

RAMÔN DA SILVA SANTOS

**DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL NAS AMÉRICAS, SISTEMA SEXUAL E
DUALIDADE DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE *Schinus terebinthifolia* Raddi**

RECIFE

Pernambuco - Brasil

Novembro - 2024

RAMÔN DA SILVA SANTOS

**DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL NAS AMÉRICAS, SISTEMA SEXUAL E
DUALIDADE DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE *Schinus terebinthifolia* Raddi**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Ciências Florestais da Universidade Federal
Rural de Pernambuco, para obtenção do título de
Doutor em Ciências Florestais, Área de
Concentração: Silvicultura

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Gallo

RECIFE

Pernambuco - Brasil

Novembro – 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação Sistema Integrado de
Bibliotecas da UFRPE Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

S237d Santos, Ramôn da Silva.

Distribuição potencial nas Américas, sistema sexual e dualidade de atributos funcionais de *Schinus terebinthifolia* Raddi / Ramôn da Silva Santos. – Recife, 2024.

115 f.; il.

Orientador(a): Ricardo Gallo.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Plantas florestais - Métodos de modelagem . 2. Créditos de carbono. 3. Dualismo. 4. Plantas - Reprodução 5. Química vegetal. I. Gallo, Ricardo, orient. II. Título

CDD 634.9

RAMÔN DA SILVA SANTOS

**DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL NAS AMÉRICAS, SISTEMA SEXUAL E
DUALIDADE DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE *Schinus terebinthifolia* Raddi**

APROVADO em: 13 de Novembro de 2024

Banca Examinadora

Profa. Dra. Isane Vera Karsburg
(Universidade do Estado do Mato Grosso - UNEMAT)

Pesquisador Dr. Robson Luís Silva de Medeiros
(Instituto Nacional do Semiárido – INSA/MCTI)

Profa. Dra. Luciana Coelho de Moura
(Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT)

Prof. Dr. Richeliel Albert Rodrigues Silva
(Universidade Federal Rural de Pernambuco – DCFL/UFRPE)

Orientador

Prof. Dr. Ricardo Gallo
(Universidade Federal Rural de Pernambuco – DCFL/UFRPE)

RECIFE

Pernambuco - Brasil

Novembro - 2024

DEDICATÓRIA

A todos os familiares que antecederam minha existência em especial meus pais (Ronaldo e Joana D'arc) e trilharam uma jornada marcada por sofrimento e luta, cada passo que dou hoje sobre esta estrada é fruto do árduo trabalho e sacrifício deles. Aos que seguirão através de minha trajetória, honrarei e me dedicarei para construir um caminho digno e significativo, como forma de reconhecimento àqueles que me precederam, dedico essa tese em profundo respeito e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente ao Deus vivo, que tenho seguido ao longo da minha jornada, por sempre permanecer ao meu lado, fortalecendo-me e sustentando-me carregando no colo quando eu já não tinha mais forças para seguir adiante.

Aos meus queridos pais, Ronaldo de Oliveira Santos e Joana D'arc dos Santos Silva, expresso minha gratidão por terem dito sim à vida, por aceitarem-me com todos os meus erros e imperfeições, e por me apoiarem incondicionalmente, mesmo diante do que não compreendiam plenamente. Seu amor e confiança na criação e educação que me proporcionaram são tesouros inestimáveis em minha jornada. Mainha, em especial, agradeço por ter me ensinado a ler e escrever naquela simples mesa de madeira em nossa casa. Naquela época, eu não imaginava o poder imensurável que obteria ao aprender essas habilidades, e você, mesmo sem saber, me concedeu um dom precioso.

Aos meus irmãos Roniedson da Silva Santos e Ronaldo de Oliveira Santos Júnior, estejam eles presentes diretamente ao meu lado ou em espírito, agradeço por todo o apoio e amor desde o início da minha jornada acadêmica. Tenho a convicção de que Ronaldo Júnior cumpriu sua missão e continua zelando por nossa família, onde quer que esteja.

À minha esposa Vanessa Amanda Gomes Pereira da Silva, expresso profunda gratidão por tê-la ao meu lado, por me escolher, acolher e suportar. Você é a pessoa que rezei a Deus, alguém para enfrentar comigo os desafios da vida. Sei que nos escolhermos diariamente não é tarefa fácil, mas confio que Deus continuará nos fortalecendo para que nunca soltemos as mãos um do outro. Sua vitória é a minha, e vice-versa. Peço perdão por minhas ausências, compreendendo que a vida acadêmica e profissional muitas vezes demanda distanciamento, tornando o fardo mais pesado que o habitual com nossos filhos. No entanto, saiba que você está sempre presente em meus pensamentos, e mantenho a esperança de que essas separações estão próximas de terminar, te amo.

Aos meus filhos Noah Miguel, José Nicholas e a todos os filhos que Deus enviar, saibam que os amo desde o ventre de sua mãe, e tudo o que faço hoje tem sentido por tê-los ao meu lado. Vocês são minha maior inspiração, e aqui encontrarão um pai que, embora imperfeito, nunca deixará de ser amigo e apoiador incondicional de seus sonhos e que nunca soltará a mão de vocês.

Gratidão pelas boas risadas, conversas aleatórias e carinho dos meus sobrinhos Francielly Rebecca, Ana Raquel e Ruan Gabriel, seu tio ama muito vocês.

Aos meus ancestrais, cujas lutas e sacrifícios pavimentaram o caminho que hoje percorro, expresso profunda gratidão. Suas esperanças e sonhos por um descendente doutor que quebraria esse ciclo não foram em vão, e honro a memória deles com cada passo que dou.

Aos meus professores ao longo da vida, desde o ensino fundamental em especial as professoras Adriana e Carminha que sempre falavam da existência de uma outra realidade além da comunidade que eu nasci e cresci em João Pessoa – PB, eu expresso minha sincera gratidão. Aos professores do ensino médio nas escolas Luiz Gonzaga de Albuquerque Burity e Lyceu Paraibano, que mesmo com a educação tão defasada o pouco que me proporcionaram foi o suficiente para que eu pudesse galgar novos desafios e lutar pelos meus sonhos, meu muito obrigado.

Aos meus professores da graduação e hoje amigos e colegas de profissão muito obrigado pelo alto nível de conhecimento que me proporcionaram. Gratidão em especial as minhas mães acadêmicas (Lenyneves Araújo e Núbia Costa) as quais admiro e cultivo grande carinho, obrigado por me dar a oportunidade que outros não deram e pelo conhecimento compartilhado.

À minha orientadora do mestrado Cibele Castro e à equipe do antigo Programa de Pós-graduação em Botânica – PPGB/UFRPE, bem como ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais - PPGCF e à Capes pela concessão da bolsa de doutorado, expresso minha sincera gratidão.

Aos funcionários do PPGCF, em especial a Juliana e Dona Clarisse, pelo carinho, ajuda, conversas e boas risadas.

Ao meu orientador Ricardo Gallo, agradeço pela paciência, compreensão e apoio ao longo do meu doutorado principalmente, quando por várias vezes falei em desistir. Sem sua orientação e altruísmo, eu jamais teria alcançado esta conquista.

Aos colegas de laboratório e disciplinas obrigado pelos companheirismos e a Denisvaldo Meireles e Ricardo Lima por sempre me acolher em sua casa no Recife sempre que precisei resolver algo na UFRPE.

Ao meus amigos que cultivo ao longo dos anos Alerson Araújo, George Lucas, Camila Rodrigues, Eduardo (Dudu), Laércio, Daniel, Anny, Janderson Alencar, Nilton Ramalho, Diniz França, Hyago Kesley, Magna Marinho, Robson Luis, Pe. Sérgio, Cássia Alzira, Shalana Cássia, Fabiana Sá e outros que posso pecar em não citar por não recordar nesse momento, mas que tem lugar em minhas orações e que sempre tenhamos Ácido indol-3-butírico (AIB) para crescer e aprofundar as raízes e Paclobutrazol (PBZ) para induzir mais flores na nossa amizade.

E a você, Ramôn do Passado, agradeço por ter suportado um processo tão desafiador e doloroso, valeu a pena tudo que você passou saiba que eu agora entendo o que você não

entendia, descansa o coração. Seu esforço não foi em vão, e tudo o que passou contribuiu para moldar o homem que sou hoje.

Ao Ramôn do Futuro, deixo a missão de manter-se íntegro, honrado, humilde, batalhador e acima de tudo temente a Deus. Parece que estou deixando um fardo para você, mas saiba que se um dia se sentir cansado e desanimado e que não vai mais conseguir e você pensar em desistir de tudo, volta aqui e lembre-se do apoio e da confiança de todos aqueles que acreditaram em você e querem o seu bem. Nada foi por acaso, tudo foi por você e você merece tudo que você vai conquistar. Siga em frente com confiança, pois as sementes que plantei eu preciso que você colha os frutos e abra as portas para outros que virão através de você. Lembre-se sempre: “Você pode ser quem você quiser ser, mas sem Deus nem tente!”

*Nasci em João Pessoa, pérola litorânea,
Terra de praias e florestas, encanto que não engana.
No abraço do sol e na brisa do mar,
Orgulho nordestino, no peito a vibrar.*

*Pelos caminhos de areias douradas,
De um passado que ecoa em histórias contadas.
Meus pés trilham a trama que se revela,
Herança de força, de luta e de guerra.*

*Em cada onda que beija a costa paraibana,
Reside a coragem e uma história de vida sofrida.
Não esqueço minhas raízes, o chão de partida,
Mas avanço, ciente da jornada compartilhada.*

*Quantos encontros e desencontros, família!
Mainha com tanto medo em orações se despedia.
E meu pai, na rodoviária com sua sabedoria me aconselhava e abraçava devagar.
Seja firme e forte, dê o seu melhor o que é seu um dia há de chegar.*

*Seus cinquenta reais pareciam nada mainha, mas foi tudo.
Sua nota de gasolina me deram esperança, painho.
Saí de casa aos prantos no raiar do dia, prometendo voltar com alegria.
Ser doutor é consequência do que Deus quis e da força que vocês transmitia.*

*Nessa jornada, quase supliquei à vida,
Inúmeras vezes, o desejo de desistir se erguia.
Fui o primeiro, pois Deus assim quis,
E permaneço aqui, porque Deus assim quer.*

*Do suor de muitos, que a estrada pavimentaram,
Caminho adiante, com sonhos que herdei.
Orgulho de ser, de onde vim não esqueço,
No peito, a certeza: sou paraibano, e essa vitória eu mereço.*

R.S.S

SANTOS, RAMÔN DA SILVA. **DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL NAS AMÉRICAS, SISTEMA SEXUAL E DUALIDADE DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE *Schinus terebinthifolia* Raddi** 2024. Orientador: Prof. Dr. Ricardo Gallo.

RESUMO

A *Schinus terebinthifolia* é uma espécie florestal que desempenha um papel complexo, apresentando tanto benefícios econômicos e ecológicos em ecossistemas. Este trabalho de doutorado investiga a espécie sob três vertentes principais separadas em três capítulos: distribuição geográfica e impacto frente as mudanças climáticas, características morfológicas e sistema sexual, e relevância científica global. O primeiro capítulo analisa a projeção da *S. terebinthifolia*, nativa da América do Sul, e sua disseminação invasiva na América do Norte e Central, utilizando mais de 30.000 registros de ocorrências em bases de dados como o GBIF, Herbário Reflora e NeoTropTree. A modelagem incluiu o cenário climático atual e dois cenários futuros, como o SSP2-4.5 e SSP5-8.5, revelando que as mudanças climáticas podem reduzir significativamente a adequação do habitat da espécie, especialmente sob cenários de maior aquecimento global. Isso reforça a urgência de implementar estratégias de controle de emissões de CO₂ e ações de mitigação. No segundo capítulo, o estudo focou na morfologia floral e no sistema sexual de *S. terebinthifolia* em duas populações naturais no Nordeste do Brasil. Os resultados mostraram que, apesar da uniformidade morfológica entre as áreas, há uma variação significativa na proporção de indivíduos estaminados, com 88% e 72% nas áreas A e B, respectivamente. A espécie foi classificada como ginodióica, com plantas hermafroditas e pistiladas, destacando a necessidade de mais estudos sobre o papel dos polinizadores e o processo de frutificação, o que pode aprimorar o manejo para produção de frutos e aumentar sua relevância bioeconômica. O terceiro capítulo incluiu uma análise bibliométrica dos últimos 10 anos, com base em 476 artigos indexados na Web of Science®, destacando um crescimento significativo na produção científica sobre *S. terebinthifolia*. O Brasil foi responsável por 61,76% das publicações, seguido pelos Estados Unidos com 26,89%, onde a pesquisa se concentra nos impactos ecológicos da espécie. A análise também identificou os principais autores, instituições e palavras-chave relacionadas, evidenciando a importância crescente do tema. Concluímos que, o estudo sublinha a necessidade de um manejo sustentável e colaborativo para equilibrar os benefícios econômicos e medicinais da *S. terebinthifolia* com a preservação ambiental, especialmente em face das ameaças representadas por sua capacidade invasora e frente as mudanças climáticas globais.

Palavras-chave: Plantas florestais - Métodos de modelagem; Créditos de carbono; Dualismo; Plantas – Reprodução; Química vegetal.

SANTOS, RAMÔN DA SILVA. **POTENTIAL DISTRIBUTION IN THE AMERICAS, SEXUAL SYSTEM, AND DUALITY OF FUNCTIONAL TRAITS OF *Schinus terebinthifolia* Raddi** 2024. Advisor: Prof. Dr. Ricardo Gallo.

ABSTRACT

Schinus terebinthifolia is a forest species that plays a complex role, presenting both economic and ecological benefits in ecosystems. This doctoral research investigates the species through three main perspectives, divided into three chapters: geographic distribution and impact in the face of climate change, morphological characteristics and sexual system, and global scientific relevance. The first chapter analyzes the projection of *S. terebinthifolia*, native to South America, and its invasive spread in North and Central America, using more than 30,000 occurrence records from databases such as GBIF, Re flora Herbarium, and NeoTropTree. Modeling included the current climatic scenario and two future scenarios, SSP2-4.5 and SSP5-8.5, revealing that climate change may significantly reduce the species' habitat suitability, especially under scenarios of higher global warming. This underscores the urgency of implementing CO₂ emission control strategies and mitigation actions. The second chapter focused on the floral morphology and sexual system of *S. terebinthifolia* in two natural populations in Northeastern Brazil. The results showed that despite morphological uniformity between the areas, there is significant variation in the proportion of staminate individuals, with 88% and 72% in areas A and B, respectively. The species was classified as gynodioecious, with hermaphroditic and pistillate plants, highlighting the need for further studies on the role of pollinators and the fruiting process, which could enhance management practices for fruit production and increase its bioeconomic relevance. The third chapter included a bibliometric analysis of the last 10 years, based on 476 articles indexed in the Web of Science®, highlighting significant growth in scientific output on *S. terebinthifolia*. Brazil accounted for 61.76% of the publications, followed by the United States with 26.89%, where research focuses on the species' ecological impacts. The analysis also identified the main authors, institutions, and related keywords, emphasizing the growing importance of the topic. In conclusion, this study underscores the need for sustainable and collaborative management to balance the economic and medicinal benefits of *S. terebinthifolia* with environmental preservation, especially in light of the threats posed by its invasive potential and global climate change.

Keywords: Forest Plants - Modeling Methods; Carbon Credits; Dualism; Plants – Reproduction; Plant Chemistry.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	16
REFERENCIAL TEÓRICO	19
Modelagem de nicho ecológico	19
Schinus terebinthifolia: Biologia floral e sistema sexual de plantas.....	21
Composição química das plantas	27
Bioeconomia e Perspectivas Futuras para Schinus terebinthifolia	30
CAPÍTULO I.....	32
INTRODUÇÃO	35
MATERIAL E MÉTODOS	36
RESULTADOS	40
DISCUSSÃO.....	43
CONCLUSÃO	45
CAPÍTULO II.....	46
INTRODUÇÃO	49
MATERIAL E MÉTODOS	50
RESULTADOS	53
DISCUSSÃO.....	58
CONCLUSÃO	61
CAPÍTULO III	62
INTRODUÇÃO	65
ORIGEM E CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ESPÉCIE	66
ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DE ARTIGOS NOS ÚLTIMOS DEZ ANOS (2013 – 2023), SOBRE <i>schinus terebinthifolia</i>	68
Estudos de publicações e artigos mais citados.....	68
Análises de tendências de palavras-chave	74
COMPOSTOS FENÓLICOS	76
CONTROLE BIOLÓGICO	77
FITOQUÍMICA	78
PERSPECTIVAS FUTURAS PARA <i>Schinus terebintifolia</i>	83
Indústria farmacêutica.....	83
Indústria alimentícia.....	83
Melhoramento genético.....	84
Potencial invasor.....	84
CONCLUSÃO	86
REFERÊNCIAS	86

LISTA DE FIGURAS

REFERENCIAL TEÓRICO

Figura 1. *Schinus terebinthifolia* Raddi: A) Estrutura do indivíduo adulto; B) Folhas compostas e ramo fértil; C) Disposição da inflorescência compostas do tipo panícula racemosa; D) Frutos maduros.....21

CAPÍTULO I

Figura 1. Compilação de ocorrências conhecidas de *Schinus terebinthifolia* Raddi nas Américas.....36

Figura 2. Distribuição potencial de *S. terebinthifolia* Raddi dos Padrões Atuais para Projeções em 2100. O mapa mostra a adequabilidade do habitat atual e futuro sob dois cenários climáticos (SSP2-4.5 e SSP5-8.5) ao longo de quatro intervalos de tempo de 20 anos.....41

CAPÍTULO II

Figura 1. Biplot dos 50 indivíduos de *Schinus terebinthifolia* Raddi baseado nos dois primeiros componentes principais derivados da variação nas características morfométricas dos elementos sexuais. Comprimento do carpelo (CC); Diâmetro do carpelo (DC); Circunferência ovariana (GC); Comprimento do estame mais longo (CEMA); e Comprimento do estame mais curto (CEME). Fatores observados: Grupo Hermafrodita e Grupo Pistilado.....52

Figura 2. Flor de *Schinus terebinthifolia* Raddi a) Morfotipo Pistilado, ST = estigma; PT = pétala; OV = ovário; SP = sépala b) Morfotipo Hermaphrodita, PT = pétala; EP = estame menor; EG = estame maior; GN = gineceu; DN = disco nectarífero c) Comparação entre os tipos florais (FC). Os intervalos representam os erros padrão em torno dos valores médios do comprimento da amostra.....54

Figura 3. Valores médios (mm) e ($\pm$ SD) das estruturas sexuais por morfotipos hermafrodita e pistilado para *Schinus terebinthifolia* Raddi, a) Morfotipo Pistilado, GY = Gineceu; EI = Estame isostêmoneo; b) Morfotipo Hermaphrodita, EG = Estame maior; EP = Estame menor.....55

Figura 4. Frutos de *Schinus terebinthifolia* Raddi, a) Frutos formados pelo morfotipo hermafrodita b) Frutos em estágio inicial de maturação do morfotipo pistilado.....55

Figura 5. Relação de Pearson em *S. terebinthifolia* Raddi entre: a) Circunferência do ovário; b) Estame menor e gineceu atrófico na População A; c) Estame maior e gineceu atrófico na População B; e d) Circunferência do ovário e diâmetro do gineceu na População B.....56

CAPÍTULO III

Figura 1. Número de publicações por ano e categorias WoS relacionados a *Schinus terebinthifolia* Raddi nas cinco categorias mais expressivas.....68

Figura 2. Colaborações entre os países mais produtivos em pesquisas com *Schinus terebinthifolia* Raddi.....72

Figura 3. Tendência de Pesquisa sobre *Schinus terebinthifolia* Raddi utilizando Palavras-chave do autor, geradas com o software Vosviewer. Avaliando Clusters nos grupos A e B.....74

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Classificação dos preditores bioclimáticos com base no Fator de Inflação de Variância (VIF) para caracterização do nicho de *Schinus terebinthifolia* Raddi.37

Tabela 2. Desempenho dos algoritmos e do modelo de consenso para *Schinus terebinthifolia* Raddi. Modelos Lineares Generalizados (GLM); Entropia Máxima Padrão (MXD); Entropia Máxima Simples (MXS); Máquina de Vetores de Suporte (SVM); Área sob a curva (AUC); Estatística de habilidade verdadeira (TSS).....40

CAPÍTULO II

Tabela 1. Valores Médios ($\pm$ DP) das Variáveis Florais para os Morfotipos Hermafrodita (HER) e Pistilado (PIS) de *Schinus terebinthifolia* Raddi, Área A (n = 25) e Área B (n = 25). DP: Desvio Padrão.....53

CAPÍTULO III

Tabela 1. Os 10 artigos mais citados no período de 2013 a 2023 sobre a *Schinus terebinthifolia* Raddi com base na Web of Science©.....70

Tabela 2: Autores mais produtores e suas instituições de pesquisa e ensino.....71

Tabela 3. Compostos fenólicos e atividade bioativa de *Schinus terebinthifolia* Raddi79

INTRODUÇÃO GERAL

Diante da vasta complexidade global presente na natureza, ao longo do tempo têm sido empreendidos esforços para a organização e categorização dos organismos, com o objetivo de identificar padrões de distribuição espacial, processos subjacentes e princípios organizadores (Hortal *et al.*, 2015). Este desafio é agravado pela compreensão de que as mudanças climáticas exercem influência sobre esses padrões (Ahmad *et al.*, 2019; Cruz *et al.*, 2023). No entanto, é essencial reconhecer que tais classificações são influenciadas pelos objetivos e interesses dos pesquisadores, representando abstrações utilizadas para interpretar a realidade e promover o avanço do conhecimento científico (Ladle; Hortal, 2013).

Compreender a distribuição da biodiversidade e os padrões de reprodução apresenta-se como desafios significativos para a ciência, especialmente na região Neotropical, onde os benefícios econômicos dos serviços ecossistêmicos das Américas alcançam US\$ 24,3 bilhões (IPBES, 2018). No entanto, os dados de ocorrência de um número de espécies ainda são escassos, imprecisos ou mesmo inexistentes (Lomolino, 2004; Nogueira *et al.*, 2019). Reconhecemos, porém, que dentro deste espectro limitado de informações, alcançar um conhecimento abrangente, particularmente no contexto das atuais mudanças climáticas, sobre qualquer aspecto da biodiversidade é uma tarefa praticamente inalcançável, dada a complexa dinâmica temporal e espacial da natureza e as limitações humanas na exploração desses fenômenos.

Na fitogeografia, apesar dos avanços significativos nas últimas décadas, observa-se um desequilíbrio na pesquisa, com um foco maior no entendimento biogeográfico de outros organismos presentes na região Neotropical, como insetos, aves, mamíferos e répteis (Serrano *et al.*, 2023, Amorim, 2024). Isso ressalta a importância de aprofundar os estudos nessa Região, para embasar tomadas de decisão e ao manejo e conservação dos recursos naturais. Nesse contexto, a espécie *Schinus terebinthifolia* destaca-se por sua ampla distribuição geográfica, presente em diversas partes do mundo, principalmente no Neotrópico. Seus registros abrangem países como México, Cuba, Nova Zelândia, Brasil, Paraguai, Argentina, Uruguai, Estados Unidos (Alabama, Texas, Arizona, Califórnia e Havaí), países europeus, além de partes da África (Norte e Sul), Ásia, Austrália e várias ilhas nos Oceanos Índico, Pacífico e Atlântico (Richardson; Rejmánek, 2011; Rodgers *et al.*, 2012; Manrique *et al.*, 2014; Oliveira-Filho, 2017; Global Invasive Species Database, 2024).

No Brasil, a presença da *S. terebinthifolia* é observada em diversos tipos de vegetação, incluindo a Mata Atlântica, caatinga e cerrado, manifestando-se em diferentes altitudes, temperaturas e níveis de precipitação (Camillo, 2018). A notável plasticidade ecológica da espécie permite sua adaptação a uma ampla gama de ambientes, o que a classifica como invasora em várias regiões do mundo (Pilatti, 2019; Vissoto *et al.*, 2022). Portanto, a extensa distribuição nativa dessa espécie no Brasil, aliada à sua capacidade de se adaptar a diferentes condições ambientais, desempenha um papel crucial na compreensão de sua disseminação global (Richardson; Rejmánek, 2011; Discover of life, 2024). A vasta extensão geográfica em que essa espécie é encontrada ressalta a importância de entender sua distribuição e o impacto que ela pode ter como uma espécie invasora em várias regiões do planeta. Isso destaca a necessidade premente de uma investigação mais detalhada sobre sua distribuição atual e potencial, bem como suas características sexuais reprodutivas, que podem ter uma influência significativa em sua capacidade de propagação bem-sucedida. Tal entendimento é essencial para uma gestão eficaz da biodiversidade e para a implementação de estratégias adequadas de controle e conservação.

A compreensão do sistema reprodutivo e sexual, bem como polinização e dispersão, auxiliam no entendimento das demandas essenciais para a produção de frutos e sementes, bem como sua propagação (Silva, 2013). A compreensão dessas exigências reprodutivas é fundamental para decifrar o sistema sexual da espécie e suas necessidades de reprodução, subsidiando a formulação de estratégias de manejo destinadas à produção de frutos e sementes, bem como a orientação de programas de melhoramento (Santos, 2016; Araújo *et al.*, 2021; Reis *et al.*, 2021). No contexto da biologia reprodutiva, é indispensável reconhecer um princípio recorrente que permeia o processo de polinização em plantas com reprodução sexuada, a capacidade de realizar a recombinação de genomas, ampliando, assim, a variabilidade genética (Araújo *et al.*, 2021). Isso, por sua vez, impede a autogamia e promove a heterogamia como uma estratégia evolutiva fundamental para evitar a autofecundação.

Para *S. terebinthifolia*, observações anteriores em campo destacaram a ausência de gineceu funcional em flores estaminadas (Lenzi; Orth, 2004). No entanto, estudos posteriores identificaram uma proporção mínima de 2% de flores estaminadas que produziam frutos bem formados (Cesário; Gaglianone, 2008). Além disso, Mendes *et al.* (2020) conseguiram obter frutos em ambos os morfotipos por meio de experimentos controlados, mas não investigaram sua origem em relação à funcionalidade sexual. Diante da aparente diclinia das flores e da

presença de órgãos vestigiais que podem ter funcionalidade, é crucial investigar a funcionalidade desses órgãos reduzidos e elucidar seu mecanismo sexual.

Considerando o contexto apresentado, o objetivo primordial deste estudo é fornecer informações pertinentes que contribuam para preencher lacunas de conhecimento existentes, projetar a possível distribuição da espécie no Neotrópico e compreender seu mecanismo de reprodução sexuada. No primeiro capítulo, investigamos os padrões de distribuição atuais da espécie e projetamos sua distribuição futura em diferentes cenários de emissão de CO₂, revisando os bancos de dados de ocorrências na região Neotropical. Esta seção aborda a análise de mais de 30.000 registros de ocorrência da espécie, provenientes do Global *Biodiversity Information Facility* (GBIF) com 22.163 registros, do Herbário virtual *Reflora* com 1.438 registros e do *NeoTropTree* com 6.591 registros. Utilizamos a Modelagem de Nicho Ecológico (ENM) para elaborar distribuições geográficas atuais e potenciais da espécie sob dois cenários: (1) SSP2-4.5 (moderado, com aumento de temperatura de ~2,1-4,3 °C e 26,84 gigatoneladas de CO₂ até 2100) e (2) SSP5-8.5 (*business-as-usual*, com aumento de temperatura de ~3,8-7,4 °C e 129,85 gigatoneladas de CO₂ até 2100). No segundo capítulo, concentramos nossa atenção na avaliação da morfologia dos verticilos florais estéreis e férteis, bem como na análise do sistema sexual de *S. terebinthifolia* (Pimenta rosa) em duas regiões no Nordeste do Brasil. Já no terceiro capítulo, devido à controvérsia em torno da presença e utilização da espécie em todo o mundo, realizamos um levantamento bibliográfico sistemático, utilizando a base de dados do Web of Science dos principais componentes químicos presentes nas folhas e frutos, destacando a importância desses compostos desde o controle biológico até sua aplicação fitoterápica e culinária.

Por meio do conhecimento adquirido em nossa pesquisa, que se concentra na distribuição, reprodução e características fitoquímicas, será possível ampliar o entendimento e oportunidades de manejo da espécie como uma cultura para obter frutos e sementes de melhor qualidade física e química. A interligação entre essas abordagens é fundamental para alcançar uma compreensão holística da biologia, ecologia e potencial de manejo dessa espécie, com implicações significativas para programas de melhoramento, uso sustentável e implementação de estratégias de controle e conservação.

A tese foi estruturada em três capítulos interligados, cada um associado a uma investigação específica que será submetida como artigo independente. Hipótese 1: O padrão de distribuição espacial e estrutura da população de *Schinus terebinthifolia* é influenciada pelo clima. A primeira hipótese da pesquisa está ligada à análise da distribuição espacial e à

modelagem do nicho ecológico da espécie *S. terebinthifolia* nas américas em especial na região neotropical, explorando suas possíveis projeções em diferentes cenários de emissão de carbono. Hipótese 2: Estudos morfométricos das estruturas sexuais é um meio viável para entender aspectos reprodutivos, morfofuncionais e mecanismos sexuais. A segunda hipótese, por sua vez, focaliza na avaliação da morfometria e sistema sexual dessa espécie, com o objetivo de compreender os mecanismos sexuais envolvidos. Hipótese 3: A *Schinus terebinthifolia*, conhecida por suas características dualísticas, pode ser tanto uma aliada quanto uma adversária no contexto ambiental e econômico, dependendo do uso e manejo que se faz da planta. Uma análise bibliométrica das suas potencialidades pode revelar se os benefícios superam os desafios associados ao seu cultivo e utilização. Quanto à terceira hipótese, visa-se entender a dualidade presente na espécie, examinando suas potencialidades fitoquímicas e sua característica invasora, sugerindo que a planta possui aspectos positivos e negativos que podem ser explorados ou mitigados, dependendo das circunstâncias e do conhecimento disponível. Cada uma dessas hipóteses está vinculada a um capítulo específico, sendo que os dois primeiros capítulos já foram publicados no periódico *Brazilian Journal of Biology*, enquanto o terceiro será submetido como um artigo científico dentro do escopo desta tese de doutorado para o periódico *Forests, Trees and Livelihoods*.

REFERENCIAL TEÓRICO

Modelagem de nicho ecológico

A modelagem de nicho, também conhecida como modelagem de distribuição de espécies ou modelagem de habitat, representa uma ferramenta de grande relevância na ecologia e biologia da conservação, destinada a compreender a distribuição e a abundância das espécies em relação aos fatores ambientais (Soberón; Peterson, 2005). Originada da necessidade de aprimorar a compreensão das interações entre as espécies e o ambiente em que habitam, bem como o impacto dessas interações na distribuição geográfica, a modelagem delinea uma “Área M”, dentro da qual definimos uma área de buffer projetada de 300 km em torno dos dados de ocorrência para ajuste do modelo (Barve *et al.*, 2011).

Os princípios fundamentais da modelagem de nicho compreendem a identificação e a análise dos fatores ambientais que exercem influência sobre a distribuição das espécies, abrangendo elementos geográficos, como relevo e tipo de solo, e fatores climáticos, tais como

temperatura e precipitação. Contudo, destaca-se que os fatores climáticos desempenham um papel crucial na determinação da distribuição geral de uma espécie (Guisan; Thuiller, 2005; Velazco *et al.*, 2019). Esses fatores constituem a base para a previsão da distribuição potencial de uma espécie em distintas áreas geográficas (Norberg *et al.*, 2019).

Em linhas gerais, ao realizar modelagem com base em variáveis climáticas, é viável utilizar, por exemplo, as 19 variáveis macroclimáticas disponíveis no *WorldClim 2.1* (www.worldclim.org), as quais abrangem tanto as condições atuais quanto as projeções para o futuro. A resolução de todos os dados espaciais deve ser padronizados (Fick; Hijmans, 2017). Em escalas amplas, as condições abióticas desempenham um papel crucial, influenciando o tamanho e a forma das distribuições das espécies em escalas regionais e continentais. Nesse contexto, tais escalas também minimizam os impactos das interações biológicas (Hortal *et al.*, 2010). Adicionalmente, busca-se diminuir autocorrelação espacial inerente às variáveis originais, ao utilizar uma resolução menor (Pimenta *et al.*, 2022).

As diretrizes da modelagem de nicho abrangem diversos métodos, que envolvem a coleta de dados de ocorrência das espécies, os dados ambientais correspondentes e a aplicação de técnicas estatísticas e algoritmos de modelagem para estabelecer relações entre ambos os conjuntos de dados e desenvolver modelos preditivos (Fielding; Bell, 1997; Andrade *et al.*, 2020). Um exemplo é a minimização das pseudoausências de baixa adequabilidade previstas pelo modelo Bioclim (Engler *et al.*, 2004). É fundamental que esses modelos sejam validados utilizando dados independentes, assegurando assim sua precisão e aplicabilidade (Leroy, 2018).

A modelagem de nicho apresenta uma variedade de aplicações, tais como a identificação de áreas prioritárias para conservação e o planejamento de reintroduções de espécies ameaçadas (Velazco *et al.*, 2019) e a avaliação dos impactos das mudanças climáticas na distribuição das espécies (Cruz *et al.*, 2023). Além disso, esses modelos são utilizados para investigar processos ecológicos fundamentais, incluindo competição, predação e dispersão (Wang *et al.*, 2017).

Amplamente empregada em estudos de ecologia e conservação, a modelagem de nicho é aplicável a diversos organismos e escalas espaciais (Cruz *et al.*, 2023). Os tipos de modelos adotados variam desde abordagens estatísticas simples, como modelos lineares generalizados (Allouche *et al.*, 2006), até técnicas mais avançadas, como redes neurais artificiais e modelos de máquinas de vetores de suporte (Velazco *et al.*, 2019). Aprimoramentos do modelo podem ser alcançados por meio de métricas que visam proporcionar uma estimativa confiável da

distribuição de espécies, aumentando a precisão da modelagem (Araujo e New, 2007; Norberg *et al.*, 2019; Thuiller *et al.*, 2019).

Em síntese, a modelagem de nicho ecológico emerge como uma ferramenta essencial para compreender as interações entre as espécies e o ambiente, permitindo a previsão de sua distribuição geográfica e fornecendo percepções valiosas para a conservação da biodiversidade e a gestão dos ecossistemas. Com o avanço da tecnologia e o desenvolvimento de novas técnicas analíticas, a modelagem de nicho continua a evoluir, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada da dinâmica dos ecossistemas e dos impactos das mudanças ambientais.

Schinus terebinthifolia: Biologia floral e sistema sexual de plantas

Schinus terebinthifolia (Anacardiaceae) é uma árvore de grande porte (Figura 1) que pode atingir alturas entre 8 e 15 metros (Carvalho, 1994). Ela é popularmente conhecida pelos nomes: Pimenta rosa, aroeira vermelha, aroeira da praia, aroeira, aroeira de remédio, aroeira mansa e está distribuída em várias regiões ao redor do mundo e é considerada uma espécie invasora, que interfere em um sistema causando perturbação ou dano às espécies nativas, conforme relatado pelo Discover of Life (2023). No território brasileiro, ela é encontrada em diversas formações fitogeográficas, incluindo Áreas Antropogênicas, Campos Abertos, Cerrado (em sentido amplo), Matas Ciliares ou de Galeria, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Manguezais e Bancos de Areia (Silva-Luz *et al.*, 2023). Sua distribuição se estende da região norte do Pará até os estados de Alagoas, Bahia, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Silva-Luz *et al.*, 2023). Esta espécie desempenha um papel significativo na restauração de áreas degradadas (Costa *et al.*, 2022) e é relevante na produção de frutas utilizadas para fins medicinais e culinários (Ronchi *et al.*, 2022).

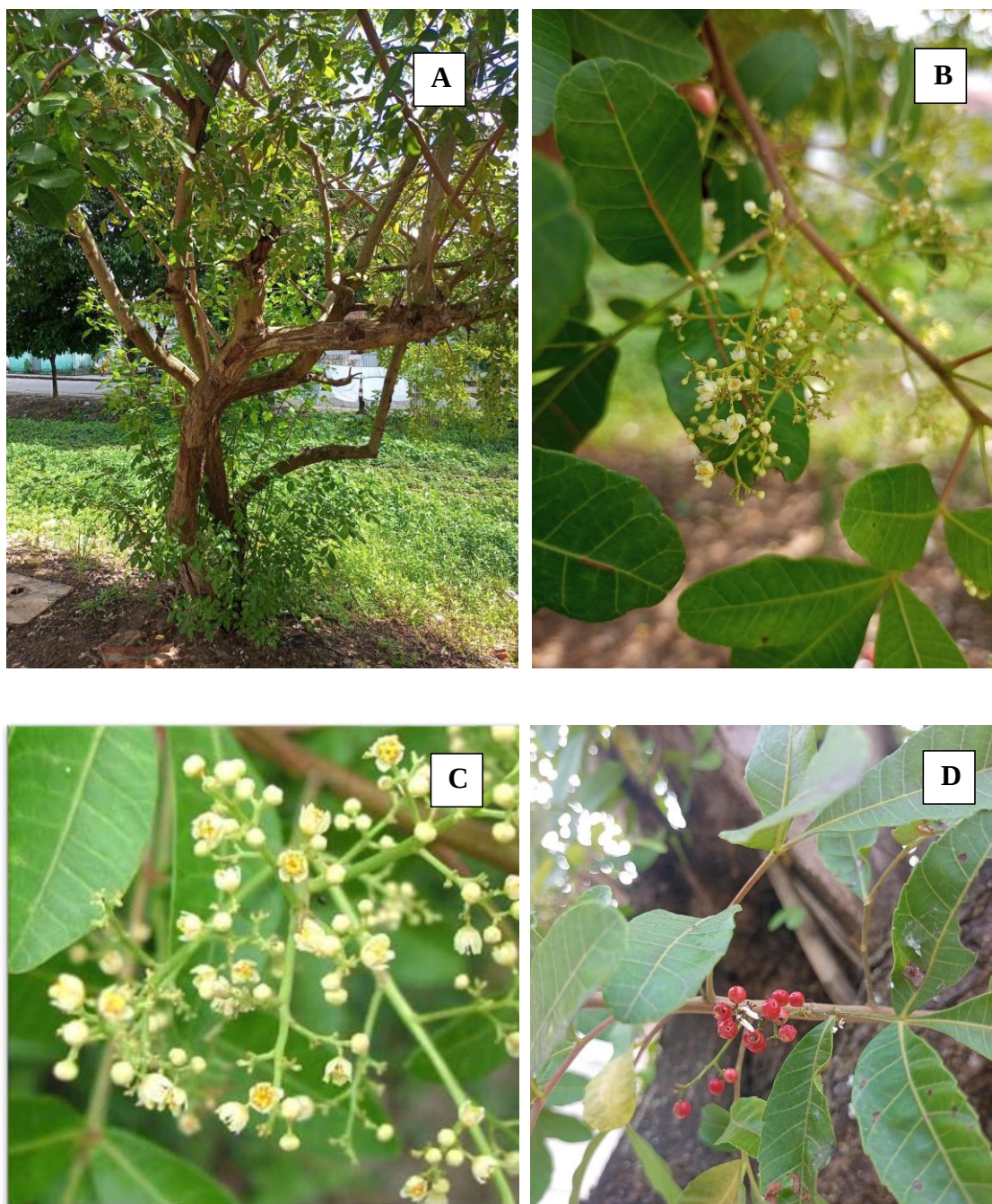


Figura 1. *Schinus terebinthifolia* Raddi: A) Estrutura do indivíduo adulto; B) Folhas compostas e ramo fértil; C) Disposição da inflorescência compostas do tipo panícula racemosa; D) Frutos maduros.

As flores são brancas, pequenas, pentâmeras, actinomorfas, dialipsepalas e dialipétalas, dispostas em inflorescências compostas do tipo panícula racemosa (Cesário e Gaglianone, 2008). A espécie apresenta dois tipos florais nas populações; existem indivíduos com flores

hermafroditas (aparentemente com pistilo atrofiado), coexistindo com indivíduos com apenas flores pistiladas, apresentando apenas um tipo floral por inflorescência.

A biologia floral constitui um ramo essencial da botânica que se dedica à análise minuciosa das estruturas florais e ao entendimento de seus papéis fundamentais no processo de reprodução das plantas. Este campo de estudo possui uma rica e fascinante história, que remonta aos primórdios da ciência botânica. A apreciação pela biologia floral tem raízes em civilizações antigas, notadamente as culturas grega e assíria (Rech; Westerkamp, 2014). Contudo, o desenvolvimento significativo desta área ocorreu durante o Renascimento, período em que cientistas como Rudolph Jakob Camerarius, Johann Jakob Dillenius, Joseph Gottlieb Kölreuter e Carl Linnaeus passaram a investigar as flores de maneira mais sistemática, estabelecendo classificações botânicas com base em suas características florais (Mayr, 1986).

No século XIX, a biologia floral experimentou um notável progresso, impulsionada pelos avanços na microscopia, que possibilitaram estudos minuciosos das estruturas das flores (Grew, 1682). Um protagonista de destaque nesse cenário foi Charles Darwin, cuja influência foi crucial na evolução da biologia floral, graças à sua obra “A Origem das Espécies”. Nesse livro, Darwin apresentou sua teoria da seleção natural, salientando a importância das adaptações florais na competição por recursos e no processo reprodutivo das plantas (Rech; Westerkamp, 2014). Herbert Baker, por sua vez, descreveu os estudos anteriores ao século XIX como observações provisórias, frequentemente dispersas, em contraste com os estudos influenciados pela abordagem darwiniana e pós-darwiniana onde reconheciam a polinização das plantas e a biologia reprodutiva com foco nas estruturas sexuais como elementos centrais na compreensão da evolução e diversificação da vida no nosso planeta (Barônio *et al.*, 2016).

Entretanto, é inegável que Charles Darwin tenha sido profundamente influenciado por pelo menos duas outras personalidades-chave que desempenharam um papel fundamental na consolidação da biologia floral como campo de estudo. Estas figuras destacadas são Joseph Gottlieb Kölreuter (1761) e Christian Konrad Sprengel (1793). O trabalho de Darwin na área da reprodução das plantas, que absorveu a maior parte de sua vida posterior, sem dúvida, foi moldado por esse arcabouço teórico. Esse arcabouço teórico contribuiu de maneira significativa para a consolidação da teoria evolutiva e permitiu a abordagem evolucionária lançar uma nova luz sobre a morfologia e o funcionamento das flores (Schneckenburger 2009; Rech; Westerkamp 2014). Por meio da compilação de estudos realizados sobre

polinização e biologia floral, Paul Knuth já vislumbrava e indicava, em sua obra intitulada “Handbuch der Blütenbiologie” publicada no final do século XIX, em 1898, que esse gênero de pesquisa se tornaria um campo de estudo preeminente no século seguinte.

No decorrer do século XX, a biologia floral presenciou um contínuo crescimento à medida que os cientistas desvendaram os intricados mecanismos moleculares subjacentes à reprodução das plantas, tais como a fertilização e a formação de sementes. Os avanços na pesquisa em genética e biologia molecular também lançaram luz sobre como os genes desempenham um papel crucial no desenvolvimento das flores e na ampla diversidade floral. Contudo, vale ressaltar que durante a primeira metade do século XX, em virtude dos impactos das duas guerras mundiais e da agitação social, os estudos voltados para a biologia floral, sistema sexual e polinização, em certa medida, migraram do Velho Mundo para o Novo Mundo e das regiões temperadas para as tropicais (Proctor *et al.*, 1996; Vogel, 2007).

O surgimento do neodarwinismo que surgiu no período pós-guerra (Mayr; Provine 1980), vivenciou um renovado interesse no âmbito da biologia floral. Após um período de relativa estagnação, esse ressurgimento, em parte enriquecido por pesquisas realizadas em regiões tropicais e ilhas remotas, desempenhou um papel fundamental ao recolocar a biologia floral e sistema sexual no epicentro da biologia evolutiva (Proctor *et al.*, 1996; Vogel 2007). Esse renascimento, por sua vez, promoveu uma síntese abrangente ao unir ferramentas genéticas, fisiológicas e até mesmo técnicas da biologia molecular, impulsionando os estudos de biologia floral a um nível de explicação superior (Proctor *et al.*, 1996; Endress 1996; Vogel 2007).

Atualmente, a biologia floral desempenha um papel de extrema relevância na nossa apreciação da diversidade e evolução das plantas (Delph, 2019; Gouker *et al.*, 2021). Sua aplicabilidade estende-se aos domínios da agricultura, horticultura, conservação e, inclusive, na próspera indústria de floricultura (Castro *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2022). Além disso, a biologia floral e sistema sexual proporciona valiosos insights acerca da coevolução entre as plantas e seus polinizadores, um tema que adquire cada vez mais importância no contexto das mudanças climáticas e da crescente ameaça à biodiversidade (Peace *et al.*, 2020; Cristóbal-Pérez *et al.*, 2021).

A trajetória da biologia floral sistema sexual se configura como uma narrativa repleta de descobertas fascinantes, que enriqueceram nossa compreensão das flores e da sua significância na vida das plantas e na ecologia do nosso planeta. Este campo de estudo permanece em constante evolução, continuando a oferecer contribuições notáveis para a

ciência e para a sociedade em geral (Sauquet *et al.*, 2017; Sokoloff *et al.*, 2018). De maneira abrangente, podemos definir a biologia floral como um domínio especializado da botânica voltado para a investigação das estruturas florais e seu papel fundamental na reprodução das plantas. Os componentes da biologia floral abarcam diversos aspectos, tais como:

- **Morfologia Floral:** O estudo da morfologia floral envolve a análise das diferentes partes de uma flor, como pétalas, sépalas, estames, pistilos, entre outros. Os botânicos examinam as características morfológicas das flores para classificar e identificar as plantas.
- **Polinização:** A polinização é um dos aspectos mais cruciais da Biologia Floral. Ela se refere à transferência de pólen das anteras de uma flor para o estigma de outra, permitindo a fertilização. A Biologia Floral investiga os mecanismos de polinização e os polinizadores envolvidos, como abelhas, borboletas, aves e vento.
- **Coevolução:** As interações entre as plantas e seus polinizadores frequentemente levam à coevolução, na qual as plantas desenvolvem adaptações florais específicas para atrair polinizadores, e os polinizadores evoluem características que lhes permitem explorar essas flores de maneira eficaz. Essa dinâmica de coevolução é um tópico central na Biologia Floral.
- **Estratégias Reprodutivas:** As plantas desenvolveram uma ampla variedade de estratégias reprodutivas, desde a produção de flores altamente especializadas até a produção em massa de flores simples. A Biologia Floral estuda como essas estratégias se relacionam com o ambiente e a biologia das plantas.
- **Genética Floral:** O estudo da genética floral se concentra nos genes que controlam o desenvolvimento e a morfologia das flores. Com o avanço da biologia molecular, os cientistas podem mapear os genes envolvidos na formação de flores e entender como as mutações genéticas afetam a aparência das flores.
- **Conservação e Biodiversidade:** A Biologia Floral desempenha um papel importante na conservação de espécies de plantas ameaçadas. Ao compreender as relações florais e a polinização, os conservacionistas podem desenvolver estratégias para proteger populações de plantas vulneráveis e seus polinizadores.

A biologia floral engloba uma ampla gama de tópicos relacionados às flores e à reprodução das plantas. Seu estudo é de suma importância para a compreensão da ecologia e da evolução das plantas, com implicações de destaque em campos como a agricultura, a preservação da biodiversidade e a horticultura. Em uma época contemporânea em que enfrentamos desafios como a crise na polinização, que ameaça a segurança alimentar e o bem-estar humano, as pesquisas acerca da biologia floral e da polinização oferecem valiosas

pistas para a promoção do uso sustentável dos serviços de polinização, beneficiando a agricultura, a conservação da biodiversidade e o bem-estar da sociedade (IPBES, 2016).

Nesse contexto, o sistema sexual de plantas está relacionado diretamente à organização dos sexos em plantas abrange uma variedade de sistemas sexuais encontrados na natureza, como sistemas hermafroditas, dioicos, monóicos, ginodioicos, androdioicos, ginomonoicos e ginodioicos (Renner, 2014). Cada sistema sexual possui vantagens e desvantagens adaptativas, dependendo das condições ambientais e das pressões seletivas (Toledo *et al.*, 2020). A compreensão desses sistemas é crucial tanto na biologia evolutiva quanto na ecologia, pois permite uma análise profunda das estratégias reprodutivas das espécies e de seus impactos na dinâmica populacional (Ferreira *et al.*, 2022).

Nas plantas com flores dióicas, é comum observar diferenças entre flores pistiladas e estaminadas em diversas características morfológicas, fisiológicas e de história de vida, fenômeno conhecido como dimorfismo sexual (Ushimaru *et al.*, 2023). Compreender as razões por trás desse dimorfismo é uma questão central na biologia evolutiva (Barrett; Hought, 2013). O estudo dos sistemas sexuais surgiu da necessidade de compreender como os organismos se reproduzem e como esses processos afetam a estrutura e a função das populações e comunidades (Oliveira; Maruyama, 2014; Ferreira *et al.*, 2022). Muitas plantas com flores morfológicamente hermafroditas podem apresentar gineceu ou androceu não funcionais, resultando da perda da funcionalidade devido a mutações ou disponibilidade fisiológica (Oliveira; Maruyama, 2014).

Os princípios fundamentais dos sistemas sexuais envolvem a análise das estratégias reprodutivas espaço temporal, incluindo diferenciação entre sexos, sistemas de acasalamento, seleção sexual e estratégias de investimento parental (Delph, 2019; Castro *et al.*, 2021). Esses princípios são essenciais para entender como a reprodução influencia a distribuição, abundância e diversidade das espécies em diferentes ambientes (Renner, 2014; Sauquet *et al.*, 2017; Moquet *et al.*, 2020; Cristóbal-Pérez *et al.*, 2021). A ocorrência de flores com sexos separados num mesmo indivíduo, como na andromonoícia, é comum em plantas com frutos grandes e custosos, otimizando a função masculina sem os custos da produção de pistilos. Já a ginomonoícia, com flores funcionalmente femininas em plantas hermafroditas, é mais rara e associada à esterilidade polínica, mutações ou a grupos específicos (Cane, 1993; Taylor *et al.*, 1999; Charlesworth, 2013; Renner, 2014; Gouker *et al.*, 2021).

As diretrizes para o estudo dos sistemas sexuais incluem a coleta de dados sobre a reprodução das espécies, como sistema reprodutivo, comportamento de troca gamética,

sucesso reprodutivo e investimento parental, que são analisados com métodos estatísticos e modelos teóricos para identificar padrões e processos relacionados à reprodução (Domingos-melo *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2022).

Os sistemas sexuais desempenham um papel fundamental em processos ecológicos e evolutivos, como seleção natural, especiação, competição intra e intersexual, e dinâmica populacional, influenciando a estrutura genética e a diversidade das populações. A evolução das flores de sexos separados parece estar ligada a uma assimetria nas vantagens de cada função sexual, culminando em dois sexos separados ou sistemas intermediários (Renner, 2014; Gouker *et al.*, 2021).

Além disso, Renner (2014) compilou todos os sistemas sexuais conhecidos em plantas com flores na natureza, categorizando-os com base na temporalidade da exportação/importação de gametas e na separação espacial. Os tipos de sistemas incluem dicogamia (Lloyd and Webb, 1986 ; Bertin and Newman, 1993), mudança de sexo ontogenética (Schlessman, 1988 ; Condon and Gilbert, 1988), duodichogamia (Lloyd and Webb, 1986 ; Luo *et al.*, 2007), heterodicogamia (incluindo flexistilia) (Renner, 2001 ; Teichert *et al.*, 2011 ; Wang *et al.*, 2012; Fukuhara and Tokumaru, 2014), bem como separação espacial, abrangendo monoclinia (Darwin, 1877; Dyer, 1877; Renner, 2014), dicinia (Renner, 2014), heterostilia (distilia, tristilia) (Barrett and Shore, 2008), enantiostilia (Jesson and Barrett, 2003), monoecia (Renner and Ricklefs, 1995; Renner, 2014), andromonoecia (Torices *et al.*, 2011), ginomonoecia (Torices *et al.*, 2011), androdioecia (Pannell, 2002), ginodioecia (Spigler e Ashman, 2012; Dufay *et al.*, 2014), dioecia (Renner, 2014), trioecia, poligamodioecia e poligamia (McArthur *et al.*, 1992; Fleming *et al.*, 1994; Renner, 2014).

Em síntese, o estudo dos sistemas sexuais é essencial para compreender a biologia e ecologia das espécies, fornecendo insights sobre sua história evolutiva, adaptações comportamentais e estratégias reprodutivas. Com avanços tecnológicos e novas abordagens analíticas, espera-se que esses estudos continuem a revelar a diversidade e complexidade da vida na Terra.

Composição química das plantas

A compreensão da composição química das plantas desempenha um papel fundamental em diversos campos, incluindo ecologia, agricultura, farmacologia e biotecnologia. Esse

entendimento permite uma análise detalhada da diversidade química das plantas e de suas interações com o ambiente e outras espécies (Álvares-Carvalho *et al.*, 2015; Cavalcanti *et al.*, 2015; Thibault *et al.*, 2018; Ribeiro Neto *et al.*, 2020; Locali-Pereira *et al.*, 2023; Pich *et al.*, 2023). O estudo dos compostos químicos originou-se da necessidade de compreender os processos bioquímicos envolvidos na produção de substâncias como os metabolitos secundários, bem como seus papéis funcionais nas plantas, incluindo sua utilização em sistemas de alimentação (Feriani *et al.*, 2021a; Vieira *et al.*, 2023).

Os princípios fundamentais dos compostos secundários envolvem a análise minuciosa dos processos bioquímicos e fisiológicos que regulam sua produção, armazenamento e liberação pelas plantas, além de seus efeitos sobre o crescimento, a reprodução e a interação com outros organismos, como alelopátia e controle biológico (Donnelly *et al.*, 2008; Shetty *et al.*, 2011; Vieira *et al.*, 2023). Esses princípios são essenciais para compreender como tais compostos contribuem para a adaptação das plantas ao ambiente e para sua defesa contra herbívoros, patógenos e estresses ambientais (Alves-Silva; Del-Claro, 2016; Feriani *et al.*, 2021a).

As diretrizes para o estudo dos compostos secundários envolvem diversas etapas, como a identificação e quantificação dessas substâncias nas plantas, a análise de seus efeitos fisiológicos e bioquímicos, e a investigação de seus papéis ecológicos e evolutivos, além de sua aplicabilidade nas indústrias cosmética e alimentícia (Thibault *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2022; Vieira *et al.*, 2023). Para conduzir tais estudos, uma variedade de técnicas analíticas é empregada, incluindo cromatografia, espectrometria de massa e ensaios biológicos (Kim *et al.*, 2021).

Os compostos químicos desempenham uma ampla gama de funções vitais nas plantas, abrangendo desde a atração de polinizadores e dispersores, até a defesa contra herbívoros e patógenos, bem como a regulação do crescimento e desenvolvimento, e interações complexas com outros organismos, como simbioses e competidores (Alves-Silva; Del-Claro, 2016; Ortega-Flores *et al.*, 2018; Thibault *et al.*, 2018; Molefe *et al.*, 2020). Adicionalmente, muitos desses compostos apresentam potencial farmacológico, sendo amplamente explorados na medicina tradicional e na indústria farmacêutica (Cavalcanti *et al.*, 2015; Ribeiro Neto *et al.*, 2020; Feriani *et al.*, 2021b; Carneiro *et al.*, 2023).

Atualmente, os estudos sobre compostos químicos desempenham um papel crucial em uma ampla gama de áreas, incluindo ecologia química, biologia da conservação, agronomia, bem como o desenvolvimento de medicamentos e cosméticos (Silva *et al.*, 2022; El-Nashar

et al., 2022; Locali-Pereira *et al.*, 2023; Pich *et al.*, 2023). Para investigar a diversidade química das plantas e seus impactos na saúde humana e no meio ambiente, os pesquisadores adotam uma variedade de abordagens, que incluem genômica, metabolômica e bioinformática (Álvares-Carvalho *et al.*, 2016; Elshafie *et al.*, 2016; Tacoronte-Morales, 2020; Mügge; Morlock, 2023).

Diversos tipos de compostos químicos são identificados nas plantas, como alcaloides, terpenoides, fenólicos e compostos nitrogenados. Cada classe de metabolito secundário apresenta características químicas e biológicas únicas, desempenhando funções que vão além de sua estrutura como regulação e interações ecológicas. Muitos desses compostos possuem potencial para serem explorados como fontes de medicamentos, pesticidas e produtos naturais para o controle de vetores patológicos (Correia *et al.*, 2006; Elshafie *et al.*, 2016; Bortolucci *et al.*, 2019; Belhoussaine *et al.*, 2022).

Entre esses fenômenos, destaca-se a alelopatia, em que plantas liberam compostos químicos no ambiente, influenciando o crescimento, desenvolvimento ou sobrevivência de outras espécies (Wandscheer *et al.*, 2011; Bitencourt *et al.*, 2021). No contexto da espécie *Schinus terebinthifolia*, a alelopatia se manifesta através da produção de metabólitos secundários, como taninos, flavonoides e terpenos, que podem inibir a germinação de sementes e o crescimento de plântulas de outras espécies (Bitencourt *et al.*, 2021). Conforme apontado por Souza *et al.* (2007), Comiotto *et al.* (2011) e Bündchen *et al.* (2015), a pimenta-rosa demonstra potencial alelopático. Em experimentos realizados com sementes de alface, os pesquisadores observaram uma diminuição tanto na taxa de germinação quanto no desenvolvimento das plântulas devido à aplicação do extrato foliar.

Ecologicamente, esses efeitos conferem à espécie uma vantagem competitiva, contribuindo para sua capacidade invasiva em diversos ecossistemas, ao mesmo tempo que podem reduzir a biodiversidade local. Do ponto de vista fitoquímico, os compostos liberados por *S. terebinthifolia* apresentam potencial farmacológico, como propriedades antimicrobianas e antioxidantes, o que amplia as perspectivas de estudo sobre seu uso medicinal (Bessa *et al.*, 2013). Estudos futuros podem explorar os mecanismos moleculares da alelopatia nesta espécie, suas interações com microbiomas do solo e os impactos de longo prazo na dinâmica de ecossistemas invadidos.

Em síntese, o estudo dos compostos químicos das plantas é essencial para uma compreensão abrangente da bioquímica, ecologia, e evolução das plantas, e para o desenvolvimento de aplicações práticas em medicina, agricultura e biotecnologia. Com o

avanço da tecnologia e o desenvolvimento de novas abordagens analíticas, espera-se que os estudos sobre esses compostos continuem a fornecer entendimentos valiosos sobre a diversidade e a complexidade da química das plantas e suas interações com o ambiente.

Bioeconomia e Perspectivas Futuras para *Schinus terebinthifolia*

O conceito de bioeconomia surgiu no final do século XX, impulsionado pela necessidade de alternativas sustentáveis à economia tradicional baseada em combustíveis fósseis e recursos não renováveis (Silva *et al.*, 2018). Sua origem está ligada a debates acadêmicos e políticos sobre o uso de recursos biológicos e a aplicação de biotecnologias para atender às demandas crescentes por energia, alimentos e produtos industriais. Inicialmente, a bioeconomia foi associada à biotecnologia e à engenharia genética, mas, ao longo do tempo, expandiu-se para incluir práticas que integram inovação, economia circular e sustentabilidade (Gutiérrez *et al.*, 2023; McCormick; Kautto, 2013, Parisi; Ronzon, 2016;). Hoje, a bioeconomia abrange uma abordagem multidisciplinar, englobando agricultura, silvicultura, pesca, e a produção industrial de bioprodutos, promovendo uma transição para modelos econômicos que conciliem desenvolvimento econômico e conservação ambiental.

A bioeconomia desponta como uma alternativa promissora à economia tradicional baseada em recursos finitos, ao priorizar o uso de materiais biológicos para criar bens, serviços e tecnologias sustentáveis (Gutiérrez *et al.*, 2023). De forma ampla, este conceito abrange a utilização de biomassa e biotecnologia para produzir soluções inovadoras em diversas áreas, promovendo o crescimento econômico aliado à preservação ambiental. Entre seus objetivos estão a mitigação de mudanças climáticas, a transição para uma economia circular e o fortalecimento da segurança alimentar (Oliveira Junior; Rodrigues, 2024). Nesse cenário, espécies vegetais como *Schinus terebinifolia* ganham destaque devido ao seu potencial ecológico e comercial.

Nativa da América do Sul, *Schinus terebinifolia* é reconhecida por suas múltiplas aplicações, incluindo usos medicinais, ornamentais e industriais (Guilherme, 2020). Seus frutos, conhecidos como “pimenta rosa”, são apreciados tanto na gastronomia quanto na produção de óleos essenciais (Ronchi *et al.*, 2022). Além disso, a espécie se destaca por sua resiliência ambiental, sendo amplamente utilizada em projetos de restauração ecológica (Costa *et al.*, 2022). Pesquisas recentes reforçam seu papel em setores como o cosmético e farmacêutico, devido às propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias e antioxidantes de

seus óleos essenciais (Silva *et al.*, 2018; Tang *et al.*, 2020). No campo ambiental, a planta desempenha um papel crucial na revegetação de áreas degradadas e no fortalecimento da biodiversidade local.

O futuro da *S. terebinifolia* na bioeconomia está atrelado a estratégias que ampliem seu aproveitamento sustentável. Um dos caminhos mais promissores é a diversificação de cadeias produtivas, por meio do uso integrado de diferentes partes da planta, como folhas e cascas, para extrair compostos bioativos de alto valor (Belhoussaine *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2020; Vasconcelos *et al.*, 2022). Tecnologias avançadas, como a biotecnologia, podem ser aplicadas para otimizar o cultivo e a obtenção de seus derivados. Outra perspectiva é a criação de mercados sustentáveis, impulsionados por certificações que garantam práticas ambientalmente responsáveis, atraindo consumidores globais preocupados com a sustentabilidade (Guilherme, 2020; Oliveira Junior; Rodrigues, 2024; Silva *et al.*, 2018). Por fim, resíduos gerados na produção da pimenta rosa podem ser reaproveitados em iniciativas de economia circular, como a produção de biopolímeros ou bioenergia.

Apesar das oportunidades, o pleno aproveitamento de *Schinus terebinifolia* requer esforços direcionados para superar desafios, incluindo a falta de regulamentação específica, lacunas em pesquisa científica e limitações de infraestrutura. Investimentos contínuos em inovação e parcerias estratégicas entre setores público e privado serão fundamentais para viabilizar o uso sustentável e maximizar os benefícios dessa espécie.

Dessa forma, *Schinus terebinifolia* se posiciona como uma aliada estratégica na transição para uma bioeconomia mais inclusiva e resiliente. Com seu potencial para impulsionar cadeias produtivas sustentáveis e atender às demandas por soluções ambientais inovadoras, essa planta pode desempenhar um papel central na construção de um futuro mais verde. Estudos futuros devem priorizar o aprofundamento no conhecimento sobre seus recursos biológicos e a implementação de modelos produtivos integrados e alinhados às práticas de sustentabilidade.

CAPÍTULO I

MODELAGEM PREDITIVA DA DISTRIBUIÇÃO PROJETADA ATUAL E FUTURA DE *Schinus terebinthifolia* RADDI NAS AMÉRICAS

RESUMO: A biodiversidade global encontra-se sob ameaça substancial devido às invasões biológicas, um problema agravado pelas mudanças climáticas. Tais invasões têm efeitos prejudiciais sobre o meio ambiente, economia e saúde humana, resultando em encargos financeiros significativos. Recentemente, a compreensão desses desafios se tornou prioridade destacada na comunidade científica. Este estudo se concentra na avaliação da projeção de *Schinus terebinthifolia*, nativa da América do Sul, e sua disseminação invasiva para a América do Norte e Central. Os principais objetivos deste estudo consistem em analisar a distribuição potencial da espécie sob o cenário climático atual e dois cenários futuros (1) SSP2-4.5 (moderado, com aumento de temperatura de ~2,1-4,3 °C e 26,84 gigatoneladas de CO₂ até 2100) e (2) SSP5-8.5 (*business-as-usual*, com aumento de temperatura de ~3,8-7,4 °C e 129,85 gigatoneladas de CO₂ até 2100, identificando as áreas onde seu nicho climático está se alterando. A coleta abrangeu um vasto conjunto de mais de 30.000 registros de ocorrências da espécie, nas bases de dados (1) *Global Biodiversity Information Facility* com 22.163 registros (GBIF), (2) O Herbário virtual Re flora com 1.438 registros e o *NeoTropTree* com 6.591 registros e após um processo de filtragem, 992 ocorrências foram consideradas para modelagem. Nesse processo, aplicamos dados climáticos e projeções climáticas, recorrendo a diversos algoritmos, com destaque para a metodologia do modelo de consenso. Os resultados da pesquisa indicam uma ampla distribuição e um impacto significativo das mudanças climáticas, além de apontarem uma tendência de redução na adequação do habitat da *S. terebinthifolia*, especialmente sob cenários de elevado aquecimento global. Isso acentua a urgência da implementação de medidas de controle de emissões de CO₂ e estratégias de mitigação ambiental. Adicionalmente, o estudo ressalta a importância crucial da vigilância contínua, bem como das ações de controle e restauração de ecossistemas afetados. O papel relevante desempenhado por *S. terebinthifolia* em suas áreas nativas e invadidas chama a atenção para a necessidade de adotar abordagens de manejo abrangentes. Diante do cenário de mudanças climáticas e das ameaças à biodiversidade, este estudo contribui com perspicazes observações sobre a dinâmica das invasões biológicas. O sucesso na abordagem dessas questões depende de uma cooperação estreita entre a comunidade científica, legisladores, gestores de terras e as comunidades locais. Essa colaboração é essencial para orientar e conduzir os esforços de conservação e gestão da biodiversidade em um mundo em constante evolução.

Palavras-chave: Biodiversidade, invasão biológica, mudanças climáticas, conservação, espécies invasoras

ABSTRACT: Global biodiversity is under substantial threat due to biological invasions, a problem exacerbated by climate change. Such invasions have detrimental effects on the environment, economy, and human health, resulting in significant financial burdens. Recently, understanding these challenges has become a prominent priority within the scientific community. This study focuses on evaluating the projection of *Schinus terebinthifolia*, native to South America, and its invasive spread to North and Central America. The primary objectives of this study are to analyze the species' potential distribution under the current climatic scenario and two future scenarios: (1) SSP2-4.5 (moderate, with a temperature increase of ~2.1–4.3 °C and 26.84 gigatons of CO₂ by 2100) and (2) SSP5-8.5 (business-as-usual, with a temperature increase of ~3.8–7.4 °C and 129.85 gigatons of CO₂ by 2100), identifying areas where its climatic niche is shifting. Data collection encompassed a vast dataset of over 30,000 occurrence records of the species, from the following databases: (1) Global Biodiversity Information Facility (GBIF) with 22,163 records, (2) Virtual Herbarium Re flora with 1,438 records, and (3) NeoTropTree with 6,591 records. After a filtering process, 992 occurrences were considered for modeling. In this process, we applied climatic data and projections using various algorithms, emphasizing the consensus model methodology. The research results indicate a broad distribution and significant impacts of climate change, highlighting a trend of reduced habitat suitability for *S. terebinthifolia*, especially under high global warming scenarios. This underscores the urgency of implementing CO₂ emission control measures and environmental mitigation strategies. Additionally, the study emphasizes the critical importance of ongoing monitoring, as well as control and restoration actions for affected ecosystems. The significant role played by *S. terebinthifolia* in both its native and invaded areas underscores the need for adopting comprehensive management approaches. In the face of climate change and biodiversity threats, this study provides insightful observations on the dynamics of biological invasions. Addressing these issues successfully requires close cooperation between the scientific community, policymakers, land managers, and local communities. Such collaboration is essential to guide and drive conservation and biodiversity management efforts in an ever-evolving world.

Keywords: Biodiversity, biological invasions, climate change, conservation, invasive species.

INTRODUÇÃO

A biodiversidade global enfrenta ameaças de invasões biológicas exacerbadas pelas mudanças climáticas. Essas invasões prejudicam o meio ambiente, a economia e a saúde humana (Early *et al.*, 2016). Ao longo das últimas cinco décadas, 60% das extinções globais são atribuídas a espécies invasoras, resultando em um custo anual estimado de US\$ 423 bilhões (IPBES, 2023). Enquanto os benefícios econômicos dos serviços ecossistêmicos nas Américas totalizam US\$ 24,3 bilhões, a atividade humana e as mudanças climáticas globais continuam impulsionando a introdução e disseminação de espécies não nativas (Andersen *et al.*, 2004), com potenciais efeitos sinérgicos resultando em diferentes padrões regionais (Bai *et al.*, 2013; Hulme, 2021).

De modo geral, vários estudos têm projetado tendências futuras na adequação do habitat e na expansão da faixa de espécies invasoras destrutivas sob a influência das mudanças climáticas (Wang *et al.*, 2017; Ahmad *et al.*, 2019; Cruz *et al.*, 2023). Até 2050, espera-se um aumento de 36% no número de espécies exóticas invasoras em todos os táxons (Seebens *et al.*, 2020). No entanto, a legislação internacional voltada para prevenir ou controlar essas invasões ainda não oferece respostas eficazes, criando uma disparidade entre as ameaças representadas por espécies exóticas invasoras e as capacidades de resposta muitas vezes mal quantificadas (Early *et al.*, 2016).

O período necessário para controlar essas invasões é amplamente determinado pelo entendimento taxonômico prévio e pela avaliação da categorização dessas espécies exóticas como não endêmicas ou invasoras (Shackleton *et al.*, 2019). Além disso, é crucial ter conhecimento das áreas com potencial climático para a ocorrência dessas espécies exóticas. Isso enfatiza a importância de identificar áreas que possam ser afetadas para evitar a exclusão de espécies nativas e mitigar o impacto sobre a dinâmica ecológica desses ambientes.

Entre as várias espécies de plantas exóticas invasoras em todo o mundo, *Schinus terebinthifolia* Raddi é encontrada em oito regiões, incluindo América do Norte, Oriente Médio, ilhas do Pacífico, Austrália, África e região Neotropical (Richardson e Rejmánek, 2011). Originária da Argentina (leste e nordeste), Paraguai (leste), Uruguai e Brasil (Carvalho, 2003), esta árvore invasora se destaca entre as 191 espécies relacionadas à produção de alimentos no Brasil devido ao seu uso como especiaria, ampla distribuição e alto desempenho anual de floração (Neves *et al.*, 2016). Quando introduzida em novas regiões, *S. terebinthifolia* coloniza ambientes perturbados, como pastagens, campos abertos, margens

de estradas e clareiras florestais, levando a uma redução na diversidade de espécies vegetais nativas devido à competição por recursos.

Embora amplamente distribuída nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil, as pesquisas sobre *S. terebinthifolia* têm se concentrado principalmente em sua biologia floral, investigando a fenologia reprodutiva e vegetativa da planta, o que inclui análises detalhadas dos padrões sazonais de floração, frutificação e crescimento vegetativo (Césario e Gaglianone, 2008; Milani *et al.*, 2013; Lima *et al.*, 2023). Além disso, a etnobotânica também tem sido alvo de investigação, dada a importância do uso tradicional da planta para diferentes propósitos, incluindo propriedades medicinais e culinárias (Santos *et al.*, 2009; Nochi *et al.*, 2022). No entanto, a ecologia da planta que exploram a interação com o ambiente circundante por meio de metabólitos secundários, também desperta interesse significativo entre os pesquisadores (Pilatti *et al.*, 2019), bem como sua preferência por tipos específicos de solo e sua adaptação a diferentes condições de água (Santos *et al.*, 2023).

Além disso, a comercialização de *S. terebinthifolia* é um aspecto relevante a ser considerado, especialmente devido ao crescente interesse em fitoterapia e na indústria de produtos naturais, que impulsionou a demanda por plantas medicinais como está (Nochi *et al.*, 2022), bem como na gastronomia (Camilo, 2018; Nochi *et al.*, 2022). No entanto, a escassez de estudos sobre modelagem de distribuição e os impactos das mudanças climáticas nesta espécie permanecem uma limitação. Portanto, o objetivo deste estudo é abordar as seguintes questões de pesquisa: (1) Qual é a distribuição potencial de *S. terebinthifolia* sob cenários climáticos atuais e futuros? e (2) Em quais áreas da região Neotropical essa espécie está sofrendo deslocamento em seu nicho climático entre regiões nativas e introduzidas?

MATERIAL E MÉTODOS

Registros de ocorrência e limpeza de dados

Obtivemos 30.192 registros de ocorrência de *S. terebinthifolia* de três fontes principais: (1) A Global Biodiversity Information Facility forneceu 22.163 registros (GBIF.org 2023). (2) O Herbário virtual Re flora contribuiu com 1.438 registros (Re flora, 2023). (3) O NeoTropTree forneceu 6.591 registros (NeoTropTree, 2023). Esses registros foram submetidos a uma rigorosa verificação manual. Registros duplicados e aqueles com identificação questionável foram removidos. Apenas registros dentro de fragmentos florestais e aqueles com coordenadas geográficas compatíveis com a resolução utilizada em

nossos modelos (5 minutos de arco) foram considerados. Após essa filtragem manual, restaram 1.009 ocorrências de *S. terebinthifolia* (Figura 1).

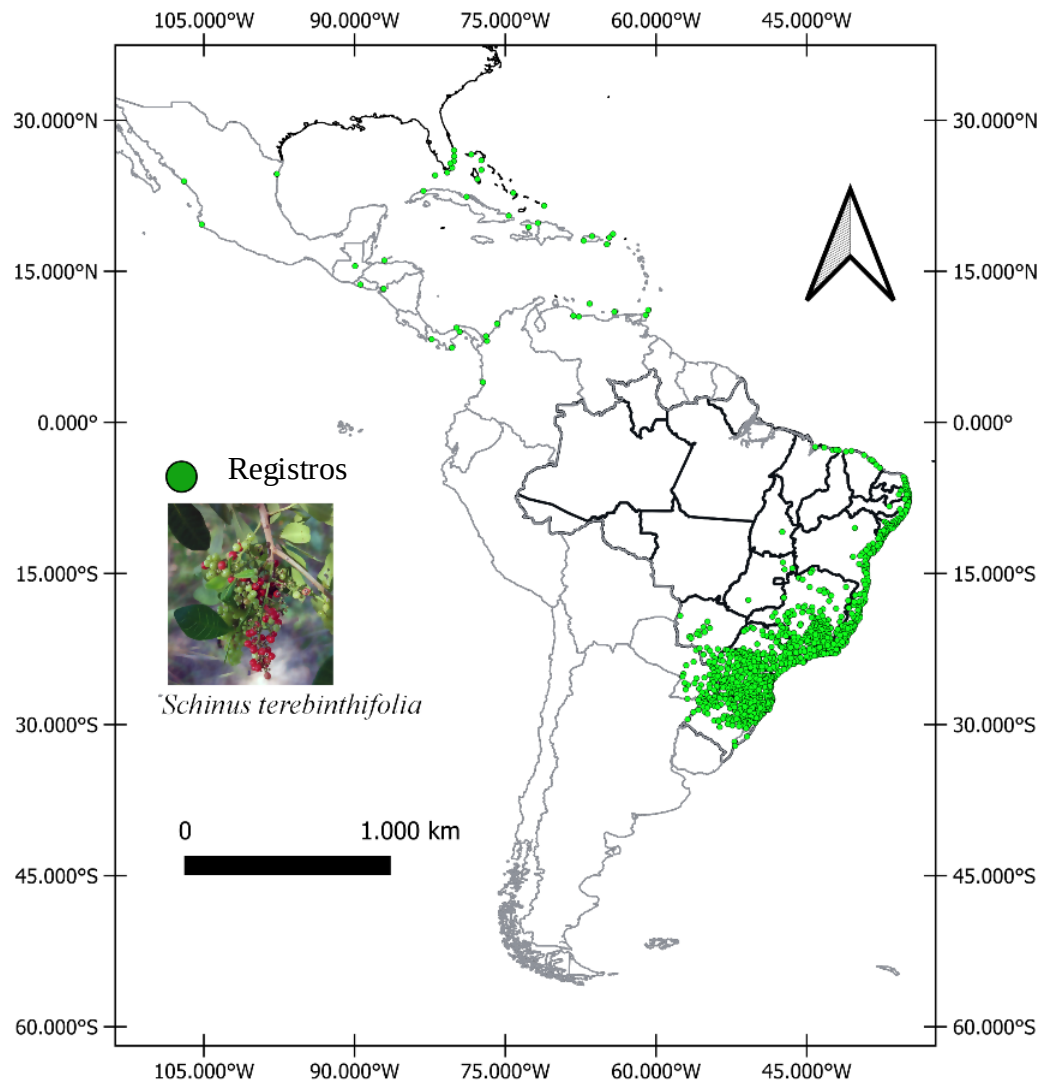


Figura 1. Compilação de ocorrências conhecidas de *Schinus terebinthifolia* Raddi nas Américas.

Empregamos o método de afinamento de ocorrência CELLSIZE, conforme descrito por Fourcade *et al.* (2014), para contrabalançar o viés de amostragem. A partir do último passo de filtragem com 1.009 ocorrências, o número foi reduzido ainda mais para 992 ocorrências filtradas. Este método opera selecionando aleatoriamente uma única ocorrência dentro de cada célula de grade, que possui um tamanho duas vezes maior que a resolução das variáveis ambientais associadas. Para nosso estudo, a resolução foi definida em 5 minutos de

arco, equivalente a aproximadamente 9,0 km no equador (Fourcade *et al.*, 2014; Velazco *et al.*, 2019).

Dados ambientais

Os fatores climáticos são determinantes primários da distribuição geral de uma espécie (Guisan e Thuiller, 2005). Incorporamos 19 variáveis bioclimáticas da WorldClim 2.1 (www.worldclim.org) que refletem tanto as condições atuais quanto as projetadas para o futuro. Todos os dados espaciais foram padronizados para uma resolução de 5 minutos de arco (Fick e Hijmans, 2017). Em escalas grandes, as condições abióticas são cruciais, ditando o tamanho e a forma das distribuições das espécies em escalas continentais ou regionais. Essas escalas também minimizam os efeitos das interações biológicas (Hortal *et al.*, 2010). Além disso, essa resolução diminui a autocorrelação espacial inerente às variáveis originais (Pimenta *et al.*, 2022).

Usando o modelo MIROC6 dos Modelos de Circulação Geral (CMIP6), projetamos distribuições geográficas sob o cenário atual considerando o ano de coleta e análise dos dados em 2021 e dois cenários futuros: (1) SSP2-4.5 (moderado, com aumento de temperatura de ~2,1-4,3 °C e 26,84 gigatoneladas de CO₂ até 2100) e (2) SSP5-8.5 (business-as-usual, com aumento de temperatura de ~3,8-7,4 °C e 129,85 gigatoneladas de CO₂ até 2100). Esses cenários abrangem quatro períodos de 20 anos de 2021 a 2100, permitindo o rastreamento de mudanças de nicho ao longo do tempo. Para abordar preocupações de multicolinearidade e reduzir o número de variáveis, criamos um conjunto de variáveis não redundantes, excluindo preditores com fortes correlações usando o Fator de Inflação de Variância (VIF >10) (Tabela 1) (Marquardt, 1970).

Tabela 1. Classificação dos preditores bioclimáticos com base no Fator de Inflação de Variância (VIF) para caracterização do nicho de *Schinus terebinthifolia* Raddi.

Preditores	Descrição	VIF	Condição
BIO1	Temperatura média anual	>10	Não utilizado
BIO2	Intervalo médio diurno (Média mensal (temperatura máxima - temperatura mínima))	>10	Não utilizado
BIO3	Isotermalidade (BIO2/BIO7) (×100)	>10	Não utilizado
BIO4	Temperatura Sazonal (desvio padrão ×100)	>10	Não utilizado
BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente	<10	Utilizado

BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio	<10	Utilizado
BIO7	Amplitude térmica anual (BIO5-BIO6)	<10	Utilizado
BIO8	Temperatura média do trimestre mais chuvoso	>10	Não utilizado
BIO9	Temperatura média do trimestre mais seco	>10	Não utilizado
BIO10	Temperatura média do trimestre mais quente	<10	Utilizado
BIO11	Temperatura média do trimestre mais frio	<10	Utilizado
BIO12	Precipitação Anual	<10	Utilizado
BIO13	Precipitação do mês mais chuvoso	<10	Utilizado
BIO14	Precipitação do mês mais seco	>10	Não utilizado
BIO15	Precipitação Sazonal (Coeficiente de Variação)	>10	Não utilizado
BIO16	Precipitação do trimestre mais chuvoso	>10	Não utilizado
BIO17	Precipitação do trimestre mais seco	>10	Não utilizado
BIO18	Precipitação do trimestre mais quente	<10	Utilizado
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio	<10	Utilizado

Modelos de nicho ecológico

A “Área M” (conforme definido por Soberón e Peterson, 2005) foi delimitada usando uma área de BUFFER projetada para o ajuste do modelo. Este BUFFER foi definido por um raio de 300 km ao redor dos dados de ocorrência (Barve *et al.*, 2011). Esta área é essencial, pois inclui o espectro de condições ambientais sob as quais a espécie é conhecida ou se espera existir ao longo de sua história evolutiva (Soberón e Peterson, 2005). Pseudoausências e dados de fundo foram configurados em uma proporção de 1:1 para os dados de presença e foram complementados com 10.000 pontos aleatórios. Esses pontos foram principalmente focados em zonas de baixa adequabilidade previstas pelo modelo Bioclim (Engler *et al.*, 2004).

Vários algoritmos, como máxima entropia, MXS, MXD, SVM e GLM, foram usados para previsões da área de distribuição potencial. O modelo de consenso médio consistiu na média das previsões dos principais algoritmos, incorporando apenas aqueles com Estatística de habilidade verdadeira (TSS) acima da média (Allouche *et al.*, 2006; Velazco *et al.*, 2019). Este modelo, ainda refinado pela métrica de Jaccard, forneceu uma estimativa confiável da distribuição de espécies, beneficiando-se da precisão aprimorada da modelagem de conjunto (Araujo e New, 2007; Norberg *et al.*, 2019; Thuiller *et al.*, 2019).

Nossos modelos foram submetidos à validação cruzada k-fold com cinco dobras (Fielding and Bell 1997). Avaliamos o desempenho usando área sob a curva (AUC), Estatística de habilidade verdadeira (TSS) e o índice de Jaccard (Leroy *et al.*, 2018), introduzindo este último para compensar possíveis vieses. Uma pontuação acima de 0,7 em qualquer métrica indicava um desempenho satisfatório.

Todo o procedimento de modelagem, incluindo ajustes, foi executado usando o pacote ENMTML R (Andrade *et al.*, 2020). Finalmente, os mapas de distribuição foram gerados com o QGIS versão 3.22.14.

RESULTADOS

Ao determinar a caracterização do nicho de *S. terebinthifolia*, vários preditores bioclimáticos foram avaliados com base no Fator de Inflação de Variância (VIF). Conforme mostrado na Tabela 1, das 19 variáveis bioclimáticas consideradas, nove preditores foram selecionados para inclusão no modelo, enquanto os outros foram excluídos devido à alta colinearidade ($VIF > 10$). Especificamente, o modelo utilizou preditores que capturam extremos e variações de temperatura, como a BIO 5 “Temperatura Máxima do Mês Mais Quente” e BIO 7 “Amplitude Térmica Anual”. Além disso, os preditores que descrevem padrões de precipitação anual e aqueles de trimestres específicos também foram incorporados. Essas seleções garantem um modelo mais robusto e preciso ao reduzir a multicolinearidade, melhorando assim a confiabilidade da caracterização do nicho projetada para *S. terebinthifolia*.

A avaliação dos algoritmos de modelagem para *S. terebinthifolia* destacou a robustez do modelo de consenso. Embora algoritmos individuais como SVM exibam precisão dignas de aprovação, o modelo de consenso consistentemente supera em termos de precisão em todas as métricas avaliadas. Especificamente, os valores da Área Sob a Curva (AUC) para o modelo de consenso sugerem capacidades de discriminação exemplares. Enquanto os modelos GLM e MXD produzem resultados proficientes, MXS fica ligeiramente atrás, especialmente em seus escores de TSS e Jaccard (Tabela 2).

Tabela 2. Desempenho dos algoritmos e do modelo de consenso para *Schinus terebinthifolia* Raddi. Modelos Lineares Generalizados (GLM); Entropia Máxima Padrão (MXD); Entropia Máxima Simples (MXS); Máquina de Vetores de Suporte (SVM); Área sob a curva (AUC); Estatística de habilidade verdadeira (TSS).

Algoritmo	AUC ($\pm$ SD)	TSS ($\pm$ SD)	Jaccard ($\pm$ SD)
GLM	0.987 $\pm$ 0.004	0.932 $\pm$ 0.017	0.933 $\pm$ 0.016
MXD	0.979 $\pm$ 0.008	0.910 $\pm$ 0.020	0.913 $\pm$ 0.019
MXS	0.959 $\pm$ 0.005	0.789 $\pm$ 0.019	0.816 $\pm$ 0.014
SVM	0.993 $\pm$ 0.002	0.956 $\pm$ 0.003	0.955 $\pm$ 0.003
Modelo de consenso	0.991 $\pm$ 0.002	0.956 $\pm$ 0.010	0.956 $\pm$ 0.010

Distribuições potenciais previstas atuais e futuras

A Figura 2 oferece uma visão incisiva dos padrões de adequação ambiental em evolução do *S. terebinthifolia*, desde sua situação atual até projeções no ano de 2100 (Figura 2). A distribuição potencial atual de *S. terebinthifolia* exibe uma adequação ambiental generalizada em todo o continente latino-americano, como apresentado pelo amplo espectro de adequação evidente no mapa.

Conforme avançamos nas projeções futuras, há uma clara e inegável contração da adequação do habitat para *S. terebinthifolia*. Sob ambos os cenários climáticos SSP2-4.5 e SSP5-8.5, é perceptível uma diminuição na adequabilidade ambiental para esta espécie, mas o encolhimento é mais pronunciada sob o cenário SSP5-8.5. Este cenário é notavelmente mais agressivo, que considera maiores emissões de gases de efeito estufa, mostra uma redução mais significativa nos habitats adequados para a espécie.

Ao final do século, especificamente até o ano de 2100, as regiões que apresentam a maior adequação de habitat estão amplamente concentradas no Sul e Sudeste do Brasil. Isso aponta para uma mudança marcante em relação à sua atual distribuição generalizada. Além disso, as áreas da Mata Atlântica ao longo da costa brasileira também se destacam como importantes refúgios para a adequação do habitat da espécie.

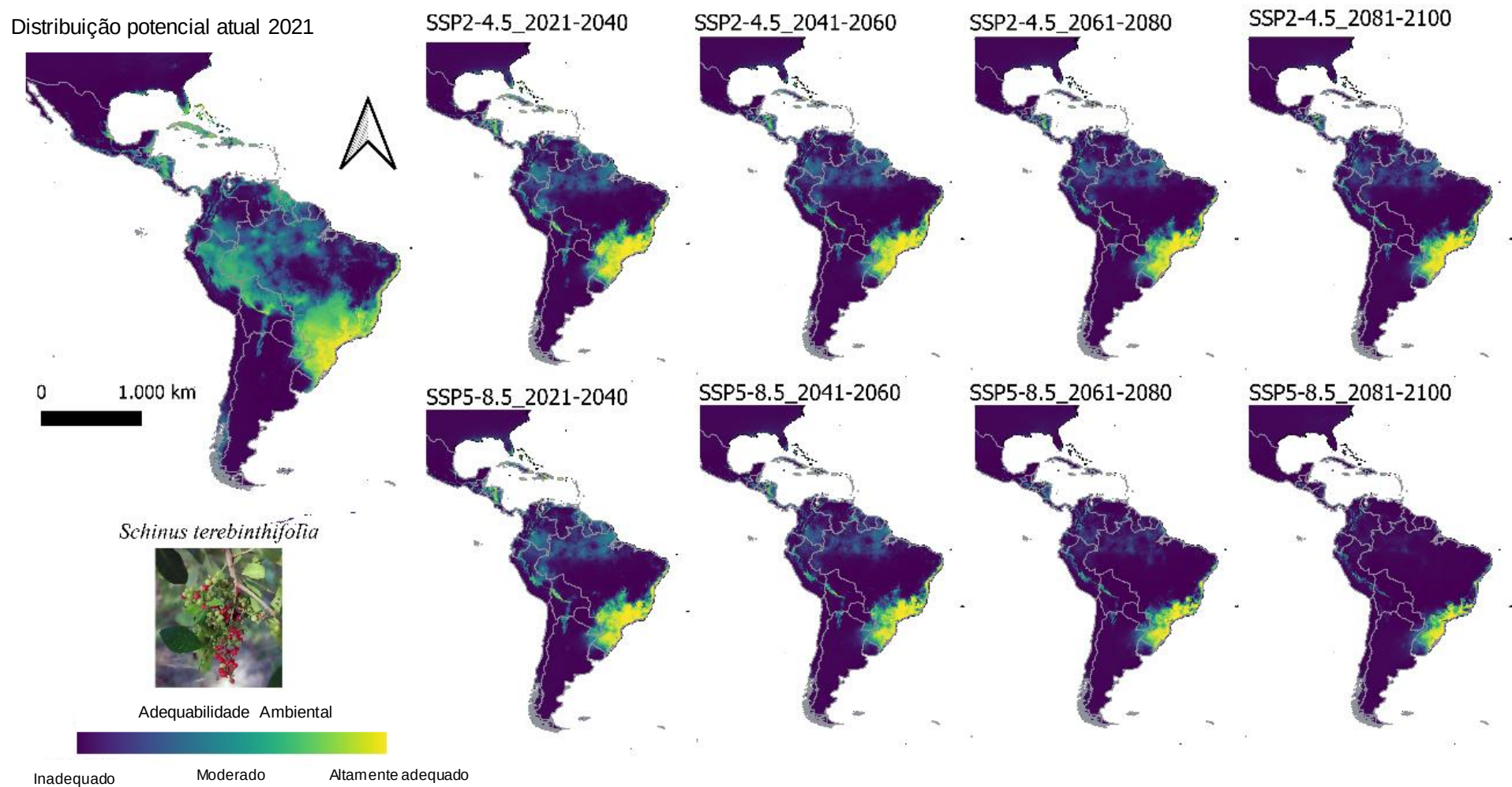


Figura 2. Distribuição potencial de *S. terebinthifolia* Raddi dos Padrões Atuais para Projeções em 2100. O mapa mostra a adequabilidade do habitat atual e futuro sob dois cenários climáticos (SSP2-4.5 e SSP5-8.5) ao longo de quatro intervalos de tempo de 20 anos.

Outra observação notável, sob o cenário de alta emissão, SSP5-8.5, os habitats adequados da espécie enfrentam uma redução mais drástica em comparação com o cenário moderado. As implicações disso podem ser diversas, mas o que se destaca é a urgência e importância do controle de emissões de CO₂ e estratégias de mitigação.

DISCUSSÃO

Espécies invasoras, como *S. terebinthifolia*, são notáveis por sua capacidade de se adaptar a vários tipos de condições ambientais, permitindo-lhes se espalhar aumentando a produtividade de sementes e biomassa (Hogg *et al.*, 2020). Estudos de modelagem desempenham um papel fundamental na compreensão das invasões biológicas e de seu impacto nas mudanças climáticas. Essas invasões têm se mostrado responsáveis por uma parte significativa das extinções globais, resultando em custos econômicos substanciais (IPBES, 2023). Isso destaca a necessidade de enfrentar essas ameaças, especialmente no contexto das mudanças climáticas, que podem agravar ainda mais o problema.

Os resultados deste estudo indicam tendência de redução na adequação do habitat para *S. terebinthifolia* sob cenários climáticos projetados (SSP2-4.5 e SSP5-8.5), sendo esta diminuição particularmente pronunciada no cenário de alta emissão (SSP5-8.5). Essa descoberta destaca o potencial das espécies invasoras para aumentar a competição com as espécies nativas e desestabilizar ainda mais os ecossistemas, conforme discutido em estudos anteriores (Ahmad *et al.*, 2019; Hogg *et al.*, 2020; Alencar *et al.*, 2022; Aguiar *et al.*, 2023; Alencar *et al.*, 2024). Portanto, a necessidade de implementar estratégias de controle, como sugerido anteriormente (Canavan *et al.*, 2022), e aplicadas (Bowers *et al.*, 2022), torna-se cada vez mais essencial. Além disso, a observação de que áreas de maior adequação estão concentradas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil sugere a possibilidade de mudanças nos padrões de distribuição com impactos em escala regional.

No entanto, é de suma importância destacar que a redução na adequação do habitat em um cenário de alta emissão traz desafios significativos, com um aumento substancial no número de espécies invasoras esperado até o ano de 2050 (Seebens *et al.*, 2020). Isso enfatiza a urgência de adotar medidas para controlar as emissões de gases de efeito estufa e implementar estratégias de mitigação, conforme enfatizado por Cruz *et al.* (2023). No entanto, é essencial considerar que este estudo se concentrou em uma única espécie, e os impactos das mudanças climáticas nas invasões biológicas podem variar consideravelmente entre diferentes grupos taxonômicos.

A constatação de que o modelo de consenso supera outros algoritmos na previsão das áreas de distribuição é encorajadora, pois sugere uma maior precisão na projeção dos impactos das mudanças climáticas. Os modelos podem desempenhar um papel crucial ao contribuir para o gerenciamento eficaz tanto dentro quanto ao redor das unidades de conservação, assim como no controle da introdução de espécies exóticas invasoras com notável capacidade de dispersão natural (Wang *et al.*, 2017). Esses resultados destacam desafios que exigem ação imediata, como o controle das emissões de gases de efeito estufa e o desenvolvimento de estratégias de gestão de longo prazo (Hulme, 2021; Cruz *et al.*, 2023; IPBES, 2023). Além disso, eles enfatizam a importância contínua da pesquisa e monitoramento para avaliar os efeitos das mudanças climáticas na biodiversidade e invasões biológicas (Seebens *et al.*, 2020). Esse monitoramento contínuo é fundamental para informar decisões e o desenvolvimento de estratégias de gestão eficazes.

Esta espécie apresenta um potencial ecológico significativo (Pilatti *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2023) e também é altamente valorizada para fins gastronômicos. Ela foi incorporada em várias culinárias ao redor do mundo, conhecida como poivre rose na culinária francesa, pepe rosa na italiana, pimienta rosa na espanhola, blassroter pfeffer na alemã, e referida como pimenta rosa ou pimenta rosa brasileira nos cenários culinários americanos. Seu uso generalizado e apreciação se estendem não apenas dentro de sua região de origem, mas também em regiões onde foi introduzida (Camilo, 2018). No Brasil, essa espécie desempenha um importante papel ecológico em sua distribuição original, servindo como uma espécie-chave na regeneração de áreas degradadas e desempenhando funções ecossistêmicas cruciais (Costa *et al.*, 2022). Além disso, a pimenta brasileira é valorizada em algumas regiões por suas propriedades medicinais e uso culinário (Ronchi *et al.*, 2022). No entanto, após a introdução em ecossistemas novos, como Flórida e África do Sul, essa espécie mostra uma capacidade pronunciada de gerar efeitos prejudiciais (ver Hogg *et al.*, 2020; Canavan *et al.*, 2022). Os impactos adversos sobre a fauna nativa são extensivamente registrados, posicionando as espécies invasoras como o segundo motor mais significativo das extinções contemporâneas, subsequente apenas à destruição do habitat (Bellard *et al.*, 2016).

O impacto negativo de *S. terebinthifolia* nos ecossistemas invadidos é notável, especialmente devido à sua capacidade de colonizar habitats perturbados, como pastagens, margens de estradas, clareiras florestais e manguezais (Enloe *et al.*, 2021; Canavan *et al.*, 2022). Essa invasão resulta em competição por recursos, prejudicando a biodiversidade e levando a um declínio nas espécies de plantas nativas (Ahmad *et al.*, 2019). Além disso, a *S.*

terebinthifolia pode alterar os ciclos naturais de incêndio nos ecossistemas, aumentando a frequência de incêndios e afetando negativamente a vegetação local.

Para mitigar os impactos da invasão de *S. terebinthifolia*, será crucial adotar estratégias abrangentes de manejo. Isso inclui monitoramento e detecção precoce para uma resposta rápida, empregando métodos de controle físico e químico, com remoção manual em áreas menores e uso de herbicidas seletivos em áreas maiores. Além disso, investir na restauração dos ecossistemas afetados é essencial, promovendo o plantio de espécies nativas e práticas sustentáveis. A conscientização, juntamente com políticas públicas sobre os impactos das espécies invasoras e a importância da biodiversidade, é crucial (Early *et al.*, 2016). A pesquisa realizada apoia o aprimoramento dessas estratégias, garantindo uma abordagem baseada em evidências e um manejo eficaz a longo prazo.

CONCLUSÃO

Este estudo é pioneiro na modelagem da distribuição potencial de *S. terebinthifolia* sob cenários climáticos atual e futuros. Os resultados indicam que, atualmente, a espécie apresenta ampla distribuição, mas projeções futuras mostram uma redução significativa de habitats adequados na América do Norte e Central, especialmente em cenários de altas emissões de CO₂, restringindo-se principalmente a áreas nativas. Nas regiões Neotropicais, observou-se um deslocamento de seu nicho climático, especialmente em áreas como a Mata Atlântica. Esses achados forneceram entendimentos valiosos sobre a dinâmica da distribuição de espécies invasoras diante das mudanças climáticas e ressaltam a necessidade de cooperação entre cientistas e gestores para mitigar os impactos das invasões biológicas, com foco em monitoramento e restauração dos ecossistemas afetados. Essas descobertas são cruciais para orientar futuros esforços de conservação e manejo da biodiversidade em um mundo em constante mudança.

CAPÍTULO II

MORFOMETRIA FLORAL E DETERMINAÇÃO DO SISTEMA SEXUAL EM *Schinus terebinthifolia* (ANACARDIACEAE)

RESUMO: A crescente importância global de *Schinus terebinthifolia* como uma espécie de alto valor comercial e seu potencial de expansão na produção demandam um manejo apropriado devido às incertezas quanto ao seu sistema sexual. Este estudo se concentrou na avaliação da morfologia dos verticilos florais estéreis e férteis, bem como na análise do sistema sexual de *S. terebinthifolia* em duas populações naturais no Nordeste do Brasil. Os resultados revelaram que não houve diferenças significativas nas características morfológicas das flores entre as áreas estudadas, sugerindo que a espécie possui uma notável adaptabilidade às condições ambientais. No entanto, há diferença marcante na proporção de indivíduos estaminados em ambas as áreas, representando mais de 88% e 72%, respectivamente nas áreas A e B. Observou-se correlação entre o tamanho dos estames e a presença de pistilos aparentemente atrofiados ($r=0,275$; $gl=178$; $p<0,001$), juntamente com a ocorrência de frutos nessas plantas hermafroditas. Neste contexto, deve-se considerar a espécie como ginodioica devido à presença de plantas com flores hermafroditas e plantas com flores pistiladas. No entanto, é fundamental conduzir pesquisas adicionais para elucidar o papel dos polinizadores, especialmente abelhas e vespas, e entender melhor o processo de frutificação em flores hermafroditas. Esses insights têm o potencial de aprimorar significativamente o manejo visando a uma produção eficiente de frutos, bem como promover sua relevância econômica como cultura e potencial ecológico nas áreas naturais.

Palavras-chave: Ginodioica, morfologia floral, pimenta-rosa, populações naturais, reprodução floral

ABSTRACT: The growing global importance of *Schinus terebinthifolia* as a high-value commercial species and its potential for expansion in production necessitate appropriate management, particularly given uncertainties regarding its sexual system. This study focused on evaluating the morphology of sterile and fertile floral whorls, as well as analyzing the sexual system of *S. terebinthifolia* in two natural populations in Northeastern Brazil. The results revealed no significant differences in the morphological characteristics of the flowers between the studied areas, suggesting that the species exhibits remarkable adaptability to environmental conditions. However, a marked difference was observed in the proportion of staminate individuals in the two areas, representing over 88% and 72% in Areas A and B, respectively. A correlation was noted between the size of stamens and the presence of seemingly atrophied pistils ($r=0.275$; $df=178$; $p<0.001$), along with fruit production on these hermaphroditic plants. In this context, the species should be considered gynodioecious due to the presence of plants with hermaphroditic flowers and plants with pistillate flowers. However, further research is essential to elucidate the role of pollinators, particularly bees and wasps, and to better understand the fruiting process in hermaphroditic flowers. These insights have the potential to significantly enhance management practices aimed at efficient fruit production and to promote the species' economic relevance as a crop and its ecological potential in natural areas.

Keywords: Gynodioecy, floral morphology, pink pepper, natural populations, floral reproduction

INTRODUÇÃO

Grande parte das principais culturas em todo o mundo dependem dos serviços de polinização para garantir rendimentos significativos em termos de quantidade e qualidade (Roubik, 2018; Lopes *et al.*, 2020). O processo de transferência de pólen pelos polinizadores desempenha um papel crucial na economia global, estimada em cerca de US\$ 577 bilhões (IPBES, 2016). No entanto, esses serviços de transferência de pólen enfrentam ameaças devido à degradação ambiental e à perda de biodiversidade resultante da expansão agrícola para atender à crescente população mundial (Potts *et al.*, 2010; Rosa *et al.*, 2019). Os benefícios econômicos dos serviços de polinização dos ecossistemas superam meio bilhão de dólares globalmente (Lautenbach *et al.*, 2012; IPBES, 2016; Aizen *et al.*, 2019).

No Brasil, os serviços de polinização são estimados em aproximadamente US\$ 12 bilhões por ano (BPBES/REBIPP, 2019). Entre as 191 plantas relacionadas à produção de alimentos no Brasil, *Schinus terebinthifolia* Raddi, conhecida como pimenta-rosa ou pimenteira-rosa, se destaca devido ao seu uso culinário, ampla distribuição e alto desempenho em florescer anualmente, o que contribui para sua produção (Neves, 2016). Apesar de sua ampla distribuição nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil, a pesquisa sobre a biologia reprodutiva, estratégias reprodutivas e variações florais em cultivos de pimenta-rosa ainda é limitada. Até o momento, os estudos têm se concentrado principalmente em investigar o potencial da espécie na recuperação de áreas degradadas (José *et al.*, 2005; Brancalion *et al.*, 2015) em programas de reflorestamento (Brancalion *et al.*, 2015; Jesus *et al.*, 2016), bem como atribuir seu potencial medicinal (Nocchi *et al.*, 2022).

O hermafroditismo floral desempenha um papel crucial na otimização da polinização, possibilitando a coleta e deposição eficientes de pólen pelos polinizadores, incluindo a autopolinização (Teixeira *et al.*, 2014). Vale ressaltar que a autopolinização é um processo complexo que engloba uma ampla diversidade de mecanismos, como autopolinização precoce e tardia, permitindo a formação de frutos em plantas autocompatíveis (Domingos-Melo *et al.*, 2018). No entanto, as plantas desenvolvem estratégias como a hercogamia, o polimorfismo floral e mecanismos genéticos de autoincompatibilidade para evitar a autofertilização, estabelecendo barreiras espaciais e fisiológicas (Oliveira e Maruyama, 2014; Renner, 2014; Ferreira *et al.*, 2022). Por outro lado, a dioécia, encontrada em cerca de 6% das angiospermas (Renner, 2014), envolve indivíduos claramente diferenciados em machos e fêmeas, com plantas separadas produzindo flores de apenas um sexo. Essa característica contrasta com espécies

monoicas, onde cada indivíduo possui flores contendo órgãos reprodutivos masculinos e femininos (Nunes *et al.*, 2016; Coelho *et al.*, 2017). Além disso, as flores dioicas apresentam características secundárias distintas que promovem a transferência eficiente de pólen para estigmas coespecíficos, como evidenciado em estudos anteriores (Barrett e Hough, 2013; Moquet *et al.*, 2020; Gouker *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2022).

A família Anacardiaceae é conhecida por suas flores, que frequentemente exibem características bissexuais ou unissexuais em plantas dióicas. No entanto, algumas espécies mostram uma notável diversidade de morfologias florais, resultando em uma ampla variedade de sistemas sexuais. Esse contexto inclui espécies que vão desde flores monoicas, polígamas ou hermafroditas até variações como dioícia e andromonoícia, que conferem diferentes morfologias e funções às flores (Silva-Luz *et al.*, 2023). *S. terebinthifolia* é um exemplo marcante dessa segregação sexual e se destaca por apresentar uma transição gradual no tamanho dos órgãos sexuais em ambos os tipos morfológicos, o que pode ter um impacto direto na produção de frutos.

Observações de campo anteriores com *S. terebinthifolia* destacaram a ausência de um gineceu funcional em flores estaminadas (Lenzi e Orth, 2004). No entanto, Cesário e Gaglianone (2008) identificaram uma proporção mínima (cerca de 2%) de flores estaminadas produzindo frutos bem formados. Em experimentos controlados, Mendes *et al.* (2020) obtiveram frutos em ambos os morfos, mas não rastrearam sua origem em relação à funcionalidade sexual. Assim, dada a aparente dicogamia das flores e a presença de órgãos vestigiais que podem ter funcionalidade, torna-se necessário conduzir experimentos para confirmar a funcionalidade desses órgãos reduzidos e elucidar seu mecanismo sexual. Portanto, este estudo tem como objetivo analisar os diferentes morfos florais de *S. terebinthifolia* no contexto da biologia floral, buscando responder às seguintes perguntas: 1) Considerando a existência de dois morfos florais em *S. terebinthifolia*, como difere a morfologia floral entre flores masculinas (aparentemente hermafroditas) e femininas? 2) Os indivíduos aparentemente masculinos podem produzir frutos, caracterizando uma possível ginodioecia?

MATERIAL E MÉTODOS

Local de Estudo

O estudo foi conduzido em duas populações distintas, com as árvores sendo selecionadas no período de floração de acordo com o morfotipo floral. A população A, contendo 25

indivíduos, está localizada na região do distrito de Tejucupapo, no município de Goiana, Pernambuco (7°33'47"S e 35°0'47"W), ao longo da rodovia PE-49, compreendendo os quilômetros 16 e 17 dentro da região da Mata Norte do estado de Pernambuco. O tipo de vegetação predominante é Floresta Subperene, com algumas áreas de Floresta Subcaducifolia (Andrade-Lima, 2007). O terreno é caracterizado pela presença de planícies costeiras, com bancos de areia, manguezais e dunas. A altitude média da região varia entre 50 e 100 metros. Os solos predominantes são profundos, embora sua fertilidade natural seja relativamente baixa, e o clima é tropical chuvoso, com uma precipitação anual média de 1.634,2 mm (Andrade-Lima, 2007). A população B possui 25 indivíduos e está localizada na Mata do Jardim Botânico da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), cobrindo uma área de aproximadamente 10 hectares, situada no município de Campina Grande, Paraíba (7°12'44.2"S e 35°54'36.0"W). Nesta área, há uma transição vegetal entre a Mata Atlântica e a Caatinga. Está situada a uma altitude de 518 metros, com Argissolos, Neossolos Litólicos, afloramentos rochosos, Luvisolos e um clima tropical chuvoso, com uma precipitação anual média de 1.200 mm (Francisco; Santos, 2019). As distâncias entre as populações A e B é de 106,71 km.

Morfometria Floral

A análise morfométrica das flores de *S. terebinthifolia* foi realizada capturando imagens usando câmera de 50 megapixel e resolução de 8000 x 6000 pixel, um estereomicroscópio e posterior processamento no software Image J (Collins, 2007). Dado que a espécie em questão apresenta flores actinomorfas com várias variações morfológicas, as medidas foram feitas em milímetros para o comprimento total da flor (da base da corola até o ponto mais alto da flor), diâmetro da corola, altura do pistilo (da base do ovário até o ponto de separação dos lobos estigmáticos), diâmetro do ovário, comprimento do estame e antera para ambas as flores hermafroditas (com pistilo aparentemente atrofiado) (n = 220) de 22 indivíduos, e flores pistiladas (com anteras sem grãos de pólen) (n = 30) de três indivíduos na população A, bem como flores hermafroditas (com pistilo aparentemente atrofiado) (n = 180) de 18 indivíduos e flores pistiladas (com estames sem grãos de pólen) (n = 70) de sete indivíduos na população B.

O número de flores por inflorescência foi contado (n = 10), e para determinar o número de grãos de pólen produzidos, uma única antera de 10 botões florais foi examinada, usando 5 flores de uma planta-mãe da população A e 5 flores de uma planta-mãe da população B (Dafni *et al.*, 2005). Em uma lâmina, as anteras foram submetidas a um processo de esmagamento para

liberar o pólen, e o número total de grãos de pólen por flor foi estimado multiplicando a quantidade de grãos por antera pelo número de estames presentes em cada flor. A viabilidade do pólen foi posteriormente verificada pela coloração dos grãos de pólen com carmim acético a 2% (Dafni *et al.*, 2005). Os óvulos produzidos pelas mesmas 10 flores foram contados para calcular a razão pólen-óvulo.

Sistema Sexual

No campo, um total de 25 indivíduos foram selecionadas na população A e outras 25 na população B. Essa seleção foi baseada na observação direta das flores presentes nas copas das árvores, focando na identificação de pistilos (robustos e aparentemente atrofiados) e anteras (contendo pólen ou ausentes). Para confirmar essa classificação e garantir a precisão do tipo floral presente nas indivíduos, procedemos à coleta de botões florais (n = 125) e flores (n = 125) dessas indivíduos, que foram posteriormente fixados em álcool a 70%. Além disso, durante as observações de campo, identificamos indivíduos hermafroditas (com pistilos aparentemente atrofiados) capazes de produzir frutos.

No ambiente laboratorial, foram realizadas análises detalhadas das amostras de flores coletadas, utilizando um estereomicroscópio para verificar a presença de anteras férteis e o desenvolvimento de óvulos bem formados nos ovários. Além disso, no campo, observamos se frutos foram formados ou não em indivíduos com flores coletadas e comparamos esses resultados com os tipos florais respectivos identificados nas indivíduos, sem quantificar o número de frutos formados por inflorescência.

O sistema sexual de *S. terebinthifolia* foi minuciosamente investigado por meio da análise morfológica das flores em diferentes indivíduos de ambas as áreas de estudo. Cada morfotipo foi cuidadosamente classificado e determinado com base na avaliação da presença de elementos reprodutivos em 10 flores por indivíduo (n = 50), utilizando um estereomicroscópio. Os morfotipos analisados foram comparados com descrições de sistemas sexuais existentes na literatura e categorizados para a espécie, seguindo os caracteres observados por Renner (2014).

Análises de dados

As análises foram conduzidas utilizando o software Jamovi (Versão 2.3). As diferenças no comprimento e diâmetro da corola, comprimento do estame e comprimento da antera entre ambas as áreas foram testadas utilizando MANOVA. As diferenças entre populações entre os tipos morfológicos florais foram submetidas a teste t para amostras independentes, com um

nível de significância de 0,05 após confirmar a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk. Os efeitos de correlação entre os elementos sexuais foram testados pelo coeficiente de correlação de Pearson. Uma Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada para visualizar a diferença entre os diferentes sexos das flores.

RESULTADOS

Morfometria floral

As características morfológicas florais foram semelhantes entre as populações (MANOVA: $F = 2,50$, $df = 4$, $p = 0,056$) para os valores médios das variáveis florais por população. Ao aplicar a Análise de Componentes Principais (PCA) aos dados de morfometria floral (comprimento e diâmetro do carpelo; circunferência do ovário; comprimento do estame mais longo e comprimento do estame mais curto), os componentes PC1 e PC2 juntos explicam 98,99% da variação total relacionada às estruturas sexuais, sendo o PC1 responsável por 89,06% e o PC2 por 9,93% das variações dos dados (Figura 1).

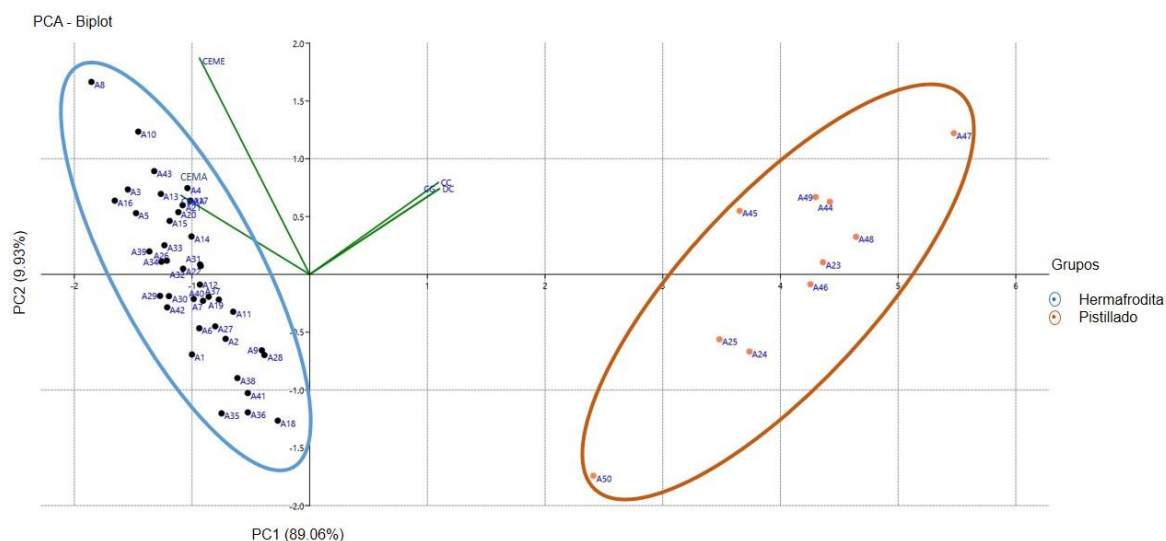


Figura 1. Biplot dos 50 indivíduos de *Schinus terebinthifolia* Raddi baseado nos dois primeiros componentes principais derivados da variação nas características morfométricas dos elementos sexuais. Comprimento do carpelo (CC); Diâmetro do carpelo (DC); Circunferência ovariana (GC); Comprimento do estame mais longo (CEMA); e Comprimento do estame mais curto (CEME). Fatores observador: Grupo Hermafrodita e Grupo Pistilado.

As inflorescências amostradas produziram em média $44 \pm 14,5$ (28-70; n = 10) flores hermafroditas e uma média de $57 \pm 22,8$ (22-96; n = 10) flores pistiladas. As dimensões das flores e suas partes por população estão disponibilizadas na Tabela 1.

Tabela 1. Valores Médios ($\pm$ DP) das Variáveis Florais para os Morfotipos Hermafrodita (HER) e Pistilado (PIS) de *Schinus terebinthifolia* Raddi, Área A (n = 25) e Área B (n = 25). DP: Desvio Padrão.

Variáveis florais	Morfotipo	<i>Schinus terebinthifolia</i>	
		Área A (PE)	Área B (PB)
Comprimento da flor (mm)	HER	2,145 ($\pm$ 0,31)	2,135 ($\pm$ 0,27)
	PIS	1,932 ($\pm$ 0,25)	2,008 ($\pm$ 0,33)
Diâmetro da corola (mm)	HER	2,161 ($\pm$ 0,48)	2,275 ($\pm$ 0,52)
	PIS	1,782 ($\pm$ 0,37)	1,898 ($\pm$ 0,42)
Comprimento do pistilo (mm)	HER	0,382 ($\pm$ 0,08)	0,348 ($\pm$ 0,07)
	PIS	1,094 ($\pm$ 0,21)	1,320 ($\pm$ 0,40)
Diâmetro do pistilo (mm)	HER	0,208 ($\pm$ 0,08)	0,179 ($\pm$ 0,05)
	PIS	0,857 ($\pm$ 0,23)	0,913 ($\pm$ 0,31)
Comprimento do filete maior (mm)	HER	1,759 ($\pm$ 0,40)	1,710 ($\pm$ 0,41)
	PIS	-	-
Comprimento da antera maior (mm)	HER	0,532 ($\pm$ 0,09)	0,513 ($\pm$ 0,09)
	PIS	-	-
Comprimento do filete menor (mm)	HER	1,141 ($\pm$ 0,25)	1,049 ($\pm$ 0,21)
	PIS	0,665 ($\pm$ 0,11)	0,737 ($\pm$ 0,14)
Comprimento da antera menor (mm)	HER	0,452 ($\pm$ 0,10)	0,423 ($\pm$ 0,09)
	PIS	0,296 ($\pm$ 0,07)	0,287 ($\pm$ 0,05)

As flores são perfumadas, brancas, com dois morfotipos (pistilada e hermafrodita), actinomorfas, e possuem cinco pétalas oblongas e sépalas alternadas (Figura 2). A largura média das pétalas e o diâmetro da corola foram de $1,494 \pm 0,21$ mm e $2,023 \pm 0,22$ mm, respectivamente, considerando ambos os morfotipos e áreas juntos. Houve uma diferença significativa entre a altura da flor e o sexo ($t = 4,66$, $df = 498$, $p < 0,001$) para ambas as áreas.

O gineceu do morfotipo pistilado é rodeado pelo androceu, que consiste em 10 estames livres e isodiamétricos e um disco nectarífero. As anteras são esbranquiçadas e não contêm grãos de pólen. O estilete é curto e cilíndrico, terminando em um estigma lobado (trífido) que secreta um fluido viscoso (Figura 2). O ovário é superior, unilocular e contém um óvulo (Figura 3).

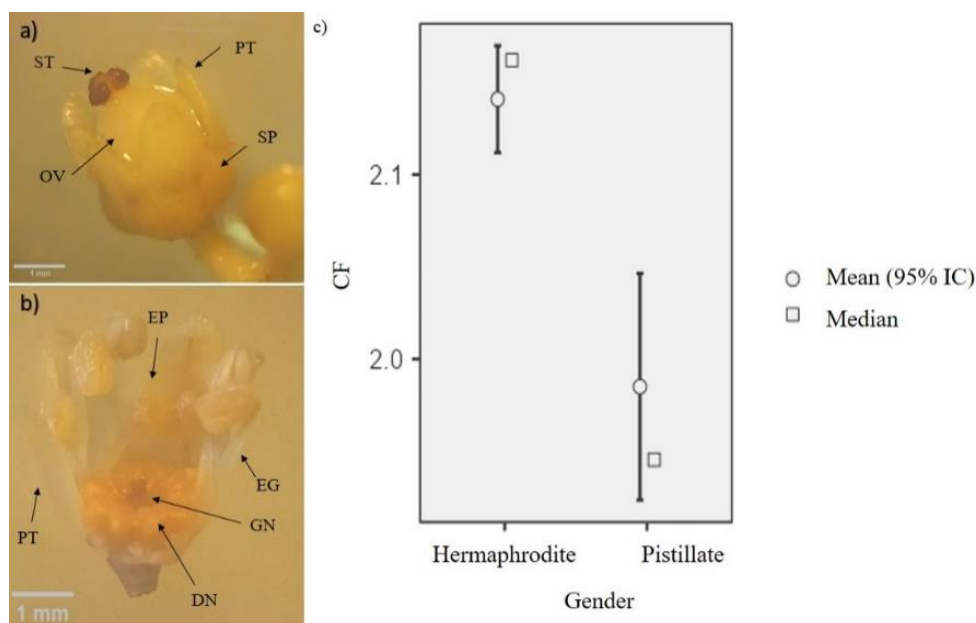


Figura 2. Flor de *Schinus terebinthifolia* Raddi a) Morfotipo Pistilado, ST = estigma; PT = pétala; OV = ovário; SP = sépala b) Morfotipo Hermaphrodita, PT = pétala; EP = estame menor; EG = estame maior; GN = gineceu; DN = disco nectarífero c) Comparação entre os tipos florais (FC). Os intervalos representam os erros padrão em torno dos valores médios do comprimento da amostra.

O gineceu do morfotipo hermafrodita (pistilo aparentemente atrofiado) é rodeado pelo androceu, que consiste em 10 estames livres e heterodiamétricos, com cinco estames maiores e cinco menores alternados, e um disco nectarífero (Figura 2). As anteras se abrem longitudinalmente e produzem uma média de 7.270 (4.530 - 9.150; n = 10) grãos de pólen com mais de 94% de viabilidade, estimada para toda a flor em ambas as alturas dos estames. O estilete é mais longo e cilíndrico, terminando em um estigma lobado (trífido) que parece senescente (Figura 3). O ovário é superior e contém um óvulo. A relação média entre pólen e óvulo foi de 7.270.

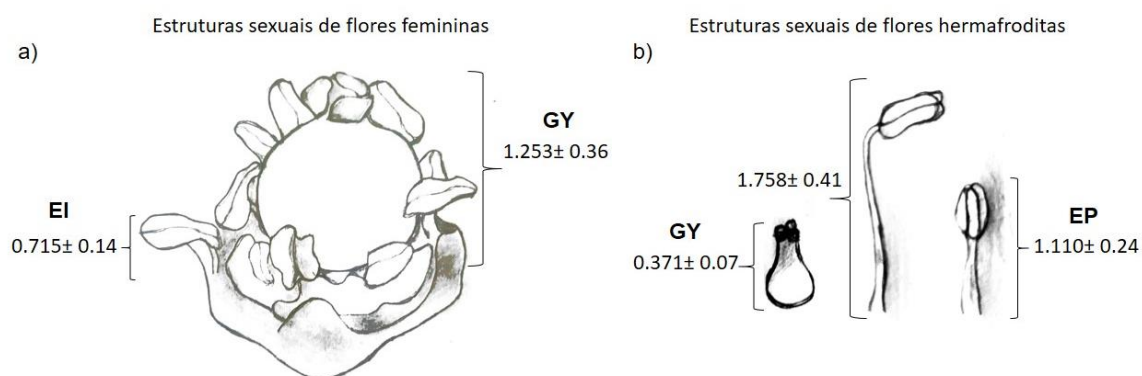


Figura 3. Valores médios (mm) e ($\pm$ SD) das estruturas sexuais por morfotipos hermafrodita e pistilado para *Schinus terebinthifolia* Raddi, a) Morfotipo Pistilado, GY = Gineceu; EI = Estame isostêmoneo; b) Morfotipo Hermaphrodita, EG = Estame maior; EP = Estame menor.

Sistema sexual

Os morfotipos ocorreram em indivíduos separados, e a formação de frutos foi observada tanto em morfotipos pistilados quanto em hermafroditas (com gineceu aparentemente atrófico) (Figura 4).

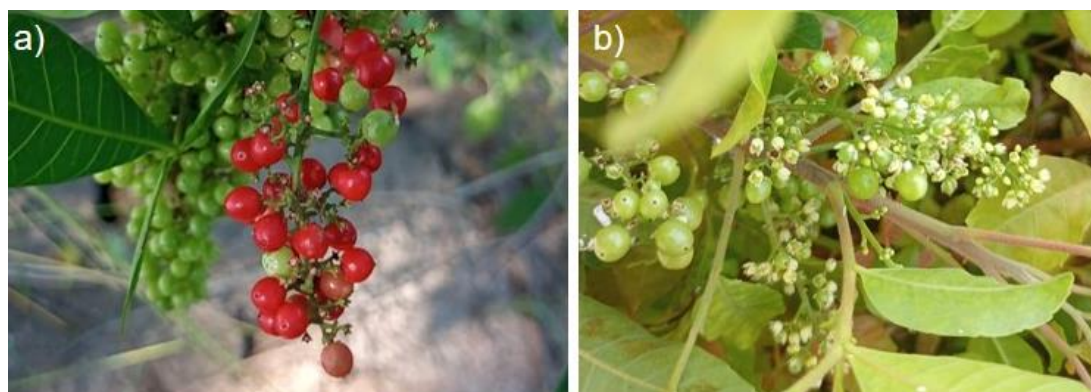


Figura 4. Frutos de *Schinus terebinthifolia* Raddi, a) Frutos formados pelo morfotipo hermafrodita b) Frutos em estágio inicial de maturação do morfotipo pistilado.

A proporção de matrizes hermafroditas para pistiladas foi de 7:1 e 3:1 para as populações A e B, respectivamente. Observações de campo e análises laboratoriais convergem para classificar *S. terebinthifolia* como uma espécie que exibe comportamento ginodioico. Nas flores hermafroditas, há uma diferença perceptível no tamanho do gineceu em comparação com as flores pistiladas (Figura 3). As plantas com flores pistiladas representaram, aproximadamente, $12 \pm 15,0\%$ do total na população A ($n = 25$ indivíduos) e $28 \pm 12,7\%$ das matrizes na população

B (n = 25 indivíduos). A proporção de cada morfotipo floral variou consideravelmente entre os indivíduos durante o período de floração. A circunferência do ovário entre as populações ($r = 0,821$; $df = 208$; $p < 0,001$) mostrou correlação, assim como na população A para o estame mais curto e gineceu atrófico ($r = 0,173$; $df = 218$; $p = 0,010$). A população B ocorreu de forma semelhante para os elementos sexuais estame mais longo e gineceu atrófico ($r = 0,275$; $df = 178$; $p < 0,001$) e diâmetro do gineceu e circunferência do ovário ($r = 1,000$; $df = 248$; $p < 0,001$) (Figura 5). Não houve correlação entre os estames do morfotipo hermafrodita e o gineceu desenvolvido do morfotipo pistilado.

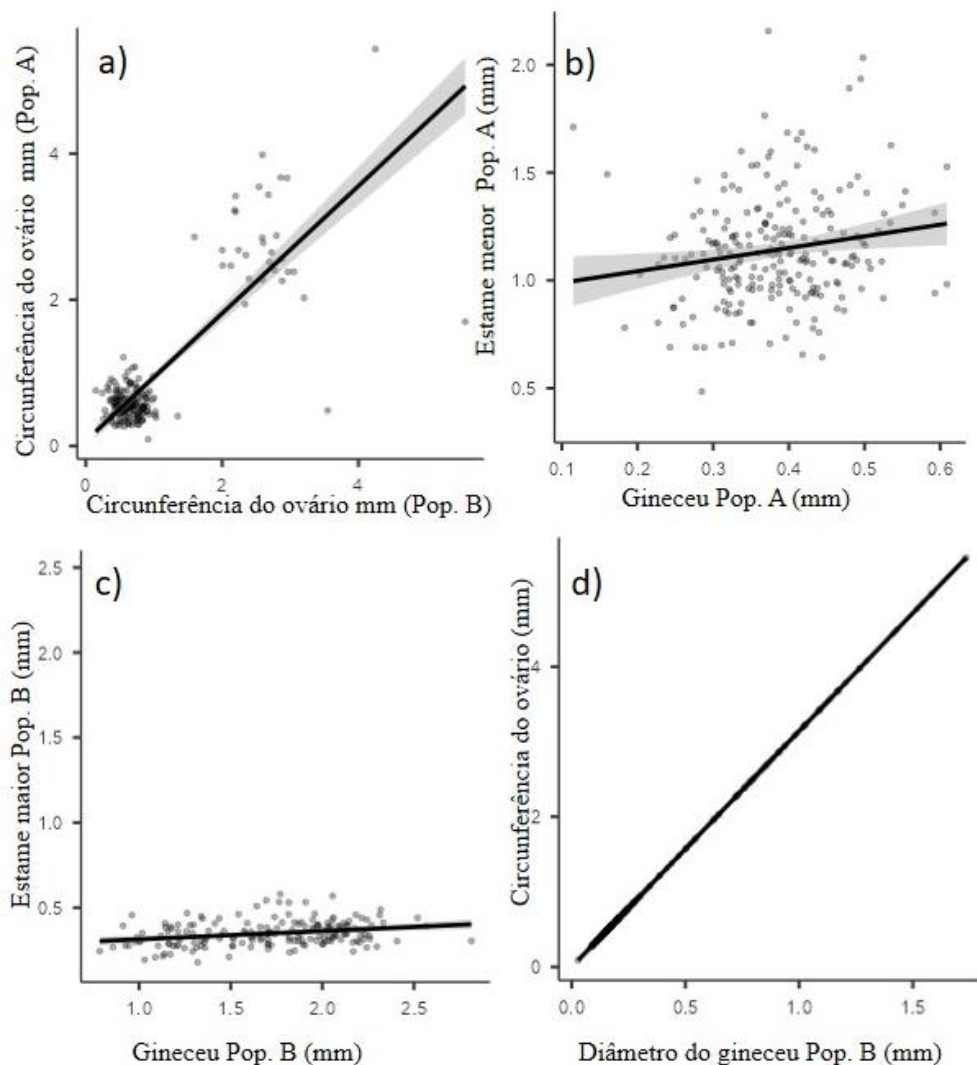


Figura 5. Relação de Pearson em *S. terebinthifolia* Raddi entre: a) Circunferência do ovário; b) Estame menor e gineceu atrófico na População A; c) Estame maior e gineceu atrófico na População B; e d) Circunferência do ovário e diâmetro do gineceu na População B.

DISCUSSÃO

Em ambas as áreas, os resultados indicam que não há diferenças entre os morfotipos, embora mecanismos adaptativos tenham sido documentados anteriormente, possibilitando sua ampla distribuição global (Discover of life, 2023). Assim, enquanto não há diferença morfológica entre as áreas, essa falta de variação floral entre elas pode significar sucesso na reprodução das espécies, pois apresenta uma morfologia generalista permitindo visitas de uma ampla diversidade de insetos (Ollerton *et al.*, 2007; Dellinger, 2020). No entanto, é importante observar que há diferenciação morfológica entre os morfotipos. Em espécies polinizadas por insetos especialistas, as flores femininas geralmente são semelhantes em tamanho ou até maiores do que as masculinas, tornando-as mais atraentes para os polinizadores. Em contraste, em espécies polinizadas por generalistas, esse padrão pode não ser tão pronunciado, resultando em menor atração de polinizadores para as flores femininas (Ushimaru *et al.*, 2023).

A diversidade de mecanismos que regulam as interações sexuais das plantas na família Anacardiaceae revela um panorama complexo e intrigante (Silva-Luz *et al.*, 2023). Os dados obtidos sobre morfometria floral e a proporção de flores hermafroditas em comparação com as femininas fornecem insights valiosos não apenas para a dinâmica reprodutiva dessa espécie específica, mas também para explicar cruzamentos envolvendo estruturas florais aparentemente atrofiadas. Este conhecimento é essencial para preencher lacunas em nossa compreensão dos processos de polinização e frutificação em condições naturais, contribuindo assim para uma visão mais abrangente da biologia reprodutiva não apenas de *S. terebinthifolia*, mas também de outras espécies dentro da família Anacardiaceae.

Com base em observações tanto no campo quanto no laboratório, os dados indicam claramente que a espécie exibe um sistema sexual ginodioico. Ginodioicia refere-se à presença de indivíduos com flores hermafroditas (bissexuais) coexistindo com outros que têm apenas flores pistiladas, menos de 1% das angiospermas exibem esse sistema sexual (Barrett 2002; Charlesworth, 2006; Barrett e Hough, 2013; Godin e Demyanova, 2013; Käfer *et al.*, 2017; Cardoso *et al.*, 2018). Este fenômeno é relativamente raro, considerando que apenas 1,4% de todos os gêneros de angiospermas abrigam espécies dioicas e monoicas, enquanto uma porcentagem ainda menor, 0,4%, engloba espécies dioicas e ginodioicas (Renner, 2014). Além disso, observou-se que os gêneros de angiospermas contendo espécies ginodioicas e dioicas ocorrem com mais frequência do que o esperado com base na trajetória da ginodioicia. É relevante notar que essa tendência persiste mesmo quando se analisa diferentes classes (ou

subclasses), ordens e famílias separadamente, sugerindo que a ocorrência de ginodioicia não está restrita a grupos específicos, mas, pelo contrário, parece estar amplamente distribuída em angiospermas (Dufay *et al.*, 2014). Esta descoberta tem implicações significativas não apenas para entender a biologia reprodutiva dessa espécie específica, mas também para fornecer insights sobre a evolução e diversidade sexual das angiospermas em proporções e melhorias de sua própria transmissão através da distorção da razão sexual (Taylor *et al.*, 1999).

No entanto, é importante observar que, apesar de as flores hermafroditas terem estames menores com tamanhos semelhantes aos das flores pistiladas, as anteras destas últimas não contêm pólen, tornando-as funcionalmente flores femininas, observações feitas anteriormente (Lenzi e Orth, 2004; Cesário e Gaglianone, 2013; Carvalho *et al.*, 2014; Mendes *et al.*, 2020). Portanto, *S. terebinthifolia* é caracterizada como uma espécie ginodioica, apresentando indivíduos com flores hermafroditas, com funcionalidade sexual em seu gineceu (aparentemente senescente e atrofiado), e morfotipo pistilado com estames não funcionais. Compreender o sistema sexual desta espécie é essencial, pois é utilizada na produção de frutos condimentados. A escassez tanto da qualidade quanto da quantidade de pólen nos estigmas pode comprometer severamente a produção de frutos, resultando em uma redução significativa no rendimento. Gerentes de pomares que dependem da polinização cruzada de espécies com sexos separados enfrentam decisões que impactam o rendimento da colheita (Castro *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2022). Compreender os sistemas sexuais das plantas influencia diretamente o tipo de manejo de cultivo a ser adotado, fornecendo informações cruciais para otimizar os rendimentos dos pomares.

É importante mencionar que os dados sobre o sistema sexual de *S. terebinthifolia* obtidos das populações estudadas não coincidem com as informações presentes na literatura, onde a espécie foi anteriormente classificada como funcionalmente dioica (Lenzi; Orth, 2004). No entanto, este estudo descreve o sistema sexual com base em características morfológicas observadas no campo e no laboratório. Observações da formação de frutos em indivíduos hermafroditas, anteriormente consideradas flores estaminadas, também foram registradas, como observado em estudos anteriores (Cesário e Gaglianone, 2008; Mendes *et al.*, 2020). Portanto, os resultados obtidos neste trabalho oferecem novas perspectivas sobre o sistema sexual de *S. terebinthifolia*.

A configuração ginodioica observada é de extrema relevância para entender a biologia reprodutiva da espécie, indicando adaptações complexas em resposta a desafios ecológicos específicos. Compreender a dinâmica reprodutiva tem implicações de longo alcance para a

ecologia das plantas e pode fornecer entendimentos essenciais para pesquisas futuras relacionadas à reprodução, conservação e desenvolvimento de programas de melhoramento genético (Dufay *et al.*, 2014; Montalvão *et al.*, 2021).

Embora tenham sido encontradas amostras florais hermafroditas com pouca formação de frutos nestas matrizes, observações adicionais revelaram que, em todos os casos, não houve indivíduos apresentando ambos os tipos de flores ou um tipo estaminado específico. Essa disparidade nas proporções de tipos de flores observadas é uma ocorrência comum em espécies monoicas, gimonóicas e andromonóicas, o que pode complicar o diagnóstico do sistema sexual dessas espécies (Gross, 2005). A segregação espacial das funções sexuais florais é um fenômeno comumente observado em espécies com flores pequenas agrupadas em inflorescências e dependentes de polinização imprecisa, onde o pólen de flores da mesma planta pode dificultar a deposição de pólen de plantas conspecíficas (Bawa e Beach, 1981; Montalvão *et al.*, 2021; Barbot *et al.*, 2023).

Dado que as flores funcionalmente pistiladas são menos numerosas em comparação com o morfotipo bissexual, sua semelhança com as flores hermafroditas em termos de cor, forma, presença de néctar e odor torna-se de grande importância para garantir que também recebam visitas de polinizadores. No entanto, é crucial observar que a produção de flores femininas pode resultar em visitas reduzidas de polinizadores, pois essas flores podem ser evitadas mesmo por polinizadores que não se alimentam de pólen, mas usam as anteras como guia visual para orientação (Charlesworth, 1993; Barbot *et al.*, 2023). As flores de *Schinus terebinthifolia* exibem entomofilia como síndrome de polinização, e em áreas naturais, elas se beneficiam de uma ampla diversidade de polinizadores (Lenzi e Orth, 2004; Somavilla *et al.*, 2010; Cesário e Gaglianone, 2013; Carvalho *et al.*, 2014).

As notáveis similaridades morfológicas entre diferentes morfotipos florais oferecem uma visão mais profunda sobre a biologia reprodutiva da espécie, ao mesmo tempo em que fornecem entendimentos valiosos sobre como a planta se adapta a diversas estratégias reprodutivas em seu ambiente natural. Essas observações desempenham um papel fundamental em orientar futuras pesquisas relacionadas à sua ecologia reprodutiva. Além disso, a coexistência de diversos morfotipos florais, combinada com a capacidade das flores hermafroditas de produzir frutos, levanta questões intrigantes sobre as estratégias de polinização e reprodução dessa espécie (Dufay *et al.*, 2014). A plasticidade morfológica evidenciada nas flores pistiladas pode estar correlacionada com a busca por polinizadores específicos (Montalvão *et al.*, 2021),

abrindo novas oportunidades para estudos futuros sobre biologia da polinização em *Schinus terebinthifolia*.

CONCLUSÃO

A análise morfológica das flores de *S. terebinthifolia* revelou que, embora as flores apresentadas na literatura como masculinas apresentem estames bem desenvolvidos, há pistilos aparentemente atrofiados, sugerindo uma adaptação parcial à função reprodutiva feminina. Já as flores femininas possuem pistilos funcionais, permitindo a produção de frutos. Além disso, a observação de frutos em indivíduos anteriormente classificados como masculinos confirma a existência de ginodioicia, com indivíduos hermafroditas capazes de frutificar. Essa descoberta reforça a necessidade de mais pesquisas sobre o papel dos polinizadores nesse sistema sexual, com implicações importantes para o manejo e a maximização da produção de frutos dessa espécie economicamente relevante.

CAPÍTULO III

DESVENDANDO A DUALIDADE DE *Schinus terebinthifolia*, Raddi: INVASORA OU PROTETORA? UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DAS SUAS POTENCIALIDADES

RESUMO: A *Schinus terebinthifolia* é uma espécie florestal que apresenta uma notável dualidade entre seus benefícios e impactos ambientais. Neste estudo, realizamos uma revisão bibliográfica combinada com uma análise bibliométrica, utilizando artigos indexados na plataforma Web of Science© (WOS) dos últimos 10 anos. Para a análise, empregamos os termos “*Schinus terebinthifolia*” e “*Schinus terebinthifolius*” no campo que abrangem título, resumo, palavras-chave e termos adicionais dos artigos indexados. Foram destacados os 10 artigos mais citados, os 10 autores mais prolíficos, as 10 organizações e países com maior produção científica, além das palavras-chave mais recorrentes. A pesquisa também investigou os aspectos fitoquímicos e as aplicações medicinais, agroquímicas e alimentares da planta, evidenciando seu potencial nas indústrias farmacêutica e alimentícia. No entanto, a natureza invasora da *S. terebinthifolia* foi igualmente analisada, pois representa uma ameaça significativa para ecossistemas nativos em várias regiões do mundo. Os dados cienciométricos revelaram a existência de 476 artigos sobre a espécie, com um aumento significativo nas publicações, sendo o Brasil responsável por 61,76% das publicações nos últimos dez anos. Os Estados Unidos também se destacaram, contribuindo com 26,89% das pesquisas focadas nos impactos ecológicos. Concluímos que, embora a *S. terebinthifolia* tenha um valor considerável, o manejo sustentável é essencial para mitigar seus efeitos adversos, equilibrando seus benefícios com a preservação ambiental, visando o não comprometimento da biodiversidade.

Palavras-chave: Pimenta rosa; compostos bioativo; indústria farmacêutica; indústria alimentícia; impactos ambientais

ABSTRACT: *Schinus terebinthifolia* is a forest species that exhibits a remarkable duality between its benefits and environmental impacts. In this study, we conducted a literature review combined with a bibliometric analysis using articles indexed in the Web of Science© (WOS) platform over the last 10 years. For the analysis, we used the terms "Schinus terebinthifolia" and "Schinus terebinthifolius" in fields covering the title, abstract, keywords, and additional terms of the indexed articles. The 10 most-cited articles, the 10 most prolific authors, the 10 organizations and countries with the highest scientific output, and the most recurring keywords were highlighted. The research also investigated the phytochemical aspects and the medicinal, agrochemical, and food applications of the plant, showcasing its potential in the pharmaceutical and food industries. However, the invasive nature of *S. terebinthifolia* was equally analyzed, as it represents a significant threat to native ecosystems in various regions of the world. Scientometric data revealed the existence of 476 articles on the species, with a significant increase in publications, with Brazil accounting for 61.76% of the publications over the last decade. The United States also stood out, contributing 26.89% of the research focused on ecological impacts. We conclude that while *S. terebinthifolia* has considerable value, sustainable management is essential to mitigate its adverse effects, balancing its benefits with environmental preservation to ensure biodiversity is not compromised.

Keywords: Pink pepper; bioactive compounds; pharmaceutical industry; food industry; environmental impacts

INTRODUÇÃO

A diversidade vegetal é vasta no planeta e se manifesta em uma diferentes de formas, cores e propriedades. O Brasil, conhecido globalmente por sua riqueza biológica, abriga cerca de 20 % das espécies vivas conhecidas em todo o mundo (Peixoto *et al.*, 2016). Contudo, a biodiversidade brasileira continua pouco explorada e negligenciada, levando à subutilização dos recursos de seus biomas (Corandin; Camillo, 2016; EMBRAPA, 2023a). Nesse contexto, as plantas mesmo sendo subutilizadas, elas são admiradas não apenas por sua beleza, mas também pela extensa variedade de compostos bioativos que possuem, oferecendo oportunidades para diversas aplicações, inclusive na promoção da saúde humana.

Dentre as 191 espécies relacionadas à produção de alimentos no Brasil, que despertam interesse econômico, a *Schinus terebinthifolia*, merece destaque (BPBES/REBIPP, 2019; EMBRAPA, 2023b). Essa planta se sobressai pelos compostos com potencial farmacológico, terapêutico e pelo seu uso na culinária, tornando-se uma promissora fonte de substâncias benéficas para a saúde e indústria de temperos condimentar (Camilo, 2018; Nochi *et al.*, 2022; Ronchi *et al.*, 2022), bem como no controle biológico de insetos (Wheeler *et al.*, 2016). A valorização de frutos alimentícios silvestres é essencial para o setor florestal, impulsionando a valorização econômica do país. No Brasil, o número de regiões com indicação geográfica (IG) aumentou expressivamente de 49 para 86 entre 2016 e 2019 (IBGE, 2019), demonstrando um notável impulso na valorização dos produtos da biodiversidade brasileira.

A espécie em outras regiões do mundo é considerada exótica/invasora (Nickerson; Flory, 2015, Dlamini *et al.*, 2018, Hogg *et al.*, 2020, Enloe *et al.*, 2023). Entre as várias espécies de plantas exóticas e invasoras em todo o mundo, *S. terebinthifolia* é encontrada em oito regiões, incluindo América do Norte, Oriente Médio, ilhas do Pacífico, Austrália, África e região Neotropical (Richardson; Rejmánek, 2011). Originária da Argentina (leste e nordeste), Paraguai (leste), Uruguai e Brasil (Carvalho, 2003), quando introduzida em novas regiões, tende a colonizar ambientes perturbados, como pastagens, campos abertos, margens de estradas e clareiras florestais, levando a uma redução na diversidade de espécies vegetais nativas devido à competição por recursos.

A *S. terebinthifolia* apresenta uma dualidade fascinante em seu status e percepção em diferentes partes do mundo. Enquanto no Brasil e em algumas outras regiões da América do Sul, essa espécie é valorizada por suas propriedades alimentícias e medicinais, sendo utilizada tradicionalmente na culinária e na medicina popular, em outras partes do mundo ela é

amplamente considerada uma espécie invasora, capaz de causar impactos significativos nos ecossistemas locais (Wheeler *et al.*, 2016; Freitas *et al.*, 2020; Hogg *et al.*, 2020; Enloe *et al.*, 2023). Esta dicotomia oferece perspectivas interessantes sobre *S. terebinthifolia* fora do Brasil. Por um lado, em regiões onde a planta não é nativa, sua introdução é vista com preocupação devido ao seu potencial de competir com espécies nativas e alterar a estrutura dos ecossistemas (Nickerson; Flory, 2015, Hogg *et al.*, 2020). No entanto, alguns podem reconhecer seu valor como planta alimentícia e medicinal, mas geralmente isso é eclipsado pelos impactos negativos que ela pode causar como espécie invasora (Ronchi *et al.*, 2022).

A compreensão das tendências e evoluções essenciais neste campo é fundamental para direcionar futuras pesquisas e aprofundar a compreensão do potencial da planta. O contexto atual não apenas requer uma análise detalhada dos compostos bioativos presentes, mas também exige a compreensão de suas interações com o organismo humano e os efeitos terapêuticos que podem resultar, bem como sua utilização no controle ambiental. Neste contexto, as abordagens baseadas em bibliometria têm um papel fundamental ao oferecer uma análise detalhada das publicações científicas. Elas ajudam a identificar lacunas na pesquisa, estabelecem conexões entre estudos e delineiam direções para investigações futuras (Din *et al.*, 2023). Essa metodologia possibilita uma compreensão mais abrangente do estado atual do conhecimento científico sobre as propriedades fitoquímicas das plantas, como é o caso para *S. terebinthifolia*.

O objetivo central desta pesquisa é conduzir uma análise de mapeamento científico para explorar os padrões e tendências de estudo pertinentes a *S. terebinthifolia*. Isso engloba identificar as tendências históricas das publicações sobre a utilização dessa espécie para benefícios alimentares, de saúde humana e controle biológico. Além disso, visa analisar os autores e instituições mais influentes em cada uma dessas áreas. Os conhecimentos obtidos através deste trabalho têm o potencial de fornecer uma visão abrangente sobre o estado atual da pesquisa relacionada a *S. terebinthifolia*, destacando lacunas de conhecimento e oportunidades para futuras investigações. Essas descobertas podem nos ajudar a compreender sua dualidade e orientar políticas de conservação, práticas agrícolas sustentáveis e desenvolvimento de novos produtos ou terapias baseados nessa espécie, promovendo assim benefícios tanto para a sociedade quanto para o meio ambiente.

ORIGEM E CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ESPÉCIE

A *Schinus terebinthifolia*, comumente conhecido como pimenta rosa, é uma árvore pertencente à família Anacardiaceae. Originária da América do Sul, essa planta é nativa na Argentina, Paraguai, Uruguai e Brasil, sendo encontrada predominantemente em áreas de cerrado, caatinga e restinga em todo o território nacional (Silva-Luz *et al.*, 2023). Esta árvore é reconhecido por sua capacidade de se adaptar a diversas condições climáticas e solos variados, sendo comumente observado em locais com alta incidência de luminosidade (Costa *et al.*, 2022).

A espécie tem o potencial para atingir até 8 metros de altura (Discover of Life, 2023). Suas folhas são alternadas e compostas, exibindo uma coloração verde brilhante e uma textura coriácea. Essa espécie é ginodióica (observações pessoais), ou seja, possui plantas com sexo separados em hermafrodita e feminino, e suas flores, agrupadas em inflorescências do tipo paniculada, são pequenas e têm coloração branca ou amarelada (Silva-Luz *et al.*, 2023).

A floração de *S. terebinthifolia* ocorre quase o ano inteiro, mas apresenta dois picos de floração nas estações chuvosa em março e dezembro (Césario; Gaglianone, 2008). As flores possuem um néctar atrativo para diversos polinizadores, incluindo abelhas, borboletas e aves, que desempenham um papel importante na reprodução da espécie (Cesário; Gaglianone, 2013). Já a frutificação se dá após a polinização, resultando na formação de pequenos frutos globosos, de coloração inicial verde e posteriormente vermelha, bastante atrativos para aves e mamíferos (Lenzi; Orth 2004, Jesus, *et al.*, 2007).

Os frutos são drupas que contêm uma única semente no seu interior, envolvida por uma polpa suculenta e de sabor adocicado. Sua dispersão é realizada principalmente por aves que consomem os frutos e disseminam as sementes através das fezes, contribuindo assim para a expansão da espécie em diferentes ambientes (Lenzi; Orth 2004; Jesus, *et al.*, 2007, Dlamini *et al.*, 2018). A capacidade de dispersão das sementes é uma característica relevante na colonização e na manutenção da pimenta rosa em diversos ecossistemas.

Essa espécie possui uma ampla distribuição mundial, nas regiões tropicais e subtropicais da América do Sul, adaptando-se a diferentes condições climáticas e mostrando-se resistente em ambientes alterados pelo homem (Discover of Life, 2023). Sua presença é notável em áreas de vegetação nativa, mas também pode ser observada em locais degradados, demonstrando uma boa capacidade de regeneração e adaptação a diferentes pressões ambientais (Costa *et al.*, 2022).

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DE ARTIGOS NOS ÚLTIMOS DEZ ANOS (2013 – 2023), SOBRE *schinus terebinthifolia*

Conduzimos uma revisão bibliográfica com uma análise bibliométrica, sendo compilado os dados no Microsoft Excel e utilizando a plataforma Web of Science© (WOS) (www.webofknowledge.com), com o propósito de examinar a literatura global relacionada à *S. terebinthifolia*. Para essa análise, empregamos os termos “*Schinus terebinthifolia*” e “*Schinus terebinthifolius*” no campo que inclui título, resumo, palavras-chave e termos adicionais dos artigos indexados na plataforma. A busca foi conduzida considerando os últimos dez anos (2013-2023) e resultou em 131 e 345 documentos, respectivamente. Totalizando, 476 artigos para a espécie. A partir desses dados, foram obtidos o número total de publicações, as categorias WOS, os 10 artigos mais citados, os 10 autores com maior produção científica, as 10 organizações e os países mais produtivos, além das palavras-chave mais frequentes.

Estudos de publicações e artigos mais citados

A análise bibliométrica representa uma abordagem objetiva para avaliar publicações científicas, possibilitando a observação da evolução de áreas de estudo emergentes e a avaliação do impacto e crescimento de uma publicação ao longo do tempo (Romanelli *et al.*, 2021; Royle *et al.*, 2013). Foram identificadas as cinco áreas de pesquisa mais produtivas, permitindo a visualização das variações no número de publicações ao longo de um período de 10 anos (Figura 1).

Ao longo dos últimos 10 anos, o número de publicações apresentou flutuações, destacando-se aumentos notáveis em anos específicos, como 2017, 2021 e 2022, nos quais foram registrados 35, 39 e 40 documentos publicados, respectivamente. Essas variações podem ser atribuídas a potenciais descobertas em aplicações na indústria de reguladores de insetos (Ennigrou *et al.*, 2017; Belhoussaine *et al.*, 2022); ao contínuo progresso nas informações sobre a ecologia, silvicultura e tecnologia de produção de alimentos (Barreira *et al.*, 2023); e à eficácia do extrato da *S. terebinthifolia* no manejo terapêutico de doenças em diversas áreas da saúde, emergindo como uma opção promissora para uso clínico (Feriani *et al.*, 2021).

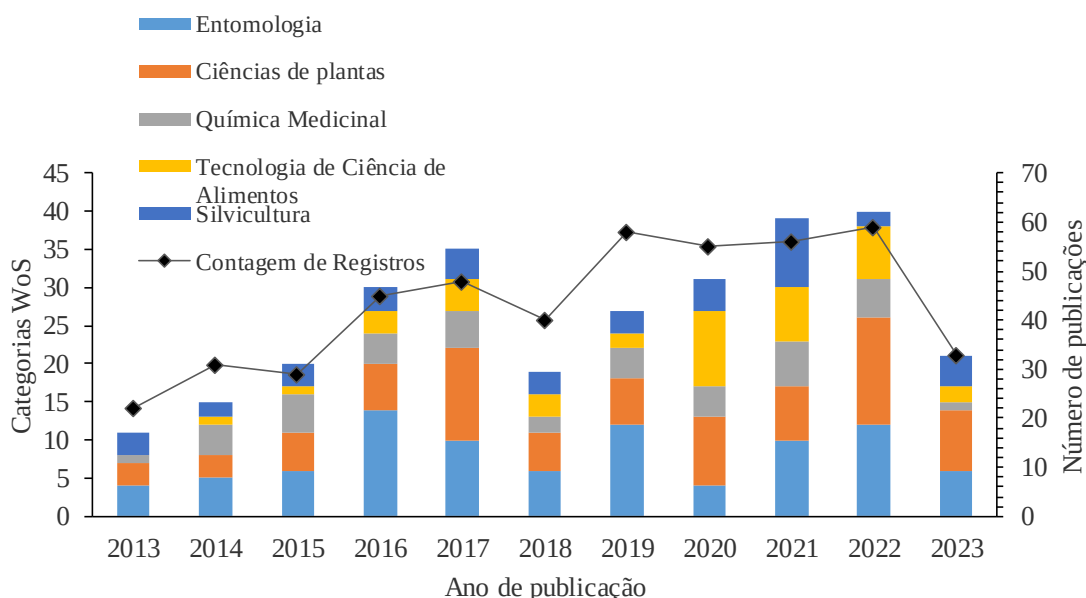


Figura 1. Número de publicações por ano e categorias WoS relacionados a *Schinus terebinthifolia* Raddi nas cinco categorias mais expressivas.

Observaram-se também flutuações nos anos de 2019 e 2020. No ano de 2020, especificamente, foram publicados 31 artigos, com uma concentração notável na categoria de Ciência e Tecnologia de Alimentos (10), indicando um interesse contínuo na pesquisa relacionada a essa espécie e seu uso como condimento. Essa direção aponta para uma expansão do conhecimento sobre as propriedades nutricionais da planta, impulsionando pesquisas com foco medicinal ou em outras possíveis aplicações, além de contribuir para o aprimoramento das técnicas de cultivo e manejo.

Ao analisar as publicações do ano mais recente (2023), observa-se não apenas documentos na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, que abordam a composição química e atividades antioxidantes (Barreira *et al.*, 2023; Vieira *et al.*, 2023), mas também um interesse significativo em estudos relacionados às Ciências de Plantas. Especificamente, há um foco em características como caracterização, melhoramento e seleção de espécies silvestres (Pich *et al.*, 2023), além de investigações sobre controle biológico (Nestle *et al.*, 2023).

De acordo com a classificação da WoS, ao longo de 10 anos, foram contabilizadas 476 publicações distribuídas em 66 categorias. No entanto, neste estudo, foram enfocadas as cinco categorias mais relevantes devido à vasta dispersão das publicações por várias categorias. O que se observou é que *S. terebinthifolia* é extensivamente estudada em diversas áreas de conhecimento, o que ressalta sua relevância, versatilidade e o potencial de aplicação dessa espécie.

A área de entomologia foi identificada com um número significativo de documentos publicados, seguida por Ciências de Plantas (Figura 1). Os estudos concentram-se principalmente em investigações sobre a composição química, atividade antioxidante e compostos bioativos, explorando sua relação com o controle biológico, a saúde e a extração de óleos essenciais (Alves *et al.*, 2019; da Silva *et al.*, 2019).

A análise de estudos frequentemente referenciados é essencial tanto para acadêmicos quanto para editores de periódicos, pois auxilia na avaliação da relevância e importância do campo de estudo em questão (Din *et al.*, 2023). A Tabela 1 lista os 10 artigos mais citados sobre *S. terebinthifolia* nos últimos dez anos. Nota-se uma tendência em que uma parte significativa desses artigos foi publicada entre os anos de 2013 e 2017, indicando uma relação entre a idade dos artigos e o número de citações ao longo do tempo desde sua indexação (Jiménez-Castro *et al.*, 2020).

Tabela 1. Os 10 artigos mais citados no período de 2013 a 2023 sobre a *Schinus terebinthifolia* Raddi com base na Web of Science©

Classificação	Titulo	Revista	NC	IF	Referências
1	Present and future potential of plant-derived products to control arthropods of veterinary and medical significance	Parasites & Vectors	102	3.2	George <i>et al.</i> 2014
2	Composition and antimicrobial activity of essential oils isolated from Egyptian plants against plant pathogenic bacteria and fungi	Industrial Crops And Products	88	5.9	Badawy <i>et al.</i> , 2014
3	Novel chemical weapon of an exotic macroalga inhibits recruitment of native competitors in the invaded range	Journal of Ecology	77	5.5	Svensson <i>et al.</i> , 2013
4	Chemical composition, insecticidal and biochemical effects of essential oils of different plant species from Northern Egypt on the rice weevil, <i>Sitophilus oryzae</i> L.	Journal of Pest Science	75	5.0	Abdelgaleil <i>et al.</i> , 2016
5	Antimicrobial and antioxidant activity of essential oil from pink pepper tree (<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi) in vitro and in cheese experimentally contaminated with <i>Listeria monocytogenes</i>	Innovative Food Science & Emerging Technologies	63	6.6	Dannenberg <i>et al.</i> , 2016
6	Antihyperalgesic and antidepressive actions of (R)-(+)-limonene, α -phellandrene, and essential oil from <i>Schinus terebinthifolius</i> fruits in a neuropathic pain model	Nutritional Neuroscience	63	2.4	Piccinelli <i>et al.</i> , 2015
7	<i>Schinus terebinthifolius</i> Leaf Extract Causes Midgut Damage, Interfering with Survival and Development of <i>Aedes aegypti</i> Larvae	Plos One	58	3.8	Procopio <i>et al.</i> , 2015
8	Antimicrobial lectin from <i>Schinus terebinthifolius</i> leaf	Journal of Applied Microbiology	54	4.0	Gomes <i>et al.</i> , 2013
9	Virulence Inhibitors from Brazilian Peppertree Block Quorum Sensing and Abate Dermonecrosis in Skin Infection Models	Scientific Reports	50	4.6	Muhs <i>et al.</i> , 2017
10	Phenolic compounds in edible species of the Anacardiaceae family - a review	Rsc Advances	50	3.9	Schulze-Kaysers <i>et al.</i> , 2015

NC = Número de citações; IF = Fator de impacto da revista

Os pesquisadores Dr. Gregory S. Wheeler (Wheeler, G.S.), do United States Department Of Agriculture Usda, e o Dr. James P. Cuda (Cuda, J. P.), da University Of Florida, são identificados como os autores mais prolíficos na área de estudos sobre *S. terebinthifolia*, ocupando, respectivamente, o primeiro e o segundo lugar no ranking. Essa posição é atribuída ao considerável número de artigos científicos publicados por ambos sobre essa espécie nos últimos 10 anos. Suas pesquisas abrangem diversos campos da entomologia, com foco particular no manejo sustentável de plantas invasoras, visando apoiar o controle biológico. Esses estudos incluem investigações sobre a fisiologia alimentar de insetos, interações entre insetos e plantas, ecologia química e toxicologia, considerando que essa espécie é classificada como uma invasora agressiva na região da Flórida.

No entanto, pesquisadores brasileiros como Patrícia Maria Guedes Paiva (Paiva, P.M.G.) direcionam suas pesquisas para a Bioquímica Farmacológica e Biologia Molecular, investigando a capacidade antioxidante e os compostos bioativos. Enquanto isso, Thiago Henrique Napoleão (Napoleão, T.H.) concentra-se no tratamento da leishmaniose por meio do potencial terapêutico de *S. terebinthifolia*. Em geral, observa-se uma distinção marcante nas áreas de atuação, onde os dois países com maior produção, Brasil e EUA, contribuem significativamente com trabalhos relacionados ao teor fitoquímico farmacológico/medicinal e controle biológico de plantas invasoras, respectivamente. A dualidade de interesses e perspectivas gera, respectivamente, uma dicotomia na potencialidade e prospecção de utilização da espécie. Todavia, é notória a contribuição intelectual que essa dualidade proporciona (Tabela 2).

Tabela 2: Autores mais produtores e suas instituições de pesquisa e ensino.

Autores	NP	Instituições
1 Wheeler, G. S.	42	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) Universidade da Flórida, Departamento de Entomologia e Nematologia
2 Cuda, J.P.	14	Gainesville, EUA. Universidade da Flórida, Instituto de Ciências Alimentares e Agrícolas
3 Diaz, R.	14	(UF/IFAS) Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Bioquímica,
4 Paiva, P.M.G	13	Recife, Brasil. Universidade Internacional da Flórida, Departamento de Ciências Biológicas,
5 Manrique, V	11	Miami, EUA.
6 Mckay, F	11	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Bioquímica,
7 Napoleão, T.H	9	Recife, Brasil. Universidade da Flórida, Instituto de Ciências Alimentares e Agrícolas
8 Overholt, W.A.	9	(UF/IFAS) Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Bioquímica,
9 Vieira, M. C.	9	Recife, Brasil. Universidade de Zagazig, Departamento de Tecnologia Florestal e
10 Salem, M. Z. M.	8	Madeira, Zagazig, Egito.

NP= Numero de publicações

A análise da colaboração internacional de pesquisa entre os países mais produtivos em publicações sobre *S. terebinthifolia* foi conduzida por meio da avaliação das coautorias, utilizando o software VOSviewer, como evidenciado na Figura 2.

Brasil se sobressai com o maior número de documentos, totalizando 294 publicações (representando 61,76 %), estabelecendo-se como o país mais produtivo nesse campo. Além disso, registra mais citações, somando 2.645. No entanto, é importante salientar que para o período analisado não houve pesquisas que aborda as características reprodutivas da espécie e frugívoras, apenas dois trabalhos anteriores ao período analisado nos anos de 2007 e 2008 (Jesus *et al.*, 2007; César; Gaglianone, 2008), respectivamente. Esse tipo de pesquisa pode contribuir para a compreensão da quantidade de bioativos produzidos em tipos específicos de frutos e como essa espécie está se distribuindo.

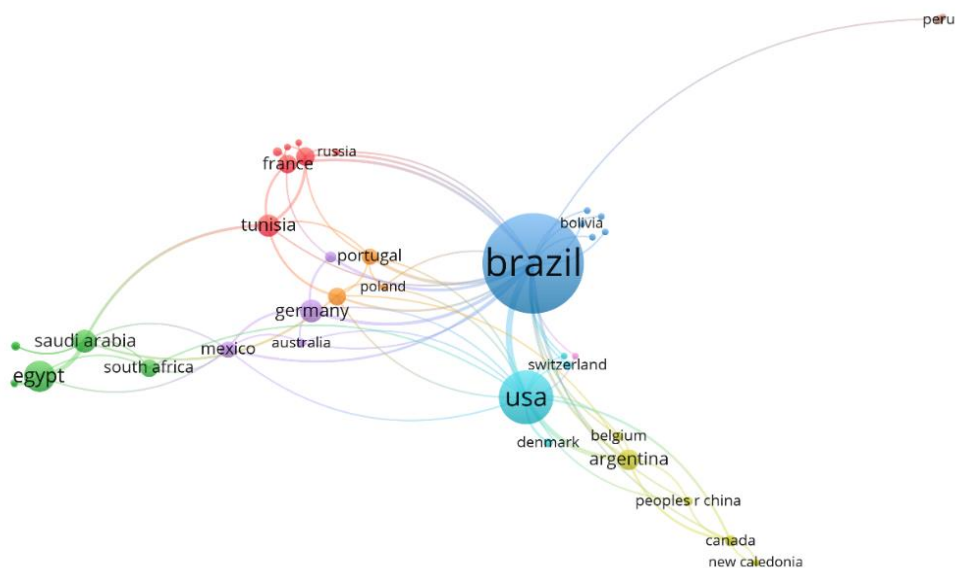


Figura 2. Colaborações entre os países mais produtivos em pesquisas com *Schinus terebinthifolia* Raddi

Os Estados Unidos (EUA) seguem em segundo lugar, com 128 documentos publicados (equivalente a 26,89 %). A colaboração internacional entre esses países desempenha um papel crucial na ampliação da visibilidade e no reconhecimento mútuo das pesquisas envolvendo a espécie em análise, resultando em um aumento significativo de publicações e citações. A maioria dos países envolvidos no estudo dessa espécie estabelece parcerias com o Brasil ou os

EUA (Figura 2). Essa cooperação demonstra a troca ativa de conhecimento científico na área, promovendo uma conexão mais ampla e internacional entre os países.

Análises de tendências de palavras-chave

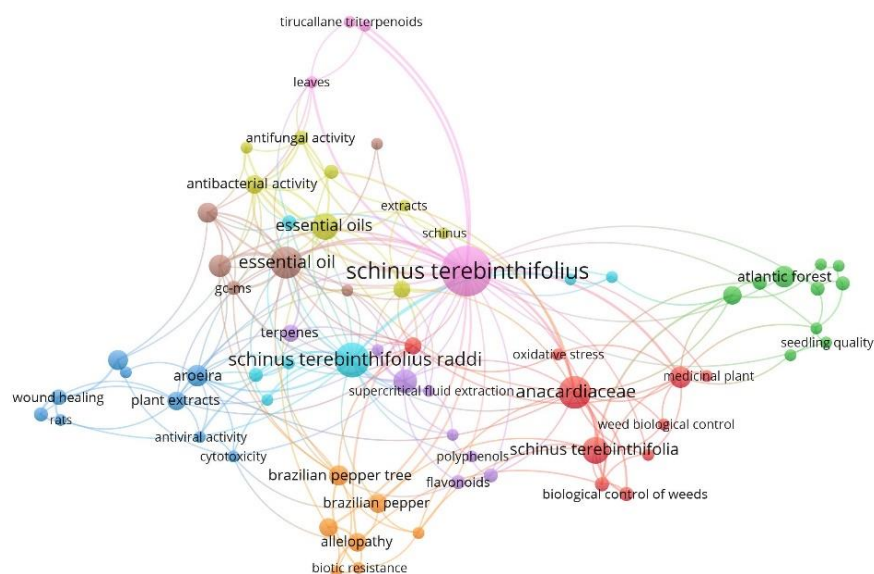
Uma estratégia baseada na análise de palavras-chave foi adotada para obter uma perspectiva abrangente das tendências relacionadas à espécie *S. terebinthifolia*. Foram empregadas palavras-chave de autor (AKs) e, neste estudo, priorizou-se a análise das AKs mais frequentemente citadas, com o objetivo de identificar as tendências mais relevantes evidenciadas pelos autores.

A identificação das palavras-chave mais frequentemente citadas pelos autores desempenha um papel fundamental na compreensão do conteúdo principal de uma pesquisa publicada. Essas palavras são selecionadas com o objetivo de espelhar a linha de pensamento dos autores e representar o cerne do trabalho de pesquisa (Costa; Caldeira, 2018; Zhong *et al.*, 2016). Além disso, essas palavras-chave têm relevância ao elucidar as áreas de enfoque de um tema específico em uma determinada região ou ao longo de um período definido (Wei *et al.*, 2015).

Durante o período de 2013 a 2023, foram identificadas 1589 palavras-chave distintas nos artigos analisados. Dentre essas, 1.115 foram encontradas nos 345 artigos pesquisados como “*Schinus terebinthifolius*” e 474 nos artigos referentes a “*Schinus terebinthifolia*”. No entanto, nesta revisão, focamos exclusivamente nas 71 e 27 palavras-chave mais frequentes, respectivamente, considerando apenas aquelas que apareceram pelo menos três vezes. A Figura 3 apresenta o mapa de tendências de palavras-chave dos autores, onde o tamanho dos nós reflete a frequência de utilização das palavras, enquanto a espessura das linhas indicam os agrupamentos a que pertencem. Além disso, as cores dos círculos representam os anos em que os termos foram pesquisados.

Os termos “*Schinus terebinthifolius*”, “*Schinus terebinthifolia*”, “Anacardiaceae” e “Essential oil” foram amplamente referenciados pelos autores, cada um com mais de 20 ocorrências. A alta frequência de citação desses termos sugere que a capacidade antioxidante da espécie e seu valor fitoquímico são temas de considerável interesse e relevância nos artigos analisados, como anteriormente observado. É importante destacar que o termo “*Schinus terebinthifolia*” tem sido mais utilizado em trabalhos publicados a partir de 2019. Contudo, ainda se nota a utilização de seus sinônimos. As cores espessura das linhas indicam os agrupamentos a que pertencem.

A



B

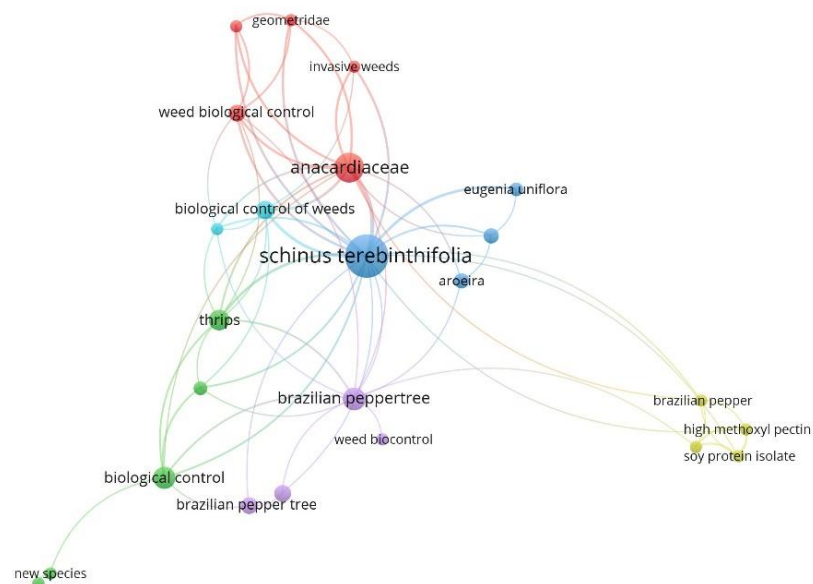


Figura 3. Tendência de Pesquisa sobre *Schinus terebinthifolia* Raddi utilizando Palavras-chave do autor, geradas com o software Vosviewer. Avaliando Clusters nos grupos A e B

Com base nas combinações de palavras-chave presentes nos clusters, é possível inferir tendências de pesquisa relevantes. Por exemplo, destacam-se a compreensão das propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e medicinais de *S. terebintefolia*, explorando sua composição química, incluindo flavonoides e componentes fenólicos, assim como seu óleo essencial e extratos de plantas em diferentes aplicações (cluster roxo e vermelho). Além disso, nota-se o interesse nos componentes bioativos presentes nos extratos de frutos da família Anacardiaceae, especialmente em relação à atividade anticancerígena, citotoxicidade e propriedades medicinais (cluster azul e amarelo).

No cluster verde, as tendências indicam pesquisas voltadas para a compreensão da Floresta Atlântica, abrangendo análises da expressão gênica, identificação de espécies, estudos sobre diversidade genética em florestas, exploração de mecanismos reprodutivos e qualidade de sementes. Esses estudos têm implicações significativas no melhoramento genético de plantas, conservação da diversidade e desenvolvimento de variedades mais tolerantes e adaptadas.

No cluster laranja e vermelho, observa-se o interesse em compreender atividades relacionadas à extração de óleo essencial para fins medicinais, assim como a gestão da espécie como planta exótica invasora. Há uma investigação sobre sua evolução e interações, além da exploração de estratégias para controle e manejo visando limitar seu crescimento e mitigar os impactos na diversidade dos ecossistemas. Isso se deve ao fato de a espécie ser considerada invasora em vários países e ecossistemas específicos (Discover of Life, 2023).

A abordagem científica baseada na análise de clusters e na análise bibliométrica estabeleceu uma base robusta para a identificação dos temas de pesquisa relevantes sobre *Schinus terebinthifolia* até o momento. Essa abordagem permite orientar futuras pesquisas, impulsionar o avanço do conhecimento e oferecer subsídios para a tomada de decisões embasadas em evidências científicas.

COMPOSTOS FENÓLICOS

Os compostos fenólicos identificados nos frutos, casca e folhas na *S. terebinthifolia* apresentam uma gama diversificada de atividades biológicas, destacando-se pelo seu potencial terapêutico e agrícola. O ácido gálico, por exemplo, demonstrou propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antitumorais, além de exibir atividade antimicrobiana contra uma variedade de patógenos bacterianos e fúngicos, incluindo *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* (Silva

et al., 2018; Tang *et al.*, 2020). Já o ácido chiquímico, associado a atividades anti-inflamatórias e antioxidantes, é utilizado como medicamento antiviral no tratamento da gripe (Gomes *et al.*, 2020). Quanto aos flavonoides, como a quercetina e a miricetina, sua eficácia antioxidante, anti-inflamatória e antiviral é amplamente documentada, com atividade comprovada contra vírus como o herpes simples, vírus da gripe e vírus da imunodeficiência humana (HIV) (Nocch *et al.*, 2016). Além disso, esses compostos fenólicos também demonstraram atividade antimicrobiana contra uma variedade de bactérias e fungos, inclusive contra cepas resistentes a antibióticos (Maciel *et al.*, 2019).

Esses achados sugerem que os compostos fenólicos da *S. terebinthifolia*, notadamente o ácido gálico, o ácido chiquímico e os flavonoides como a quercetina e a miricetina, destacam-se como candidatos promissores em termos de atividade biológica, antimicrobiana e antiviral. Suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias acrescentam relevância adicional no contexto do controle biológico e na promoção da saúde humana.

CONTROLE BIOLÓGICO

Os compostos químicos presentes nas folhas encontrados na *S. terebinthifolia* desempenham um papel crucial no controle biológico de patógenos e pragas, além de promover a saúde do solo e da biodiversidade. Aqui, destacamos algumas aplicações desses compostos no contexto do controle biológico:

O ácido gálico, reconhecido por sua potente atividade antimicrobiana, é uma ferramenta valiosa no controle de doenças causadas por bactérias e fungos que afetam as plantas. Por exemplo, pode ser empregado em formulações de biofungicidas para combater doenças fúngicas do solo, como a podridão das raízes (Schoen *et al.*, 2021). Da mesma forma, os flavonoides, como a Quercetina e a Miricetina, apresentam atividade antifúngica e podem ser utilizados para proteger as plantas contra patógenos fúngicos que causam doenças foliares, como o oídio e a ferrugem.

O ácido chiquímico, além de sua importância na síntese de oseltamivir (antiviral utilizado no tratamento e prevenção da gripe), pode ser empregado como um bioestimulante no solo. Ao promover o crescimento de microrganismos benéficos que competem com patógenos do solo, como bactérias e fungos, ele tende a contribuir para a redução da incidência de doenças de origem bacteriana e fúngica o que pode ser um fator determinante no auxílio do estabelecimento de plantas invasoras o que impacta a nitrificação do solo (Afzal *et al.*, 2023).

Os triterpenos e seus derivados são identificados como precursores ou substratos para microrganismos do solo, auxiliando na promoção da diversidade microbiana (Dawkins; Esiobu, 2016; Afzal *et al.*, 2023). Esse aumento na diversidade microbiana pode resultar em comunidades mais resilientes, capazes de suprimir eficazmente os patógenos do solo.

Além dos benefícios antimicrobianos, alguns compostos voláteis presentes na *S. terebinthifolia*, como o α -pineno e o β -pineno, demonstram propriedades repelentes e inseticidas (Belhoussaine *et al.*, 2022). Esses compostos, liberados pelas plantas, são eficazes na repulsão de pragas e insetos, contribuindo assim para o controle biológico de pragas agrícolas (Hussein *et al.*, 2017; Vicenço *et al.*, 2020).

Esses exemplos ilustram a aplicabilidade dos compostos químicos da *S. terebinthifolia* no controle biológico, proteção das plantas contra patógenos e pragas, e na promoção da sustentabilidade agrícola. Tais abordagens são consideradas mais seguras e ecologicamente amigáveis em comparação com o uso de pesticidas sintéticos, mitigando os impactos adversos ao meio ambiente e à saúde humana.

FITOQUÍMICA

A identificação e caracterização dos compostos bioativos presentes na *S. terebinthifolia* são de suma importância para compreender os potenciais efeitos medicinais, nutricionais e aromáticos dessa planta. A fitoquímica desempenha um papel crucial nesse processo, uma vez que é responsável por identificar esses compostos e determinar suas concentrações em diferentes partes da planta, como folhas, frutos e casca (Vasconcelos *et al.*, 2022).

No campo da fitoquímica, técnicas analíticas avançadas são amplamente empregadas para isolar, identificar e quantificar os compostos presentes na *S. terebinthifolia*. Entre essas técnicas, destacam-se a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), a espectrometria de massa (MS) e a ressonância magnética nuclear (RMN) (Nocch *et al.*, 2016; Gomes *et al.*, 2020; Vicenço *et al.*, 2020). Esses métodos analíticos são essenciais para avançar o conhecimento científico sobre as propriedades medicinais e nutricionais da planta, bem como para desenvolver aplicações práticas em diversas áreas, como medicina, agricultura e nutrição.

Por meio desses estudos fitoquímicos, é possível elucidar os compostos responsáveis pelas atividades biológicas da *S. terebinthifolia* e explorar seu potencial terapêutico e agrícola. Essa abordagem científica contribui significativamente para o desenvolvimento de novos

medicamentos, suplementos nutricionais e produtos agrícolas baseados em compostos bioativos encontrados nessa planta.

Apesar de ser reconhecida por suas características invasoras em diversas regiões do mundo, esta espécie revela-se uma fonte rica e promissora de compostos fitoquímicos com potencial significativo em resposta às necessidades da sociedade contemporânea. Por um lado, sua propensão invasiva pode representar um desafio para o equilíbrio ecossistêmico em determinadas áreas. No entanto, essa espécie também oferece uma variedade de benefícios fitoquímicos que podem ser explorados em benefício da saúde humana, da nutrição e da agricultura. Ao examinar essa dualidade, torna-se evidente que a *S. terebinthifolia* apresenta perspectivas promissoras na busca por soluções sustentáveis e inovadoras. Seus compostos fitoquímicos podem ser aproveitados para desenvolver novos medicamentos, suplementos alimentares e técnicas agrícolas que promovam o bem-estar humano e a preservação ambiental. Assim, apesar dos desafios associados à sua natureza invasora ela oferece uma visão otimista e inspiradora para o futuro da saúde, da alimentação e da agricultura.

Tabela 3: Compostos fenólicos e atividade bioativa de *Schinus terebinthifolia* Raddi

Casses	Subclasse	Nome do composto	Atividade bioativa	Potencial para fornecer aroma	Fonte de origem	Referência
Compostos fenólicos	Ácido Fenólico	Gallic Acid	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	Gomes <i>et al.</i> , 2020
	Ácido Fenólico	Shikimic Acid	Antiviral, antitumoral, anti-inflamatório	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Flavonol	Quercetin	Antioxidante, anti-inflamatório, antiviral	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Flavonol	Myricetin	Antioxidante, anti-inflamatório, antiviral	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Tanino	Gallic acid cluster	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Casca	Nocch <i>et al.</i> , 2016
	Tanino	Catechinst	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Casca	
	Tanino	Epicatechinst	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Casca	
	Tanino	Galloylshikimic acid	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Tanino	Galloylglucose	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	Gomes <i>et al.</i> , 2020
	Tanino	Methyl digallate	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Tanino	Digallic acid	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Tanino	Ethyl digallate	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Tanino	Gallic acid cluster	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Tanino	Digalloylglucose	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Tanino	Galloylquinic acid	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Tanino	Galloylglucose chloride cluster	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Flavonol	Quercitrin O-gallate	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Flavonol	Myricitrin O-gallate	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Tanino	Trigalloylshikimic acid	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Tanino	Trigalloylglucose	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Tanino	Pentagalloylglucose	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	

Terpenos/Compostos Voláteis	Tanino	Digalloylquinic acid	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	Vasconcelos <i>et al.</i> , 2022
	Flavonol	Myricitrin	Antioxidante, anti-inflamatório, antimicrobiano	Não	Folhas/Frutos/ Casca	
	Monoterpeno	α -Pinene	Atividade inseticida, propriedades antimicrobianas	Sim	Frutos verdes	
	Monoterpeno	β -Myrene	Atividade antimicrobiana, citotóxica	Sim	Frutos verdes	
	Monoterpeno	α -Phellandrene	Atividade antimicrobiana, citotóxica	Sim	Frutos verdes	
	Monoterpeno	Para-cymene	Atividade antimicrobiana, citotóxica	Sim	Frutos verdes	
	Sesquiterpeno	Germacrene D	Atividade antimicrobiana, citotóxica	Sim	Frutos verdes	
	Monoterpeno	β -Phellandren	Atividade antimicrobiana, citotóxica	Sim	Frutos verdes	
	Monoterpeno	α -Thujene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	
	Monoterpeno	Camphene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	
	Monoterpeno	Sabinene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	
	Monoterpeno	β -Pinene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	
	Monoterpeno	Myrcene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	
	Monoterpeno	α -Terpinene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	
	Monoterpeno	Limonene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	
	Monoterpeno	cis- β -Ocimene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	
	Monoterpeno	Terpinen-4-ol	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	
	Monoterpeno	α -Terpineol	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	
	Monoterpeno	Linalyl acetate	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	
	Monoterpeno	α -Terpinyl acetate	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	
	Sesquiterpeno	α -Copaene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	
	Sesquiterpeno	β -Cubebene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	
	Sesquiterpeno	β -Elemene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	
	Sesquiterpeno	β -Caryophyllene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas	

Sesquiterpeno	cis- β -Farnesene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas
Sesquiterpeno	α -Humulene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas
Sesquiterpeno	γ -Muurolene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas
Sesquiterpeno	Bicyclogermacrene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas
Sesquiterpeno	γ -Cadinene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas
Sesquiterpeno	δ -Cadinene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas
Sesquiterpeno	cis-Calamenene	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas
Sesquiterpeno	cis-Nerolidol	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas
Sesquiterpeno	Spathulenol	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas
Sesquiterpeno	Caryophyllene oxide	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas
Sesquiterpeno	Globulol	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas
Sesquiterpeno	Viridiflorol	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas
Sesquiterpeno	Ledol	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas
Sesquiterpeno	β -Eudesmol	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas
Sesquiterpeno	α -Cadinol	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas
Sesquiterpeno	α -Santalol	Controle biológico de pragas	Sim	Folhas

PERSPECTIVAS FUTURAS PARA *Schinus terebinthifolia* Raddi

Indústria farmacêutica

Há um crescente interesse na indústria farmacêutica devido às suas propriedades medicinais. Estudos recentes têm destacado os potenciais efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios e antimicrobianos presentes em seus compostos bioativos (Gomes *et al.*, 2020; Belhoussaine *et al.*, 2022). Com isso, as perspectivas futuras indicam um maior investimento em pesquisas para explorar e desenvolver medicamentos derivados dessa planta, visando tratamentos mais eficazes para condições como doenças inflamatórias, dermatológicas e infecciosas (Feriani *et al.*, 2021).

Além disso, a análise de compostos isolados da *Schinus terebinthifolia* sugere um potencial promissor na área da oncologia e na proteção placentária contra o vírus Zika (Oliveira *et al.*, 2020). Componentes específicos têm demonstrado atividade anticancerígena em estudos pré-clínicos, levando a um interesse crescente na possível utilização desses compostos no desenvolvimento de novos fármacos contra diferentes tipos de câncer (Silva *et al.*, 2019). As perspectivas futuras envolvem uma investigação mais aprofundada desses compostos para compreender melhor seus mecanismos de ação e avaliar sua eficácia e segurança, o que pode abrir portas para terapias inovadoras e mais efetivas no combate ao câncer.

Indústria alimentícia

O *Schinus terebinthifolia* tem despertado interesse na indústria alimentícia devido às suas propriedades aromáticas e potencial uso como condimento natural. Seus frutos, conhecidos como pimenta rosa, possuem um sabor único e são utilizados para adicionar aroma e sabor em diversas preparações culinárias (Ronchi, *et al.*, 2022). As perspectivas futuras indicam um aumento na utilização desses frutos em condimentos, molhos, e misturas de especiarias, aproveitando sua capacidade de conferir um toque exótico e diferenciado a pratos gastronômicos.

Além disso, estudos têm explorado o potencial dos compostos presentes na espécie como conservantes naturais de alimentos. Os extratos obtidos dessa planta têm mostrado atividade antimicrobiana, o que sugere sua possível aplicação na conservação de alimentos, ajudando a prolongar a vida útil dos produtos de forma mais natural e sustentável (Barreira *et al.*, 2023). As perspectivas futuras envolvem pesquisas mais aprofundadas para explorar e

otimizar essas propriedades, visando o desenvolvimento de novos métodos de conservação de alimentos que sejam eficazes e mais saudáveis para os consumidores.

Melhoramento genético

O *S. terebinthifolia* apresenta um grande potencial para o melhoramento genético devido às suas características únicas e propriedades desejáveis. Os esforços futuros nesse campo podem se concentrar na seleção e cruzamento de variedades da planta e sua biofortificação que demonstrem maior resistência a estresses ambientais, como seca, pragas e doenças, visando o desenvolvimento de variedades mais robustas e adaptadas a diferentes condições climáticas (Bouis *et al.*, 2017).

Além disso, a aplicação de técnicas avançadas de melhoramento genético, como a modificação genética direta, pode ser explorada para aprimorar características específicas de *S. terebinthifolia*. Isso inclui a manipulação genética para aumentar a produção de compostos bioativos desejáveis, como antioxidantes ou compostos de interesse farmacêutico e alimentício, melhorando assim o valor nutricional e medicinal da planta.

No entanto, é essencial conduzir pesquisas éticas e abordagens responsáveis para garantir que o melhoramento genético do *Schinus terebinthifolia* seja feito de maneira segura, preservando a diversidade genética da espécie e minimizando possíveis impactos ambientais. Esses esforços podem abrir caminho para o desenvolvimento de variedades mais resilientes e com características aprimoradas, beneficiando tanto a indústria farmacêutica quanto a alimentícia.

Potencial invasor

Schinus terebinthifolia, revela-se através de sua natureza paradoxal como uma espécie exótica invasora. Originária da América do Sul, especialmente do Brasil, demonstra um potencial invasor significativo em várias regiões do globo, com destaque para os Estados Unidos, especialmente na Flórida, onde tem sido observada uma proliferação alarmante com numerosos registros de infestação (Nickerson; Flory, 2015). Essa dualidade é fascinante, pois contrasta a beleza e utilidade dessa árvore, cujas bagas são utilizadas na culinária e na medicina tradicional (Ronchi, *et al.*, 2022), com os sérios impactos que sua expansão descontrolada pode causar nos ecossistemas nativos. A capacidade de adaptação da pimenta rosa, aliada à ausência de predadores naturais em suas novas áreas de colonização, reforça

essa dualidade, tornando imperativa uma reflexão cuidadosa sobre as medidas de manejo e controle necessárias para mitigar os efeitos prejudiciais desse invasor.

A *Schinus terebinthifolia* exemplifica a complexidade de sua classificação como aliada ou adversária, evidenciando seu valor econômico e o potencial invasivo. No Brasil, seus frutos são amplamente utilizados na culinária como pimenta-rosa, e suas propriedades medicinais são valorizadas na medicina tradicional. Além disso, a planta possui um grande potencial para impulsionar a bioeconomia, especialmente em setores como o farmacêutico, cosmético e agrícola. Seus compostos bioativos, como os taninos e flavonoides, podem ser explorados para o desenvolvimento de medicamentos naturais, cosméticos sustentáveis e pesticidas ecológicos. Essa versatilidade oferece oportunidades para a criação de novos mercados e a geração de emprego, particularmente em comunidades rurais, promovendo uma economia mais verde e inclusiva. No entanto, em países como os Estados Unidos e em regiões da África, *S. terebinthifolia* se torna uma ameaça ambiental, competindo com espécies nativas e alterando a dinâmica ecológica local. Esse contraste entre suas aplicações benéficas e os impactos negativos em ecossistemas fora de seu habitat natural torna essencial o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável. A utilização responsável dessa planta, equilibrando seus benefícios econômicos com a proteção ambiental, é fundamental para garantir que sua exploração seja vantajosa tanto para as populações locais quanto para o meio ambiente, ao mesmo tempo em que evita consequências ecológicas adversas. Assim, *S. terebinthifolia* representa um exemplo claro de como a bioeconomia deve ser gerida com cautela, priorizando a sustentabilidade e o equilíbrio entre desenvolvimento econômico e conservação ecológica.

Invasora ou Protetora?

Schinus terebinthifolia, conhecida como pimenta rosa, é considerada uma planta de alta plasticidade ecológica e grande resiliência em ambientes degradados, sendo capaz de colonizar solos de baixa fertilidade, compactados e com baixa disponibilidade hídrica e de nutriente. Sua capacidade adaptativa, combinada com características pioneiras, como rápido crescimento e tolerância a condições ambientais adversas, posiciona-a como uma espécie relevante em cenários de perturbação antrópica. O ritmo acelerado de desenvolvimento econômico e as consequentes pressões sobre os ecossistemas naturais, com perda de cobertura vegetal nativa e aumento da erosão e degradação do solo, criam nichos ecológicos que *S. terebinthifolia* prontamente ocupa, acompanhando as modificações ambientais

promovidas pelo homem. Dessa forma, além de refletir os impactos das mudanças climáticas, a espécie contribui para processos iniciais de revegetação e estabilização do solo, sendo considerada uma opção relevante para a recuperação de áreas degradadas.

CONCLUSÃO

Schinus terebinthifolia se apresenta como mais aliada do que adversária, especialmente quando seus benefícios econômicos e ecológicos são geridos de forma responsável. Seu potencial na bioeconomia, através do uso de seus compostos bioativos em produtos farmacêuticos, cosméticos e agrícolas, oferece grandes oportunidades de desenvolvimento sustentável, especialmente para comunidades rurais. Embora apresente riscos ecológicos em ambientes não nativos, esses impactos podem ser mitigados com práticas de manejo adequadas, permitindo que a planta contribua de maneira positiva tanto para a economia quanto para a preservação ambiental. Dessa forma, ao adotar uma abordagem equilibrada, *S. terebinthifolia* pode ser uma aliada importante para a bioeconomia, promovendo um futuro sustentável e inclusivo.

REFERÊNCIAS

AFZAL, M.R.; NAZ, M.; ASHRAF, W.; DU, D. The Legacy of Plant Invasion: Impacts on Soil Nitrification and Management Implications. **Plants (Basel)**. v.12, n.16, p. 2980, 2023.

AGUIAR, C.V.S.; ALENCAR, J.B.R.; SANTANA, G. S.; TELES, B.R. Predicting the Potential Global Distribution of *Scirtothrips dorsalis* (Hood) (Thysanoptera: Thripidae) with Emphasis on the Americas Using an Ecological Niche Model. **Neotropical Entomology**, v. 52, n. 3, p. 512–520, 2023.

AHMAD, R.; KHUROO, A.A.; CHARLES, B.; HAMID, M.; RASHID, I.; ARAVIND, N.A. Global distribution modelling, invasion risk assessment and niche dynamics of *Leucanthemum vulgare* (Ox-eye Daisy) under climate change. **Scientific Reports**, v. 9. p. 11395, 2019.

AIZEN, M. A.; AGUIAR, S.; BIESMEIJER, J.C.; GARIBALDI, L.A.; INOUE, D.W.; JUNG, C.; MARTINS, D.J.; MEDEL, R.; MORALES, C. L.; NGO, H.; PAUW, A.; PAXTON, R.J.; SÁEZ, A.; SEYMOUR, C.L. Global agricultural productivity is threatened by increasing pollinator dependence without a parallel increase in crop diversification. **Global Change Biology**. v.25, n. 10, p. 3516–3527, 2019.

AKINLOLU, M.; HAUPT, T. C.; EDWARDS, D. J.; SIMPEH, F. A bibliometric review of the status and emerging research trends in construction safety management technologies. **International Journal of Construction Management**, v. 22, n. 14, p.2699–2711. 2020.

ALENCAR, J.B.R.; BENTO, M.; YOSHIDA, T. *et al.* Modeling potential invasion of stored-product pest *Cryptamorphia desjardinsii* (Guérin-Méneville, 1844) (Coleoptera: Silvanidae) with emphasis on newly recorded areas. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 25, p. 101891, 2022.

ALENCAR, J.B.R.; SAMPAIO, A.; DA FONSECA, C.R.V. Ecological niche modeling of two *Microthea* Stål, 1860 species (Coleoptera: Chrysomelidae: Chrysomelinae) in the Americas: insights from Brassicaceae occurrence. **International Journal of Biometeorology**, v. 68, p. 1–8, 2024.

ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied Ecology**, vol. 43, no. 6, p. 1223–1232, 2006.

ÁLVARES-CARVALHO, S.V.; DUARTE, J.F.; CARVALHO, D.; PEREIRA, G. S.; SILVA-MANN, R.; FERREIRA, R.A. *Schinus terebinthifolius*: Population structure and implications for its conservation. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 58, p.120 – 125, 2015.

ÁLVARES-CARVALHO, S.V.; DUARTE, J.F.; SANTOS, T. C.; SANTOS, R.M., SILVA-MANN, R.; CARVALHO, D. Structure and genetic diversity of natural Brazilian pepper populations (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Genetics and Molecular Research**, vol. 15, n. 2, p. 1-14, 2016.

ALVES-SILVA, E.; DEL-CLARO, K. On the inability of ants to protect their plant partners and the effect of herbivores on different stages of plant reproduction. **Austral Ecology**, v. 41, p. 263–272, 2016.

AMORIM, D.S. 2024. Cap. 4, Biogeografia da região Neotropical, pp. 88-108. In: RAFAEL, J.A., MELO, G.A.R., CARVALHO, C.J.B. DE, CASARI, S. and CONSTANTINO, R. (eds). **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. 2ª ed. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. p. 880, 2024.

ANDERSEN, M.C.; ADAMS, H.; HOPE, B.; POWELL, M. Risk analysis for invasive species: general framework and research needs. **Risk Analysis**, v. 24, n. 4, p. 893-900, 2004.

ANDRADE, A.F.A.; VELAZCO, S.J.E.; MARCO JÚNIOR, P. ENMTML: An R package for a straightforward construction of complex ecological niche models. **Environmental Modelling & Software**, v.125, p. 104615, 2020.

ANDRADE-LIMA, D. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**. v. 4, p. 243–274, 2007.

ARAÚJO, F.S. FELIX; F.C. SILVA, R.A.R.; CORREIA, L.A.S. Análise genética e fenotípica em progênies de polinização livre de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.: implicações para melhoramento genético. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e19110313096, 2021.

ARAUJO, M.; NEW, M. Ensemble forecasting of species distributions. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 22, n. 1, p. 42–47, 2007.

BAI, F.; CHISHOLM, R.; SANG, W.; DONG, M. Spatial Risk Assessment of Alien Invasive Plants in China. **Environmental Science Technology**, v. 47, p. 7624–7632, 2013.

BARBOT, E.; DUFAÏ, M.; DE CAUWER, I. Sex-specific selection patterns in a dioecious insect-pollinated plant. **Evolution**. v.77, n.7, p.1578-1590, 2023.

BARÔNIO, G.J.; MACIEL, A.A.; OLIVEIRA, A.C.; KOBAL, R.O.A.C.; MEIRELES, D.A.L.; BRITO, V.L.G.; RECH, A.R. Plantas, polinizadores e algumas articulações da biologia da polinização com a teoria ecológica. **Rodriguésia**, v. 67, p. 275-293, 2016.

BARREIRA, C.F.T.; OLIVEIRA, V.S.; CHAVEZ, D.W.H. *et al.* The impacts of pink pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) on fatty acids and cholesterol oxides formation in canned sardines during thermal processing. **Food Chemistry**, v.403, p. 134347, 2023.

BARRETT, S. C. H.; HOUGH, J. Sexual dimorphism in flowering plants. **Journal of Experimental Botany**. v. 64, n. 1, p. 67– 82, 2013.

BARRETT, S. C. H.; SHORE, J. S. New insights on heterostyly: Comparative biology, ecology and genetics. In V. Franklin-Tong [ed.], Self-incompatibility in flowering plants. **Evolution, diversity and mechanisms**. Springer, Berlin, Germany, p. 2-32., 2008.

BARRETT, S.C.H. 2002. The evolution of plant sexual diversity. **Nature Reviews Genetics** v. 3, n. 4, p. 274-284.

BARVE, N.; BARVE, V.; JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; LIRA-NORIEGA, A.; MAHER, S.P.; PETERSON, A.T.; SOBERÓN, J.; VILLALOBOS, F. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. **Ecology Modelling**, vol. 222, n. 11, p. 1810–1819, 2011.

BAWA, K.S.; BEACH, J.H. Evolution of sexual systems in flowering plants. **Annals of the Missouri Botanical Garden**. v. 68, n. 2, p.254-274, 1981.

BELHOUSSEINE, O.; KOURCHI, C.E.; HARHAR, H. *et al.* Chemical Composition, Antioxidant, Insecticidal Activity, and Comparative Analysis of Essential Oils of Leaves and Fruits of *Schinus molle* and *Schinus terebinthifolius*. **Hindawi Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, p. 12. 2022.

BELLARD C.; CASSEY. P.; BLACKBURN T. M. Alien species as a driver of recent extinctions. **Biology Letters**, vol. 12, pp. 20150623, 2016.

BERTIN, R. I.; NEWMAN, C. M. Dichogamy in angiosperms. **Botanical Review**. v. 59, n.2, p. 112 – 152, 1993.

BESSA, N.G.F.de. et al. Prospecção fitoquímica preliminar de plantas nativas do cerrado de uso popular medicinal pela comunidade rural do assentamento vale verde – Tocantins. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v.15, n.4, p.692-707, 2013.

BITENCOURT, G. A.; GONÇALVES, C. C. M.; ROSA, A. G.; ZANELLA, D. F.P.; MATIAS, R. Fitoquímica e Alelopatia da Aroeira -Vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) na Germinação de Sementes. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, [S. l.], v. 25, n. 1, p. 02–08, 2021.

BOMMARCO, R.; MARINI, L.; VAISSIÈRE, B.E. Insect pollination enhances seed yield, quality, and market value in oilseed rape. **Oecologia**, v. 169, p. 1025–1032, 2012.

BORTOLUCCI, W. de C.; OLIVEIRA, H.L.M.; SILVA, E.S.; CAMPO, C.F. de A.A.; GONÇALVES, J.E.; PIAU JUNIOR, R.; COLAUTO, N.B.; LINDE, G.A.; GAZIM, Z.C. *Schinus terebinthifolius* essential oil and fractions in the control of *Aedes aegypti*. **Bioscience Journal** [online], v. 35, n. 5, p. 1575–1587, 2019.

BOUIS, H.E.; SALTZMAN, A. Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. **Glob Food Sec**. v. 12, p. 49-58, 2017.

BOWERS, K.; HIGHT, S.D.; WHEELER, G.S.; MINTEER, C.R. Ecological host range of *Pseudophyllothrips ichini* (Thysanoptera: Phlaeothripidae), a biological control agent of Brazilian peppertree, *Schinus terebinthifolia*. **Biological Control**, v. 172, p. 104976, 2022.

BPBES/REBIPP (2019): **Relatório temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil**. Marina Wolowski; Kayna Agostini; André Rodrigo

Rech; Isabela Galarda Varassin; Márcia Maués; Leandro Freitas; Liedson Tavares Carneiro; Raquel de Oliveira Bueno; Hélder Consolaro; Luisa Carvalheiro; Antônio Mauro Saraiva; Cláudia Inês da Silva. Maíra C. G. Padgurschi (Org.). 1ª edição, São Carlos, SP: Editora Cubo. pp. 184.

BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Restauração Florestal. São Paulo: **Oficina de Textos**, 1º Ed., 432p. 2015.

BÜNDCHEN, M. et al. Extratos Aquosos de *Schinus terebinthifolius* Raddi inibem a Germinação e o Desenvolvimento Inicial de *Lactuca sativa* L. **Scie. Tec**, v.2, n.1, p.102-109, 2015.

CAMILLO, J. *Schinus terebinthifolia* Aroeira-vermelha. In: **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste** [recurso eletrônico] / Editores Lidio Coradin, Julcéia Camillo, Frans Germain Corneel Pareyn; Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade. – Brasília, DF: MMA, vol. 1, pp. 401-412, 2018.

CANAVAN, K.; MAGENGELELE, N.L.; PATERSON, I.D.; WILLIAMS, D.A.; MARTIN, G.D. Uncovering the phylogeography of *Schinus terebinthifolia* in South Africa to guide biological control, **AoB PLANTS**, v. 14, n. 1, p. 1-9, 2022.

CANE, J. H. Reproductive role of sterile pollen in cryptically dioecious species of flowering plants. **Current Science**, v. 65, n. 3, p. 223-225, 1993.

CARDOSO, J.C.F; VIANA, M.L.; MATIAS, R.; FURTADO, M.T.; CAETANO, A.P.S.; CONSOLARO, H.; BRITO, V.L.G. Towards a unified terminology for angiosperm reproductive systems. **Acta Botanica Brasilica**. v. 32, n. 3, p. 329-348, 2018.

CARNEIRO, M. J.; PINHEIRO, G.P.; BASEGGIO, A.M.; MARÓSTICA-JÚNIOR, M.R.; SAWAYA, A.C. 2023. Chemical Composition and Antioxidant Activity of Essential Oil from Male and Female *Schinus terebinthifolius*. [Pharmacognosy Research](#), v. 15, n. p. 484-491, 2023.

CARVALHO, D.M.; PRESLEY, S.J.; SANTOS, G.M.M. Niche overlap and network specialization of flower-visiting bees in an agricultural system. **Neotropical Entomology** v.43, p. 489–499, 2014.

CARVALHO, P. E. R. Espécies florestais brasileiras: Recomendações silviculturais, potencialidade e uso da madeira. Brasília: **EMBRAPA – SPI**, p. 639, 1994.

CARVALHO, P. E. R. C. Espécies Arbóreas Brasileiras - Aroeira-pimenteira: *Schinus terebinthifolius*. **EMBRAPA**. v. 1, p. 161-168, 2003.

CASTRO, H.; SIOPA, C.; CASAIS, V.; CASTRO, M.; LOUREIRO, J.; GASPAR, H.; DIAS, M. C.; CASTRO, S. Spatiotemporal variation in pollination deficits in an insect-pollinated dioecious crop. **Plants (Basel)**, vol. 10, n. 7, p. 1273, 2021.

CAVALCANTI, A. S.; ALVES, M.S.; DA SILVA, L.C.P.; PATROCÍNIO, D.S.; SANCHES, M.N.; CHAVES, D.S.A.; SOUZA, M.A.A. Volatiles composition and extraction kinetics from *Schinus terebinthifolius* and *Schinus molle* leaves and fruit. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. v. 25, n.4, p. 356–362, 2015.

CESÁRIO, L. F.; GAGLIANONE, M. C. Biologia floral e fenologia reprodutiva de *Schinus terebinthifolia* Raddi (Anacardiaceae) em Restinga do Norte Fluminense. **Acta Botânica Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 828-833, 2008.

CESÁRIO, L.F.; GAGLIANONE, M.C. 2013. Polinizadores de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) em formações vegetacionais de restinga no norte do estado do Rio de Janeiro. **Bioscience Journal**, v. 29, n.2, p. 458–467, 2013.

CHARLESWORTH, D. Plant sex chromosome evolution. **Journal of Experimental Botany**, vol. 64, n. 2, p. 405 – 420, 2013.

CHARLESWORTH, D. Why are unisexual flowers associated with wind pollination and unspecialized pollinators? **The American Naturalist**, v.141, n. 3, p.481-490, 1993.

CHARLESWORTH, D. Evolution of plant breeding systems. **Current Biology**, vol.16, no.17, pp. R726-R735, 2006.

COELHO, C.P.; GOMES, D.Q.; GUILHERMEA, F.A.; SOUZA, L.F. Reproductive biology of endemic *Solanum melissarum* Bohs (Solanaceae) and updating of its current geographic distribution as the basis for its conservation in the Brazilian Cerrado. **Brazilian Journal of Biology**. v. 77, n. 4, p. 809-819, 2017.

COLLINS, T. J. Image J for microscopy. **Biotechniques**. v.43, n. 1, p. 25-30, 2007.

COMIOTTO, A., MORAES, D.M., LOPES, N.F. Potencial alelopático de extratos aquosos de aroeira sobre germinação e crescimento de plântulas de alface. **Scie. Agrar. Paranaensis**, v.10, p.23-31, 2011.

CONDON, M. A.; GILBERT. L. E. Sex expression of *Gurania* and *Psiguria* (Cucurbitaceae): Neotropical vines that change sex. **American Journal of Botany**, v. 75, n. 6, p. 875 – 884, 1988.

CORANDIN, L.; CAMILLO, J. Introdução. In: Vieira, R.F.; Camillo,J.; Corandin, L. (ed). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: pantas para o futuro: Região Centro-Oeste**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, p.19, 2016.

CORREIA, S.J.; DAVID, J.P.; DAVID, J.M. Metabólitos Secundários de Espécies de Anacardiaceae. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p. 1287-1300, 2006.

COSTA, P.F.; PEREIRA, Z.V.; FERNANDES, S. S.L.; FRÓES, C.Q. Regeneração natural em três áreas de restauração florestal no Mato Grosso do Sul, Brasil. **Brazilian Journal of Forestry Research**. v. 42, p. 1-14, 2022.

COSTA, S.; CALDEIRA, R. Bibliometric analysis of ocean literacy: An underrated term in the scientific literature. **Marine Policy**, v. 87, p. 149–157, 2018.

CRISTÓBAL-PÉREZ, E. J.; FUCHS, E. J.; MARTÉN-RODRÍGUEZ, S.; QUESADA, M., 2021. Habitat fragmentation negatively affects effective gene flow via pollen, and male and female fitness in the dioecious tree, *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). **Biological Conservation**, v. 256, p.109007, 2021.

CRUZ, P. V.; ALENCAR, J.B.R.; CARDOSO, M.N.; BACCARO, F.B. Predicting the South American invasion pathways of the mayfly *Cloeon dipterum* Linnaeus 1761 (Ephemeroptera: Baetidae) using species distribution models. **Insect Conservation and Diversity**. v. 16, n. 4, p. 1–10, 2023.

DAFNI, A.; KEVAN, P.G.; HUSBAND, B.C. **Practical Pollination Biology**. Enviroquest Ltd, Cambridge, Canada, 2005.

DARWIN, C. R. **The different forms of flowers on plants of the same species**. Murray, London, UK, 1877.

DAWKINS, K.; ESIÖBU, N. Emerging Insights on Brazilian Pepper Tree (*Schinus terebinthifolius*) Invasion: The Potential Role of Soil Microorganisms. **Front Plant Sci**. v.24, n.7, p. 712, 2016.

DELLINGER, A. S. Pollination syndromes in the 21st century: where do we stand and where may we go? **New Phytologist**, v. 228, n. 4, p. 1193-1213, 2020.

DELPH, L. F. Pollen competition is the mechanism underlying a variety of evolutionary phenomena in dioecious plants. **New Phytologist**, v. 224, n.3, p. 1075-1079, 2019.

DIN, S. U.; KHAN, M. A.; FARID, H.; RODRIGO, P. Proactive personality: A bibliographic review of research trends and publications. **Personality and Individual Differences**, v. 205, p. 112066, 2023.

DISCOVER OF LIFE. Disponível em: <[Schinus terebinthifolius - Brazilian peppertree -- Discover Life](#)> Acesso em: Abril de 2024.

DOMINGOS-MELO, A.; DE LIMA NADIA, T.; MACHADO, I. C. At the beginning and at the end: Combined mechanisms of prior and delayed self-pollination interact to make a ‘winner’ species. **Flora**, v. 249, p. 24-30, 2018.

DONNELLY, M.J.; GREEN, D.M.; WALTERS, L. J. Allelopathic effects of fruits of the Brazilian pepper *Schinus terebinthifolius* on growth, leaf production and biomass of seedlings of the red mangrove *Rhizophora mangle* and the black mangrove *Avicennia germinans*. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 357, n. 2, p. 149–156, 2008.

DUFAY, M.; CHAMPELOVIER, P.; KAUFER, J.; HENRY, J.P.; MOUSSET, S.; MARAIS, G. A. B. An angiosperm-wide analysis of the gynodioecy–dioecy pathway. **Annals of Botany** vol.114, no. 3 pp.539–548, 2014.

DLAMINI, P.; ZACHARIADES, C.; DOWNS, C.T. The effect of frugivorous birds on seed dispersal and germination of the invasive Brazilian pepper tree (*Schinus terebinthifolius*) and Indian laurel (*Litsea glutinosa*), **South African Journal of Botany** v.114, p. 61–68, 2018.

DYER, W. T. T. The Effects of Cross and Self-Fertilisation in the Vegetable Kingdom. **Nature**, v.15, p. 329–332, 1877.

EARLY, R.; BRADLEY, B. A.; DUKES, J. S.; LAWLER, J.J.; OLDEN, J.D.; BLUMENTHAL, D.M.; GONZALEZ, P.; GROSHOLZ, E.D.; IBÁÑEZ, I.; MILLER, L.P.; SORTE, C.J.B.; TATEM, A.J. Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities. **Nature Communications**, v. 7, p. 12485, 2016.

EL-NASHAR, H.A.S.; MOSTAFA, N.M.; ABD EL-GHFFAR, E.A.; ELDAHSHAN, A.O.; SINGAB, A.N.B. The genus *Schinus* (Anacardiaceae): a review on phytochemicals and biological aspects. **Natural Product Research**, v. 36, n. 18, p. 4839-4857, 2022.

ELSHAFIE, H.S.; GHANNEY, N.; MANG, S.M.; FERCHICHI, A.; CAMELE, I. An In Vitro Attempt for Controlling Severe Phytopathogens and Human Pathogens Using Essential Oils from Mediterranean Plants of Genus *Schinus*. **Journal of medicinal food**, v. 19, n. 3, p. 266-273., 2016.

EMBRAPA. Visão de Futuro: Maior geração de valor a partir da biodiversidade brasileira. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao-de-futuro/transformacoes-rapidas-no-consumo-e-na-agregacao-de-valor/sinal-e-tendencia/maior-geracao-de-valor-da-biodiversidade-brasileira>. Acesso em: novembro de 2023a.

EMBRAPA. O futuro da agricultura brasileira: 10 visões / Embrapa, Superintendência Estratégica. – Brasília, DF: Embrapa, 2023b.

ENDRESS, P.K. **Diversity and evolutionary biology of tropical flowers**. Cambridge, Cambridge University Press., p. 311., 1996.

ENGLER, R.; GUIBAN, A.; RECHSTEINER, L. An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. **Journal of Applied Ecology**, v. 41, n. 2, p. 263–274, 2004.

ENLOE, S. F.; LEARY, J.K.; LASTINGER, C.; LAUER, D.K. Reduced hack and squirt treatment with aminocyclopyrachlor and aminopyralid for invasive shrub control. **Invasive Plant Science and Management**, v. 16, n. 1, p. 64-72, 2023.

ENLOE, S.F.; LEARY, J.K.; PRINCE, C.M.; SPERRY, B. P.; LAUER, D.K. Response of Brazilian peppertree (*Schinus terebinthifolia*) and four mangrove species to imazamox and carfentrazone-ethyl herbicides. **Invasive Plant Science and Management**. v. 14, n. 3, p. 190-195, 2021.

ENNIGROU, A.; CASABIANCA, H.; LAARIF, A.; HANCHI, B.; HOSNI, K. Maturation-related changes in phytochemicals and biological activities of the Brazilian pepper tree (*Schinus terebinthifolius* Raddi) fruits. **South African Journal of Botany**, v. 108, p. 407–415, 2017.

FERIANI, A.; TIR, M.; ARAFAH, M.; GÓMEZ-CARAVACA, A.M.; CONTRERAS, M.D.M.; NAHDI, S.; TAAMALLI, A.; ALLAGUI, M.S.; ALWASEL, S.; SEGURA-CARRETERO, A.; HARRATH, A.H.; TLILI, N. *Schinus terebinthifolius* fruits intake ameliorates metabolic disorders, inflammation, oxidative stress, and related vascular dysfunction, in atherogenic diet-induced obese rats. Insight of their chemical characterization using HPLC-ESI-QTOF-MS/MS. **Journal Ethnopharmacology**, v. 269, p. 113701, 2021a.

FERIANI, A.; TIR, M.; MUFTI, A.; CARAVACA, A.M.G.; CONTRERAS, M.; DEL, M.; TAAMALLI, A.; CARRETERO, A. S.; ALDAWOOD, N.; NAHDI, S.; ALWASEL, S.; HARRATH, A. H.; TLILI, N. HPLC–ESI–QTOF–MS/MS profiling and therapeutic effects of *Schinus terebinthifolius* and *Schinus molle* fruits: investigation of their antioxidant, antidiabetic, anti-inflammatory and antinociceptive properties. **Inflammopharmacology**, v. 29, p. 467–481, 2021b.

FERREIRA, I.N.M.; CAVALCANTE, R.K.O.; BORGES, J. P.; TEIXEIRA, T. P. O. Two dioecious *Simarouba* species with a specialized pollination system and low reproductive efficacy in Central Brazil. **Rodriguésia**, v.73, p. e02002020, 2022.

FICK, S.E.; HIJMANS, R.J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 2017.

FIELDING, A. H.; BELL, J.F. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, v. 24, n. 1, p. 38–49, 1997.

FLEMING, T. H.; MAURICE, S.; BUCHMANN, S. L.; TUTTLE, M. D. Reproductive biology and relative male and female fitness in a trioecious cactus, *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). **American Journal of Botany**, v. 81, n. 7, p. 858 – 867, 1994.

FOURCADE, Y.; ENGLER, J.O.; RÖDDER, D.; SECONDI, J. Mapping Species Distributions with MAXENT Using a Geographically Biased Sample of Presence Data: A Performance Assessment of Methods for Correcting Sampling Bias. **PLoS One**, v. 9, n. 5, p. e97122, 2014.

FRANCISCO, P.R.M.; SANTOS, D. Classificação Climática De Köppen E Thornthwaite Para O Estado Da Paraíba. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, 21 a 24 de agosto de 2018, CONTECC, Maceió, Brasil, pp. 1-5, 2019.

FREITAS, T.C.; GOMES GUARINO, E.S.G.; GOMES, G.C.; MOLINA, A.R.; REAL, I.M.L.; BELTRAME, R. The effect of seed ingestion by a native, generalist bird on the germination of worldwide potentially invasive trees species *Pittosporum undulatum* and *Schinus terebinthifolia*. **Acta Oecologica**, v.108, p. 103639, 2020.

FUKUHARA, T.; TOKUMARU, S.-I. Inflorescence dimorphism, heterodichogamy and thrips pollination in *Platycarya strobilacea* (Juglandaceae). **Annals of Botany**, v. 113, n. 3, p. 467 – 476, 2014.

GARRATT, M.P.D.; BREEZE, T.D.; JENNER, N. *et al.* Avoiding a bad apple: insect pollination enhances fruit quality and economic value. **Agric Ecosyst Environ**, v.184, p. 34–40, 2014.

GBIF.org. [viewed 14 October 2023] *GBIF Occurrence Download of Schinus terebinthifolia* Raddi. [online], 2023.

GLOBAL INVASIVE SPECIES DATABASE. Disponível em: < <http://193.206.192.138/gisd/speciesname/Schinus+terebinthifolius> > Acesso em: Abril de 2024.

GODIN, V.N.; DEMYANOVA, E.I. About extent of gynodioecy in Angiosperms. **Botaniceskij Zurnal**, v. 98, p.1465-1487, 2013.

GOMES, R.B.A.; SOUZA, E. S.; BARRAQUI, N. S. G.; TOSTA, C. L.; NUNES, A. P. F.; SCHUENCK, R. P.; RUAS, F. G.; VENTURA, J. A.; FILGUEIRAS, P. R.; KUSTER, R.

M. Residues from the Brazilian pepper tree (*Schinus terebinthifolia* Raddi) processing industry: Chemical profile and antimicrobial activity of extracts against hospital bacteria. **Industrial Crops & Products**. v. 143, p. 111430, 2020.

GOUKER, F.E; CARLSON, C.H.; ZOU, J.; EVANS, L.; CROWELL, C.R.; SMART, C.D.; DIFAZIO, S.P.; SMART, L.B. Sexual dimorphism in the dioecious willow *Salix purpurea*. **American Journal of Botany**, v. 108, n.8, p.1374-1387, 2021.

GREW, N. **The anatomy of plants**. London, W. Rawlins Press., p. 384, 1682.

GROSS, A.L. A comparison of sexual systems in the trees from the Australian tropics with other tropical biomes – more monoecy but why? **American Journal of Botany**, v.92, n.6, p.907-919, 2005.

GUILHERME, A. O uso de espécies nativas de valor econômico em áreas especialmente protegidas. **Revista Olhar**, v. 5, n. 2, p. 60- 84. 2020.

GUISAN, A.; THUILLER, W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology Letters**, vol.8, n. 9, p.993–1009, 2005.

GUTIÉRREZ, L.A.L.; OLIVEIRA JR., C. J.F.; GOMES, R. J.B.; CAMPOS, R. P.; BORTOLOTO, L. M.; FEHLAUER, T. J. Bioeconomia e sociobiodiversidade na perspectiva agroecológica para o bem viver. **Revista Brasileira de Agroecologia**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 129–150, 2023.

HOGG, B.N.; STOKES, K.; RAYAMAJHI, M. B.; GEIGER, J.; PRATT, P.D. Foliar lifespan, phenology and seasonal dynamics of the invasive shrub *Schinus terebinthifolia*. **Weed Research**, v. 60, n. 3, p. 212–220, 2020.

HORTAL, J.; DE BELLO, F.; DINIZ-FILHO, J. A. F.; LEWINSOHN, T. M.; LOBO, J. M.; LADLE, R. J. Seven Shortfalls that Beset Large-Scale Knowledge of Biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 46, n. 1, p. 523–549, 2015.

HORTAL, J.; ROURA-PASCUAL, N.; SANDERS, N.J.; RAHBEK, C. Understanding (insect) species distributions across spatial scales. **Ecography**, v. 33, n. 1, p.51–53, 2010.

HULME, P.E. Unwelcome exchange: international trade as a direct and indirect driver of biological invasions worldwide. *One Earth*, vol. 4, no. 5, pp. 666–679, 2021.

HUSSEIN, H. S.; SALEM, M. Z.M.; SOLIMAN, A.M. Repellent, attractive, and insecticidal effects of essential oils from *Schinus terebinthifolius* fruits and *Corymbia citriodora* leaves on two whitefly species, *Bemisia tabaci*, and *Trialeurodes ricini*. *Scientia Horticulturae*, v. 216, p. 111-119, 2017.

IBGE. Mapa de indicações geográficas. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: https://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_do_brasil/sociedade_e_economia/indicacoes_geograficas_2019_20190919.pdf >. Acesso em: novembro de 2023.

IPBES. The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. S.G. POTTS; V. L. IMPERATRIZ-FONSECA; H. T. NGO (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. pp. 552, 2016.

IPBES. The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas. RICE, J.; SEIXAS, C. S.; ZACCAGNINI, M. E.; BEDOYA-GAITÁN, M.; VALDERRAMA, N. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. p. 656, 2018.

IPBES. Summary for Policymakers of the Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and their Control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. ROY, H. E.; PAUCHARD, A.; STOETT, P.; RENARD TRUONG, T.; BACHER, S.; GALIL, B. S.; HULME, P. E.; IKEDA, T.; SANKARAN, K. V.; MCGEOCH, M. A.; MEYERSON, L. A.; NUÑEZ, M. A.; ORDONEZ, A.; RAHLAO, S. J.; SCHWINDT, E.; SEEBENS, H.; SHEPPARD, A. W.; VANDVIK, V. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany, 2023.

JESSON, L. K.; BARRETT, S. C. H. The comparative biology of mirror-image flowers. **International Journal of Plant Sciences**, v. 164, n. S5, p. S237 – S249, 2003.

JESUS, E.N.; SANTOS, T.S.; RIBEIRO, G.T.; ORGE, M.D.R.; AMORIM, V.O.; BATISTA, R.C.R.C. Regeneração Natural de Espécies Vegetais em Jazidas Revegetadas. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p.191-200, 2016.

JESUS, S.; MONTEIRO-FILHO, E.L. A. Frugivoria por aves em *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae) e *Myrsine coriacea* (Myrsinaceae). **Revista Brasileira de Ornitologia**, v.15, n.4, p. 585-591, 2007.

JIMÉNEZ-CASTRO, M. P.; BULLER, L. S.; SGANZERLA, W. G.; FORSTER-CARNEIRO, T.; JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. DE. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **CERNE**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 187-196, 2005.

JUNQUEIRA, C.N.; AUGUSTO, S.C. Bigger and sweeter passion fruits: effect of pollinator enhancement on fruit production and quality. **Apidologie** v. 48, p. 131–140, 2017.

KÄFER, J.; MARAIS, G.A.; PANNELL, J.R. On the rarity of dioecy in flowering plants. **Molecular Ecology**, v. 26, n.5, p.1225-1241, 2017.

KIM, M.J.; KIM, D.W.; KIM, J.G.; SHIN, Y.; JUNG, S.K.; KIM, Y.-J. Analysis of the Chemical, Antioxidant, and Anti-Inflammatory Properties of Pink Pepper (*Schinus molle* L.). **Antioxidants**, vol. 10, p. 1062, 2021.

KLATT, B.K; HOLZSCHUH, A.; WESTPHAL C, *et al.* Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. **Proc R Soc B Biol Sci**, v. 281, p. 20132440–20132440, 2013.

KÖLREUTER, J.G. **Vorläufige Nachricht von einigen das Geschlecht der Pflanzen betreffenden Versuchen und Beobachtungen.** Leipzig, Gleditsch, 1761.

LADLE, R.; HORTAL, J. Mapping species distributions: living with uncertainty. **Front. Biogeogr**, v. 5, n. 1, p. 8–9, 2013.

LAUTENBACH, S.; SEPPELT, R.; LIEBSCHER, J.; DORMANN, C.F. Spatial and Temporal Trends of Global Pollination Benefit. **PLoS ONE** v.7, n.4 p. e35954, 2012.

LENZI, M.; ORTH, A.I. 2004. Caracterização funcional do sistema reprodutivo da aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* raddi), em florianópolis-sc. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 2, p. 198-201.

LEROY, B.; DELSOL, R.; HUGUENY, B.; MEYNARD, C.N.; BARHOUMI, C.; BARBET-MASSIN, M.; BELLARD, C. Without quality presence-absence data, discrimination metrics such as TSS can be misleading measures of model performance. **Journal of Biogeography**, vol. 45, n. 9, p. 1994–2002, 2018.

LI, J.; BROUSSARD, M.; TOMER, N.; JOCHYM, M.; FONSEKA, D.; PEACE, A.; JESSON, L.; BOSQUE-PÉREZ, N. A.; CROWDER, D.; HOWLETT, B.G.; PATTEMORE, D. Honey bee (*Apis mellifera*) hive placement is more influential than orchard layout on the fruit set of a dioecious crop. **Ecological Modelling**, v. 472, p. 110074, 2022.

LIMA, A. S.; MELO JUNIOR, J.L.A.; MELO, L.D.F.A.; SILVA, K.W.S.G.; OLIVEIRA, V.C.; PAES, R.A. Phenology of *Schinus terebinthifolius* Raddi and its relation to rainfall variability in the Brazilian semiarid region. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v.16, n.2, p.611-628, 2023.

LLOYD, D. G.; WEBB, C. J. The avoidance of interference between the presentation of pollen and stigmas in angiosperms I. Dichogamy. **New Zealand Journal of Botany**, v. 24, n. 1, p. 135 – 162, 1986.

LOCALI-PEREIRA, A.R.; LOPES, N. A.; NICOLETTI, V.R. Pink Pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) from Extracts to application: Truths about a Fake Pepper, **Food Reviews International**, vol. 39, n. 8, p. 5185-5214, 2023.

LOMOLINO, M. V. Conservation biogeography. In M. V. LOMOLINO & L. R. HEANEY (Eds.), **Frontiers of Biogeography: new directions in the geography of nature**. Sinauer Associates, p. 293–296, 2004.

LOPES, B. M.; PEREIRA, O.R.; FERNANDES, C.; SILVA, J.M. Influence of native vegetation on pequiá fruit (*Caryocar villosum* [Aubl.] Pers) production and traits. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 5, p. 603-609, 2020.

LUO, S.; ZHANG, D.; RENNER, S. S. Duodichogamy and androdioecy in the Chinese Phyllanthaceae *Bridelia tomentosa*. **American Journal of Botany**, vol. 94, n. 2, p. 260 – 265, 2007.

MACIEL, A.J.; LACERDA, C.P.; DANIELLI, L.J.; BORDIGNON, S.A.L.; FUENTEFRÍA, A.M.; APEL, M.A. Antichemotactic and Antifungal Action of the Essential Oils from *Cryptocarya aschersoniana*, *Schinus terebinthifolia*, and *Cinnamomum amoenum*. **Chem Biodivers**. v.16, n. 8, p. e1900204, 2019.

MANRIQUE, V.; DIAZ, R.; ERAZO, L.; REDDI, N.; WHEELER, G. S.; WILLIAMS, D.; OVERHOLT, W. A. Comparison of two populations of *Pseudophilothrips ichini* (Thysanoptera: Phlaeothripidae) as candidates for biological control of the invasive weed *Schinus terebinthifolia* (Sapindales: Anacardiaceae). **Biocontrol science and technology**, v. 24, n. 5, p. 518-535, 2014.

MARQUARDT, D.W. Generalized inverses, ridge regression, biased linear estimation, and nonlinear estimation. **Technometrics**, v.12, n. 3, p. 591–612, 1970.

MAYR, E. Joseph Gottlieb Kölreuter's contributions to biology. **Osiris**, v. 2, p. 135-176, 1986.

MAYR, E.; PROVINE, W.B. **The evolutionary synthesis: perspectives on the unification of biology**, Cambridge, Harvard University Press, 1980.

McARTHUR, E. D.; FREEMAN, D. C.; LUCKINBILL, L. S.; SANDERSON, S. C.; NOLLER, G. L. Are trioecy and sexual lability in *Atriplex canescens* genetically based? Evidence from clonal studies. **Evolution**, v. 46, n. 6, p. 1708 – 1721, 1992.

McCORMICK, K.; KAUTTO, N. The Bioeconomy in Europe: an overview. **Sustainability**, v. 5, n. 6, p. 2.589-2.608, 2013.

MENDES, G. G. C.; SANTOS, G.A.; RESENDE, M.D.V.; MARTINS, S.V.; SOUZA, G.A.; NUNES, A.C.P.; MARTINS, T.G.V. Flowering acceleration in native Brazilian tree species for genetic conservation and breeding. **Annals of Forest Research**, vol.63, n.1, pp. 39-52, 2020

MILANI, J. E. DE F.; RODERJAN, C. V.; KERSTEN, R. DE A.; GALVÃO, F. Fenologia vegetativa e reprodutiva de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial – Araucária (PR). **Estudos De Biologia**, v. 35, n. 85, p. 135-142, 2013.

MOLEFE, K. L.; TEDDER, M. J.; THABETHE, V.; RUSHWORTH, I.; DOWNS, C.T. Role of native avian frugivores in germination facilitation and potential dispersal of invasive American bramble (*Rubus cuneifolius*) in South Africa. **Biological Invasions**, v. 22, p. 1109–1120, 2020.

MONTALVÃO, A.P.L.; KERSTEN, B.; FLADUNG, M.; MÜLLER, N.A. The Diversity and Dynamics of Sex Determination in Dioecious Plants. **Frontiers in Plant Science**. v. 11, p. 580488, 2021.

MOQUET, L.; LATEUR, L.; JACQUEMART, A.L.; CAUWER, I.; DUFAY, M. Temporal dynamics of sexual dimorphism in a dioecious species, **Annals of Botany**, v. 126, n. 3, p. 471–480, 2020.

MÜGGE, F.L.B.; MORLOCK, G.E. Chemical and cytotoxicity profiles of 11 pink pepper (*Schinus* spp.) samples via non-targeted hyphenated high-performance thin-layer chromatography. **Metabolomics**, vol. 19, n. 5, p. 48, 2023.

NEOTROPTREE. [viewed 14 October 2023] **Search by taxonomy of *Schinus terebinthifolia*** Raddi. [online], 2023.

NESTLE, R.; PALACIOS, J.; DAVID, A.S. *et al.* The Brazilian peppertree biological control agent *Pseudophilothrips ichini* (Thysanoptera: Phlaeothripidae) displays a flexible feeding strategy between foliage and reproductive tissues. **Biological Control** v. 179, p. 105159, 2023.

NEVES, E. J. M.; SANTOS, A. M.; GOMES, J. B. V.; RUAS, F. G.; VENTURA, J. A. **Cultivo da aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para produção de pimenta rosa**. [recurso eletrônico] Colombo : Embrapa Florestas, p. 24, Documentos / Embrapa Florestas, p. 294, 2016.

NICKERSON, K.; FLORY, S.L. Competitive and allelopathic effects of the invasive shrub *Schinus terebinthifolius* (Brazilian peppertree), **Biol Invasions**, v. 17, p. 555–564, 2015.

NOCCHI, S.R.; DE MOURA-COSTA, G.F.; NOVELLO, C.R.; RODRIGUES, J.; LONGHINI, R.; DE MELLO, J.C.; FILHO, B.P.; NAKAMURA, C.V.; UEDA-NAKAMURA, T. In vitro Cytotoxicity and Anti-herpes Simplex Virus Type 1 Activity of Hydroethanolic Extract, Fractions, and Isolated Compounds from Stem Bark of *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Pharmacogn Mag.** v.12, n. 46, p.160, 2016.

NOCCHI, S.R.; FERREIRA, L. DOS A. O.; CASTRO-HOSHINO, L. V.; TRUITI, M. C. T.; NATALI, M.R.M.; MELLO, J.C.P.; BAESSO, M.L.; DIAS FILHO, B.P.; NAKAMURA, C.V.; UEDA-NAKAMURA, T. Development and evaluation of topical formulations that contain hydroethanolic extract from *Schinus terebinthifolia* against HSV-1 infection. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 58, p. e18637, 2022.

NOGUEIRA, C.; DE, C.; ARGOLO, A. J. S.; ARZAMENDIA, V.; AZEVEDO, J. A. R.; BARBO, F. E.; B'ERNILS, R. S.; BOLOCHIO, B. E.; BORGES-MARTINS, M.; BRASIL-GODINHO, M.; BRAZ, H.; BUONONATO, M. A.; CISNEROS-HEREDIA, D. F.; COLLI, G. R.; COSTA, H. C.; FRANCO, F. L.; GIRAUDO, A. R.; GONZALEZ, R. C.; GUEDES, T. B.; HOOGMOED, M. S.; MARTINS, M. Atlas of Brazilian Snakes: Verified Point-Localities Maps to Mitigate the Wallacean Shortfall in a Megadiverse Snake Fauna. **South American Journal of Herpetology**, v. 14, (sp1), p. 1–274, 2019.

NORBERG, A.; ABREGO, N.; BLANCHET, F.G.; ADLER, F.R.; ANDERSON, B.J.; ANTTILA, J.; ARAÚJO, M.B.; DALLAS, T.; DUNSON, D.; ELITH, J.; FOSTER, S.D.; FOX, R.; FRANKLIN, J.; GODSOE, W.; GUIBAN, A.; O'HARA, B.; ILL, N. A.; HOLT, R.D.; HUI, F.K.C.; HUSBY, M.; KÅLÅS, J. A.; LEHIKONEN, A.; LUOTO, M.; MOD, H.K.; NEWELL, G.; RENNER, I.; ROSLIN, T.; SOININEN, J.; THUILLER, W.; VANHATALO, J.; WARTON, D.; WHITE, M.; IMMERMAN, N.E.; GRAVEL, D.; OVASKAINEN, O. A comprehensive evaluation of predictive performance of 33 species distribution models at species and community levels. **Ecological Monographs**, v. 89, n. 3, p. 1–24, 2019.

NUNES, N.A.; LEITE, A.V.; CASTRO, C.C. Phenology, reproductive biology and growing degree days of the grapevine 'Isabel' (*Vitis labrusca*, Vitaceae) cultivated in northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**. v. 76, n. 4, p. 975-982., 2016.

OLIVEIRA JUNIOR, C.J.F.; RODRIGUES, D.S. Sistemas Agroflorestais, plantas medicinais e a bioeconomia dos saberes populares. Revista **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, Curitiba, v. 17, n. 55, p 1-25, 2024.

OLIVEIRA, M.B.S.; VALENTIM, I.B.; ROCHA, T.S.; SANTOS, J.C.; PIRES, K.S.N.; TANABE, E.L.L.; BORBELY, K.S.C.; BORBELY, A.U.; GOULART, M.O.F. *Schinus terebenthifolius* Raddi extracts: From sunscreen activity toward protection of the placenta to Zika virus infection, new uses for a well-known medicinal plant. **Ind Crops Prod.** v.15 n.152, p.112503, 2020.

OLIVEIRA, P.E.; MARUYAMA, P.K. **Sistemas Reprodutivos**. In: Rech, A.R., Agostini, K, Oliveira, P.E., Machado, I.C. (eds.) *Biologia da polinização*. Rio de Janeiro, Projeto Cultural. p. 27-43, 2014.

OLIVEIRA-FILHO, A.T. **NeoTropTree, Flora arbórea da Região Neotropical: Um banco de dados envolvendo biogeografia, diversidade e conservação**. Universidade Federal de Minas Gerais., 2017.

OLLERTON, J.; KILLICK, A.; LAMBORN, E.; WATTS, S.; WHISTON, M. Multiple meanings and modes: on the many ways to be a generalist flower. **Taxon**, v. 56, n. 3, p. 717-728, 2007.

ORTEGA-FLORES, M.; MAYA-ELIZARRARA´S. E.; SCHONDUBE, J.E. Effects of Rufous-Backed Robin (*Turdus rufopalliatu*s) on Brazilian Pepper-Tree (*Schinus terebinthifolius*) Seed Germination and Dispersal in a Subtropical Peri-Urban Environment. **Tropical Conservation Science**, v. 11, n. 1, p. 1–8, 2018.

PANNELL, J. R. The evolution and maintenance of androdioecy. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 33, p. 397 – 425, 2002.

PARISI, C.; RONZON, T. A global view of bio-based industries: benchmarking and monitoring their economic importance and future developments. **EU-Brazil Sector Dialogues Workshop, JRC – Seville**. EUR 28376 EM, p. 84, 2016.

PEACE, A.; PATTEMORE, D.; BROUSSARD, M.; FONSEKA, D.; TOMER, N.; BOSQUE-PÉREZ, N. A.; DAVID CROWDER, D.; SHAW, A.K.; JESSON, L.; HOWLETT, B.G.; JOCHYM, M.; LI, J. Orchard layout and plant traits influence fruit yield more strongly than pollinator behaviour and density in a dioecious crop. **PloS one**, v. 15, n. 10, p. e0231120, 2020.

PEIXOTO, A. L.; PUJOL-LUZ, J. R.; BRITO, M. A. Conhecendo a biodiversidade / Organizadores Ariane Luna Peixoto, José Roberto Pujol Luz, Marcia Aparecida de Brito. –

Brasília: MCTIC, CNPq, PPBio, **Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, p.196, 2016.

PICH, R.C.; BATISTA, E.L. A.; OLIVEIRA, L.S.; SILVA, R.C.; GUIDI, L.R.; ZOTARELLI, M.F.; SANTANA, R.C. Characterization of Fresh and Dried Pink Pepper (*Schinus terebinthifolius* R.) by Cast-Tape Drying. **Food and Bioprocess Technology**, v. 16, p. 2837–2853, 2023.

PICH, R.C.; DE ANDRADE BATISTA, E.L.; DE OLIVEIRA, L.S. *et al.* Characterization of Fresh and Dried Pink Pepper (*Schinus terebinthifolius* R.) by Cast-Tape Drying. **Food Bioprocess Technol**, v.16, p. 2837–2853, 2023.

PIJL, L.V.; DODSON, C.H. **Orchid Flowers - their pollination and evolution**. Coral Gables, University of Miami Press, 1969.

PILATTIA, D. M.; FORTESB, A. M. T.; JORGE C, T. C. M.; BOIAGOD, N. P. 2019. Comparison of the phytochemical profiles of five native plant species in two different forest formations. **Brazilian Journal of Biology**, v. 79, n. 2, p. 233-242, 2019.

PIMENTA, M.; ANDRADE, A.F.A. DE; FERNANDES, F.H.S.; AMBONI, M.P.M.; ALMEIDA, R.S.; SOARES, A. H.S. de B.; FALCON, G.B.; RAÍCES, D.S.L.; MARCO JÚNIOR, P. de. One size does not fit all: Priority areas for real world problems. **Ecological Modelling**, v. 470, p. 110013, 2022.

POTTS, S.G.; BIESMEIJER, J.C.; KREMEN, C.; NEUMANN, P.; SCHWEIGER, O.; KUNIN, W.E. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology & Evolution, Amst.** v. 25, n. 6, p. 345–353, 2010.

PROCTOR, M.; YEO, P.; LACK, A. **The natural history of pollination**. Portland: Timber Press, p. 479, 1996.

RECH, A.R.; WESTERKAMP, C. **Biologia da polinização: uma síntese histórica**. In: Rech, A.R., Agostini, K, Oliveira, P.E., Machado, I.C. (eds.) *Biologia da polinização*. Rio de Janeiro, Projeto Cultural. p. 27-43, 2014.

REFLORA [viewed 14 October 2023] **Consulta Pública do Herbário Virtual of *Schinus terebinthifolia* Raddi**. [online], 2023.

REIS, C. A. F.; SANTOS, A. M.; PACHECO, A. R. Potencialidades e desafios para o melhoramento genético de eucaliptos aos sistemas de integração lavoura pecuária floresta (ILPF). In: OLIVEIRA, E. B. de; PINTO JUNIOR, J. E. (Ed.). *O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento*. Brasília, DF: **EMBRAPA**, cap. 34, 2021.

RENNER, S. S. Heterodichogamy, how common is it? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 16, n.11, p. 595 – 597, 2001.

RENNER, S. S.; R. E. RICKLEFS. Dioecy and its correlates in the flowering plants. **American Journal of Botany**, v. 82, n. 5, p. 596 – 606, 1995.

RENNER, S.S. The relative and absolute frequencies of angiosperm sexual systems: dioecy, monoecy, gynodioecy, and an up-dated online database. **American Journal of Botany**, v.101, n. 10, p.1588-1596, 2014.

RIBEIRO NETO, J.A.; TARÔCO, B. R. P.; SANTOS, H. B.; THOMÉ, R.G.; WOLFRAM, E.; RIBEIRO, R.I.M.A. Using the plants of Brazilian Cerrado for wound healing: From traditional use to scientific approach. **Journal of Ethnopharmacology**, vol, 260, p. 112547, 2020.

RICHARDSON, D.M.; REJMÁNEK, M. Trees and shrubs as invasive alien species – a global review. **Diversity and Distributions**, vol. 17, no. 5, pp. 788–809, 2011.

RODGERS, L.; BODLE, M.; BLACK, D.; LAROCHE, F. Status of nonindigenous species in the South Florida environmental. South Florida Water Management District, West Palm Beach, Florida, **South Florida Environment report**, vol. 1 p. 7-1–7-35, 2012.

ROMANELLI, J. P.; GONÇALVES, M. C. P.; PESTANA, L. F. A. *et al.* Four challenges when conducting bibliometric reviews and how to deal with them. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 43, p. 60448–60458, 2021.

RONCHI, H.S.; COUTINHO, E.T.; BONFIM, F.P.G. Espécies alimentícias e medicinais nativas: produtos florestais não madeireiros e potencial de exploração sustentável. **Ciência Florestal**, vol. 32, no. 3, pp. 1149-1164, 2022.

ROSA, J.M.; ARIOLI, C.J.; NUNES-SILVA, P.; GARCIA, F.R.M. Disappearance of pollinating bees in natural and agricultural systems: Is there an explanation? **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, vol. 18, no.1, pp.154- 162, 2019.

ROUBIK, D.W. **Pollination of Cultivated Plants: a Compendium for Practitioners**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. vol.1, 2018.

ROYLE, P.; KANDALA, N. B.; BARNARD, K.; WAUGH, N. Bibliometrics of systematic reviews: analysis of citation rates and journal impact factors. **Systematic Reviews**, v. 2, n. 1, p. 74, 2013.

SANTOS, C. C.; TORRACA, D. S. M.; SILVERIO, J. M.; SCALON, S. DE P. Q. **Does silicon and salicylic acid contribute in the morphophysiology of Schinus terebinthifolia seedlings under flooding?** **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e270935, 2023.

SANTOS, E.B.; DANTAS, G.S.; SANTOS, H.B.; DINIZ, M.F.F.M.; SAMPAIO, F.C. Ethnobotanical studies of medicinal plants for oral conditions in the municipality of João Pessoa, Brazil. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**. v. 19, n.1B, p. 321-324, 2009.

SANTOS, R.S. **Requerimentos reprodutivos de duas culturas agrícolas no agreste pernambucano**. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Recife, 2016.

SAUQUET, H.; BALTHAZAR, M.; MAGALLÓN, S. *et al.* 2017. The ancestral flower of angiosperms and its early diversification. **Nature Communications**, v. 8, p.16047, 2017.

SCHLESSMAN, M. A. **Gender diphasy (“sex choice”)**. In J. Lovett Doust and L. Lovett Doust [eds.], Plant reproductive ecology: Patterns and strategies. Oxford University Press, New York, New York, USA, p. 139–153, 1988.

SCHNECKENBURGER, S. **Darwin und die Botanik**. In: Stöcklin J, Höxtermann E (eds.) Darwin und die Botanik. Rangsdorf, BasilikenPresse. p. 76-101, 2009.

SCHOEN, C.; MONTIBELER, M.; COSTA, M.D. *et al.* Inter and intra-specific variability in arbuscular mycorrhizal fungi affects hosts and soil health. **Symbiosis** vol. 85, p. 273–289 2021.

SEEBENS, H.; BACHER, S.; BLACKBURN, T.M.; CAPINHA, C.; DAWSON, W.; DULLINGER, S.; GENOVESI, P.; HULME, P.E.; KLEUNEN, M. V.; KÜHN, I.; JESCHKE, J.M.; LENZNER, B.; LIEBHOLD, A.M.; PATTISON, Z.; PERG, J.; PYŠEK, P.; WINTER, M.; ESSL, F. Projecting the continental accumulation of alien species through to 2050. **Global Change Biology**. v. 27, n. 5, p. 970–982, 2020.

SERRANO, F.C.; VIEIRA-ALENCAR, J. P. S.; DÍAZ-RICAURTE, J. C.; VALDUJO, P. H.; MARTINS, M.; NOGUEIRA, C.C. The Wallacean Shortfall and the role of historical distribution records in the conservation assessment of an elusive Neotropical snake in a threatened landscape, **Journal for Nature Conservation**, 72, p. 126350, 2023.

SHACKLETON, R.T.; LARSON, B.M.H.; NOVOA, A.; RICHARDSON, D.M.; KULL, C.A. The human and social dimensions of invasion science and management. **Journal of Environmental Management**, v. 229, p. 1–9, 2019.

SHETTY, K. G.; MINNIS, A. M.; ROSSMAN, A.Y.; JAYACHANDRAN, K. The Brazilian peppertree seed-borne pathogen, *Neofusicoccum batangarum*, a potential biocontrol agent. **Biological Control**, v. 56, n. 1, p. 91-97, 2011.

SILVA, B. G.; CEFALI, L.C.; ROSA, P.T.V.; FRANCO, J.G.; MAZZOLA, P.G.; FILETI, A.M.F.; FOGLIOD, M.A. Phytocosmetic Containing Pink Pepper Extracts Obtained by Sustainable Extraction. **Chemistry & Biodiversity**, v. 19, n. 9, p. e202200273, 2022.

SILVA, B.G.; FOGLIO, M.A.; ROSA, P.T.V.; TARANTO, O.P.; FILETI, A.M.F. Optimization of hydrodistillation and in vitro anticancer activity of essential oil from *Schinus terebinthifolius* Raddi fruits. **Chemical engineering communications**, v. 206, n. 5, p.619–629, 2019.

SILVA, J.H.S.; SIMAS, N.K.; ALVIANO, C.S.; ALVIANO, D.S.; VENTURA, J.A.; DE LIMA, E.J.; SEABRA, S.H.; KUSTER, R.M. Anti-Escherichia coli activity of extracts from *Schinus terebinthifolius* fruits and leaves. **Nat Prod Res.** v. 32, n. 11, p.1365-1368m 2018.

SILVA, M. F. O.; PEREIRA, F.S.; MARTINS, J. V.B. A bioeconomia brasileira em números. **Bioeconomy | BNDES Setorial** 47, p. 277-332. 2018.

SILVA, N.N.A. **Fenologia, biologia reprodutiva e exigência térmica da uva ‘Isabel’ (*Vitis labrusca* L., VITACEAE) e a influência da vegetação nativa na polinização e na produção de frutos.** Dissertação (Programa de Pós-graduação em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Recife, 2013.

SILVA-LUZ, C.L.; PIRANI, J.R.; PELL, S.K.; MITCHELL, J.D. Anacardiaceae in: **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB44>>. Acesso em: 28 ago. 2023.

SOBERÓN, J.; PETERSON, A.T. Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species’ Distributional Areas. **Biodiversity Informatics**, v. 2, p. 1–10, 2005.

SOKOLOFF, D.D.; REMIZOWA, M.V.; BATEMAN, R.M.; RUDALL, P.J. Was the ancestral angiosperm flower whorled throughout? **American Journal of Botany**, v.105, p. 5-15, 2018.

SOMAVILLA, A.; SÜHS, R.B.; KÖHLER, A. Entomofauna associated to the floration of *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) in the Rio Grande do Sul state, Brazil.

Bioscience Journal, vol.26, no. 6 pp. 956–965, 2010.

SOUZA, C.S.M.de. et al. Alelopatia do extrato aquoso de folhas de aroeira na germinação de sementes de alface. **Rev. Verde**, v.2, n.2, p.96-100, 2007.

SPIGLER, R. B.; ASHMAN, T.-L. Gynodioecy to dioecy: Are we there yet? **Annals of Botany**, vol. 109, n. 3, p. 531 – 543, 2012.

SPRENGEL, C.K. **Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen**. Berlin, Vieweg, 1793.

TACORONTE-MORALES, J.E. Can Chemical Ecology survive without the Chemistry of natural products and the Engineering perspective? **Polo del Conocimiento**, vol. 5, n. 8, p. 1390-1397, 2020.

TANG, H.; PORRAS, G.; BROWN, M.M. *et al.* Triterpenoid acids isolated from *Schinus terebinthifolia* fruits reduce *Staphylococcus aureus* virulence and abate dermonecrosis. **Scientific Reports**, vol.10, p. 8046, 2020.

TAYLOR, D. R.; SAUR, M. J.; ADAMS, E. Pollen performance and sex-ratio evolution in a dioecious plant. **Evolution**, v. 53, n. 4, p.1028-1036, 1999.

TEICHERT, H.; DÖTTERL, S.; GOTTSBERGER, G. Heterodichogamy and nitidulid beetle pollination in *Anaxagorea prinoidea*, an early divergent Annonaceae. **Plant Systematics and Evolution**, v. 291, p. 25-33, 2011.

TEIXEIRA, S.P; MARINHO, C.R.; PAULINO J.V. A flor: aspectos morfofuncionais e evolutivos. In: RECH, A.R., AGOSTINI, A., OLIVEIRA, P.E. and MACHADO, I.C. **Biologia da Polinização**. Projeto Cultural, Rio de Janeiro. pp. 45-69, 2014.

THE JAMOVİ PROJECT. **jamovi**. (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>, 2022.

THIBAUT, M.; MASSE, F.; PUJAPUJANE, A.; LANNUZEL, G.; BORDEZ, L.; POTTER, M.A.; FOGLIANI, B.; VIDAL, É.; BRESCIA, F. “Liaisons dangereuses”: The invasive red-vented bulbul (*Pycnonotus cafer*), a disperser of exotic plant species in New Caledonia. **Ecology and Evolution**. vol. 8, n. 18, p. 9259-9269, 2018.

THUILLER, W.; GUÉGUEN, M.; RENAUD, J.; KARGER, D. N.; ZIMMERMANN, N.E. Uncertainty in ensembles of global biodiversity scenarios. **Nature Communications**, v.10, p. 1446, 2019.

TOLEDO, C.A.P.; BÍGIO, N. C.; PAZ, J.R.L. Uma revisão sobre a seleção sexual em plantas, **Oecologia Australis**, v. 24, n. 1, p. 25-44, 2020.

TORICES, R.; MÉNDEZ, M.; GÓMEZ, J. M., 2011. Where do monomorphic sexual systems fit in the evolution of dioecy? Insights from the largest family of angiosperms. **New Phytologist**, v. 190, n. 1, p. 234 – 248, 2011.

USHIMARU, A.; SEO, N.; SAKAGAMI, K.; FUNAMOTO, D. Sexual dimorphism in a dioecious species with complex, specialist-pollinated flowers. **American Journal of Botany**, v. 110, n.5, p. e16148, 2023.

VASCONCELOS, P. G. S.; ALVES, É. P.; MAIA, C. M. A.; BRITO, A. C. M.; SILVA, D. R.; FREIRES, I. A.; CAVALCANTI, Y. W.; REHDER, V. L. G.; RUIZ, A. L. T. G.; DUARTE, M. C. T.; ROSALEN, P. L.; GODOY G. P.; COSTA, E. M. M. B. Biological properties of *Schinus terebinthifolia* Raddi essential oil. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences (Online)**, v. 58, e20417, 2022.

VELAZCO, S.J.E.; VILLALOBOS, F.; GALVÃO, F.; DE MARCO JÚNIOR, P. A dark scenario for Cerrado plant species: Effects of future climate, land use and protected areas ineffectiveness. **Diversity and Distribution**, v. 25, p. 660–673, 2019.

VICENÇO, C. B.; SILVESTRE, W. P.; SILVA, V. T.; MENEGOL, I. V.; HAHN, R. C.; LIMA, T. S.; AGOSTINI, F.; PAULETTI, G. F. Bioactivity of *Schinus molle* L. and *Schinus terebinthifolia* Raddi. Essential Oils on *Anticarsia gemmatalis* (Hübner 1818) **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v.63: p. e20200111, 2020.

VIEIRA, J.S.; OLIVEIRA, V.S.; CARNEIRO, M.J.; SILVA, T.L.; AUGUSTA, I.M.; CARVALHO, M.G.; SAWAYA, A. C. H. F.; SALDANHA, T. Phenolic composition and insights into the use of pink pepper (*Schinus terebentifolius* Raddi) fruit against lipid oxidation in food systems. **Food Bioscience**, v. 53, p. 102556, 2023.

VIRK, P.S.; ANDERSSON, M.S.; ARCOS, J.; GOVINDARAJ, M.; PFEIFFER, W.H. Transition From Targeted Breeding to Mainstreaming of Biofortification Traits in Crop Improvement Program. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 703990, 2021.

VISSOTO, M.; VIZENTIN-BUGONI, J.; SENDOYA, S.F. *et al.*, 2022. Plant height and spatial context influence individual connectivity and specialization on seed dispersers in a tree population, **Oecologia**, v. 198, p. 721–731, 2022.

VOGEL, S. A. A Floral biologist's past fifty years: some thoughts and experiences. **Taxon**, v. 56, n. 3, p. 660-662, 2007.

WANDSCHEER, A.C.D.; BORELLA JUNIOR, B.L.; CASSOL, P.L.H. Atividade alelopática de folhas e pseudofrutos de *Hovenia dulcis* Thunb. (Rhamnaceae) sobre a germinação de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). **Acta Bot. Bras.**, v.25, n.1, p.25-30, 2011.

WANG, C.J.; WAN, J.Z.; QU, H.; ZHANG, Z.X. Modelling plant invasion pathways in protected areas under climate change: implication for invasion management. **Web Ecology**, v. 17, n. 2, p.69–77, 2017.

WANG, X.; ZHANG, P.; DU, Q.; HE, H.; ZHAO, L.; REN, Y.; ENDRESS. P. K. Heterodichogamy in *Kingdonia* (Circaeasteraceae, Ranunculales). **Annals of Botany**, v. 109, n. 6, p. 1125-1132, 2012.

WEI, Y. M.; MI, Z. F.; HUANG, Z. Climate policy modeling: An online SCI-E and SSCI based literature review. **Omega**, v. 57, p. 70–84, 2015.

WHEELER, G.; KAY, F.; VITORINO, M.; MANRIQUE, V.; DIAZ, R.; OVERHOLT, BILL. Biological control of the invasive weed, Brazilian peppertree, *Schinus terebinthifolia*. A review of the project with an update on the proposed agents. **Southeastern Naturalist**. v.15, p.15-34. 2016.

ZHONG, S.; GENG, Y.; LIU, W.; GAO, C.; CHEN, W. A bibliometric review on natural resource accounting during 1995–2014. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 122–132, 2016.