



**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano  
Campus Urutaí  
Programa de Pós-Graduação em Conservação de  
Recursos Naturais do Cerrado**

**Padrão geográfico de plantas com nectários  
extraflorais em biomas brasileiros**

**VANESSA DAYANE DA COSTA BARBOSA**

**Orientador: Prof. Dr. Estevao Alves da Silva**

**Urutaí, 2023**



## **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano**

*Reitor*

Prof. Dr. Elias de Pádua Monteiro

*Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação e Inovação*

Prof. Dr. Alan Carlos da Costa

### **Campus Urutaí**

*Diretor Geral*

Prof. Dr. Paulo César Ribeiro Cunha

*Diretor de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação*

Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva

## **Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado**

*Coordenador*

Profa. Dra. Debora Astoni Moreira

Urutaí, outubro de 2023

**VANESSA DAYANE DA COSTA BARBOSA**

**Padrão geográfico de plantas com nectários  
extraflorais em biomas brasileiros**

*Orientador*

Prof. Dr. Estevao Alves da Silva

Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano –  
Campus Urutaí, como parte das exigências do Programa  
de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais  
do Cerrado para obtenção do título de Mestre.

Urutaí (GO)  
2023

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

BB238p      Barbosa, Vanessa Dayane da Costa  
                Padrão geográfico de plantas com nectários  
                extraflorais em biomas brasileiros / Vanessa Dayane  
                da Costa Barbosa; orientador Estevão Alves da  
                silva. -- Urutaí, 2023.  
                40 p.

                Dissertação (Mestrado em Conservação de Recursos  
                Naturais do Cerrado) -- Instituto Federal Goiano,  
                Campus Urutaí, 2023.

                1. Biodiversidade. 2. centralidade. 3. formiga-  
                planta. 4. interações mutualísticas. I. silva,  
                Estevão Alves da, orient. II. Título.

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese  | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação                      | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação                             | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |   |

Nome Completo do Autor: Vanessa Dayane da Costa Barbosa

Matrícula: 2021201330940105

Título do Trabalho: Padrão geográfico de plantas com nectários extraflorais em biomas brasileiros

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 17/12/2023

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Urutaí, GO, 03/12/2023.



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Prof. Dr. Estevão Alves da Silva - orientador



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 105/2023 - CREPG-UR/DPGPI-UR/CMPURT/IFGOIANO

## PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

### ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE MESTRADO

Aos vinte e sete dias do mês de outubro do ano de dois mil e vinte e três, às quatorze horas, reuniram-se os membros da banca examinadora em sessão pública realizada virtualmente para proceder à avaliação da defesa de Trabalho de Conclusão de Curso de mestrado profissional, de autoria de **Vanessa Dayane da Costa Barbosa**, discente do **Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado do Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí**, com trabalho intitulado "**Padrão geográfico de plantas com nectários extraflorais em biomas brasileiros**". A sessão foi aberta pelo presidente da banca examinadora, **Prof. Dr. Estevão Alves da Silva**, que fez a apresentação formal dos membros da banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor para, em até 40 minutos, proceder à apresentação de seu Trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o candidato, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação pela banca. Tendo-se em vista o Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado, o Trabalho de Conclusão de Curso foi **APROVADO**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**, na área de concentração em **Ciências Ambientais**, pelo Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado da versão definitiva do Trabalho de Conclusão de Curso, com as devidas correções apontadas pela banca e orientador. Assim sendo, a defesa perderá a validade se não cumprida essa condição em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. Cumpridas as formalidades, a presidência da banca avaliadora encerrou a sessão de defesa e, para constar, foi lavrada a presente ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da banca examinadora.

Membros da Banca Examinadora:

Nome	Instituição	Situação no Programa
Prof. Estevão Alves da Silva	IF Goiano	Orientador/Presidente
Prof. Dr. Mario Guilherme de Biagi Cava	IF Goiano	Membro interno

Documento assinado eletronicamente por:

- **Alexandra Bächtold, Alexandra Bächtold - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano (1)**, em 28/11/2023 11:20:45.
- **Estevao Alves da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 31/10/2023 12:04:49.
- **Mario Guilherme de Biagi Cava, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO - VISITANTE**, em 31/10/2023 14:05:21.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 27/10/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 542564

Código de Autenticação: b15033dd51



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Urutaí

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, SN, Zona Rural, URUTAÍ / GO, CEP 75790-000

(64) 3465-1900



**PPGRENAC**

Programa de Pós-Graduação em Conservação de  
Recursos Naturais do Cerrado

## FICHA DE APROVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Título da dissertação:	<b>PADRÃO GEOGRÁFICO DE PLANTAS COM NECTÁRIOS EXTRAFLORAIS EM BIOMAS BRASILEIROS</b>
Orientador(a):	<b>Prof. Dr. Estevão Alves da Silva</b>
Coorientador(a):	
Autor(a):	<b>Vanessa Dayane da Costa Barbosa</b>

Dissertação de Mestrado **APROVADA** em 27 de outubro de 2023, como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**, pela Banca Examinadora especificada a seguir.

**Prof. Dr. Estevão Alves da Silva**  
Orientador, IF Goiano – Campus Urutaí  
Presidente

**Prof. Dr. Mario Guilherme de Biagi**  
**Cava**  
IF Goiano – Campus Urutaí  
Membro titular

**Prof. Dra. Alexandra Bächtold**  
Membra titular



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais Iêda Rodrigues e José Afonso, por estarem sempre ao meu lado. Aos meus tios Joselia Costa e Josimar Costa, por serem exemplo de esforço e dedicação e por sempre me incentivarem a estudar.

A minha avó Necilia Rodrigues por sempre acreditar e me apoiar em tudo que faço, me confortando sempre que preciso.

Aos meus irmãos Lucas e Ismael por todo o apoio nessa longa caminhada.

Ao meu orientador Dr. Estevão Alves da Silva, pela paciência, dedicação e suporte que me foram dados durante esses dois anos de curso, sem suas orientações eu não teria conseguido chegar até aqui.

A minha incentivadora Gardjany Moreira que me apresentou o PPGCRENAC, me orientando e sanando minhas dúvidas desde a inscrição.

Aos meus colegas de turma, em especial, Joaby e Juan que ao longo dessa jornada se mostraram sempre companheiros. E a todos os professores que fazem parte do PPGCRENAC, por terem sido sempre prestativos e solícitos.

Ao IFGOIANO – Campus Urutaí e ao PPGCRENAC, pela oportunidade de ingressar no mestrado, viver experiências incríveis e por contribuir para a minha qualificação profissional.

Aos professores, Dr. Daniel de Paiva Silva, Dr. Rafael Barbosa Pinto, Dra. Alexandra Bächtold e Dr. Mario Guilherme de Biagi Cava por terem aceitado compor a banca de qualificação e avaliação.

## Sumário

<b>RESUMO.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>5</b>
2.1. Objeto de estudo – Brasil e biomas .....	5
2.2. Objeto de estudo – plantas com nectários extraflorais .....	7
2.3. Métodos de busca .....	8
2.4. Organização dos dados .....	9
2.5. Análises Estatísticas.....	10
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>11</b>
<b>4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>18</b>
4.1. Biomas e plantas-NEFs.....	18
4.2. Biodiversidade de plantas-NEFs.....	20
4.3. Plantas-NEFs mais importantes .....	21
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>22</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>23</b>
<b>APÊNDICE 1 .....</b>	<b>29</b>
<b>APÊNDICE 2 .....</b>	<b>33</b>
<b>APÊNDICE 3 .....</b>	<b>34</b>

# Padrão geográfico de plantas com nectários extraflorais em biomas brasileiros

## RESUMO

Plantas com nectários extraflorais são muito comuns no Brasil, mas percebe-se pela literatura que a maioria dos estudos parece abordar plantas do bioma Cerrado. Isso poderia criar um viés no conhecimento, e até impedir generalizações dos sistemas mutualistas formiga-planta. Neste estudo, avaliando dados da literatura, nós investigamos a distribuição geográfica das plantas com nectários extraflorais, analisando sua riqueza em cada bioma brasileiro (Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Amazônia, Pantanal, Pampa). Somente registros de plantas com nectários extraflorais que interagiram com formigas foram considerados no nosso estudo. No total, foram amostradas 166 espécies, em 91 gêneros e 34 famílias em quatro biomas: Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga e Amazônia, (Pantanal e Pampa não possuem registros de plantas com nectários extraflorais interagindo com formigas). De fato, a maioria dos estudos aborda as plantas do Cerrado, e conseqüentemente, este bioma teve uma grande representatividade quanto ao número de espécies e famílias de plantas com nectários extraflorais (72 e 19, respectivamente). Ainda, as plantas mais estudadas, em termos de número de publicações, foram as do Cerrado, com destaque para a espécie *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae). Fabaceae foi a família mais rica, com 59 espécies, e a mais comum no Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga. Já na Amazônia, Bignoniaceae foi a família mais rica. Fabaceae e Euphorbiaceae foram as únicas a estarem presentes em todos os biomas. A dissimilaridade da flora foi alta, pois somente oito espécies de plantas foram comuns em mais de um bioma, e nenhuma teve registro de ocorrência em todos os biomas brasileiros concomitantemente. As relações formiga-planta apresentam alta condicionalidade, o que pode afetar os resultados destas interações. Por isso, o conhecimento da biodiversidade de plantas com nectários extraflorais é de suma importância para entendermos processos chave para a manutenção de interações mutualísticas e construir hipóteses biogeográficas e macro ecológicas.

**Palavras-chave:** Biodiversidade, centralidade, formiga-planta, interações mutualísticas

# Geographical distribution of extrafloral nectary plants in Brazilian biomes

## ABSTRACT

Extrafloral nectary plants (EFN-plants) are very common in Brazil, but it seems that most studies investigate plants from the Cerrado biome. This might create a bias in our understanding of EFN-plants and avoid generalizations in the ant-plant mutualistic systems. In order to deeply understand ant-plant interactions it is necessary to know where EFN-plants occur. In this study we investigated the geographical distribution of EFN-plants in Brazilian biomes (Cerrado, Atlantic Forest, Caatinga, Amazon, Pantanal and Pampa). Data were retrieved from published literature and only EFN-plants that interacted with ants were considered in our data. A total of 166 EFN-plant species in 91 genera and 34 families are known from four Brazilian biomes: Cerrado, Atlantic Forest, Caatinga and the Amazon (the Pantanal and Pampas have no record of EFN-plants interacting with ants). Most publications of Brazilian EFN-plants investigate the Cerrado flora, and this biome stand out in the richness of these plants (72 species e 19 families). The most studied plant was *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae), a Cerrado native species. Fabaceae was the richest family with 59 species, and it was the richest family in the Cerrado, Atlantic Forest and Caatinga. In the Amazon, the Bignoniaceae was the richest family. Only the Fabaceae and Euphorbiaceae were found in all four biomes. The flora dissimilarity was high, because only 8 (out of 166 species) were found in more than one biome; however, no plant species was found in all biomes concomitantly. Our study shows that our understanding of the Brazilian EFN-plant flora is geographically limited, as most plants belong to the Cerrado biome. Ant-plant mutualistic interactions are conditional over space, which means that ants can have different roles in their plant-partners along geographical scales. Studies of plant biodiversity and distribution can be a first step to infer key processes to the maintenance of interactions and to permit assumptions of biogeographical and macroecological hypotheses.

**Keywords:** Ant-plant interactions; Biodiversity, Cerrado, Legumes, Mutualism

## 1. INTRODUÇÃO

Nectários extraflorais (NEFs) são partes das plantas que secretam néctar, mas não estão relacionados com a função de polinização (Del-Claro *et al.*, 2016). Os NEFs variam muito, tanto em estrutura quanto em localização (Leal *et al.*, 2006) e estão presentes em vários táxons de plantas, como Malpighiaceae, Fabaceae e Bignoniaceae, e em especial nas regiões tropicais como o Brasil (Machado *et al.*, 2008). Segundo alguns estudos, existe uma maior abundância e variedade de interações entre formigas e plantas com NEFs (plantas-NEFs) nas regiões tropicais (Rico-Gray & Oliveira, 2007).

As plantas têm uma relação bem próxima com diversos insetos, dentre os quais podemos citar as formigas, que são visitantes frequentes de plantas-NEFs, onde em muitos casos são responsáveis por protegerem essas plantas contra o ataque de herbívoros (Fagundes *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2020). Poucas interações entre formigas e plantas são consideradas mutualismos obrigatórios e muitas delas são em plantas mirmecófitas que podem oferecer não somente alimento, mas também abrigo para as formigas (Dejean *et al.*, 2006; Burger *et al.*, 2021). No entanto a comunidade de plantas mirmecófitas é menos diversa do que as plantas-NEFs, e por isso, estas últimas são mais estudadas (Souza *et al.*, 2023). A grande maioria das relações entre formigas e plantas-NEFs é facultativa, ou seja, estas plantas podem ser visitadas por diversas espécies de formigas (Belchior, Sendoya & Del-Claro, 2016).

Apesar de existirem muitos estudos a respeito da interação entre formigas e plantas-NEFs (revisão em Del-Claro *et al.*, 2016), percebe-se pelo acompanhamento da literatura pertinente um possível viés geográfico nestes estudos, ao menos no Brasil. Se notarmos, por exemplo as publicações mais clássicas (Oliveira, Silva & Martins, 1987; Freitas & Oliveira, 1992) e as mais recentes (Cardoso *et al.*, 2017; Pires *et al.*, 2017; Calixto, Lange & Del-Claro, 2021; Lange *et al.*, 2021; Monique *et al.*, 2022; Moura, Couto & Del-Claro, 2022; Souza *et al.*, 2022), percebemos que a maioria se refere a estudos no bioma Cerrado. Em contrapartida, a Amazônia que é o maior bioma brasileiro, parece apresentar poucos estudos com plantas-NEFs (Nogueira *et al.*, 2020). Isto poderia, a princípio, acabar criando um viés geográfico no nosso conhecimento sobre estas interações ecológicas. Como as características ambientais de cada bioma variam (Coutinho, 2006), espera-se que a flora acompanhe estas mudanças e que cada bioma apresente características diferentes quanto as plantas-NEFs. Estas variações na riqueza de plantas-NEFs acontecem até mesmo em pequena escala (Câmara *et al.*, 2018). Ainda, alguns biomas podem apresentar espécies (e até famílias) endêmicas e que podem ser chave para o entendimento das relações de evolução e manutenção das interações formiga-planta. A família

Fabaceae, por exemplo, tem distribuição mundial e é bastante comum em trabalhos com plantas-NEFs, sendo citada em vários biomas (Giulietti *et al.*, 2005; Machado *et al.*, 2008; Melo, Machado & Alves, 2010). Já Caryocaraceae aparenta ter somente uma espécie de planta-NEF estudada (*Caryocar brasiliense* Cambess.) e ser restrita ao bioma Cerrado (Oliveira, 1997; Koch, Camarota & Vasconcelos, 2016). Somente com o levantamento e mapeamento da biodiversidade de plantas-NEFs, poderemos entender seu padrão de distribuição e talvez de endemismo.

Nos últimos anos, estudos têm mostrado como a variação geográfica pode influenciar o resultado das interações mutualísticas (Nogueira *et al.*, 2015). A Teoria dos Mosaicos Geográficos de Coevolução (Thompson, 2005) estabelece que podem existir diferentes resultados nas interações interespecíficas de acordo com ambientes diferentes, e a seleção natural pode reforçar ou enfraquecer relações mutualísticas nas comunidades (Gomulkiewicz *et al.*, 2000). Estudar a variação geográfica na ocorrência de espécies em biomas diferentes é importante, pois as espécies podem ser as mesmas, ou variar conforme o padrão geográfico, e isso é a chave para a compreensão da evolução das relações ecológicas (Franco & Cogni, 2013).

A compreensão dos padrões naturais envolvendo a distribuição de plantas-NEFs e os fatores que causam esses padrões constituem informações essenciais para que a biodiversidade seja conservada. No entanto, poucas pesquisas têm explorado a variação do padrão geográfico entre populações de plantas-NEFs (Nogueira *et al.*, 2015, 2016). A presença de NEFs pode variar até mesmo entre espécies ligadas intimamente (Katayama & Suzuki, 2011). Com isso, percebe-se a importância de pesquisas que possam esclarecer essa variação na biodiversidade. Ampliar o campo de estudo é essencial para que possamos ter um panorama geral sobre quais são, onde estão e quais as interações das plantas-NEFs, e para isso é importante fazer um mapeamento dos dados que já abordaram essa temática.

Diante do exposto, os objetivos deste estudo são (i) construir um mapa de distribuição e comparar a frequência de estudos que abordam plantas-NEFs nos biomas brasileiros; (ii) investigar a relação entre a riqueza de plantas-NEFs e biomas; (iii) analisar a similaridade florística de plantas-NEFs entre os biomas; (iv) examinar as plantas-NEFs mais importantes (espécies e famílias) em cada bioma, e a importância de cada bioma em sustentar espécies de plantas-NEFs. Com estes dados poderemos avaliar o conhecimento a respeito das plantas-NEFs em escala nacional e investigar a presença de locais super e sub representados. Além disso, poderemos avaliar a riqueza de espécies em cada bioma e avaliar também se o (possível) viés geográfico traz consequências quanto ao registro das espécies de plantas-NEFs. Nosso estudo

torna possível fazer um recorte das áreas onde ocorrem plantas-NEFs, além de contribuir para o aprofundamento das informações já existentes sobre este grupo de plantas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Objeto de estudo – Brasil e biomas

O Brasil é um país localizado na América do Sul, sua extensão territorial é de 8.515.767,049 km<sup>2</sup> (Avalá *et al.* 2019), e é formado por 26 estados e o Distrito Federal, onde se localiza a capital, Brasília (**Figura 1a**). O Brasil possui seis biomas terrestres: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal (IBGE, 2004) (**Quadro 1; Figura 1b**).

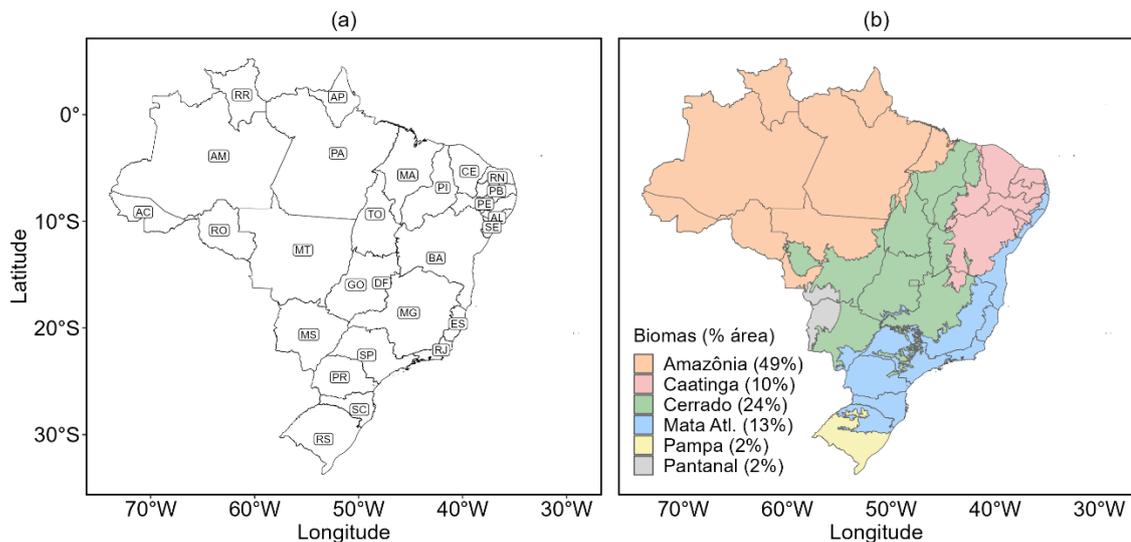
**Quadro 1.** Descrição dos biomas brasileiros com suas principais características.

Biomas	Características
Amazônia	A Amazônia tem 4.196.943 km <sup>2</sup> de extensão (IBGE, 2004). O solo é do tipo é arenoso e possui uma camada de húmus que é resultado da deposição de floras, frutos e restos de animais. A vegetação deste bioma se divide em mata de terra firme, mata de várzea e mata de igapó (Townsend <i>et al.</i> 2010).
Caatinga	A Caatinga possui 844.453 km <sup>2</sup> (IBGE, 2004). O tipo de solo varia entre rasos e profundos, tem uma fertilidade baixa, são ricos em minerais e pouca matéria orgânica, são arenosos e pedregosos por isso retém pouca água. A coloração pode variar entre tons de vermelho à cor cinza. A vegetação da Caatinga apresenta queda das folhas durante o período de seca. As árvores são baixas e tortuosas, e a paisagem é formada por arbustos e cactos. As raízes da vegetação, geralmente, cobrem o solo para conseguirem captar o maior volume de água possível (Maia, 2017).
Cerrado	O Cerrado tem 2.036.448 km <sup>2</sup> de extensão (IBGE, 2004). Neste bioma predominam os latossolos, tanto em áreas sedimentares quanto em terrenos cristalinos. A vegetação do bioma Cerrado possui fisionomias que englobam formações florestais, savânicas e campestres (Ribeiro & Walter, 1998).
Mata Atlântica	A Mata Atlântica possui 1.110.182 km <sup>2</sup> de extensão (IBGE, 2004). Os solos são geralmente rasos e ácidos, bastante úmidos e pobres em consequência da baixa incidência da luz solar. Possui vegetações ombrófilas e estacionais. É formada por árvores de médio e grande porte, onde as copas se tocam, formando uma contínua de floresta, podendo chegar a 60 metros de altura (Pinto <i>et al.</i> , 2006, Tabarelli <i>et al.</i> 2005).
Pampa	O Pampa possui cerca de 176.496 km <sup>2</sup> de extensão (IBGE, 2004). Os solos deste bioma são arenosos, geralmente, pouco férteis e propensos à erosão. A vegetação é caracterizada pela presença de plantas herbáceas do tipo C3 e C4 adaptadas à transição do clima subtropical para o temperado (Trentin <i>et al.</i> 2021).
Pantanal	O Pantanal é o menor bioma, em extensão com apenas 150.355 km <sup>2</sup> (IBGE, 2004). O solo é originado pela deposição de fragmentos rochosos oriundos de áreas de maior altitude, tem baixa impermeabilidade e fertilidade reduzida. Sua vegetação é bem diversificada pelo fato de possuir uma grande influência de outros biomas e é composta por matas, cerradões, savanas e campos inundáveis (Pereira <i>et al.</i> 2012).

**Fontes:** (Oliveira & Marquis, 2002; IBGE, 2004; Pinto *et al.*, 2006; Townsend, Costa & Pereira, 2010; Silva, Leal & Tabarelli, 2017; Trentin *et al.*, 2021)

A distribuição geográfica dos biomas no Brasil (**Figura 1**) é determinada por fatores climáticos, como a temperatura, a pluviosidade, a umidade relativa, e o tipo de solo. Cada bioma possui um tipo de vegetação e fitofisionomia predominantes, estabelecidos primariamente pelo clima e solo (Coutinho, 2006; Roesch *et al.*, 2009; Junior *et al.*, 2020).

A biodiversidade do Brasil é largamente desconhecida, mas registros têm chamado a atenção para a diversidade florística na Amazônia (> 14 mil espécies - Cardoso *et al.*, 2017) e Cerrado (> 7 mil espécies - Klink & Machado, 2005); e para animais e plantas na Mata Atlântica e Caatinga (Silva & Tabarelli, 2000; Silva *et al.*, 2017).

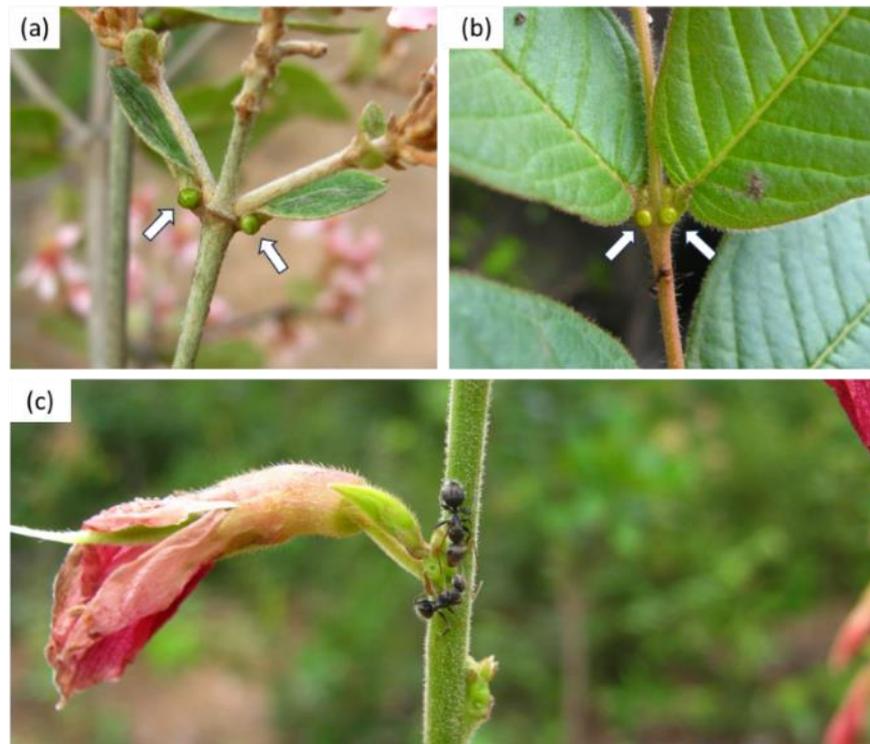


**Figura 1.** Mapas do Brasil mostrando (a) as Unidades da Federação e (b) os biomas terrestres com a porcentagem de cobertura (IBGE, 2023). Abreviações das Unidades de Federação: Acre (AC), Alagoas (AL), Amapá (AP), Amazonas (AM), Bahia (BA), Ceará (CE), Distrito Federal (DF), Espírito Santo (ES), Goiás (GO), Maranhão (MA), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Pará (PA), Paraíba (PB), Paraná (PR), Pernambuco (PE), Piauí (PI), Rio de Janeiro (RJ), Rio Grande do Norte (RN), Rio Grande do Sul (RS), Rondônia (RO), Roraima (RR), Santa Catarina (SC), São Paulo (SP), Sergipe (SE) e Tocantins (TO).

## 2.2. Objeto de estudo – plantas com nectários extraflorais

As plantas-NEFs são largamente estudadas no mundo quanto às suas interações mutualísticas e composição do néctar extrafloral (Kost & Heil, 2005; Lach, Hobbs & Majer, 2009; Possobom, Guimarães & Machado, 2010; Calixto *et al.*, 2021d). Os NEFs estão presentes em mais de 300 gêneros, estas plantas têm distribuição mundial, são bastante frequentes em estudos florísticos e se associam a uma grande diversidade de formigas (González-Teuber & Heil, 2009). Em várias espécies, os NEFs são facilmente vistos, pois são estruturas globosas localizadas na base das folhas, como em Malpighiaceae e Ochnaceae (**Figura 2**) (Vilela, Torezan-Silingardi & Del-Claro, 2014; Calixto, Lange & Del-Claro, 2015). No entanto, os

NEFs podem se localizar em outros locais, como nos pecíolos, no limbo foliar, no cálice e na raque (Machado *et al.*, 2008). Apesar de sua localização nas plantas, os NEFs liberam uma solução nutritiva, contendo principalmente carboidratos, mas apresentando também aminoácidos (Koptur, 1994; Heil *et al.*, 2000; Possobom *et al.*, 2010).



**Figura 2.** Nectários extraflorais em (a) *Heteropterys pteropetala* (Malpighiaceae); (b) *Qualea grandiflora* (Vochysiaceae); (c) formigas visitando os nectários extraflorais de *Bionia coriacea* (Fabaceae). Fotos: Estevão Alves da Silva

Os visitantes mais frequentes das plantas-NEFs são as formigas, e em menor intensidade vespas (Alves-Silva *et al.*, 2013) e aranhas (Nahas, Gonzaga & Del-Claro, 2017). De fato, a hipótese mais aceita da existência e evolução dos NEFs estabelece que estas estruturas sirvam de chamariz para artrópodes predadores, e que estes devido ao seu comportamento agressivo, patrulhem as plantas e ataquem/espantem possíveis herbívoros (Del-Claro *et al.*, 2016). Esta hipótese do mutualismo de proteção possui diversas evidências que mostram o efeito benéfico dos artrópodes predadores (especialmente formigas) na redução da herbivoria e no aumento do sucesso reprodutivo das plantas (Calixto *et al.*, 2015; Monique *et al.*, 2022). Ainda, dando mais suporte a esta hipótese, as plantas tendem a ter NEFs ativos durante os períodos de maior susceptibilidade a herbívoros, atraindo assim mais formigas e maximizando os efeitos protetivos (Holland, Chamberlain & Horn, 2009; Jones & Koptur, 2015; Calixto *et al.*, 2021a).

### 2.3. Métodos de busca

Os dados deste trabalho foram obtidos de artigos publicados. A pesquisa da literatura sobre plantas-NEFs foi feita utilizando o Google Acadêmico (<https://scholar.google.com/>) como principal ferramenta de pesquisa, uma vez que a plataforma disponibiliza resultados de diferentes periódicos, e muitas vezes permite o *download* dos artigos gratuitamente. O Google Acadêmico também pode encaminhar a pesquisa para o site dos autores, ou para o *Research Gate* (<https://www.researchgate.net/>), onde os artigos também podem estar disponíveis para *download* direto ou por solicitação.

A pesquisa por artigos no Google Acadêmico iniciou em 2021 e cessou em janeiro de 2023. Durante este tempo nós acompanhamos as publicações a respeito de plantas-NEFs no Brasil e amadurecemos a metodologia do trabalho. A busca dos artigos foi feita com as palavras “extrafloral nectar\*” e “Brazil” (com as variações em português, como “nectários extraflorais” e “Brasil”). Os resultados da busca nos mostraram publicações desde a década de 1980; porém restringimos o nosso universo amostral a artigos publicados até o final do ano de 2022, para padronizarmos as análises. Consideramos tanto artigos publicados em sua forma final (com ano e volume dos periódicos) quanto artigos na forma “*Online First*”, visto que estes também já estão disponíveis para a comunidade científica (Alves-Silva *et al.*, 2016).

Encontramos mais de duzentos artigos indicados pelo Google Acadêmico. Esses artigos foram baixados, filtrados, identificados e lidos para verificar seu enquadramento em nossos critérios para serem incluídos (ou não) na pesquisa. Para padronizar os dados e permitir o uso de inferências, comparações e testes estatísticos, estabelecemos várias condições para que um artigo fosse incluído em nossas planilhas e análises, como:

- (1) artigos com informações geográficas do trabalho de campo, pois permitem conhecer o bioma onde a planta está localizada;
- (2) artigos com a identificação das plantas a nível de espécie. Como o nosso interesse era relacionar plantas aos diferentes biomas, bem como classificar plantas como importantes para os biomas, precisávamos necessariamente da identificação específica das plantas;
- (3) artigos publicados em revistas com conselhos editoriais e histórico de revisão por pares. Teses e resumos de conferências/congressos foram desconsiderados, pois não passam por revisão por pares e, de acordo com nossa experiência, alguns desses documentos podem conter erros de observação e taxonomia.

(4) publicações que indicassem que formigas visitaram as plantas-NEFs. Em algumas ocasiões, os autores mencionam plantas-NEFs nos artigos, mas não deixam claro se as plantas foram visitadas ou não por formigas. Em nossa experiência de trabalho de campo observamos que às vezes uma planta parece ter (e algumas até têm) NEFs, mas as formigas nunca são vistas visitando a planta. Como estávamos interessados em plantas que estabelecem uma potencial interação mutualística com as formigas, decidimos ser mais cautelosos e focar nos estudos que mostrassem que as formigas visitaram as plantas-NEFs.

No presente estudo, focamos apenas nas plantas-NEFs. As formigas não foram consideradas devido aos problemas taxonômicos inerentes à sua identificação, tanto em campo quanto em laboratório (Souza *et al.*, 2023). Além disso, vários estudos não forneceram a identificação das formigas que visitavam as plantas, mas sim indicaram que havia presença de formigas. Outro problema no tratamento das formigas é que, em algumas ocasiões, os autores fornecem uma lista de plantas-NEFs, mas não relacionam as formigas que visitavam cada espécie de planta. Abordagens futuras devem ser exploradas antes de considerarmos as formigas em um estudo semelhante.

## 2.4. Organização dos dados

Após a leitura e análise de cada artigo, criamos uma base de dados composta de 120 artigos publicados em 53 periódicos diferentes. Extraímos as seguintes informações de cada artigo: nome do periódico, autoria, ano de publicação, espécie e família da planta, local de estudo (parque, reserva, campus universitário), município onde o estudo foi conduzido, Unidade da Federação e coordenadas geográficas do local de estudo (latitude e longitude).

As informações relativas aos biomas foram extraídas do próprio texto dos artigos, na seção de ‘*Métodos*’ (os autores geralmente mencionam o bioma onde o trabalho de campo foi realizado). Em casos em que o bioma não tenha sido relatado, nós comparamos diferentes artigos cujo trabalho de campo tenha sido realizado na mesma área, e assim conseguimos classificar o bioma. Já nos casos em que o bioma não tenha sido citado, e não havia artigos em áreas similares, consultamos o site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (<https://cidades.ibge.gov.br>), que contém dados do bioma que engloba cada cidade brasileira.

Dada a existência de vários locais de trabalho de campo que incluíam parques, reservas, áreas urbanas etc., decidimos classificar o estudo de campo em municípios, para facilitar as análises e comparações. Por exemplo, Camarota *et al.* (2015) estudaram interações planta-formiga em uma reserva localizada a 30 km dos limites urbanos da cidade de Uberlândia

(Estação Ecológica do Panga), mas classificamos este trabalho de campo como “Uberlândia”. O *Google Earth* foi usado para examinar as cidades mais próximas de cada trabalho de campo, e usamos a internet para saber a qual município um parque ou reserva estava associado.

A identidade taxonômica das plantas foi verificada no site Flora do Brasil ([floradobrasil.jbrj.gov.br](http://floradobrasil.jbrj.gov.br)), onde corrigimos erros de grafia, sinonímias e identificamos a família de cada planta-NEF. Todos os dados foram organizados em planilhas no programa *Microsoft Excel*. As espécies e famílias das plantas investigadas neste estudo estão no **Apêndice 1**.

## 2.5. Análises Estatísticas

Neste estudo muitos dados são mostrados em suas frequências absolutas e relativas, e decidimos não sobrecarregar os resultados com testes estatísticos, pois alguns dados já mostram diferenças bem acentuadas (e.g., a dominância de Fabaceae em relação às plantas-NEFs). Além disso, algumas figuras evidenciam as diferenças entre os dados, e confiamos que podem ser mais informativas do que testes estatísticos. Deste modo focamos em análises que responderiam aos nossos objetivos principais. Acreditamos que esta abordagem possa favorecer o entendimento dos leitores.

Foi feito um teste de chi-quadrado para comparar a frequência de estudos em cada bioma (**objetivo i**). A relação entre as espécies de plantas (variável dependente), famílias e biomas (fatores) foi investigada com um modelo linear generalizado (GLM), com distribuição de Poisson (**objetivo ii**). O índice de dissimilaridade de Jaccard foi usado para comparar similaridade de espécies de plantas entre os biomas (**objetivo iii**).

Para comparar a importância de cada bioma em relação a riqueza de plantas-NEFs, construímos diferentes redes de interações ecológicas e comparamos dois índices de centralidade (**objetivo iv**). As redes ecológicas foram compostas por interações par a par entre plantas e biomas (considerados como “nodes”), construídas sob uma matriz de presença e ausência, onde a conexão entre ambas as partes indica uma ligação (Trøjelsgaard & Olesen, 2016; Guimarães, 2020). Com essa organização dos dados, poderíamos ver ao mesmo tempo os biomas que tiveram mais registros de plantas-NEFs e quais espécies de plantas e famílias foram as mais importantes para a coesão da rede de interações. Para medir isso em números, calculamos o grau (*degree*), que mostra o número de ligações entre plantas e biomas (i.e., qual a riqueza de plantas associada a cada bioma). Também calculamos um índice chamado “*betweenness*”, que leva em consideração não somente as interações par-a-par (entre plantas e biomas), mas também quais plantas se conectaram a mais de um bioma. O índice de

“*betweenness*” fornece uma estimativa adequada dos “*nodes*” mais importantes de uma rede, não apenas por dar peso às plantas e biomas com mais interações, mas também por considerar plantas que conectam diferentes biomas, e se removidos causam a ruptura da rede de interações (Sazima *et al.*, 2010; Trøjelsgaard & Olesen, 2016).

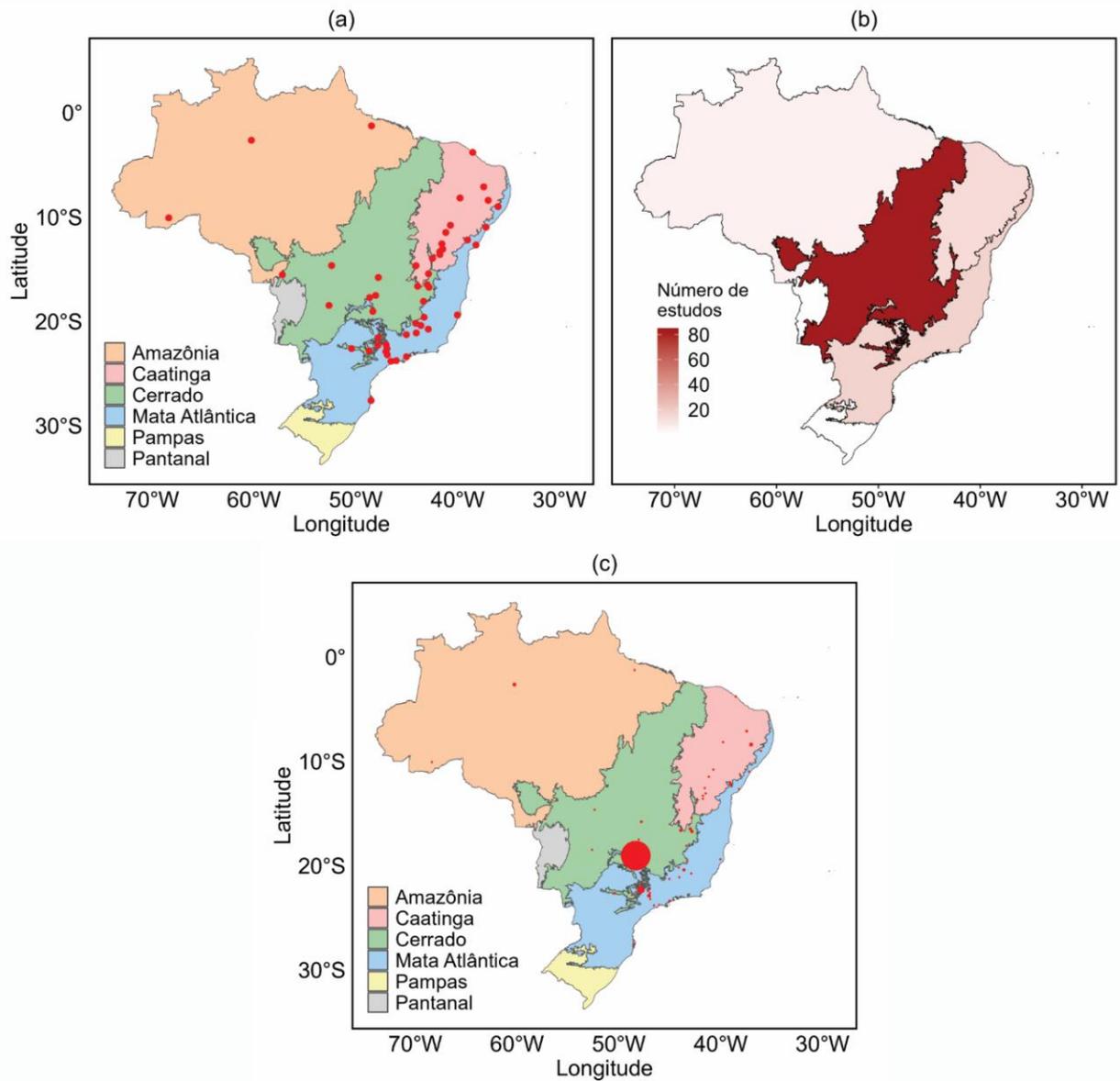
As análises de redes podem vir acompanhadas de uma infinidade de métricas e índices, mas optamos por simplificar e calcular apenas algumas para deixar o estudo o mais claro possível; além disso muitas das métricas de rede estão relacionadas, gerando assim redundâncias (Sazima *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2023).

Todas as análises e gráficos foram feitos no software R (R Core Team, 2023). Os pacotes utilizados podem ser conferidos no **Apêndice 2**.

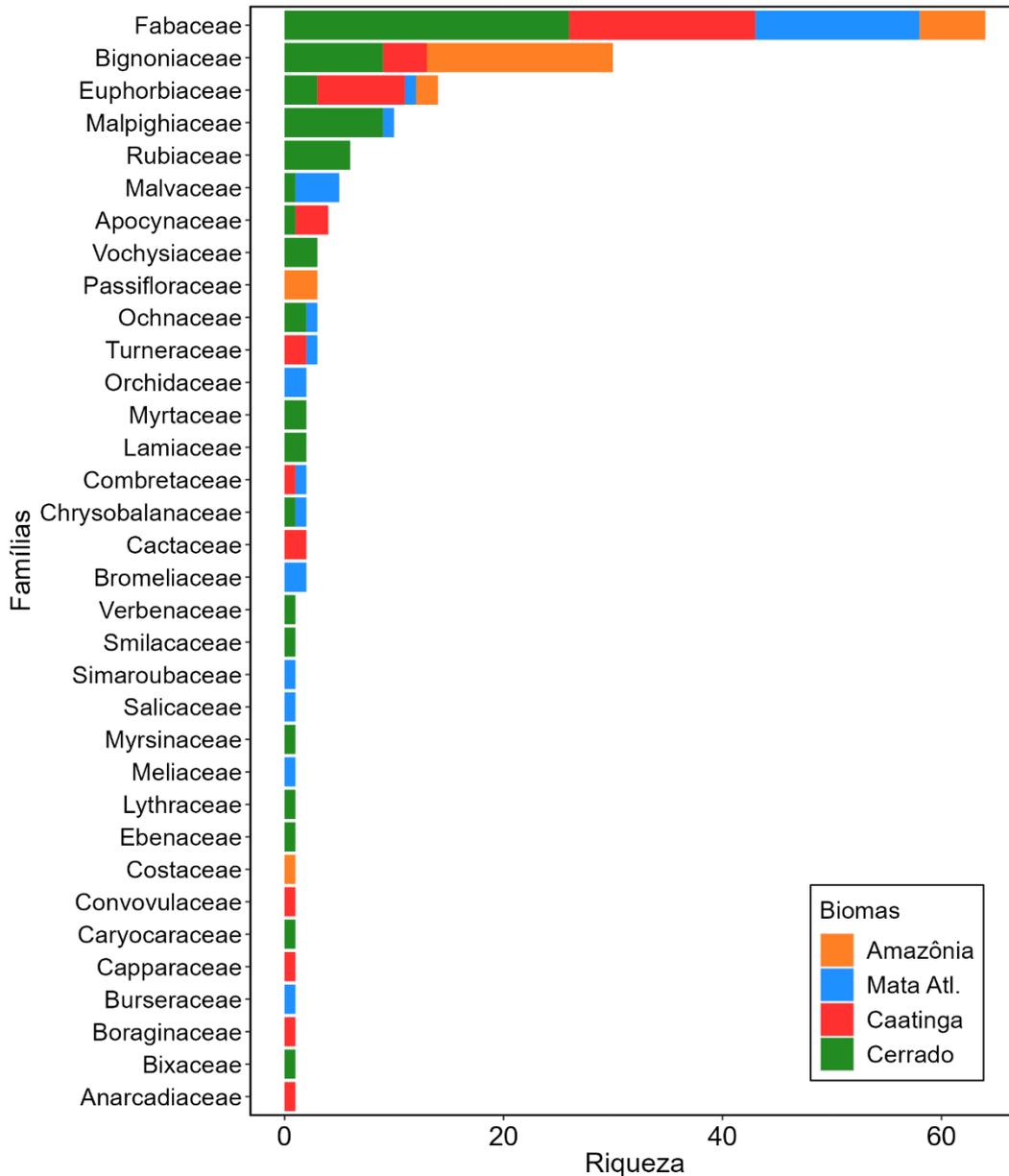
### 3. RESULTADOS

As plantas-NEFs foram amostradas em 16 Unidades da Federação, quatro biomas (Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga e Amazônia; Pantanal e Pampa não foram representados) e 50 municípios (**Figura 3a**). Dos 120 artigos analisados, a maioria apresentou o Cerrado como foco de estudo ( $n = 84$ ) (e boa parte tem o município de Uberlândia, presente em 53 publicações, como área de estudo - **Figura 3b e Figura 3c**). A Mata Atlântica foi o segundo bioma mais estudado ( $n = 17$ ), seguido pela Caatinga e Amazônia ( $n = 14$  e  $6$ , respectivamente) ( $\chi^2 = 129.48$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0.0001$ ) (**Figura 3b**).

A riqueza vegetal totalizou 166 espécies, em 91 gêneros e 34 famílias. A família Fabaceae foi a mais rica, com 59 espécies e isso foi mais do que o dobro da riqueza da segunda família mais estudada, Bignoniaceae, com 28 espécies de plantas (**Apêndice 3**). Fabaceae esteve presente em 37 artigos (de 120 analisados nesta pesquisa), sendo a família mais investigada, seguida por Malpighiaceae, Vochysiaceae, Caryocaraceae e Ochnaceae. Apenas Fabaceae e Euphorbiaceae estavam presentes nos quatro biomas onde as plantas-NEF foram investigadas. A maioria das famílias (71%) estava restrita a um bioma (**Figura 4**).

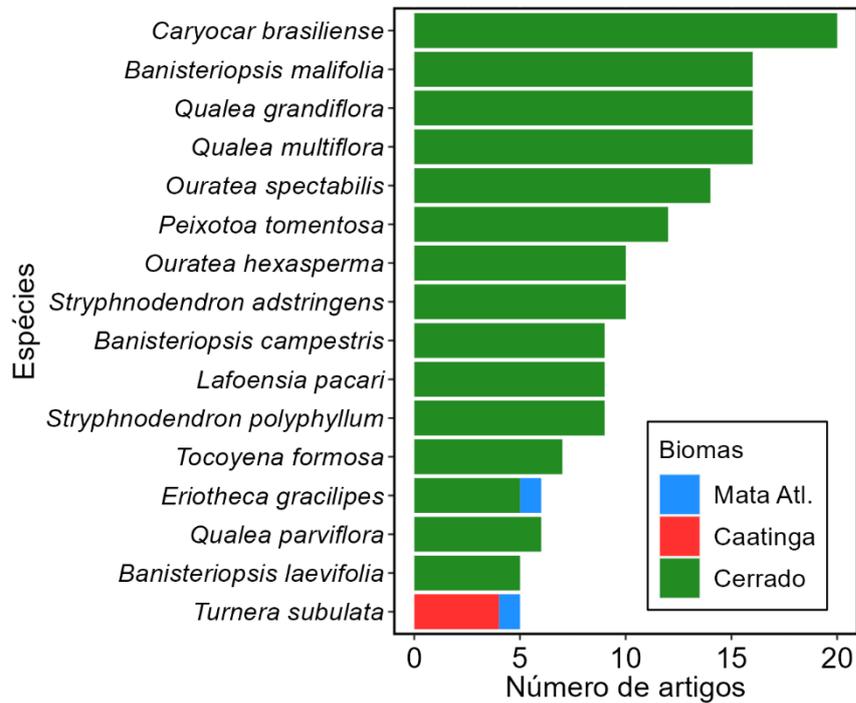


**Figura 3.** Distribuição geográfica dos estudos com plantas com nectários extraflorais nos biomas brasileiros. **(a)** Os pontos redondos indicam onde as plantas foram amostradas; **(b)** mapa de calor mostrando a concentração de estudos entre os biomas; **(c)** concentração relativa do número de publicações com plantas-NEFs; o círculo vermelho indica a cidade de Uberlândia, no bioma Cerrado, que apareceu em 44% de todas as publicações de plantas com nectários extraflorais no Brasil. O Pantanal e os Pampas não possuem registros de interações de formigas e plantas com nectários extraflorais (de acordo com nossos critérios – ver Métodos).



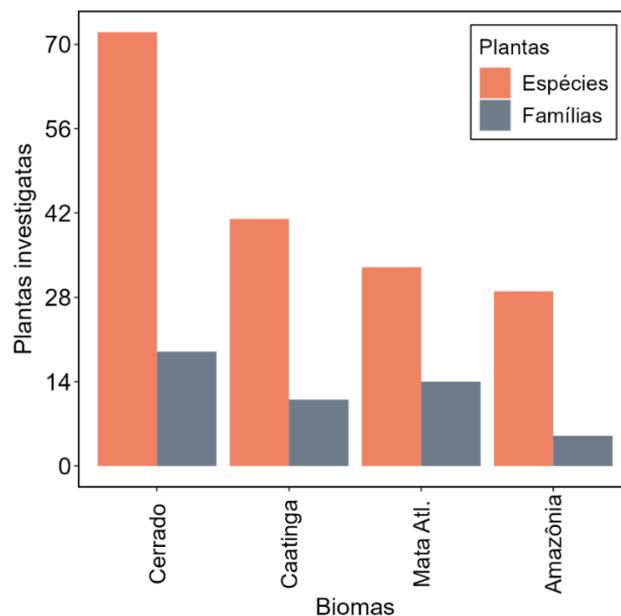
**Figura 4.** Representação mostrando as famílias de plantas com nectários extraflorais em cada bioma. Apenas as Fabaceae e as Euphorbiaceae estiveram presentes em todos os biomas. Estes dados são diferentes do **Apêndice 3**, que mostra a riqueza por família, independente dos biomas; na figura presente, a riqueza por família pode ser maior, visto que algumas plantas ocorreram em mais de um bioma.

Um quarto das espécies de plantas foi investigada apenas uma vez, mas outras receberam mais atenção. Por exemplo, a planta mais estudada foi *Caryocar brasiliense* Cambess. (Caryocaraceae) ( $n = 20$  ocorrências/artigos), seguida por *Banisteriopsis malifolia* (Nees & Mart.) B. Gates (Malpighiaceae), *Qualea grandiflora* Mart. e *Q. multiflora* Mart. (Vochysiaceae), todas estudadas 16 vezes (**Figura 5**).



**Figura 5.** Espécies de plantas com nectários extraflorais segundo os biomas. A figura mostra as plantas que foram investigadas  $\geq 5$  vezes. A Amazônia não esteve representada entre os biomas com plantas mais estudadas.

O Cerrado foi super-representado em termos de espécies de plantas ( $n = 72$ ) e famílias ( $n = 19$ ) em comparação com os outros biomas (**Figura 6**). A riqueza de plantas foi significativamente relacionada ao bioma e à família de plantas (**Tabela 1**), pois a maioria das plantas pertencia a Fabaceae e estava no bioma Cerrado.

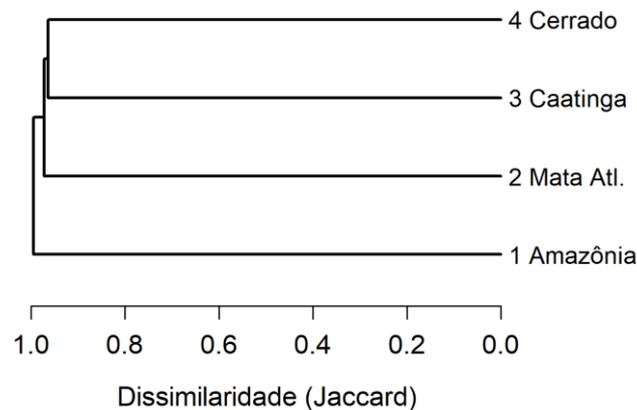


**Figura 6.** Número de famílias e espécies de plantas com nectários extraflorais segundo os biomas brasileiros.

**Tabela 1.** Relação entre a riqueza de plantas (variável dependente), suas famílias e os biomas em que elas ocorreram.

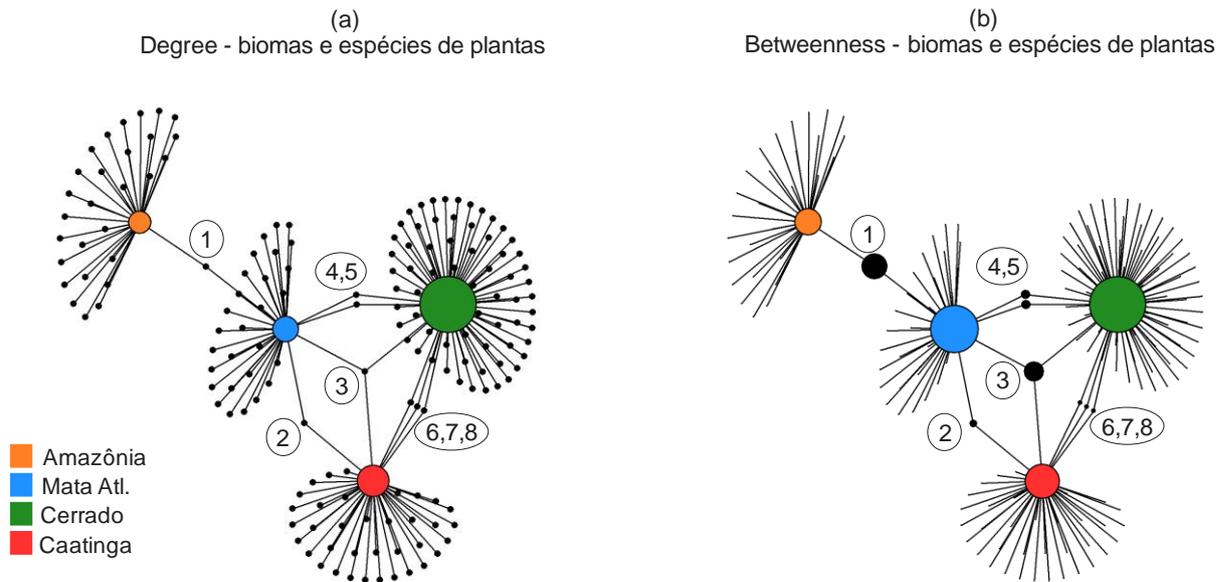
Variáveis	G.L.	Desvio residual	Valor de <i>P</i>
Família	1	197.79	< 0.0001
Bioma	3	150.80	< 0.0001

Das 166 espécies de plantas, apenas oito delas foram amostradas em mais de um bioma. O índice de Jaccard mostrou uma alta dissimilaridade na comunidade vegetal (espécies) entre os biomas (correlação de Jaccard = 0,92) (**Figura 7**). Esse padrão geográfico de distribuição de plantas acabou criando uma rede de interações altamente modular, interligada com apenas algumas espécies vegetais entre os biomas (**Figura 8**).



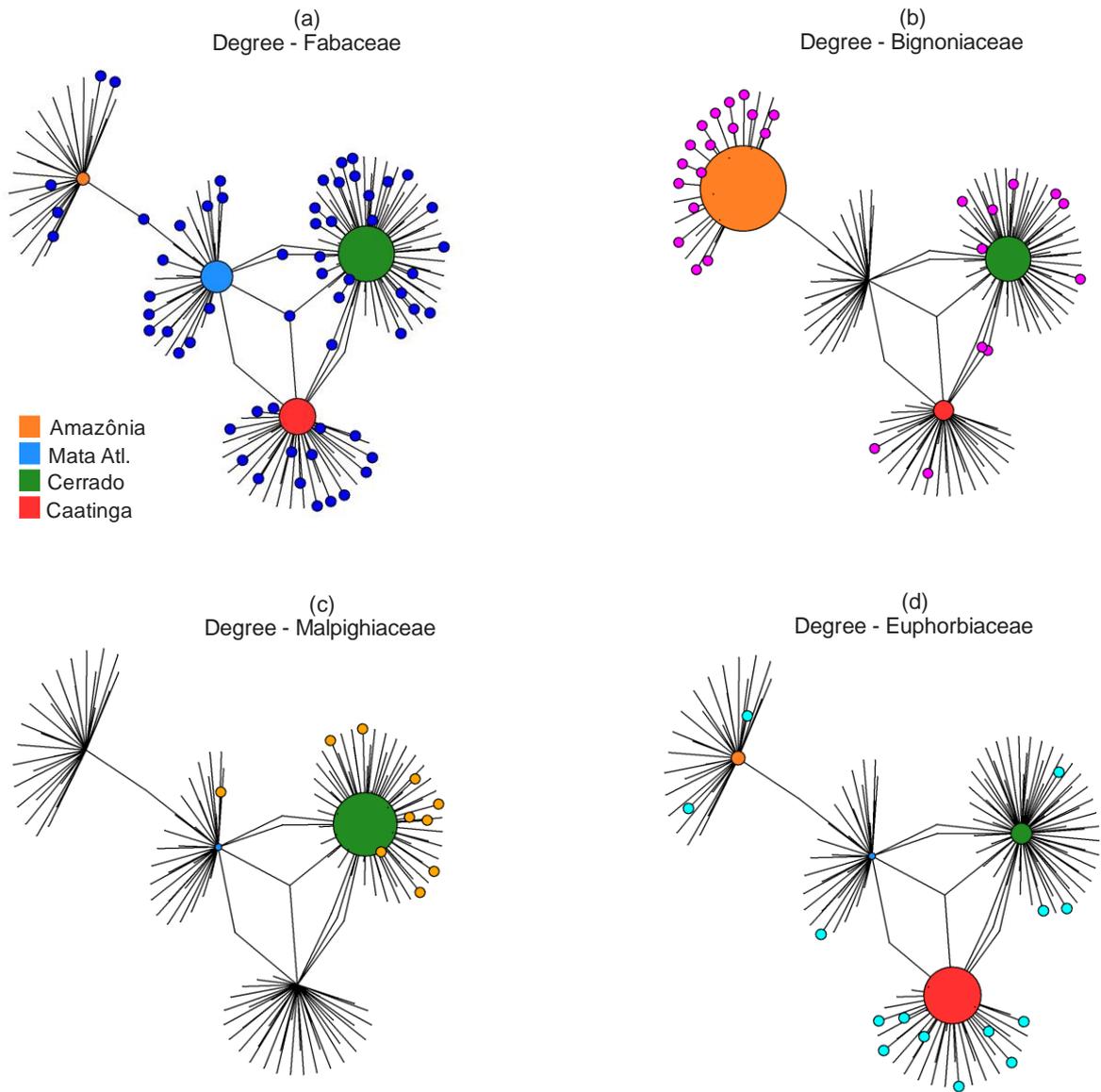
**Figura 7.** Dendrograma mostrando o índice de dissimilaridade de Jaccard de espécies de plantas entre os biomas. A alta dissimilaridade indica o compartilhamento de poucas espécies de plantas.

O Cerrado foi o bioma mais importante em termos de plantas-NEFs, não apenas porque sustentou muitas espécies, mas também porque dentre as espécies compartilhadas, a maioria foi do Cerrado ( $n = 6$  espécies compartilhadas entre biomas) (**Figura 8**). Dentre as espécies de plantas, o maior valor de *betweenness* foi observado para a leguminosa *Stryphnodendron pulcherrimum* (Willd.) Hochr. (Fabaceae), que foi a única planta que uniu os biomas Amazônia e Mata Atlântica. A única planta amostrada em três biomas diferentes foi a leguminosa *Plathymenia reticulata* Benth. (Fabaceae) e, conseqüentemente, também apresentou um alto valor de *betweenness* (**Figura 8**).

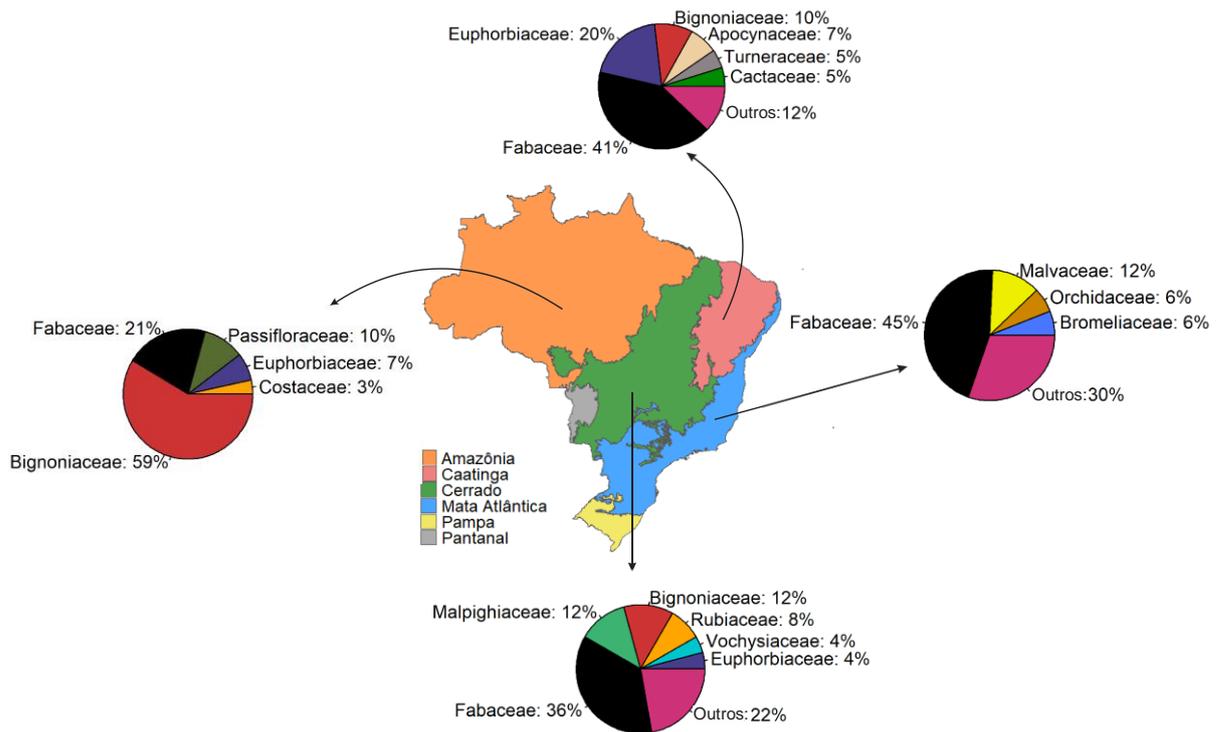


**Figura 8.** Rede de interações indicando as espécies de plantas (*nodes* redondos pretos terminais, nomes não mostrados) em cada bioma. O tamanho dos círculos de cada bioma em **(a)** mostra sua importância em sustentar muitas espécies de plantas (ou seja, seu *degree*); em **(b)** os tamanhos dos círculos mostram a importância relativa dos biomas em sustentar espécies de plantas e também a importância relativa de algumas espécies de plantas na coesão da comunidade (*betweenness*). Os nomes de 1 a 8 nas redes indicam as espécies que foram comuns aos biomas 1 – *Stryphnodendron pulcherrimum* (Fabaceae); 2 – *Turneira subulata* (Turneraceae); 3 – *Plathymenia reticulata* (Fabaceae); 4 – *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae); 5 – *Erioteca gracilipes* (Malvaceae); 6 – *Anemopaegma album* (Bignoniaceae); 7 – *Handroanthus ochraceus* (Bignoniaceae); 8 – *Senna velutina* (Fabaceae).

As famílias mais ricas (Fabaceae, Bignoniaceae, Malpighiaceae e Euphorbiaceae) apresentaram distribuição distinta entre os biomas. O Cerrado apresentou a maior parte de Fabaceae e Malpighiaceae; a Amazônia abrigou a maioria de Bignoniaceae, e na Caatinga, Euphorbiaceae foi a família mais rica (**Figura 9**). Apenas Fabaceae e Euphorbiaceae apresentaram espécies em todos os biomas. Entretanto, enquanto Fabaceae foi presença constante em todos os biomas, a Euphorbiaceae se destacou apenas na Caatinga (**Figura 10**).



**Figura 9.** Riqueza de plantas com nectários extraflorais de acordo com a família e bioma. Os pontos distais coloridos se referem a espécies de plantas (nomes não mostrados) de cada família por bioma. Biomas com círculos maiores sustentam mais plantas de determinada família (*degree*). **(a)** Fabaceae; **(b)** Bignoniaceae; **(c)** Malpighiaceae e **(d)** Euphorbiaceae.



**Figura 10.** Distribuição das principais famílias de plantas com nectários extraflorais nos biomas brasileiros.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Biomas e plantas-NEFs

Os resultados mostraram que o conhecimento a respeito das plantas-NEFs é geograficamente limitado, pois a maioria das pesquisas tem o bioma Cerrado como área de estudo. Além disso, dois biomas brasileiros sequer possuem registros de interações formiga-planta (Pantanal e Pampas). Deste modo, ao considerarmos os artigos selecionados neste estudo, verificamos que temos uma sub-representação da ocorrência das plantas-NEFs no Brasil.

Em estudos de biodiversidade, se nota a ausência de amostragens em certas áreas, levando ao conhecimento enviesado quanto à ocorrência de espécies. O Pantanal e o Pampa, por exemplo, não aparecem em nossos dados (de acordo com nossos critérios – ver Métodos). De fato, estes dois biomas têm recebido pouca atenção em estudos ecológicos como um todo. Ambos vem sofrendo efeitos antrópicos decorrentes do uso do solo, levando à degradação ambiental, e como nenhum deles é um *hotspot* (sensu Myers *et al.*, 2000) os esforços de conservação e consequentemente de estudos de biodiversidade são menos evidentes do que em outros biomas (Roesch *et al.*, 2009; Alho, 2011).

A Amazônia é considerada o bioma com maior biodiversidade do Brasil, mas carece de estudos explorando toda a sua riqueza (Oliveira & Piffer, 2017; Andrade *et al.* 2021). Nossos dados mostram que a Amazônia ficou em último lugar quanto aos estudos com plantas-NEFs. Ainda, a Amazônia foi tardiamente explorada quanto aos estudos de interações formiga-planta (Leal *et al.*, 2006) e só recentemente têm recebido mais atenção (Nogueira *et al.*, 2020; Macêdo, Silva & Aguiar-Dias, 2021). O fato de Bignoniaceae e Passifloraceae serem famílias representativas no bioma deve ser visto com cautela, pois alguns estudos focaram em examinar especificamente estas famílias (Leal *et al.*, 2006; Nogueira *et al.*, 2020; Macêdo *et al.*, 2021).

Assim como a Amazônia, as plantas-NEFs da Caatinga começaram a ser estudadas recentemente (Leal, Andersen & Leal, 2015). Pesquisadores têm chamado a atenção para a grande biodiversidade neste bioma, considerado desértico e hostil (Silva *et al.*, 2017), porém com uma tendência a apresentar uma grande diversidade de plantas-NEFs (Leal *et al.*, 2015). Cactaceae apareceu como uma planta-NEF somente na Caatinga.

O segundo bioma com mais pesquisas a respeito de plantas-NEFs é a Mata Atlântica, e este bioma teve uma grande representatividade de Fabaceae, com quase a metade das plantas amostradas. Bromeliaceae e Orchidaceae, que são mais comuns em ambientes úmidos, tiveram presença somente neste bioma.

O Cerrado foi o bioma com maior número de estudos com plantas-NEFs. Por um lado, isso é surpreendente, visto que este não é o maior bioma em extensão no Brasil, ficando atrás da Amazônia (Overbeck *et al.*, 2015). Por outro lado, no entanto, o Cerrado pode ser considerado o berço dos estudos de plantas-NEFs no Brasil, visto que o primeiro estudo com formigas e plantas-NEFs foi conduzido neste bioma (Oliveira *et al.*, 1987). De fato, este primeiro estudo parece ter aberto as portas para as demais investigações no Cerrado, com várias (e consistentes) publicações a respeito das plantas deste bioma ao longo dos anos (Costa, Oliveira-Filho & Oliveira, 1992; Freitas & Oliveira, 1996; Sendoya, Freitas & Oliveira, 2009; Alves-Silva & Del-Claro, 2013; Lange, Calixto & Del-Claro, 2017).

Porém, devemos levar em consideração que mesmo o Cerrado tendo a maioria dos estudos, estes são concentrados em poucas áreas em municípios específicos, como Uberlândia, no estado de Minas Gerais e Itirapina, no estado de São Paulo, que juntos contemplam mais 76% dos registros de plantas-NEFs no bioma. Desta forma, muito do que conhecemos da flora e interações entre formigas e plantas, provém de informações de dois municípios. Se por um lado, temos um conhecimento geograficamente enviesado a respeito das plantas-NEFs em um bioma que cobre um quarto do território nacional, por outro lado temos dados importantes sobre a biodiversidade e interações das plantas-NEFs com a fauna. Isso de certa forma, aumentou

nosso conhecimento não só a respeito da riqueza e interações destas plantas, mas para a evolução e manutenção de sistemas mutualistas (Assunção, Torezan-Silingardi & Del-Claro, 2014; Bächtold *et al.*, 2014; Camarota *et al.*, 2015; Stefani *et al.*, 2015; Koch *et al.*, 2018; Calixto *et al.*, 2021b). Resta agora comparar estes dados com outras áreas para verificarmos como as interações variam no espaço.

Um fator que pode explicar, em parte, a quantidade de estudos nos biomas, é a afiliação dos autores dos artigos analisados. O Cerrado tem um número maior de publicações, pois sustenta grupos de pesquisa cujo trabalho de campo se localiza neste bioma (e.g. Vilela *et al.* 2014, Koch *et al.* 2016, Vidal *et al.* 2016). Isto pode ser atribuído também à Caatinga (e.g. Passos & Leal 2019). Porém quando examinamos as afiliações dos autores que trabalham na Mata Atlântica e Amazônia, os resultados são mistos, pois são autores que não necessariamente estão afiliados às instituições localizadas nos biomas onde o trabalho de campo foi conduzido (e.g., Nogueira *et al.* 2020).

#### **4.2. Biodiversidade das plantas-NEFs**

O Cerrado foi o bioma mais estudado, e como consequência, este bioma contou com a maioria das espécies e famílias de plantas-NEFs. Ao verificarmos as espécies mais representativas (em frequência), percebemos que a maioria remete a espécies do Cerrado. Por exemplo, a espécie *C. brasiliense*, foi estudada 20 vezes, enquanto a maioria das outras 165 espécies de plantas-NEFs sequer foram pesquisadas mais de duas ou três vezes. Não somente *C. brasiliense* aparece com alta frequência de estudos, mas outras plantas, especificamente do bioma Cerrado lideraram a lista das mais frequentemente estudadas. Isso não só demonstra uma baixa representatividade quanto à riqueza de plantas examinadas, mas também mostra que muito do que sabemos sobre as interações formiga-planta provém de poucas espécies botânicas. Aqui cabe uma discussão se isso representa, ou não, um problema.

O fato de poucas espécies terem sido amplamente estudadas pode, de fato, aumentar nosso entendimento das interações formiga-planta, que em muitos casos são altamente condicionais (Franco & Cogni, 2013; Del-Claro *et al.*, 2016; Koch *et al.*, 2016). As interações formiga-planta variam no tempo (estações do ano) e espaço, e são influenciadas diretamente pela identidade e comportamento das formigas (Souza *et al.*, 2023). Deste modo, tendo uma planta como modelo, estes pormenores nas interações formiga-planta podem ser explorados, comparados e os resultados, generalizados (nas devidas proporções).

Por exemplo, em *C. brasiliense* temos um amplo conhecimento a respeito das formigas e herbívoros presentes nas plantas, além de vários outros resultados provenientes destas interações (Freitas & Oliveira, 1996; Oliveira, 1997; Sendoya *et al.*, 2009; Muniz, Freitas & Oliveira, 2012; Neves *et al.*, 2012; Camarota *et al.*, 2015; Belchior *et al.*, 2016; Koch *et al.*, 2016; Ribeiro *et al.*, 2018; Vasconcelos *et al.*, 2020; Magalhães & Ferro, 2020; Lange *et al.*, 2021; Moura & Del-Claro, 2023). Informações similares também podem ser encontradas, em menor proporção, em *Qualea grandiflora*, *Q. multiflora*, *Ouratea spectabilis*, *O. hexasperma* e *Banisteriopsis malifolia*, pois foram as plantas mais frequentemente estudadas (Oliveira, Klitzke & Vieira, 1995; Byk & Del-Claro, 2010; Calixto *et al.*, 2015; Vidal *et al.*, 2018).

Para algumas espécies de plantas, temos basicamente informações das formigas associadas (e.g. Alves-Silva 2011), mas não do resultado das interações entre as partes (e.g. se as formigas têm um papel protetor, se as plantas se beneficiam ou não das interações com formigas etc.) (Melati & Leal, 2018; Monique *et al.*, 2022). Dessa forma, a superexploração de algumas espécies se justifica pela quantidade de informações que podem ser extraídas do sistema.

### 4.3. Plantas-NEFs mais importantes

Classificar uma espécie como “importante” ou “chave” é uma tarefa difícil e as vezes arbitrária, visto que as relações ecológicas são bastante intrincadas. Por isso, os cientistas se apoiam em procedimentos analíticos para verificar quais são as espécies que mais se destacam (Costa *et al.*, 2016; Cagua, Wootton & Stouffer, 2019). Os índices de centralidade usados neste estudo se baseiam tanto nas ligações par a par (plantas e biomas; *degree*), quanto nas ligações indiretas entre plantas e biomas, e nas plantas que foram comuns em mais de um bioma (*betweenness*).

*Caryocar brasiliense* foi a planta mais estudada ( $n = 20$ ), porém é restrita ao bioma Cerrado (*betweenness* = zero), enquanto *P. reticulata* foi pouco estudada (*degree* = 4), mas está presente em três biomas (Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica), gerando um alto valor de *betweenness*. Dessa forma, enquanto *C. brasiliense* é importante para entendermos as interações locais dentro do bioma Cerrado, a leguminosa *P. reticulata* pode fornecer informações (em termos de interações com formigas) sobre vários biomas. Ainda nesta abordagem, a espécie *S. pulcherrimum* recebeu o mais alto valor de *betweenness*, pois foi a única espécie comum entre a Amazônia e outro bioma (Mata Atlântica); se removida, os biomas ficariam sem conexão alguma. Estas espécies, com alto valor de *betweenness* tem a tendência

em participar em mais cadeias tróficas e afetar a ocorrência e abundância de outras espécies (Jordán, Benedek & Podani, 2007). Neste caso, as plantas comuns entre biomas poderiam ser o elo entre a fauna de formigas em diferentes localidades (González, Dalsgaard & Olesen, 2010).

Fabaceae foi a família mais rica e mais frequente nos estudos, e foi basicamente dominante em todos os biomas, exceto na Amazônia, onde Bignoniaceae se destacou. Fabaceae é conhecida mundialmente como a família que possui mais espécies com NEFs, chegando a 26% (Melo *et al.*, 2010). Desta forma, não nos surpreende o fato de Fabaceae ter uma grande representatividade no nosso estudo, mas conseguimos mostrar que esta família ocorre em todos os biomas. Bignoniaceae e Malpighiaceae também são bastante conhecidas por terem espécies com NEFs, e um dos primeiros estudos a avaliar plantas-NEFs no Brasil já apontava a riqueza considerável em Fabaceae, Bignoniaceae e em menor grau, em Malpighiaceae (Oliveira & Leitao-Filho, 1987). Estas famílias apareceram posteriormente com frequência em amostragens de plantas-NEFs (Machado *et al.*, 2008). Já Euphorbiaceae, somente recentemente teve sua riqueza avaliada em estudos de plantas-NEFs, pois por muito tempo somente algumas espécies, como *Croton* eram conhecidas como plantas-NEFs dentro da família (Miranda *et al.*, 2022).

## 5. CONCLUSÃO

O conhecimento da biodiversidade de plantas-NEFs é de suma importância para entendermos processos chave para a manutenção de interações mutualísticas. As relações formiga-planta apresentam alta condicionalidade e estão sujeitas à diversos fenômenos intrínsecos (ambiente, tempo, clima, artrópodes associados) que podem afetar os resultados destas interações. Apesar do grande avanço nos estudos de plantas-NEFs nos últimos anos, podemos considerar que os estudos são geograficamente concentrados ver também Juárez-Juárez, Dáttilo & Moreno 2023). Somente a partir do registro da plantas-NEFs é possível, posteriormente, investigar os aspectos ecológicos e suas interações com a fauna associada.

Nosso estudo elenca algumas informações importantes, que podem tanto nortear futuros estudos (e.g. investigar plantas em ambientes inexplorados), quanto comprovar padrões de ocorrência, como por exemplo a dominância e consistência de Fabaceae nos biomas brasileiros. Sugere-se que estudos comparativos sejam realizados em outros países, a fim de podermos comparar a flora e possíveis padrões de ocorrência em biomas com características similares. Com tais informações, seria possível construir hipóteses biogeográficas e macroecológicas a respeito das plantas-NEFs.

## 6. REFERÊNCIAS

- Agostinho, A. A., Thomaz, S. M., & Gomes, L. C. 2005. Conservation of the biodiversity of Brazil's inland waters. *Conservation biology* **3**, 646-652.
- Alho, C.J.R. (2011). Biodiversity of the pantanal: Its magnitude, human occupation, environmental threats and challenges for conservation. *Brazilian J. Biol.* **71**, 229–232.
- Alves-Silva, E. (2011). Post fire resprouting of *Banisteriopsis malifolia* (Malpighiaceae) and the role of extrafloral nectaries on the associated ant fauna in a Brazilian Savanna. *Sociobiology* **58**, 327–340.
- Alves-Silva, E., Barônio, G.J., Torezan-Silingardi, H.M. & Del-Claro, K. (2013). Foraging behavior of *Brachygastra lecheguana* (Hymenoptera: Vespidae) on *Banisteriopsis malifolia* (Malpighiaceae): extrafloral nectar consumption and herbivore predation in a tending ant system. *Entomol. Sci.* **16**, 162–169.
- Alves-Silva, E. & Del-Claro, K. (2013). Effect of post-fire resprouting on leaf fluctuating asymmetry, extrafloral nectar quality, and ant-plant-herbivore interactions. *Naturwissenschaften* **100**, 525–532.
- Alves-Silva, E., Porto, A.C.F., Firmino, C., Silva, H.V., Becker, I., Resende, L., Borges, L., Pfeffer, L., Silvano, M., Galdiano, M.S., Silvestrini, R. & Moura, R. (2016). Are the impact factor and other variables related to publishing time in ecology journals? *Scientometrics* **108**, 1445–1453.
- Assunção, M.A., Torezan-Silingardi, H.M. & Del-Claro, K. (2014). Do ant visitors to extrafloral nectaries of plants repel pollinators and cause an indirect cost of mutualism? *Flora Morphol. Distrib. Funct. Ecol. Plants* **209**, 244–249.
- Bächtold, A., Alves-Silva, E., Kaminski, L.A. & Del-Claro, K. (2014). The role of tending ants in host plant selection and egg parasitism of two facultative myrmecophilous butterflies. *Naturwissenschaften* **101**, 913–919.
- Belchior, C., Sendoya, S.F. & Del-Claro, K. (2016). Temporal variation in the abundance and richness of foliage-dwelling ants mediated by extrafloral nectar. *PLoS One* **11**.
- Burger, H.F., Vondráčková, K., Skłodowski, M., Koid, Q., Dent, D.H., Wallace, K. & Fayle, T.M. (2021). Protection from herbivores varies among ant genera for the myrmecophilic plant *Leea aculeata* in Malaysian Borneo. *Asian Myrmecology* **14**, 1–16.
- Byk, J. & Del-Claro, K. (2010). Nectar- and pollen-gathering *Cephalotes* ants provide no protection against herbivory: A new manipulative experiment to test ant protective capabilities. *Acta Ethol.* **13**, 33–38.
- Cagua, E.F., Wootton, K.L. & Stouffer, D.B. (2019). Keystoneness, centrality, and the structural controllability of ecological networks. *J. Ecol.* **107**, 1779–1790.
- Calixto, E.S., Lange, D., Bronstein, J., Torezan-Silingardi, H.M. & Del-Claro, K. (2021a). Optimal Defense Theory in an ant-plant mutualism: extrafloral nectar as an induced defense is maximized in the most valuable plant structures. *J. Ecol.* **109**, 167–178.
- Calixto, E.S., Lange, D., Bronstein, J., Torezan-Silingardi, H.M. & Del-Claro, K. (2021b). Optimal Defense Theory in an ant-plant mutualism: Extrafloral nectar as an induced defence is maximized in the most valuable plant structures. *J. Ecol.* **109**, 167–178.
- Calixto, E.S., Lange, D. & Del-Claro, K. (2015). Foliar anti-herbivore defenses in *Qualea multiflora* Mart. (Vochysiaceae): changing strategy according to leaf development. *Flora - Morphol. Distrib. Funct. Ecol. Plants* **212**, 19–23.
- Calixto, E.S., Lange, D. & Del-Claro, K. (2021c). Net benefits of a mutualism: Influence of the quality of extrafloral nectar on the colony fitness of a mutualistic ant. *Biotropica* **53**, 846–856.
- Calixto, E.S., Lange, D., Moreira, X. & Del-Claro, K. (2021d). Plant species specificity of ant-plant mutualistic interactions: Differential predation of termites by *Camponotus*

- crassus on five species of extrafloral nectaries plants. *Biotropica* **53**, 1406–1414.
- Câmara, T., Leal, I.R., Blüthgen, N., Oliveira, F.M.P., Queiroz, R.T. d. & Arnan, X. (2018). Effects of chronic anthropogenic disturbance and rainfall on the specialization of ant–plant mutualistic networks in the Caatinga, a Brazilian dry forest. *J. Anim. Ecol.* **87**, 1022–1033.
- Camarota, F., Powell, S., Vasconcelos, H.L., Priest, G. & Marquis, R.J. (2015). Extrafloral nectaries have a limited effect on the structure of arboreal ant communities in a neotropical savanna. *Ecology* **96**, 231–240.
- Cardoso, D., Särkinen, T., Alexander, S., Amorim, A.M., Bittrich, V., Celis, M., Daly, D.C., Fiaschi, P., Funk, V.A., Giacomini, L.L., Goldenberg, R., Heiden, G., Iganci, J., Kelloff, C.L., Knapp, S., De Lima, H.C., Machado, A.F.P., Dos Santos, R.M., Mello-Silva, R., Michelangeli, F.A., Mitchell, J., Moonlight, P., De Moraes, P.L.R., Mori, S.A., Nunes, T.S., Pennington, T.D., Pirani, J.R., Prance, G.T., De Queiroz, L.P., Rapini, A., Riina, R., Rincon, C.A.V., Roque, N., Shimizu, G., Sobral, M., Stehmann, J.R., Stevens, W.D., Taylor, C.M., Trovó, M., Van Den Berg, C., Van Der Werff, H., Viana, P.L., Zartman, C.E. & Forzza, R.C. (2017). Amazon plant diversity revealed by a taxonomically verified species list. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **114**, 10695–10700.
- Costa, F. V., Mello, M.A.R., Bronstein, J.L., Guerra, T.J., Muylaert, R.L., Leite, A.C. & Neves, F.S. (2016). Few Ant Species Play a Central Role Linking Different Plant Resources in a Network in Rupestrian Grasslands. *PLoS One* **11**, e0167161.
- Costa, F.M.C.B., Oliveira-Filho, A.T. & Oliveira, P.S. (1992). The role of extrafloral nectaries in *Qualea grandiflora* (Vochysiaceae) in limiting herbivory: an experiment of ant protection in cerrado vegetation. *Ecol. Entomol.* **17**, 363–365.
- Coutinho, L.M. (2006). O conceito de bioma\_Biomas brasileiros. *Acta Botânica Bras.* **20**, 13–23.
- Dejean, A., Delabie, J.H.C., Cerdan, P., Gibernau, M. & Corbara, B. (2006). Are myrmecophytes always better protected against herbivores than other plants? *Biol J Linn Soc* **89**, 91–98.
- Del-Claro, K., Rico-Gray, V., Torezan-Silingardi, H.M., Alves-Silva, E., Fagundes, R., Lange, D., Dáttilo, W., Vilela, A.A., Aguirre, A. & Rodriguez-Morales, D. (2016). Loss and gains in ant–plant interactions mediated by extrafloral nectar: fidelity, cheats, and lies. *Insectes Soc.* **63**, 207–221.
- Fagundes, R., Dáttilo, W., Ribeiro, S.P., Rico-Gray, V., Jordano, P. & Del-Claro, K. (2017). Differences among ant species in plant protection are related to production of extrafloral nectar and degree of leaf herbivory. *Biol. J. Linn. Soc.* **122**, 71–83.
- Franco, M.S. & Cogni, R. (2013). Common-garden experiments reveal geographical variation in the interaction among *Crotalaria pallida* (Leguminosae: Papilionidae), *Utetheisa ornatrix* L. (Lepidoptera: Arctiidae), and extrafloral nectary visiting ants. *Neotrop. Entomol.* **42**, 223–229.
- Freitas, A.V.L. & Oliveira, P.S. (1992). Biology and behavior of the neotropical butterfly *Eunica bechina* (Nymphalidae) with special reference to larval defence against ant predation. *J. Res. Lepid.* **31**, 1–11.
- Freitas, A.V.L. & Oliveira, P.S. (1996). As selective agents of herbivore biology: effects on the behavior of a non-myrmecophilous butterfly. *J. Anim. Ecol.* **65**, 205–210.
- Giulietti, A.M., Harley, R.M., De Queiroz, L.P., Wanderley, M.D.G.L. & Van Den Berg, C. (2005). Biodiversity and conservation of plants in Brazil. *Conserv. Biol.* **19**, 632–639.
- Gomulkiewicz, R., Thompson, J.N., Holt, R.D., Nuismer, S.L. & Hochberg, M.E. (2000). Hot spots, cold spots, and the geographic mosaic theory of coevolution. *Am. Nat.* **156**, 156–174.
- González-Teuber, M. & Heil, M. (2009). The role of extrafloral nectar amino acids for the

- preferences of facultative and obligate ant mutualists. *J. Chem. Ecol.* **35**, 459–468.
- González, A.M.M., Dalsgaard, B. & Olesen, J.M. (2010). Centrality measures and the importance of generalist species in pollination networks. *Ecol. Complex.* **7**, 36–43.
- Guimarães, P.R. (2020). The structure of ecological networks across levels of organization. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* **51**, 433–460.
- Heil, M., Fiala, B., Baumann, B. & Linsenmair, K.E. (2000). Temporal, spatial and biotic variations in extrafloral nectar secretion by *Macaranga tanarius*. *Funct. Ecol.* **14**, 749–757.
- Holland, J.N., Chamberlain, S.A. & Horn, K.C. (2009). Optimal defence theory predicts investment in extrafloral nectar resources in an ant-plant mutualism. *J. Ecol.* **97**, 89–96.
- IBGE. (2004). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de biomas do Brasil [WWW Document]. URL <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>
- IBGE. (2023). Brasil em Síntese - Território [WWW Document]. *Inst. Bras. Geogr. e Estatística, Bras. em Síntese - Territ.* URL <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>
- Jones, I.M. & Koptur, S. (2015). Dynamic extrafloral nectar production: The timing of leaf damage affects the defensive response in *Senna mexicana* var. *Chapmanii* (Fabaceae). *Am. J. Bot.* **102**, 58–66.
- Jordán, F., Benedek, Z. & Podani, J. (2007). Quantifying positional importance in food webs: A comparison of centrality indices. *Ecol. Modell.* **205**, 270–275.
- Juárez-Juárez, B., Dáttilo, W. & Moreno, C.E. (2023). Synthesis and perspectives on the study of ant-plant interaction networks: A global overview. *Ecol. Entomol.* **48**, 269–283.
- Jr, C.A.S., Teodoro, P.E., Delgado, R.C., Teodoro, L.P.R., Lima, M., de Andréa Pantaleão, A., Baio, F.H.R., de Azevedo, G.B., de Oliveira Sousa Azevedo, G.T., Capristo-Silva, G.F., Arvor, D. & Facco, C.U. (2020). Persistent fire foci in all biomes undermine the Paris Agreement in Brazil. *Sci. Rep.* **10**, 1–14.
- Katayama, N. & Suzuki, N. (2011). Anti-herbivory defense of two *Vicia* species with and without extrafloral nectaries. *Plant Ecol.* **212**, 743–752.
- Klink, C.A. & Machado, R.B. (2005). A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade* **1**, 147–155.
- Koch, E.B.A., Camarota, F. & Vasconcelos, H.L. (2016). Plant ontogeny as a conditionality factor in the protective effect of ants on a neotropical tree. *Biotropica* **48**, 198–205.
- Koch, E.B.A., Dáttilo, W., Camarota, F. & Vasconcelos, H.L. (2018). From species to individuals: does the variation in ant-plant networks scale result in structural and functional changes? *Popul. Ecol.* **60**, 309–318.
- Koptur, S. (1994). Floral and Extrafloral Nectars of Costa Rican Inga Trees: A Comparison of their Constituents and Composition. *Biotropica* **26**, 276–284.
- Kost, C. & Heil, M. (2005). Increased availability of extrafloral nectar reduces herbivory in Lima bean plants (*Phaseolus lunatus*, Fabaceae). *Basic Appl. Ecol.* **6**, 237–248.
- Lach, L., Hobbs, R.J. & Majer, J.D. (2009). Herbivory-induced extrafloral nectar increases native and invasive ant worker survival. *Popul. Ecol.* **51**, 237–243.
- Lange, D., Calixto, E.S. & Del-Claro, K. (2017). Variation in extrafloral nectary productivity influences the ant foraging. *PLoS One* **12**.
- Lange, D., Calixto, E.S., Del-Claro, K. & Stefani, V. (2021). Spatiotemporal niche-based mechanisms support a stable coexistence of ants and spiders in an extrafloral nectary-bearing plant community. *J. Anim. Ecol.* **90**, 1570–1582.
- Leal, I.R., Fischer, E., Kost, C., Tabarelli, M. & Wirth, R. (2006). Ant protection against herbivores and nectar thieves in *Passiflora coccinea* flowers. *Ecoscience* **13**, 431–438.
- Leal, L.C., Andersen, A.N. & Leal, I.R. (2015). Disturbance winners or losers? Plants bearing extrafloral nectaries in Brazilian Caatinga. *Biotropica* **47**, 468–474.

- Macêdo, L.P.M., Silva, E.O. & Aguiar-Dias, A.C.A. de. (2021). Morphoanatomy and ecology of the extrafloral nectaries in two species of *Passiflora* L. (Passifloraceae). *South African J. Bot.* **143**, 248–255.
- Machado, S.R., Morellato, L.P.C., Sajo, M.G. & Oliveira, P.S. (2008). Morphological patterns of extrafloral nectaries in woody plant species of the Brazilian cerrado. *Plant Biol.* **10**, 660–673.
- Magalhães, V.B. de S. & Ferro, V.G. (2020). Are ants attracted to herbivorized leaves of *Caryocar brasiliense* camb. (caryocaraceae)? *Biota Neotrop.* **20**, 1–5.
- Melati, B.G. & Leal, L.C. (2018). Aggressive bodyguards are not always the best: Preferential interaction with more aggressive ant species reduces reproductive success of plant bearing extrafloral nectaries. *PLoS One* **13**, 1–13.
- Melo, Y., Machado, S.R. & Alves, M. (2010). Anatomy of extrafloral nectaries in Fabaceae from dry-seasonal forest in Brazil. *Bot. J. Linn. Soc.* **163**, 87–98.
- Miranda, V.S., Rodrigues, L.G., Dutra, S.C., Sobrinho, T.G. & Alves-Araújo, A. (2022). Extrafloral nectaries of an Atlantic Forest conservation area in Southeastern Brazil. *Acta Bot. Brasilica* **36**.
- Monique, K., de Souza, G.R., Calixto, E.S. & Silva, E.A. (2022). Temporal variation in the effect of ants on the fitness of myrmecophilic plants: seasonal effect surpasses periodic benefits. *Sci. Nat.* **109**, 1–9.
- Moura, R.F., Couto, C.M.V. & Del-Claro, K. (2022). Ant nest distribution and richness have opposite effects on a Neotropical plant with extrafloral nectaries. *Ecol. Entomol.* **47**, 626–635.
- Moura, R.F. & Del-Claro, K. (2023). Plants with extrafloral nectaries share indirect defenses and shape the local arboreal ant community. *Oecologia* **201**, 73–82.
- Muniz, D.G., Freitas, A.V.L. & Oliveira, P.S. (2012). Phenological relationships of *Eunica bechina* (Lepidoptera: Nymphalidae) and its host plant, *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae), in a Neotropical savanna. *Stud. Neotrop. Fauna Environ.* **47**, 111–118.
- Nahas, L., Gonzaga, M.O. & Del-Claro, K. (2017). Wandering and web spiders feeding on the nectar from extrafloral nectaries in neotropical savanna. *J. Zool.* **301**, 125–132.
- Neves, F.S., Braga, R.F., Araújo, L.S., Campos, R.I. & Fagundes, M. (2012). Differential effects of land use on ant and herbivore insect communities associated with *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae). *Rev. Biol. Trop.* **60**, 1065–1073.
- Nogueira, A., Baccaro, F.B., Leal, L.C., Rey, P.J., Lohmann, L.G. & Bronstein, J.L. (2020). Variation in the production of plant tissues bearing extrafloral nectaries explains temporal patterns of ant attendance in Amazonian understory plants. *J. Ecol.* **108**, 1578–1591.
- Nogueira, A., Rey, P.J., Alcántara, J.M., Feitosa, R.M. & Lohmann, L.G. (2015). Geographic mosaic of plant evolution: Extrafloral nectary variation mediated by ant and herbivore assemblages. *PLoS One* **10**, 1–24.
- Nogueira, A., Rey, P.J., Alcántara, J.M. & Lohmann, L.G. (2016). Evidence of between-population differences in natural selection on extra-floral nectaries of the shrub *Anemopaegma album* (Bignoniaceae). *Botany* **94**, 201–213.
- Oliveira, P.S. (1997). The ecological function of extrafloral nectaries: herbivore deterrence by visiting ants and reproductive output in *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae). *Funct. Ecol.* **11**, 323–330.
- Oliveira, P.S., Klitzke, C. & Vieira, E. (1995). The ant fauna associated with the extrafloral nectaries of *Ouratea hexasperma* (Ochnaceae) in a area of Cerrado vegetation in central Brazil. *Entomol. Monthly Mag.* **131**, 77–82.
- Oliveira, P.S. & Leitao-Filho, H.F. (1987). Extrafloral nectaries: their taxonomic distribution and abundance in the woody flora of cerrado vegetation in southeast Brazil. *Biotropica*

- 19**, 140–148.
- Oliveira, P.S. & Marquis, R.J. (2002). *The cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna. cerrados ...* New York: Columbia University Press.
- Oliveira, P.S., Silva, A.F. & Martins, A.B. (1987). Ant foraging on extrafloral nectaries of *Qualea grandiflora* (Vochysiaceae) in cerrado vegetation: ants as potential antiherbivore agents. *Oecologia* **74**, 228–230.
- Overbeck, G.E., Vélez-Martin, E., Scarano, F.R., Lewinsohn, T.M., Fonseca, C.R., Meyer, S.T., Müller, S.C., Ceotto, P., Dadalt, L., Durigan, G., Ganade, G., Gossner, M.M., Guadagnin, D.L., Lorenzen, K., Jacobi, C.M., Weisser, W.W. & Pillar, V.D. (2015). Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. *Divers. Distrib.* **21**, 1455–1460.
- Passos, F.C.S. & Leal, L.C. (2019). Protein matters: Ants remove herbivores more frequently from extrafloral nectary-bearing plants when habitats are protein poor. *Biol. J. Linn. Soc.* **127**, 407–416.
- Pereira, C.C., Boaventura, M.G., de Castro, G.C. & Cornelissen, T. (2020). Are extrafloral nectaries efficient against herbivores? Herbivory and plant defenses in contrasting tropical species. *J. Plant Ecol.* **13**, 423–430.
- Pinto, L.P., Bedê, L., Paese, A., Fonseca, M., Paglia, A. & Lamas, I. (2006). Mata Atlântica Brasileira: os desafios para conservação da biodiversidade de um hotspot mundial. *Biol. da Conserv. essências. São Carlos RiMa* 91–118.
- Pires, M.S., Calixto, E.S., Oliveira, D.C. & Del-Claro, K. (2017). A New Extrafloral Nectary-Bearing Plant Species in the Brazilian Savanna and its Associated Ant Community: Nectary Structure, Nectar Production and Ecological Interactions. *Sociobiology* **64**, 228.
- Possobom, C.C.F., Guimarães, E. & Machado, S.R. (2010). Leaf glands act as nectaries in *Diplopterys pubipetala* (Malpighiaceae). *Plant Biol.* **12**, 863–870.
- R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing.
- Ribeiro, L.F., Solar, R.R.C., Muscardi, D.C., Schoereder, J.H. & Andersen, A.N. (2018). Extrafloral nectar as a driver of arboreal ant communities at the site-scale in Brazilian savanna. *Austral Ecol.* **43**, 672–680.
- Rico-Gray, V. & Oliveira, P.S. (2007). *The ecology and evolution of ant-plant interactions*. University of Chicago Press.
- Roesch, L.F.W., Vieira, F.C.B., Pereira, V.A., Schünemann, A.L., Teixeira, I.F., Senna, A.J.T. & Stefenon, V.M. (2009). The Brazilian Pampa: A fragile biome. *Diversity* **1**, 182–198.
- Sazima, C., Guimarães, P.R., dos Reis, S.F. & Sazima, I. (2010). What makes a species central in a cleaning mutualism network? *Oikos* **119**, 1319–1325.
- Sendoya, S.F., Freitas, A.V.L. & Oliveira, P.S. (2009). Egg-laying butterflies distinguish predaceous ants by sight. *Am. Nat.* **174**, 134–40.
- Silva, E.A., Anjos, D., Bächtold, A., Lange, D., Maruyama, P.K., Del-Claro, K. & Mody, K. (2020). To what extent is clearcutting vegetation detrimental to the interactions between ants and Bignoniaceae in a Brazilian savanna? *J. Insect Conserv.* **24**, 103–114.
- Silva, J.M.C., Leal, I.R. & Tabarelli, M. (2017). *Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America*. Springer.
- Silva, J.M.C. & Tabarelli, M. (2000). Tree species impoverishment and the future flora of the Atlantic forest of northeast Brazil. *Nature* **404**, 72–74.
- Souza, C., Oliveira, F.M.P., Ribeiro, E.M.S., Silva, C.H.F., Durval, J.I.F. & Leal, I.R. (2022). Extrafloral nectar secretion does not mediate ant predatory activity on *Pityrocarpa moniliformis* plants in a seasonally dry forest. *Acta Oecologica* **114**, 103806.
- Souza, L.S., Soares, E.C., Domingos, S.S., Bächtold, A. & Silva, E.A. (2023). The best plant-guarding ants in extrafloral nectaried plants and myrmecophytes according to baiting

- tests. *bioRxiv* 1–28.
- Stefani, V., Pires, T.L., Torezan-Silingardi, H.M., Del-Claro, K. & Ballhorn, D. (2015). Beneficial effects of ants and spiders on the reproductive value of *Eriotheca gracilipes* (Malvaceae) in a tropical savanna. *PLoS One* **10**, 1–12.
- Thompson, J.N. (2005). *The geographic mosaic of coevolution*. Chicago: University of Chicago Press.
- Townsend, C.R., Costa, N.L. & Pereira, R.G.A. (2010). Aspectos econômicos da recuperação de pastagens na Amazônia brasileira. *Amaz. Ciência e Desenvolvimento, Belém* **5**, 27–49.
- Trentin, C.B., Trentin, A.B., Moreira, A. & Righi, E. (2021). Características da Vegetação dos Biomas Pampa e Cerrado Monitorados por NDVI. *Rev. Geoaraguaia* **11**, 69–84.
- Trøjelsgaard, K. & Olesen, J.M. (2016). Ecological networks in motion: micro- and macroscopic variability across scales. *Funct. Ecol.* **30**, 1926–1935.
- Vasconcelos, H.L., Koch, E.B.A., Camarota, F., Tito, R., Zuanon, L.A. & Maravalhas, J. (2020). Severe fires alter the outcome of the mutualism between ants and a neotropical savanna tree. *Biol. J. Linn. Soc.* **131**, 476–486.
- Vidal, M.C., Sendoya, S.F. & Oliveira, P.S. (2016). Mutualism exploitation: Predatory drosophilid larvae sugar-trap ants and jeopardize facultative ant-plant mutualism. *Ecology* **97**, 1650–1657.
- Vidal, M.C., Sendoya, S.F., Yamaguchi, L.F., Kato, M.J., Oliveira, R.S. & Oliveira, P.S. (2018). Natural history of a sit-and-wait dipteran predator that uses extrafloral nectar as prey attractant. *Environ. Entomol.* **47**, 1165–1172.
- Vilela, A.A., Torezan-Silingardi, H.M. & Del-Claro, K. (2014). Conditional outcomes in ant-plant-herbivore interactions influenced by sequential flowering. *Flora* **209**, 359–366.

**Apêndice 1.** Lista das plantas com nectários extraflorais investigadas no estudo, obtidas através de artigos publicados

<b>Espécie</b>	<b>Família</b>
<i>Anacardium occidentale</i>	Anarcadiaceae
<i>Aspidosperma parvifolium</i>	Apocynaceae
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Apocynaceae
<i>Aspidosperma pyriforme</i>	Apocynaceae
<i>Forsteronia glabrescens</i>	Apocynaceae
<i>Adenocalymma adenophorum</i>	Bignoniaceae
<i>Adenocalymma flaviflorum</i>	Bignoniaceae
<i>Adenocalymma longilinum</i>	Bignoniaceae
<i>Adenocalymma moringifolium</i>	Bignoniaceae
<i>Adenocalymma neoflavum</i>	Bignoniaceae
<i>Adenocalymma peregrinum</i>	Bignoniaceae
<i>Adenocalymma tanaeciicarpum</i>	Bignoniaceae
<i>Amphilophium parkeri</i>	Bignoniaceae
<i>Anemopaegma album</i>	Bignoniaceae
<i>Anemopaegma robustum</i>	Bignoniaceae
<i>Anemopaegma scabriusculum</i>	Bignoniaceae
<i>Bignonia aequinocialis</i>	Bignoniaceae
<i>Bignonia priurei</i>	Bignoniaceae
<i>Cydistax antisiphilitica</i>	Bignoniaceae
<i>Distictella elongata</i>	Bignoniaceae
<i>Fridericia cf trailli</i>	Bignoniaceae
<i>Fridericia prancei</i>	Bignoniaceae
<i>Fridericia triplinervia</i>	Bignoniaceae
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	Bignoniaceae
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Bignoniaceae
<i>Handroanthus ochraceus</i>	Bignoniaceae
<i>Pachyptera aromatica</i>	Bignoniaceae
<i>Pleonotoma albiflora</i>	Bignoniaceae
<i>Pleonotoma melioides</i>	Bignoniaceae
<i>Tabebuia aurea</i>	Bignoniaceae
<i>Tabebuia ochracea</i>	Bignoniaceae
<i>Tynanthus panurensis</i>	Bignoniaceae
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	Bignoniaceae
<i>Cochlospermum regium</i>	Bixaceae
<i>Varronia curassavica</i>	Boraginaceae
<i>Aechmea lindenii</i>	Bromeliaceae
<i>Aechmea nudicaulis</i>	Bromeliaceae
<i>Protium heptaphyllum</i>	Burseraceae
<i>Pilosocereus tuberculatus</i>	Cactaceae
<i>Tacinga palmadora</i>	Cactaceae
<i>Cynophalla flexuosa</i>	Capparaceae
<i>Caryocar brasiliense</i>	Caryocaraceae

---

<i>Licania humilis</i>	Chrysobalanaceae
<i>Licania octandra</i>	Chrysobalanaceae
<i>Laguncularia racemosa</i>	Combretaceae
<i>Terminalia fagifolia</i>	Combretaceae
<i>Ipomoea carnea</i>	Convolvulaceae
<i>Costus scaber</i>	Costaceae
<i>Diospyros hispida</i>	Ebenaceae
<i>Aparistimium cordatum</i>	Euphorbiaceae
<i>Cnidoscopus bahianus</i>	Euphorbiaceae
<i>Cnidoscopus quercifolius</i>	Euphorbiaceae
<i>Croton adamantinus</i>	Euphorbiaceae
<i>Croton heliotropiifolius</i>	Euphorbiaceae
<i>Croton nepetifolius</i>	Euphorbiaceae
<i>Croton sonderianus</i>	Euphorbiaceae
<i>Croton tricolor</i>	Euphorbiaceae
<i>Mabea occidentalis</i>	Euphorbiaceae
<i>Manihot caerulescens</i>	Euphorbiaceae
<i>Maprounea guianensis</i>	Euphorbiaceae
<i>Omphalea diandra</i>	Euphorbiaceae
<i>Sapium glandulatum</i>	Euphorbiaceae
<i>Sapium glandulosum</i>	Euphorbiaceae
<i>Acacia multipinnata</i>	Fabaceae
<i>Albizia pedicellari</i>	Fabaceae
<i>Anadenanthera colubrina</i>	Fabaceae
<i>Anadenanthera falcata</i>	Fabaceae
<i>Ancistrotropis firmula</i>	Fabaceae
<i>Bauhinia cheilantha</i>	Fabaceae
<i>Bauhinia rufa</i>	Fabaceae
<i>Bionia coriacea</i>	Fabaceae
<i>Chamaecrista apoucouita</i>	Fabaceae
<i>Chamaecrista debilis</i>	Fabaceae
<i>Chamaecrista desvauxii</i>	Fabaceae
<i>Chamaecrista ensiformes</i>	Fabaceae
<i>Chamaecrista mucronata</i>	Fabaceae
<i>Chamaecrista nictitans</i>	Fabaceae
<i>Chloroleucon foliolosum</i>	Fabaceae
<i>Copaifera langsdorffii</i>	Fabaceae
<i>Crotalaria micans</i>	Fabaceae
<i>Crotalaria pallida</i>	Fabaceae
<i>Dimorphandra mollis</i>	Fabaceae
<i>Dipteryx odorata</i>	Fabaceae
<i>Enterolobium gummiferum</i>	Fabaceae
<i>Hymenaea courbaril</i>	Fabaceae
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	Fabaceae
<i>Inga blanchetiana</i>	Fabaceae
<i>Inga capitata</i>	Fabaceae

---

---

<i>Inga cayennensis</i>	Fabaceae
<i>Inga edulis</i>	Fabaceae
<i>Inga sessilis</i>	Fabaceae
<i>Inga stipularis</i>	Fabaceae
<i>Inga vulpina</i>	Fabaceae
<i>Leucaena leucocephala</i>	Fabaceae
<i>Machaerium multifoliolatum</i>	Fabaceae
<i>Mimosa guilandinae</i>	Fabaceae
<i>Mimosa tenuiflora</i>	Fabaceae
<i>Parkia pendula</i>	Fabaceae
<i>Piptadenia minutiflora</i>	Fabaceae
<i>Piptadenia stipulacea</i>	Fabaceae
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>	Fabaceae
<i>Plathymenia reticulata</i>	Fabaceae
<i>Poincianella microphylla</i>	Fabaceae
<i>Poincianella pyramidalis</i>	Fabaceae
<i>Pterodon pubescens</i>	Fabaceae
<i>Senegalia bahiensis</i>	Fabaceae
<i>Senegalia cf polyphylla</i>	Fabaceae
<i>Senegalia piauiensis</i>	Fabaceae
<i>Senegalia pollyphylla</i>	Fabaceae
<i>Senna cathartica</i>	Fabaceae
<i>Senna macranthera</i>	Fabaceae
<i>Senna pendula</i>	Fabaceae
<i>Senna reniformis</i>	Fabaceae
<i>Senna rizzinii</i>	Fabaceae
<i>Senna rugosa</i>	Fabaceae
<i>Senna splendida</i>	Fabaceae
<i>Senna velutina</i>	Fabaceae
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	Fabaceae
<i>Stryphnodendron obovatum</i>	Fabaceae
<i>Stryphnodendron polyphyllum</i>	Fabaceae
<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i>	Fabaceae
<i>Stryphnodendron rotundifolium</i>	Fabaceae
<i>Aegiphila integrifolia</i>	Lamiaceae
<i>Aegiphila lhotzkiana</i>	Lamiaceae
<i>Lafoensia pacari</i>	Lythraceae
<i>Banisteriopsis argyrophylla</i>	Malpighiaceae
<i>Banisteriopsis campestris</i>	Malpighiaceae
<i>Banisteriopsis laevifolia</i>	Malpighiaceae
<i>Banisteriopsis malifolia</i>	Malpighiaceae
<i>Banisteriopsis stellaris</i>	Malpighiaceae
<i>Heteropterys byrsonimifolia</i>	Malpighiaceae
<i>Heteropterys pteropetala</i>	Malpighiaceae
<i>Heteropterys umbellata</i>	Malpighiaceae
<i>Peixotoa parviflora</i>	Malpighiaceae

---

---

<i>Peixotoa tomentosa</i>	Malpighiaceae
<i>Eriotheca gracilipes</i>	Malvaceae
<i>Gossypium hirsutum</i>	Malvaceae
<i>Hibiscus pernambucensis</i>	Malvaceae
<i>Triumfetta semitriloba</i>	Malvaceae
<i>Guarea macrophylla</i>	Meliaceae
<i>Rapanea guianensis</i>	Myrsinaceae
<i>Psidium australe</i>	Myrtaceae
<i>Psidium cinereum</i>	Myrtaceae
<i>Ouratea castaneifolia</i>	Ochnaceae
<i>Ouratea hexasperma</i>	Ochnaceae
<i>Ouratea spectabilis</i>	Ochnaceae
<i>Epidendrum cinnabarinum</i>	Orchidaceae
<i>Epidendrum denticulatum</i>	Orchidaceae
<i>Passiflora ceratocarpa</i>	Passifloraceae
<i>Passiflora coccinea</i>	Passifloraceae
<i>Passiflora quadrangularis</i>	Passifloraceae
<i>Alibertia sessilis</i>	Rubiaceae
<i>Cordia elliptica</i>	Rubiaceae
<i>Declieuxia fruticosa</i>	Rubiaceae
<i>Palicourea rigida</i>	Rubiaceae
<i>Tocoyena bullata</i>	Rubiaceae
<i>Tocoyena formosa</i>	Rubiaceae
<i>Banara guianensis</i>	Salicaceae
<i>Simarouba amara</i>	Simaroubaceae
<i>Smilax polyantha</i>	Smilacaceae
<i>Turnera cearensis</i>	Turneraceae
<i>Turnera subulata</i>	Turneraceae
<i>Stachytarpheta glabra</i>	Verbenaceae
<i>Qualea grandiflora</i>	Vochysiaceae
<i>Qualea multiflora</i>	Vochysiaceae
<i>Qualea parviflora</i>	Vochysiaceae

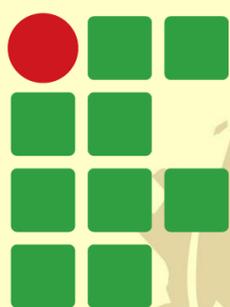
---

## Apêndice 2. Pacotes utilizados no programa R.

- Auguie B (2017). gridExtra: miscellaneous functions for "Grid" graphics. R package version 2.3, <<https://CRAN.R-project.org/package=gridExtra>>.
- Fox, J & Weisberg, S. (2019). An {R} Companion to applied regression, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- Hothorn T, Bretz F, Westfall P (2008). Simultaneous inference in general parametric models. Biometrical Journal, 50 (3), 346-363.
- Lenth R (2023). emmeans: estimated marginal means, aka least-squares means. R package version 1.8.5, <<https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>>.
- Ogle DH, Doll JC, Wheeler AP, Dinno A (2023). \_FSA: simple fisheries stock assessment methods. R package version 0.9.4, <<https://CRAN.R-project.org/package=FSA>>.
- Pebesma, E., & Bivand, R. (2023). Spatial data science: with applications in R (1st ed.). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780429459016>
- Pebesma, E., 2018. Simple features for R: standardized support for spatial vector data. The R Journal 10 (1), 439-446, <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>
- Pereira, R & Goncalves, C (2022). geobr: download official spatial data sets of Brazil. R package version 1.7.0, <<https://CRAN.R-project.org/package=geobr>>.
- R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002) Modern applied statistics with S. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0
- Wickham H, François R, Henry L, Müller K, Vaughan D (2023). dplyr: A grammar of data manipulation. R package version 1.1.0, <<https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>>.
- Wickham, H. ggplot2: Elegant graphics for data analysis. Springer-Verlag New York, 2016.

**Apêndice 3.** Riqueza de espécies de plantas com nectários extraflorais em diferentes famílias.

<b>Família</b>	<b>Riqueza</b>
Fabaceae	59
Bignoniaceae	28
Euphorbiaceae	14
Malpighiaceae	10
Rubiaceae	6
Apocynaceae	4
Malvaceae	4
Ochnaceae	3
Passifloraceae	3
Vochysiaceae	3
Bromeliaceae	2
Cactaceae	2
Chrysobalanaceae	2
Combretaceae	2
Lamiaceae	2
Myrtaceae	2
Orchidaceae	2
Turneraceae	2
Anarcadiaceae	1
Bixaceae	1
Boraginaceae	1
Burseraceae	1
Capparaceae	1
Caryocaraceae	1
Convovulaceae	1
Costaceae	1
Ebenaceae	1
Lythraceae	1
Meliaceae	1
Myrsinaceae	1
Salicaceae	1
Simaroubaceae	1
Smilacaceae	1
Verbenaceae	1



# INSTITUTO FEDERAL

Goiano

---

Campus  
Urutaí

