorre a dispersão das sementes em áreas de florestas modificadas (ARROYO-RODRÍGUEZ *et al.*, 2017). Com as tendências encontradas aqui, acrescenta-se a este cenário a necessidade de considerar a diversidade filogenética representada através da chuva de sementes, a qual influenciará a composição e a organização estrutural das comunidades em restauração (QUESADA *et al.*, 2009).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa indicou padrões de composição de espécies presentes nas áreas de manejo e na área de caatinga conservada, bem como revelou a influências dos manejos e da sazonalidade climática sobre as tendências de diversidade filogenética da assembleia de espécies da chuva de sementes na Caatinga. Os resultados aqui descritos e discutidos complementam as investigações de dispersão de sementes e, sobretudo, de restauração de áreas de caatinga, tendo em vista que ampliam o conhecimento para dados filogenéticos das sementes que estão compondo os bancos de áreas em restauração e, conseqüentemente, irão contribuir para reestabelecimento da vegetação.

Os dados indicam que a diversidade filogenética e as distâncias médias de parentesco apresentam padrões distintos a depender do manejo implementado e da estação climática (seca e chuvosa). Dessa forma, levando em consideração as práticas frequentes de manejos agropastoris e da sazonalidade característica da Caatinga, reforça-se a importância de considerar tais variáveis ao discutir conservação e restauração na Caatinga.

A pesquisa aqui apresentada sugere que, além dos já conhecidos impactos dos manejos agropastoris e a influência da precipitação, é preciso considerar métricas filogenéticas e evolutivas para compreender os diferentes cenários de forma mais aprofundada. Dessa forma, espera-se que este trabalho forneça insights para as futuras pesquisas, de modo a explorar cada vez mais a relação da diversidade filogenética e a dispersão de sementes, e assim contribuir para os projetos de restauração na Caatinga e em outros locais.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, V. O.; BAUTISTA, H. P. Asteraceae da Ecorregião Raso da Catarina, Bahia, Brasil. **Rodriguésia**, vol. 67, no. 3, p. 785–794, 2016.
- ANDRADE, M. V.; ANDRADE, A. P.; SILVA, D. S.; BRUNO, R. L. A.; GUEDES, D. S. Floristic Survey and Structures Phytosociological of the Herbaceous Extract and Subarbutive in Areas of Caatinga in the Cariri Paraiba, Brazil. **Revista Caatinga**, vol. 22, no. 1, p. 229–237, 2009.
- APG IV, T. A. P. G. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, vol. 181, no. 1, p. 1–20, 2016.
- ARAÚJO, F. C.; SANTOS, R. M.; COELHO, P. A. O papel do distúrbio na regeneração natural dos ecossistemas florestais. **Revista de Ciências Agroambientais**, vol. 14, no. 1, p. 131–142, 2016.
- ARAUJO, H. F. P.; CANASSA, N. F.; MACHADO, C. C. C.; TABARELLI, M. Human disturbance is the major driver of vegetation changes in the Caatinga dry forest region. **Scientific Reports**, vol. 13, no. 1, p. 1–11, 2023.
- ARNAN, X.; ARCOVERDE, G. B.; PIE, M. R.; RIBEIRO-NETO, J. D.; LEAL, I. R. Increased anthropogenic disturbance and aridity reduce phylogenetic and functional diversity of ant communities in Caatinga dry forest. **Science of the Total Environment**, vol. 631–632, p. 429–438, 2018.
- ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; CAVENDER-BARES, J.; ESCOBAR, F.; MELO, F. P. L.; TABARELLI, M.; SANTOS, B. A. Maintenance of tree phylogenetic diversity in a highly fragmented rain forest. **Journal of Ecology**, vol. 100, no. 3, p. 702–711, 2012.
- ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; MELO, F. P. L.; MARTÍNEZ-RAMOS, M.; BONGERS, F.; CHAZDON, R. L.; MEAVE, J. A.; NORDEN, N.; SANTOS, B. A.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Multiple successional pathways in human-modified tropical landscapes: new insights from forest succession, forest fragmentation and landscape ecology research. **Biological Reviews**, vol. 92, no. 1, p. 326–340, 2017.
- BACHELIER, J. B.; ENDRESS, P. K. Comparative floral morphology and anatomy of Anacardiaceae and Burseraceae (Sapindales), with a special focus on gynoecium structure and evolution. **Botanical Journal of the Linnean Society**, vol. 159, no. 4, p. 499–571, 2009.
- BANDEIRA, Á. N. T.; BAUTISTA, H. P.; BURIL, M. T.; MELO, J. I. M. Convolvulaceae no Parque Ecológico Engenheiro Ávidos, Alto Sertão Paraibano, Nordeste do Brasil. **Rodriguésia**, vol. 70, 2019.
- BARROS, M. F.; RIBEIRO, E. M. S.; VANDERLEI, R. S.; DE PAULA, A. S.; SILVA, A.

- B.; WIRTH, R.; CIANCIARUSO, M. V.; TABARELLI, M. Resprouting drives successional pathways and the resilience of Caatinga dry forest in human-modified landscapes. **Forest Ecology and Management**, vol. 482, no. December 2020, 2021.
- BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. **Journal of Statistical Software**, vol. 67, no. 1, p. 1–48, 2015.
- BELCIK, M.; LENDA, M.; AMANO, T.; SKÓRKA, P. Different response of the taxonomic, phylogenetic and functional diversity of birds to forest fragmentation. **Scientific Reports**, vol. 10, no. 1, p. 1–11, 2020.
- BRASIL, J. B.; ANDRADE, E. M. de; PALÁCIO, H. A. de Q.; MEDEIROS, P. H. A.; SANTOS, J. C. N. dos. Characteristics of precipitation and the process of interception in a seasonally dry tropical forest. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, vol. 19, no. November, p. 307–317, 2018.
- BROOKS, T. M.; CUTTELOD, A.; FAITH, D. P.; GARCIA-MORENO, J.; LANGHAMMER, P.; PÉREZ-ESPONA, S. Why and how might genetic and phylogenetic diversity be reflected in the identification of key biodiversity areas? **Philosophical Transactions R. Soc. B**, vol. 370, 2015.
- CALAÇA, A. M.; GRELE, C. E. V. Review on studies conducted with functional diversity. **Oecologia Australis**, vol. 20, no. 4, p. 401–416, 2016.
- CAMARGO, P. H. S. A.; RODRIGUES, S. B. M.; PIRATELLI, A. J.; OLIVEIRA, P. S.; CHRISTIANINI, A. V. Interhabitat variation in diplochory: Seed dispersal effectiveness by birds and ants differs between tropical forest and savanna. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, vol. 38, no. April, p. 48–57, 2019.
- CAMPOS, D. A.; ANDRADE, E. M.; CASTANHO, A. D. A.; FEITOSA, R. C.; PALÁCIO, H. Q. A. Biomass dynamics in a fragment of brazilian tropical forest (Caatinga) over consecutive dry years. **Applied Sciences (Switzerland)**, vol. 10, no. 21, p. 1–12, 2020.
- CARDOSO, D.; MOONLIGHT, P. W.; RAMOS, G.; OATLEY, G.; DUDLEY, C.; GAGNON, E.; QUEIROZ, L. P. de; PENNINGTON, R. T.; SÄRKINEN, T. E. Defining Biologically Meaningful Biomes Through Floristic, Functional, and Phylogenetic Data. **Frontiers in Ecology and Evolution**, vol. 9, no. December, p. 1–16, 2021.
- CARTA, A.; GARGANO, D.; ROSSI, G.; BACCHETTA, G.; FENU, G.; MONTAGNANI, C.; ABELI, T.; PERUZZI, L.; ORSENIGO, S. Phylogenetically informed spatial planning as a tool to prioritise areas for threatened plant conservation within a Mediterranean biodiversity hotspot. **Science of the Total Environment**, vol. 665, p. 1046–1052, 2019.
- CARVALHO, J. N.; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z.; RODRIGUES, R. G.; FONTANA, A. P.; PIFANO, D. S. Native Caatinga Species for the Recovery of Degraded Areas in the Brazilian Semiarid Region. **Revista Arvore**, vol. 46, no. 5, p. 1–12, 2022.

CARVALHO, P. E. R. E. arbóreas brasileiras. Imburana-de-Espinho (*Commiphora leptophloeos*). **Embrapa**, p. 1–8, 2009.

CHAPMAN, P. M.; TOBIAS, J. A.; EDWARDS, D. P.; DAVIES, R. G. Contrasting impacts of land-use change on phylogenetic and functional diversity of tropical forest birds. **Journal of Applied Ecology**, vol. 55, no. 4, p. 1604–1614, 2018.

CHEN, S. C.; POSCHLOD, P.; ANTONELLI, A.; LIU, U.; DICKIE, J. B. Trade-off between seed dispersal in space and time. **Ecology Letters**, vol. 23, no. 11, p. 1635–1642, 2020.

CHEN, S.; OUYANG, Z.; XU, W.; XIAO, Y. A review of beta diversity studies. **Biodiversity Science**, vol. 18, no. 4, p. 323, 2010.

CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. Phylogenetic and functional diversities: New approaches to community Ecology. **Biota Neotropica**, vol. 9, no. 3, p. 93–103, 2009.

CÓRDULA, E.; MORIM, M. P.; ALVES, M. Morfologia de frutos e sementes de Fabaceae ocorrentes em uma área prioritária para a conservação da Caatinga em Pernambuco, Brasil. **Rodriguésia**, vol. 65, no. 2, p. 505–516, 2014.

CORTÉS-FLORES, J.; CORNEJO-TENORIO, G.; URREA-GALEANO, L. A.; ANDRESEN, E.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A.; IBARRA-MANRÍQUEZ, G. Phylogeny, fruit traits, and ecological correlates of fruiting phenology in a Neotropical dry forest. **Oecologia**, vol. 189, no. 1, p. 159–169, 2019.

CUNHA, M. do C. L.; FERREIRA, R. A. Aspectos morfológicos da semente e do desenvolvimento da planta jovem de *Amburana cearensis* (Arr. Cam.) A.C. Smith - Cumaru - Leguminosae Papilionoideae. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 25, no. 2, p. 89–96, 2003.

DAINESE, M.; LEPŠ, J.; DE BELLO, F. Different effects of elevation, habitat fragmentation and grazing management on the functional, phylogenetic and taxonomic structure of mountain grasslands. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, vol. 17, no. 1, p. 44–53, 2015.

DANTAS, B. F.; MATIAS, J. R.; MENDES, R. B.; RIBEIRO, R. C. “As sementes da Caatinga são ...”: um levantamento das características das sementes da Caatinga Material e Métodos. **Informativo Abrates**, vol. 24, no. 3, p. 1–6, 2014.

DE PAULA, A. S.; SFAIR, J. C.; TRINDADE, D. P. F.; RITO, K. F.; TABARELLI, M.; BARROS, M. F. The role of seed rain and soil seed bank in the regeneration of a Caatinga dry forest following slash-and-burn agriculture. **Journal of Arid Environments**, vol. 211, no. July 2022, 2023.

DEMINICIS, B. B.; VIEIRA, H. D.; JARDIM, J. G.; PÁDUA, F. T.; CHAMBELA NETO, A. Dispersão natural de sementes: importância, classificação e sua dinâmica nas pastagens tropicais. **Archivos de Zootecnia**, vol. 58, p. 35–58, 2009.

- DUTRA JÚNIOR, M. P.; BAKKE, I. A.; COSTA, E. M. da; AZEVEDO, S. R. V.; ROCHA, I. C. A.; FERNANDO, E. M. P. Estudo da composição florística do banco de sementes em área de caatinga em processo de recuperação. **Research, Society and Development**, vol. 10, no. 11, p. e139101119507, 2021.
- FAITH, D. P. Conservation evaluation and phylogenetic diversity. **Biological Conservation**, vol. 1, p. 1–10, 1992.
- FENG, G.; SVENNING, J. C.; MI, X.; JIA, Q.; RAO, M.; REN, H.; BEBBER, D. P.; MA, K. Anthropogenic disturbance shapes phylogenetic and functional tree community structure in a subtropical forest. **Forest Ecology and Management**, vol. 313, p. 188–198, 2014.
- FRANCO, J. R. A.; PATERNO, G. B.; GANADE, G. The influence of herbaceous vegetation on the colonization of native and invasive trees: consequences for semiarid forest restoration. **Restoration Ecology**, vol. 30, no. 5, p. 1–10, 2022
- GIORIA, M.; PYŠEK, P.; BASKIN, C. C.; CARTA, A. Phylogenetic relatedness mediates persistence and density of soil seed banks. **Journal of Ecology**, vol. 108, no. 5, p. 2121–2131, 2020.
- GONÇALVES, F. B.; FERREIRA, R. A.; GAMA, D. C.; DE FREITAS, B. A. L. Chuva de sementes em remanescente de Caatinga, Porto da Folha, Sergipe, Brasil. **Advances in Forestry Science**, vol. 8, no. 1, p. 1279–1290, 2021.
- GRANTHAM, H. S.; DUNCAN, A.; EVANS, T. D.; JONES, K. R.; BEYER, H. L.; SCHUSTER, R.; WALSTON, J.; RAY, J. C.; ROBINSON, J. G.; CALLOW, M.; CLEMENTS, T.; COSTA, H. M.; DEGEMMIS, A.; ELSEN, P. R.; ERVIN, J.; FRANCO, P.; GOLDMAN, E.; GOETZ, S.; HANSEN, A.; ... WATSON, J. E. M. Anthropogenic modification of forests means only 40% of remaining forests have high ecosystem integrity. **Nature Communications**, vol. 11, no. 1, p. 1–10, 2020.
- GRIZ, L. M. S.; MACHADO, I. C. S. Fruiting phenology and seed dispersal syndromes in caatinga, a tropical dry forest in the northeast of Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, vol. 17, no. 2, p. 303–321, 2001.
- HABIBULLAH, M. S.; DIN, B. H.; TAN, S. H.; ZAHID, H. Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence. **Environmental Science and Pollution Research**, vol. 29, no. 1, p. 1073–1086, 2022.
- HOENLE, P. O.; PLOWMAN, N. S.; MATOS-MARAVÍ, P.; BELLO, F.; BISHOP, T. R.; LIBRA, M.; IDIGEL, C.; RIMANDAI, M.; KLIMES, P. Disturbance increases functional diversity but decreases phylogenetic diversity of an arboreal tropical ant community. **Journal of Animal Ecology**, vol. 00, p. 1–16, 2023.
- HOWE, F.; SMALLWOOD, J. Ecology of seed dispersal. **Annual review of ecology and systematics**, , p. 201–228, 1982.

IPECE, I. de P. e E. E. do C. Perfil Municipal - Iguatu, Ceará. 2022.

JAKOVAC, C. C.; JUNQUEIRA, A. B.; CROUZEILLES, R.; PEÑA-CLAROS, M.; MESQUITA, R. C. G.; BONGERS, F. The role of land-use history in driving successional pathways and its implications for the restoration of tropical forests. **Biological Reviews**, vol. 96, no. 4, p. 1114–1134, 2021.

JARA-GUERRERO, A.; GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, D.; ESCUDERO, A.; ESPINOSA, C. I. Chronic Disturbance in a Tropical Dry Forest: Disentangling Direct and Indirect Pathways Behind the Loss of Plant Richness. **Frontiers in Forests and Global Change**, vol. 4, no. September, 2021.

JARDIM, A. M. da R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. D. N.; DA SILVA, M. V.; DOS SANTOS, A.; DA SILVA, J. L. B.; PANDORFI, H.; DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; TEIXEIRA, A. H. de C.; TEODORO, P. E.; DE LIMA, J. L. M. P.; DA SILVA JUNIOR, C. A.; DE SOUZA, L. S. B.; SILVA, E. A.; DA SILVA, T. G. F. Using Remote Sensing to Quantify the Joint Effects of Climate and Land Use/Land Cover Changes on the Caatinga Biome of Northeast Brazilian. **Remote Sensing**, vol. 14, no. 8, p. 1–27, 2022.

JESUS, F. M.; PIVELLO, V. R.; MEIRELLES, S. T.; FRANCO, G. A. D. C.; METZGER, J. P. The importance of landscape structure for seed dispersal in rain forest fragments. **Journal of Vegetation Science**, vol. 23, no. 6, p. 1126–1136, 2012.

JIN, Y.; QIAN, H. U. PhyloMaker: An R package that can generate large phylogenetic trees for plants and animals. **Plant Diversity**, vol. 45, no. 3, p. 347–352, 2023.

JORDANO, P.; GALETTI, M.; PIZO, M. A.; SILVA, W. R. Ligando frugivoria e dispersão de sementes à Biologia da Conservação. **Biologia da Conservação: essências**. [S. l.: s. n.], 2006.

JÚNIOR, G. C. D.; BURIL, M. T.; ALVES, M. Convolvulaceae do Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco, Brasil. **Rodriguésia**, vol. 65, no. 2, p. 425–442, 2014.

KEMBEL, S. W.; COWAN, P. D.; HELMUS, M. R.; CORNWELL, W. K.; MORLON, H.; ACKERLY, D. D.; BLOMBERG, S. P.; WEBB, C. O. Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology. **Bioinformatics**, vol. 26, no. 11, p. 1463–1464, 2010.

KLING, M. M.; MISHLER, B. D.; THORNHILL, A. H.; BALDWIN, B. G.; ACKERLY, D. D. Facets of phylodiversity: Evolutionary diversification, divergence and survival as conservation targets. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, vol. 374, no. 1763, 2019.

KUHLMANN, M.; RIBEIRO, J. F. Evolution of seed dispersal in the Cerrado biome: Ecological and phylogenetic considerations. **Acta Botanica Brasilica**, vol. 30, no. 2, p. 271–282, 2016.

KUZNETSOVA, A.; BROCKHOFF, P. B.; CHRISTENSEN, R. H. B. lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. **Journal of Statistical Software**, vol. 82, no. 13, 2017.

LENGYEL, S.; GOVE, A. D.; LATIMER, A. M.; MAJER, J. D.; DUNN, R. R. Convergent evolution of seed dispersal by ants, and phylogeny and biogeography in flowering plants: A global survey. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, vol. 12, no. 1, p. 43–55, 2010.

LENTH, R. V. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. 2020.

LEVIN, S. A.; MULLER-LANDAU, H. C.; NATHAN, R.; CHAVE, J. The ecology and evolution of seed dispersal: a theoretical perspective. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, vol. 34, p. 575–604, 2003.

LI, D.; MILLER, J. E. D.; HARRISON, S. Climate drives loss of phylogenetic diversity in a grassland community. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, vol. 116, no. 40, p. 19989–19994, 2019.

LIMA, A. B.; RODAL, M. J. N.; SILVA, A. C. B. L. Chuva de sementes em uma área de vegetação de Caatinga no estado de Pernambuco. **Rodriguésia**, vol. 59, no. 4, p. 649–658, 2008.

LIMA, Aurenívia Bonifácio De; JESUS, M.; RODAL, N.; CAROLINA, A.; LINS, B. CHUVA DE SEMENTES EM UMA ÁREA DE VEGETAÇÃO DE CAATINGA NO ESTADO DE PERNAMBUCO. **Rodriguésia**, 2008.

LIMA, S. P.; BRITO, S. F. Morfologia de sementes e da germinação de duas Fabaceae nativas da Caatinga. In: SOUZA, T. J.; BRITO, Y. M. A.; BRITO, H. C. (eds.). **Ciências agrárias e meio ambiente: pesquisa, desafios e inovações tecnológicas**. Campina Grande, PB: Amplla Editora, 2022. p. 79–92.

MAMMOLA, S.; CARMONA, C. P.; GUILLERME, T.; CARDOSO, P. Concepts and applications in functional diversity. **Functional Ecology**, vol. 35, no. 9, p. 1869–1885, 2021.

MEIADO, M. V.; SILVA, F. F. S.; BARBOSA, D. C. A.; SIQUEIRA FILHO, J. A. Diaspores of the caatinga: a review. In: SIQUEIRA-FILHO, J. A. (ed.). **Flora of the Caatingas of the São Francisco**. [S. l.]: Andrea Jakobsson Estúdio, 2012. p. 308–364.

MOLES, A. T.; ACKERLY, D. D.; WEBB, C. O.; TWEDDLE, J. C.; DICKIE, J. B.; WESTOBY, M. A Brief History of Seed Size. **Science**, vol. 307, p. 576–580, 2005.

MORO, M. F.; MACEDO, M. B.; DE MOURA-FÈ, M. M.; FARIAS CASTRO, A. S.; DA COSTA, R. C. Vegetation, phytoecological regions and landscape diversity in Ceará state, northeastern Brazil. **Rodriguesia**, vol. 66, no. 3, p. 717–743, 2015.

MUSSO, C.; DE MACEDO, M. A.; NUNES ALMEIDA, N.; DE MELO RODRIGUES, D.; CAMARGO, M. E. M. S.; PÔRTO, A. C. C. Q.; MIRANDA, H. S. *Andropogon gayanus*

Kunth invasion in the Cerrado: from seed production to seedling establishment along roadsides. **Biological Invasions**, vol. 21, no. 5, p. 1683–1695, 2019.

NASCIMENTO, A. V. S.; MENDONÇA, A. M. C.; SANTOS, P. A. A.; SANTANA, M. C. O que Sabemos sobre as Sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. (Anacardiaceae)? Revisão sobre uma Espécie Ameaçada e com Importância Socioeconômica. **Biodiversidade Brasileira - BioBrasil**, vol. 12, no. 4, p. 1–13, 2022.

OLIVEIRA, A. C. P.; NUNES, A.; RODRIGUES, R. G.; BRANQUINHO, C. The response of plant functional traits to aridity in a tropical dry forest. **Science of the Total Environment**, vol. 747, p. 141177, 2020

OLIVEIRA, P. T. B.; TROVÃO, D. M. B. M.; CARVALHO, E. C. D.; SOUZA, B. C.; FERREIRA, L. M. R. Florística e fitossociologia de quatro remanescentes vegetacionais em áreas de serra no Cariri Paraibano. **Revista Caatinga**, vol. 22, no. 4, p. 169–178, 2009.

OWEN, N. R.; GUMBS, R.; GRAY, C. L.; FAITH, D. P. Global conservation of phylogenetic diversity captures more than just functional diversity. **Nature Communications**, vol. 10, no. 1, p. 8–10, 2019.

PALACIO, H. A. de Q.; ANDRADE, E. M. de; SILVA, J. P. da; SANTOS, R. C. dos; SOUZA, M. M. de O. Dinâmica Sazonal Da Produção De Biomassa Herbácea Em Área De Gramínea No Semiárido Do Brasil. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, vol. 13, no. 5, p. 99–104, 2019.

PAVOINE, S.; BAGUETTE, M.; BONSALL, M. B. Decomposition of trait diversity among the nodes of a phylogenetic tree. **Ecological Monographs**, vol. 80, no. 3, p. 485–507, 2010.

PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; OLIVEIRA-FILHO, A. Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: Perspectives from seasonally dry tropical forests. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, vol. 40, p. 437–457, 2009.

PEREIRA, I. M.; DE ANDRADE, L. A.; COSTA, J. R. M.; DIAS, J. M. Regeneração natural em um remanescente de caatinga sob diferentes níveis de perturbação, no agreste paraibano. **Acta Botanica Brasilica**, vol. 15, no. 3, p. 413–426, 2001.

PINTO, A. S.; DINIZ, E. S.; LOPES, S. F. Phylogenetic diversity and structure in moist and dry upland forests in the semi-arid region of Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 83, p. 1–11, 2023.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. [S. l.: s. n.], 2003. p. 3–73.

QIAN, H.; SANDEL, B. The role of phylogenetic relatedness on success of non-native plants crossing the naturalization–invasion transition in North America. **Ecography**, vol. 2023, no. 7, p. 1–14, 2023.

QUEIROZ, L. P. **Leguminosas da Caatinga**. [S. l.: s. n.], 2009.

QUESADA, M.; SANCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; ALVAREZ-AÑORVE, M.; STONER, K. E.; AVILA-CABADILLA, L.; CALVO-ALVARADO, J.; CASTILLO, A.; ESPÍRITO-SANTO, M. M.; FAGUNDES, M.; FERNANDES, G. W.; GAMON, J.; LOPEZARAIZA-MIKEL, M.; LAWRENCE, D.; MORELLATO, L. P. C.; POWERS, J. S.; NEVES, F. de S.; ROSAS-GUERRERO, V.; SAYAGO, R.; SANCHEZ-MONTOYA, G. Succession and management of tropical dry forests in the Americas: Review and new perspectives. **Forest Ecology and Management**, vol. 258, no. 6, p. 1014–1024, 2009.

RIBEIRO, E. M. S.; SANTOS, B. A.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; TABARELLI, M.; SOUZA, G.; LEAL, I. R. Phylogenetic impoverishment of plant communities following chronic human disturbances in the Brazilian Caatinga. **Ecology**, vol. 97, no. 6, p. 1583–1592, 2016.

RIBEIRO FILHO, J. C.; PALÁCIO, H. A. de Q.; ANDRADE, E. M. de; BRASIL, J. B.; ARAUJO NETO, J. R. de. Produtividade de fitomassa herbácea em diferentes manejos no semiárido cearense. **Revista Agro@Mambiente on-Line**, vol. 9, no. 4, p. 386, 2016.

RIBEIRO, L. B.; GOGLIATH, M.; FREIRE, E. M. X. *Tropidurus semitaeniatus* (Squamata: Tropiduridae) as seed disperser of the plant *Commiphora leptophloeos* (Burseraceae) in the caatinga of northeastern Brazil. **Cuadernos de Herpetologia**, vol. 22, no. 2, p. 91–94, 2008.

RICOTTA, C. Through the jungle of biological diversity. **Acta Biotheoretica**, vol. 53, no. 1, p. 29–38, 2005.

RITO, K. F.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; CAVENDER-BARES, J.; SANTO-SILVA, E. E.; SOUZA, G.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Unraveling the drivers of plant taxonomic and phylogenetic β -diversity in a human-modified tropical dry forest. **Biodiversity and Conservation**, vol. 30, no. 4, p. 1049–1065, 2021.

RITO, K. F.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; QUEIROZ, R. T.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Precipitation mediates the effect of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Ecology**, vol. 105, no. 3, p. 828–838, 2017.

ROGERS, H. S.; BECKMAN, N. G.; HARTIG, F.; JOHNSON, J. S.; PUFAL, G.; SHEA, K.; ZURELL, D.; BULLOCK, J. M.; CANTRELL, R. S.; LOISELLE, B.; PEJCHAR, L.; RAZAFINDRATSIMA, O. H.; SANDOR, M. E.; SCHUPP, E. W.; STRICKLAND, W. C.; ZAMBRANO, J. The total dispersal kernel: A review and future directions. **AoB PLANTS**, vol. 11, no. 5, p. 1–13, 2019.

SAASTAMOINEN, M.; BOCEDI, G.; COTE, J.; LEGRAND, D.; GUILLAUME, F.; WHEAT, C. W.; FRONHOFER, E. A.; GARCIA, C.; HENRY, R.; HUSBY, A.; BAGUETTE, M.; BONTE, D.; COULON, A.; KOKKO, H.; MATTHYSEN, E.; NIITEPÖLD, K.; NONAKA, E.; STEVENS, V. M.; TRAVIS, J. M. J.; ... DEL MAR DELGADO, M. Genetics of dispersal. **Biological Reviews**, vol. 93, no. 1, p. 574–599, 2018.

- SAATKAMP, A.; COCHRANE, A.; COMMANDER, L.; GUJA, L. K.; JIMENEZ-ALFARO, B.; LARSON, J.; NICOTRA, A.; POSCHLOD, P.; SILVEIRA, F. A. O.; CROSS, A. T.; DALZIELL, E. L.; DICKIE, J.; ERICKSON, T. E.; FIDELIS, A.; FUCHS, A.; GOLOS, P. J.; HOPE, M.; LEWANDROWSKI, W.; MERRITT, D. J.; ... WALCK, J. L. A research agenda for seed-trait functional ecology. **New Phytologist**, vol. 221, no. 4, p. 1764–1775, 2019.
- SANTOS, A. M. S.; BRUNO, R. L. A.; CRUZ, J. O.; SILVA, I. F.; ANDRADE, A. P. Space variability of the seed bank in area of Caatinga in the northeastern region of Brazil. **Ciencia Florestal**, vol. 30, no. 2, p. 542–555, 2020.
- SANTOS, D.; TEXEIRA, M. C. P.; SOUZA, E. B.; BURIL, M. T. Flora do município de Massapê, Estado do Ceará, Brasil: Convolvulaceae Juss. **Hoehnea**, vol. 47, 2020. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-60/2019>.
- SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; MEDEIROS, P. H. A.; GUERREIRO, M. J. S.; PALÁCIO, H. A. Q. Effect of Rainfall Characteristics on Runoff and Water Erosion for Different Land Uses in a Tropical Semiarid Region. **Water Resources Management**, vol. 31, no. 1, p. 173–185, 2017.
- SCHULZ, K.; GUSCHAL, M.; KOWARIK, I.; SILVA DE ALMEIDA-CORTEZ, J.; VALADARES DE SÁ BARRETO SAMPAIO, E.; CIERJACKS, A. Grazing reduces plant species diversity of Caatinga dry forests in northeastern Brazil. **Applied Vegetation Science**, vol. 22, no. 2, p. 348–359, 2019.
- SEALE, M.; NAKAYAMA, N. From passive to informed: mechanical mechanisms of seed dispersal. **New Phytologist**, vol. 225, no. 2, p. 653–658, 2020.
- SEGLIAS, A. E.; WILLIAMS, E.; BILGE, A.; KRAMER, A. T. Phylogeny and source climate impact seed dormancy and germination of restoration-relevant forb species. **PLoS ONE**, vol. 13, no. 2, p. 1–18, 2018.
- SELEME, E. P. Amburana in Flora e Funga do Brasil. 2024. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Available at: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB22781>. Accessed on: 13 Mar. 2024.
- SILVA, A. C. da C.; PRATA, A. P. do N.; MELLO, A. A. de; SANTOS, A. C. A. da S. Síndromes de dispersão de Angiospermas em uma Unidade de Conservação na Caatinga, SE, Brasil. **Hoehnea**, vol. 40, no. 4, p. 601–609, 2013.
- SILVA, B. L. R.; TAVARES, F. M.; CORTEZ, J. S. A. Composição florística do componente herbáceo de uma área de caatinga - Fazenda Tamanduá, Paraíba, Brasil. **Revista De Geografia (UFPE)**, vol. 29, no. 3, 2012.
- SILVA, É. E. de M. e.; PAIXÃO, V. H. F.; TORQUATO, J. L.; LUNARDI, D. G.; LUNARDI, V. de O. Fruiting phenology and consumption of zoochoric fruits by wild vertebrates in a seasonally dry tropical forest in the Brazilian Caatinga. **Acta Oecologica**, vol. 105, no. June 2019, p. 103553, 2020.

SILVA, F. K. G.; LOPES, S. F. L.; LOPEZ, L. C. S.; MELO, J. I. M.; TROVÃO, D. M. B. M. Patterns of species richness and conservation in the Caatinga along elevational gradients in a semiarid ecosystem. **Journal of Arid Environments**, vol. 110, p. 47–52, 2014.

SILVA, J. M. C.; BARBOSA, L. C. F.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. The Caatinga: Understanding the Challenges. *In*: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (eds.). **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. [S. l.]: Springer, 2017. p. 3–19.

SILVA, S. O.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; LIRA, M. A.; ALVES JUNIOR, F. T.; CANO, M. O. O.; TORRES, J. E. L. Regeneração natural em um remanescente de caatinga com diferentes históricos de uso no agreste pernambucano. **Revista Árvore**, vol. 36, no. 3, p. 441–450, 2012.

SMITH, S. A.; BROWN, J. W. Constructing a broadly inclusive seed plant phylogeny. **American Journal of Botany**, vol. 105, no. 3, p. 302–314, 2018.

SOBRAL, F. L.; CIANCIARUSO, M. V. Estrutura filogenética e funcional de assembléias: (Re)montando a ecologia de comunidades em diferentes escalas espaciais. **Bioscience Journal**, vol. 28, no. 4, p. 617–631, 2012.

SOUSA, J. F. de O.; OLIVEIRA, A. A. de; CAMPOS, N. B.; ALMEIDA-BEZERRA, J. W.; SILVA, V. B. da; NASCIMENTO, M. P. do; FERNANDES, P. A. de S.; SANTOS, A. F. dos; VASCONCELOS, J. M. P. B. L. de; SOUSA, M. R. F. de; SILVA, M. A. P. da; MENDONÇA, A. C. A. M. Composição florística de duas áreas de Caatinga da Chapada do Araripe. **Research, Society and Development**, vol. 10, no. 13, p. e506101321398, 2021.

SOUZA, J. T. **CHUVA DE SEMENTES EM ÁREA ABANDONADA APÓS CULTIVO PRÓXIMA A UM FRAGMENTO PRESERVADO DE CAATINGA EM PERNAMBUCO, BRASIL**. 2010.

SOUZA, J. T.; FERRAZ, E. M. N.; ALBUQUERQUE, U. P.; ARAÚJO, E. L. Does proximity to a mature forest contribute to the seed rain and recovery of an abandoned agriculture area in a semiarid climate? **Plant Biology**, vol. 16, no. 4, p. 748–756, 2014.

SRIVASTAVA, D. S.; CADOTTE, M. W.; MACDONALD, A. A. M.; MARUSHIA, R. G.; MIROTNICK, N. Phylogenetic diversity and the functioning of ecosystems. **Ecology Letters**, vol. 15, no. 7, p. 637–648, 2012.

TEAM, R. C. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2024.

VALENTA, K.; KALBITZER, U.; RAZAFIMANDIMBY, D.; OMEJA, P.; AYASSE, M.; CHAPMAN, C. A.; NEVO, O. The evolution of fruit colour: phylogeny, abiotic factors and the role of mutualists. **Scientific Reports**, vol. 8, no. 1, p. 1–8, 2018.

- VAN DER PIJL, L. **Principles of Dispersal in Higher Plants**. [S. l.: s. n.], 1982.
- VANDER WALL, S. B.; KUHN, K. M.; BECK, M. J. Seed removal, seed predation, and secondary dispersal. **Ecology**, vol. 86, no. 3, p. 801–806, 2005.
- VIEIRA, D. L. M.; SCARIOT, A. Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. **Restoration Ecology**, vol. 14, no. 1, p. 11–20, 2006.
- WANG, Z.; WANG, L.; LIU, Z.; LI, Y.; LIU, Q.; LIU, B. Phylogeny, seed trait, and ecological correlates of seed germination at the community level in a degraded sandy grassland. **Frontiers in Plant Science**, vol. 7, no. OCTOBER2016, p. 1–10, 2016.
- WEBB, C. O. Exploring the phylogenetic structure of ecological communities: An example for rain forest trees. **American Naturalist**, vol. 156, no. 2, p. 145–155, 2000.
- WEBB, C. O.; ACKERLY, D. D.; MCPEEK, M. A.; DONOGHUE, M. J. Phylogenies and community ecology. **Annual Review of Ecology and Systematics**, vol. 33, p. 475–505, 2002.
- WINTER, M.; DEVICTOR, V.; SCHWEIGER, O. Phylogenetic diversity and nature conservation: Where are we? **Trends in Ecology and Evolution**, vol. 28, no. 4, p. 199–204, 2013.
- ZANNE, A. E.; TANK, D. C.; CORNWELL, W. K.; EASTMAN, J. M.; SMITH, S. A.; FITZJOHN, R. G., ... & BEAULIEU, J. M. Three keys to the radiation of angiosperms into freezing environments. **Nature**, vol. 506, no. 7486, p. 89–92, 2014.