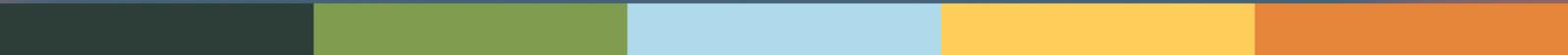


**Série Biota Síntese:**  
Nota Técnico-Científica 5

# **POTENCIAL DO SERVIÇO ECOSSISTÊMICO DE POLINIZAÇÃO**

no estado de São Paulo



**Série Biota Síntese:**  
Nota Técnico-Científica 5

# POTENCIAL DO SERVIÇO ECOSSISTÊMICO DE POLINIZAÇÃO

no estado de São Paulo

**Série Biota Síntese**

Edição



Realização

Apoio





Esta obra é de acesso aberto. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citadas a fonte e a autoria e respeitando-se a Licença **Creative Commons** indicada.

**Catálogo na Publicação**  
**Divisão de Gestão de Tratamento da Informação da**  
**Agência de Bibliotecas e Coleções Digitais da USP**

Potencial do serviço ecossistêmico de polinização : no estado de São Paulo [recurso eletrônico] / Eduardo Freitas Moreira ... [et al.] – São Paulo : Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo, 2024.

52 p. : il. – (Série Biota Síntese: nota técnico-científica, ISSN 2966-067X ; 5)

ISBN 978-65-87773-70-4

DOI 10.11606/9786587773704

1. Serviços ambientais 2. Ecossistemas 3. Polinização 4. Sustentabilidade 5. Recursos naturais 6. Políticas públicas (São Paulo)  
I. Moreira, Eduardo Freitas II. Série Biota Síntese

CDD (23.ed) – 576.8

Elaborado por Cristina Miyuki Narukawa – CRB-8/8302

**Como citar esta publicação:**

MOREIRA, E. F.; TOURINHO, L.; CHAVES, R. B.; VIANA, B. F.; MENEZES, C.; AGOSTINI, K.; ABREU, C. M. G. de; AZEVEDO, C. M. do A.; LOPES, L. E. L.; IVANAUSKAS, N. M.; METZGER, J. P.; BOSCOLO, D. *Potencial do serviço ecossistêmico de polinização no estado de São Paulo*. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP; Instituto de Pesquisas Ambientais, 2024. DOI: <https://doi.org/10.11606/9786587773704>

**Série Biota Síntese:**  
Nota Técnico-Científica 5

# POTENCIAL DO SERVIÇO ECOSSISTÊMICO DE POLINIZAÇÃO

no estado de São Paulo

## **Autores**

Eduardo Freitas Moreira (*USP*)  
Luara Tourinho (*USP*)  
Rafael B. Chaves (*Semil*)  
Blandina Felipe Viana (*UFBA*)  
Cristiano Menezes (*Embrapa Meio Ambiente*)  
Kayna Agostini (*UFSCar*)  
Camila Matias Goes de Abreu (*Semil*)  
Cristina Maria do Amaral Azevedo (*Semil*)  
Luciano Elsinor Lopes (*UFSCar*)  
Natália Macedo Ivanauskas (*Semil*)  
Jean Paul Metzger (*USP*)  
Danilo Boscolo (*USP*)

### **UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

Reitor: Carlos Gilberto Carlotti Junior  
Vice-reitora: Maria Arminda do  
Nascimento Arruda

### **SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Secretária: Natália Resende  
Subsecretário de Meio Ambiente:  
Jônatas Souza da Trindade

### **INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS**

Diretora: Roseli de Deus Lopes  
Vice-diretor: Marcos Buckeridge

### **INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS**

Diretor: Marco Aurelio Nalon  
Substituto: Emerson Alves da Silva

Esta publicação é fruto de coprodução envolvendo pesquisadores e gestores públicos. Além das pessoas que participaram ativamente da redação e revisão deste documento, contamos com as contribuições em discussões em formato de oficinas nas reuniões da Síntese de Polinização do projeto Biota Síntese, com a participação dos profissionais a seguir:

### **Participantes da 1ª Reunião de Síntese da Polinização**

Bruno Henrique Aranda (*Semil*)

Carolina Roberta Alves de Matos (*SAA*)

Cristiano Menezes

(*Embrapa Meio Ambiente*)

Daniel Tobin (*USP*)

Danilo Boscolo (*USP*)

Débora Drucker

(*Embrapa Agricultura Digital*)

Eduardo Freitas Moreira (*USP*)

Gerd Sparovek (*USP*)

Helena Carrascosa von Glehn (*Semil*)

Jean Paul Metzger (*USP*)

Katia Sampaio Malagoli Braga

(*Embrapa Meio Ambiente*)

Kayna Agostini (*UFSCar*)

Luara Tourinho (*USP*)

Luciano Elsinor Lopes (*UFSCar*)

Natália Macedo Ivanauskas (*Semil*)

Patricia Guidão Cruz Ruggiero (*USP*)

Paulo José de Araújo Cardoso (*USP*)

Pedro Alves Duarte (*USP*)

Rafael Barreiro Chaves (*Semil*)

Raini Tarantino Coutinho (*USP*)

Silvana Back Franco (*Semil*)

Tomas Ferreira Domingues (*USP*)

### **Participantes da 2ª Reunião de Síntese da Polinização: Grupo de Trabalho PEARC**

Cristina Maria do Amaral Azevedo (*Semil*)

Danilo Boscolo (*USP*)

Eduardo Freitas Moreira (*USP*)

Jean Paul Metzger (*USP*)

Luara Tourinho (*USP*)

Natalia Macedo Ivanauskas (*Semil*)

Paloma Rocha Arakaki (*Semil*)

Paulo José Cardoso (*USP*)

Rafael Barreiro Chaves (*Semil*)

Raini Tarantino Coutinho (*USP*)

## SUMÁRIO

### **6 A SÉRIE BIOTA SÍNTESE**

### **8 APRESENTAÇÃO**

8 CONTEXTO

10 OBJETIVOS

### **11 MÉTODOS**

11 ÁREA DE ESTUDO E MODELO DE PROVISÃO

11 OFERTA

13 FLUXO

14 DEMANDA

15 CÁLCULO DO DÉFICIT E PROVISÃO DO SERVIÇO DE POLINIZAÇÃO

16 CADEIA DO SERVIÇO DE POLINIZAÇÃO

18 VALORAÇÃO DO SERVIÇO DE POLINIZAÇÃO

### **19 MAPEANDO BENEFÍCIOS: ANÁLISE DA PROVISÃO E DÉFICIT DO SERVIÇO DE POLINIZAÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO**

23 VALORAÇÃO DA POLINIZAÇÃO

### **27 APLICABILIDADE DO MODELO**

27 SERVIÇO DE POLINIZAÇÃO E CONSERVAÇÃO DOS POLINIZADORES

29 RESTAURAÇÃO E PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS

31 ADAPTAÇÃO E RESILIÊNCIA CLIMÁTICA

### **35 JANELAS DE OPORTUNIDADE NAS POLÍTICAS ESTADUAIS**

### **40 SÍNTESE DE POLINIZAÇÃO**

### **41 ACESSO AOS DADOS COMPLETOS**

### **42 REFERÊNCIAS**

## A SÉRIE BIOTA SÍNTESE

### Coordenação do Biota Síntese:

**Jean Paul Metzger, Rafael B. Chaves,  
Gerd Sparovek, Carlos Alfredo Joly**

A intensificação dos impactos socioambientais, principalmente aqueles ligados às mudanças climáticas, à rápida perda da biodiversidade e à degradação de ecossistemas naturais, é um claro alerta. A tendência atual de degradação intensa e abrangente não é sustentável em curto, médio ou longo prazos. O momento de ação é agora, não apenas para a redução dos vetores de degradação, como também para reversão desta tendência de perda de espécies e serviços ecossistêmicos, que diretamente afeta nosso bem-estar e saúde. É urgente e preciso inovar na forma de produzir respostas e transformar o conhecimento científico, as experiências práticas de governança e o conhecimento local, tradicional e ancestral em “conhecimento acionável”.

O “Biota Síntese” (Núcleo de Análise e Síntese de Soluções Baseadas na Natureza) visa avançar neste sentido, aproximando partes interessadas da academia e instituições governamentais e não governamentais, para coproduzir conhecimento que possa ser utilizado em práticas e políticas públicas socioambientais no âmbito do estado de São Paulo.

O foco do Biota Síntese é a coprodução, de forma colaborativa e transdisciplinar, de soluções baseadas na natureza. Essas soluções englobam um amplo espectro de ações, da conservação ao uso sustentável e à restauração, que se utilizam de processos ou serviços ecossistêmicos para enfrentar desafios sociais, gerando benefícios tanto para a sociedade quanto para a biodiversidade. E importante: essas soluções precisam ser cocriadas.

O Biota Síntese oferece esse espaço de encontro e discussão, de aproximação entre atores que participam da formulação de políticas públicas. O cientista quer contribuir com evidências e dados, o gestor público quer embasar suas ações em ciência e a sociedade civil quer trazer suas

demandas e experiências. Há vontade, complementaridade e sinergia na participação conjunta desses atores em formulação, desenho, redesenho, análise, monitoramento, implementação e inovação na gestão pública. O maior desafio é operacional; ao criar um espaço de diálogo, o Biota Síntese procura contribuir para catalisar essas interações e permite que o conhecimento já existente possa ser reanalisado, recontextualizado para embasar ações transformativas, voltadas para transições sustentáveis. Essa forma de produzir conhecimento a partir de dados já existentes, também conhecida como “ciência de síntese”, é a principal abordagem utilizada pelo grupo.

Com financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), somamos cerca de 100 membros, entre pesquisadores principais, associados e colaboradores, provindos de diversas instituições (5 universidades, 6 institutos de pesquisa, 3 secretarias estaduais, 3 prefeituras e 4 organizações não governamentais).

Acreditamos que a publicação de documentos de síntese, escritos de forma simples e que dialogam diretamente com demandas da atualidade, é uma forma efetiva de comunicação, registro e interação entre a ciência e a sociedade.

Com esse intuito, numa parceria do Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, que abriga o Biota Síntese, com o Instituto de Pesquisas Ambientais e a Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo, lançamos a “Série Biota Síntese”, um meio de registro e apresentação do “conhecimento acionável” para transições sustentáveis.

Esperamos que todos aproveitem e façam uso deste conhecimento.

# APRESENTAÇÃO

## Contexto

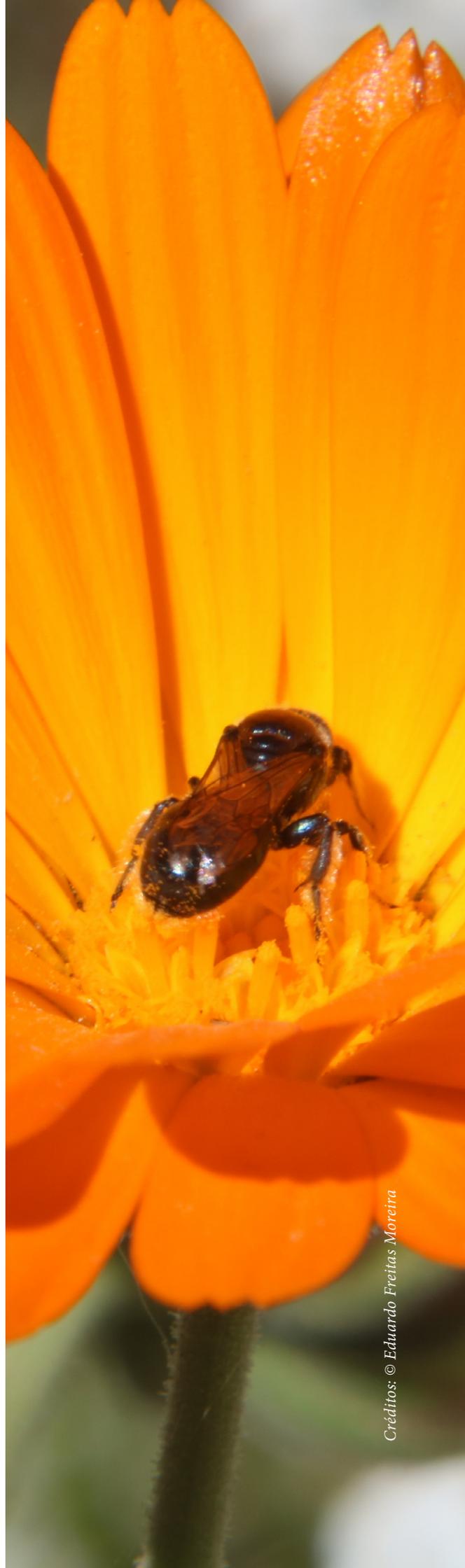
Entre os Serviços Ecosistêmicos (SE) providos pela biodiversidade, a polinização é um dos mais estudados. Avaliada como altamente relevante para as atividades agrícolas, a polinização tem valor estimado entre US\$ 235 bilhões e US\$ 577 bilhões em nível global (IPBES, 2016). No Brasil, calcula-se que a polinização é responsável por cerca de R\$ 43 bilhões do valor da produção agrícola anual, e de R\$ 5 bilhões para a produção anual paulista, segundo o Relatório Temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos (R\$ 75 bilhões e R\$ 7.7 bilhões corrigindo pela inflação [Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA], BPBES [Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos]; Wolowski et al., 2019). Apesar da sua importância econômica e do amplo conhecimento técnico-científico disponível sobre os fatores que influenciam a polinização e seus benefícios para a produção agrícola, esse conhecimento ainda se reflete pouco em políticas públicas ou em mudanças efetivas no setor produtivo.

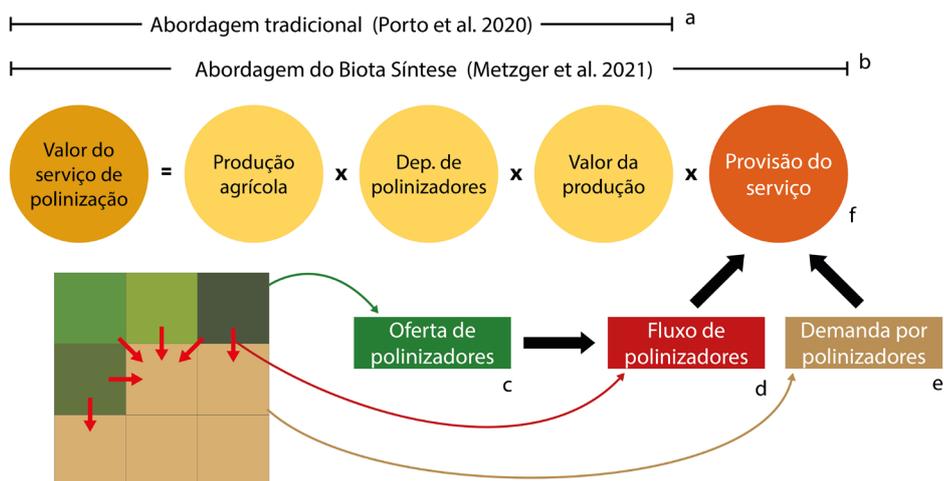
Um desafio fundamental para a conservação e o aproveitamento desse serviço na gestão pública é a complexidade dos processos que afetam a polinização. Aspectos que precisam ser mais bem entendidos são, por exemplo: identificar qual a dependência da polinização para cada variedade; quais fatores devem ser considerados para a avaliação da efetiva provisão desse serviço; como incorporá-los em instrumentos de políticas públicas relacionadas à produção agrícola e à conservação; e como valorar esse serviço considerando contextos locais. A maioria das abordagens de valoração desse serviço considera poucas dimensões de sua complexidade, baseando-se apenas na estimativa do nível de dependência dos polinizadores de cada cultura, multiplicada pelo valor da produção agrícola (e.g., Figura 1a; Porto et al., 2020; Siopa et al., 2024). Esse método fornece alguma informação sobre a importância monetária da polinização, mas a estimativa de provisão do serviço de polinização assume igualdade de condições em toda a área destinada à produção agrícola (e.g. Porto et al., 2020; Siopa et al., 2024). Além disso, são ignorados aspectos cruciais para estimar localmente a provisão do serviço, como o papel da estrutura espacial das paisagens rurais, o contexto ambiental em que os cultivos estão inseridos e a diversidade de polinizadores (Metzger et al., 2021; Campbell et al., 2023).

Sabe-se que quanto maior a diversidade de polinizadores silvestres, maior a produtividade agrícola em razão da polinização (Campbell et al., 2023). Essa diversidade, por sua vez, é proporcional à quantidade de vegetação nativa e variedade de ambientes presentes na paisagem onde as áreas agrícolas estão inseridas (Moreira et al., 2015; 2018a;

Campbell et al., 2023). Entretanto, estima-se que esse aumento tenha limiar de *ca* 40% de cobertura vegetal, a partir do qual há queda na produção agrícola, pela redução da quantidade de área cultivada e saturação da demanda por polinização (Moreira et al., 2015, 2018a; Campbell et al., 2023). A estrutura espacial, considerando a configuração e a composição de paisagens com sistemas agrícolas e vegetação nativa, é determinante para a manutenção da diversidade de polinizadores e, conseqüentemente, para a provisão do serviço de polinização. Como os polinizadores silvestres associados a ambientes naturais e seminaturais são os maiores contribuintes para o serviço de polinização (Garibaldi et al., 2011; Rader et al., 2016), a quantidade desses ambientes e sua localização em relação aos campos de cultivo são cruciais para a provisão e o déficit de polinização (Metzger et al., 2021). Quanto mais distante os locais que demandam polinização estão da vegetação nativa, fonte natural de polinizadores, maior dificuldade haverá de que o serviço seja provido (Ricketts, 2004; González-Chaves et al., 2020; Campbell et al., 2023).

Assim, para estimar o potencial de provisão de polinização e valorá-lo é essencial que se identifiquem e se mapeiem: (1) a área potencial de oferta do serviço (onde os polinizadores vivem e de onde se dispersam para os cultivos); (2) o fluxo de polinizadores, considerando sua capacidade de dispersão, a direção e o sentido do movimento e a distância entre a oferta e a demanda; e (3) a área potencial de demanda (cultivos alvo de polinização) (Figura 1b; Metzger et al., 2021). Dessa forma, é possível avaliar se o serviço está alcançando a demanda, considerando o decaimento de provisão à medida que o cultivo fica distante da área fonte de polinizadores.





**Figura 1** – Cadeia de avaliação e valoração do serviço de polinização. A abordagem tradicional (a) considera que o valor do serviço pode ser estimado a partir da produção agrícola, valor da produção e dependência do cultivo por polinizadores. A abordagem mais recente, adotada pelo Projeto Biota Síntese (b), incorpora a cadeia de provisão, considerando a fonte da oferta, o fluxo de polinizadores e a demanda por polinização, sob uma perspectiva espacialmente explícita. Fonte: Biota Síntese, 2024.

## Objetivo

O objetivo deste documento é apresentar um modelo de provisão potencial de polinização considerando a localização de cultivos e áreas de vegetação nativa, baseado na conexão entre oferta, fluxo e demanda, bem como valorar esse serviço para a produção agrícola do estado de São Paulo. Esse modelo, desenvolvido no âmbito do programa Biota Síntese, supera muitas das deficiências das abordagens tradicionais ao estimar a provisão da polinização. O modelo foi elaborado e aplicado para todo o estado de São Paulo, de forma a possibilitar a identificação de possíveis aderências e desafios para sua incorporação e utilização em políticas públicas paulistas.

## MÉTODOS

### Área de estudo e modelo de provisão

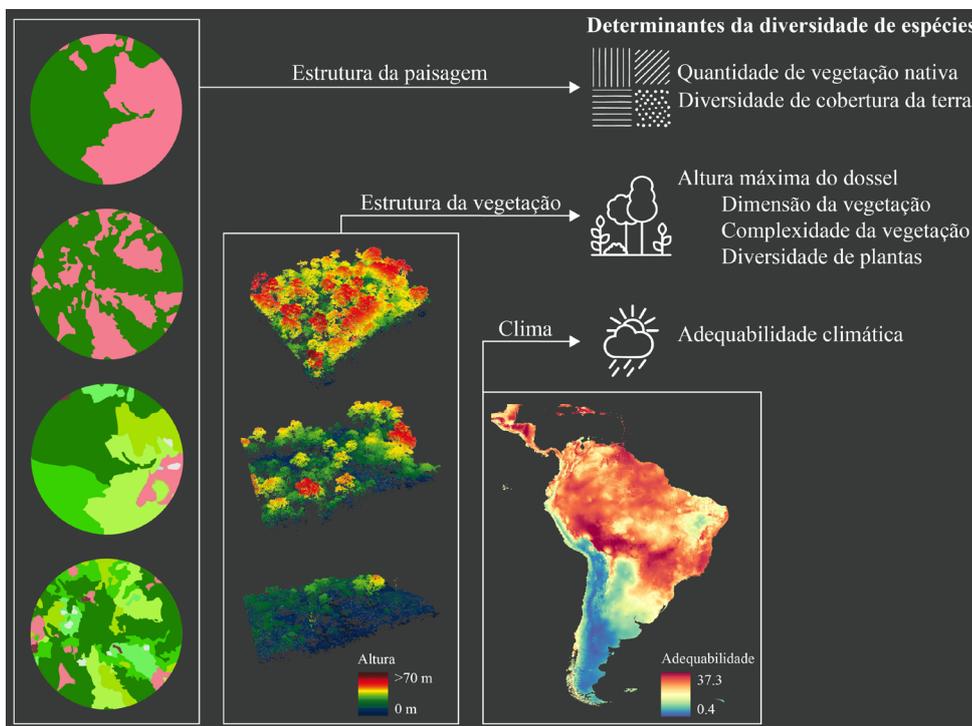
O estado de São Paulo abrange cerca de 250.000 km<sup>2</sup>, 645 municípios; tem população de 45 milhões de pessoas e é dividido em 22 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) (IBGE, 2023). Inclui dois *hotspots* globais de biodiversidade, a Mata Atlântica e o Cerrado (MapBiomias, 2023; Myers et al., 2000). São Paulo tem 5.670.532 ha de vegetação nativa remanescente, o que equivale a 22,9% de seu território (Sima/IPA, 2022). Entre esses remanescentes de vegetação nativa, 1% corresponde ao Cerrado (Savanas brasileiras) e 21,9% correspondem à Mata Atlântica. Seus principais cultivos são cana-de-açúcar, soja e laranja, sendo os dois últimos dependentes de polinização (IBGE, 2023). Conforme o último levantamento disponível do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM, IPEA/FJP/PNUD, 2013) e do Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS) (Seade, 2013), as regiões com níveis mais baixos de desenvolvimento humano, bem como de alta vulnerabilidade social, estão concentradas na zona rural desse estado.

Para explicar os métodos de modo mais claro, dividimos o modelo de provisão em três submodelos: de oferta, de fluxo, e de demanda. A oferta se refere à disponibilidade de polinizadores selvagens; o fluxo, à probabilidade de os polinizadores alcançarem a demanda; e a demanda, aos cultivos que dependem do processo de polinização em algum nível para produzir seus frutos.

### Oferta

O submodelo de oferta do serviço de polinização estima a quantidade e diversidade de polinizadores ofertados ao sistema por ambientes nativos em razão de três aspectos: estrutura da paisagem; estrutura da vegetação; e adequabilidade climática (Figura 2). A estrutura da paisagem inclui dois aspectos: quantidade de vegetação nativa e diversidade da cobertura da terra (Stein et al., 2014). Para definir a localização das áreas da vegetação nativa (oferta) e calcular a diversidade de ambientes em cada contexto acessado, utilizamos os dados mais atuais (2022) de cobertura e uso do solo do Projeto MapBiomias (coleção 8; MapBiomias, 2023), com resolução espacial de 30 m (Figura 3). A estrutura da vegetação inclui outras três grandezas: o porte da vegetação, sua estrutura interna (estratificação e complexidade) e a diversidade de plantas, todas elas consideradas aqui através da altura máxima do dossel (Moreira et al., 2015; Lang et al., 2023). Para tanto, utilizamos um modelo de altura máxima do dossel baseado em imagens do satélite Sentinel-2 e parametrizado com os dados de Light Detection and Ranging (Lidar) da missão Global Ecosystem Dynamics Investigation (Gedi) (Lang et al., 2023). A adequabilidade

climática considera quão favorável é o clima de determinada região para um número de espécies polinizadoras e foi derivada de modelos que estimam a probabilidade de ocorrência das espécies em razão de variáveis climáticas, também conhecidos como Modelos de Nicho Ecológico (MNE). Como estimativa da adequabilidade climática, utilizamos o índice de entropia de Shannon sobre as probabilidades de ocorrência das espécies, produzidas a partir de MNE. Utilizamos o algoritmo de máxima entropia (Maxent) para as espécies de abelhas nativas com mais de 1.000 registros de ocorrência nas bases do Global Biodiversity Information Facility (GBIF) e speciesLink (179 espécies), com os dados bioclimáticos do WorldClim 2.1. As abelhas dependem de recursos florais (especialmente pólen e néctar) ao longo de todo seu ciclo de vida, o que as tornam os visitantes florais mais frequentes na maioria das espécies de plantas, incluindo as cultivadas, e por isso são de longe os seus principais polinizadores (Roubik, 1989; Vázquez et al., 2005; Michener 2007; Moreira et al., 2015; Wolowski et al., 2019). Por fim, o submodelo de oferta do serviço de polinização assume que a quantidade e a diversidade de polinizadores numa região serão maiores se a combinação dos aspectos da estrutura da paisagem, da estrutura da vegetação nativa e de adequabilidade climática forem adequados (Kennedy et al., 2013; Stein et al., 2014; Moreira et al., 2015; 2018a; Figura 2).



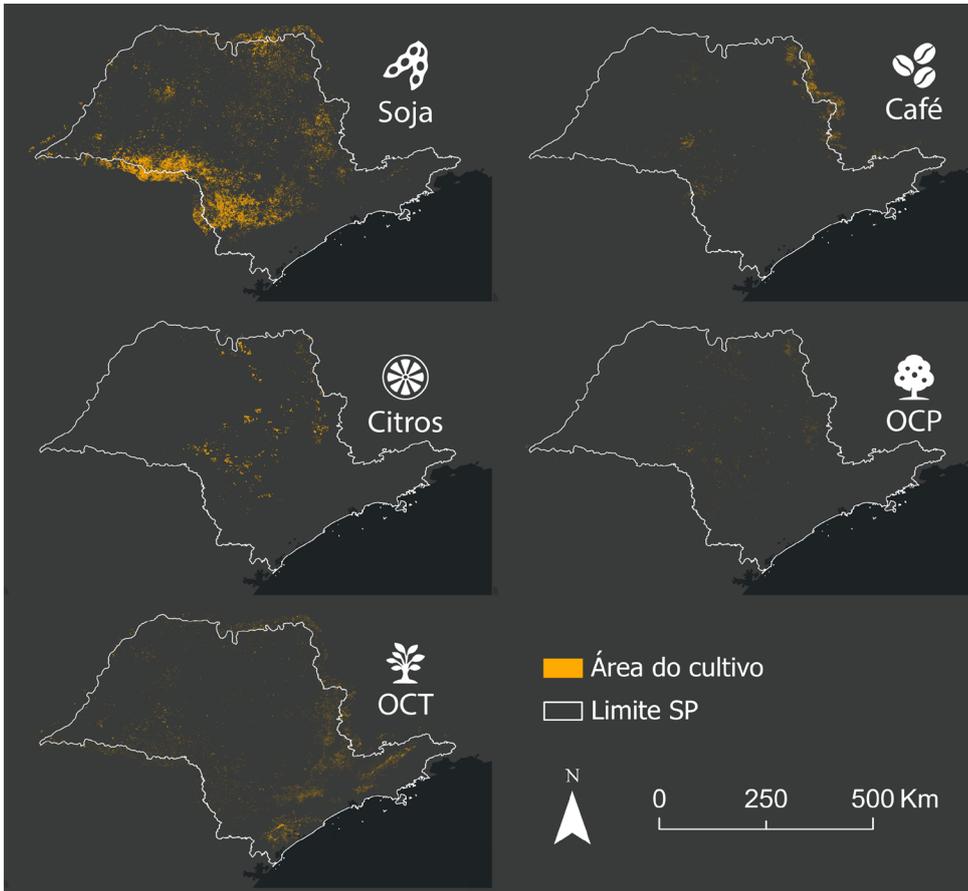
**Figura 2** – Fatores determinantes da diversidade de espécies polinizadoras, utilizados para calcular a oferta do serviço de polinização. Fonte: Biota Síntese, 2024.



**Figura 3** – Mapa da distribuição da vegetação nativa no estado de São Paulo conforme a Coleção 8 do MapBiomias para o ano de 2022. Fonte: Biota Síntese, 2024.

### Fluxo

O submodelo do fluxo de polinizadores pela paisagem é dado por um submodelo de difusão com decaimento em razão do aumento da distância à vegetação nativa. Esse submodelo assume que o aumento da distância à vegetação nativa reduz a contribuição da polinização sobre os cultivos (Figura 1d e Figura 5b e 5d; Treep et al., 2021). Após o cálculo do fluxo, aplicamos uma máscara das áreas dos cultivos avaliados dependentes de polinização (demanda), cuja localização também definimos a partir dos dados do Projeto MapBiomias (coleção 8; MapBiomias, 2023), com resolução espacial de 30 m (Figura 4).



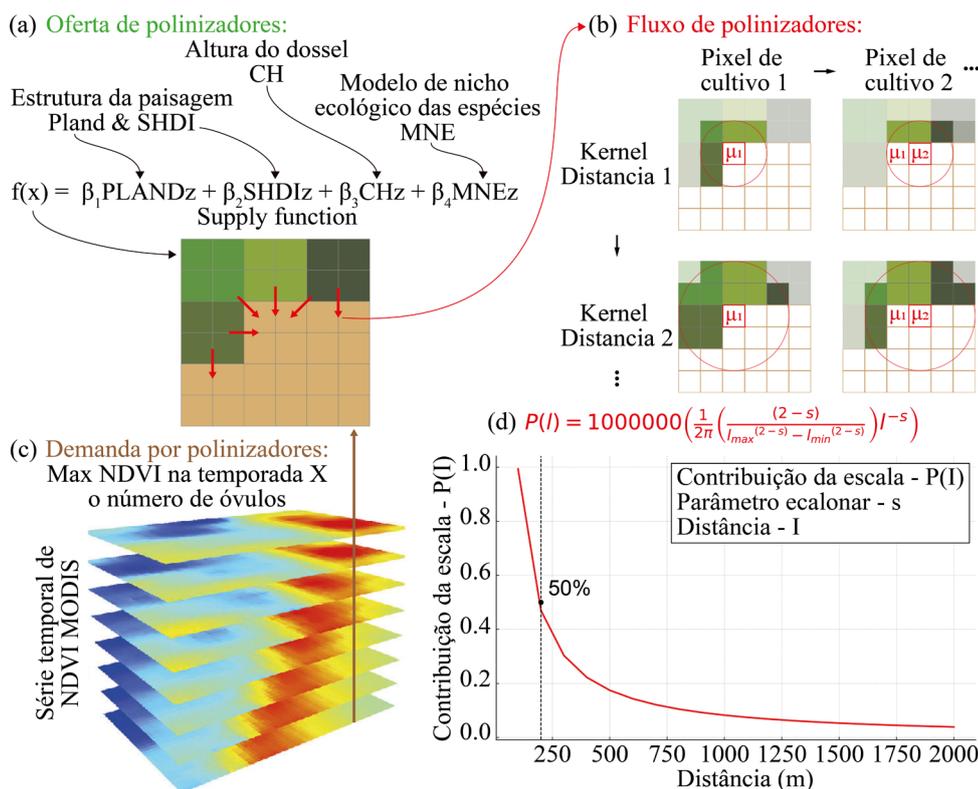
**Figura 4** – Mapa da distribuição das áreas de cultivo no estado de São Paulo conforme as categorias da Coleção 8 do MapBiomas para o ano de 2022; OCP - Outros Cultivos Perenes; OCT - Outros Cultivos Temporários. Fonte: Biota Síntese, 2024.

### Demanda

Teoricamente, a demanda de polinizadores corresponde ao número de flores nos campos de cultivo multiplicado pela carga de pólen necessária para polinizar completamente cada flor (Knight et al., 2005). Nesse submodelo, esse parâmetro é referente ao pico da atividade fotossintética durante a fase de desenvolvimento vegetativo da planta (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI), multiplicado pelo número de óvulos nas flores (Figura 1e e Figura 5c). Para isso utilizamos a série histórica de NDVI da missão Modis (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), através dos produtos de 16 dias (MOD13Q1 e MYD13Q1), bem como o número de óvulos nas flores dos cultivos obtido através de levantamento da literatura (Houk, 1936; Singh, 2010; Klein et al., 2003; Ribeiro et al., 2017).

O NDVI está associado a densidade, porte e fitossanidade das plantas, fatores esses indicadores da quantidade de flores presentes nas lavouras durante a fase de floração (Mkhabela et al., 2011; Roznik et al., 2022). O número de óvulos, por sua vez, indica o número de grãos de pólen depositados no estigma necessário para a completa fertilização das flores, onde plantas com maior número de óvulos nas flores tendem

a requerer mais visitas de polinizadores para uma polinização bem-sucedida (Burd et al., 2009; Garibaldi et al., 2020; Hipólito et al., 2020).



**Figura 5** – Etapas para a produção do modelo. A oferta é calculada a partir da (a) estrutura da paisagem, que incorpora a proporção de vegetação nativa (Pland) e a diversidade de ambientes das paisagens (SHDI); a estrutura da vegetação, inferida pela altura do dossel (CH); e a adequabilidade climática, estimada pelas distribuições das espécies a partir da modelagem de nicho ecológica (MNE). O fluxo de polinizadores (b) é estimado a partir da média dos valores de oferta considerando janelas de busca (kernel) de diferentes tamanhos (distâncias - d) em razão da relação entre a distância da vegetação nativa e contribuição da polinização (d). Por fim, a demanda (c) é estimada a partir do valor máximo de NDVI por temporada multiplicado pelo número de óvulos das flores do cultivo. Fonte: Biota Síntese, 2024.

### Cálculo do déficit e provisão do serviço de polinização

O déficit de polinização é a proporção da demanda que não foi atendida pelos polinizadores. Contudo, visto que as estimativas de fluxo e demanda descritas acima produzem variáveis em escalas distintas, para que esses valores sejam comparáveis é necessária a aplicação de um método de padronização dessas escalas. Para isso, normalizamos tanto os valores de fluxo quanto os da demanda para que variassem entre zero e um. Esse método não permite a estimativa dos valores absolutos correspondentes às quantidades de polinizadores observáveis em campo, a riqueza de espécies visitantes florais e/ou a frequência de visitas por unidade de tempo, bem como variáveis indicadoras da demanda como o número de flores por unidade de área. Contudo, as variáveis padronizadas de fluxo e demanda são correlacionadas

com o comportamento geral das grandezas que representam e permitem uma avaliação relativa da disponibilidade de polinizadores em contraposição à quantidade de flores nos campos. Como consequência, assumimos que no local onde o maior valor de fluxo encontra o maior valor de demanda, o déficit de polinização é igual a zero. Nesse sentido, o déficit de polinização é dado pela demanda menos o fluxo de polinizadores dividido pela demanda. Como por princípio o déficit de polinização não existe nas situações em que o fluxo for maior que a demanda, igualamos o valor do déficit a zero nesses casos. Como resultado, os valores de déficit variaram entre zero e um. Já o serviço provido é estimado pela proporção da demanda que foi atendida pelos polinizadores. Logo, o serviço provido é igual a um menos o déficit.

### **Cadeia do serviço de polinização**

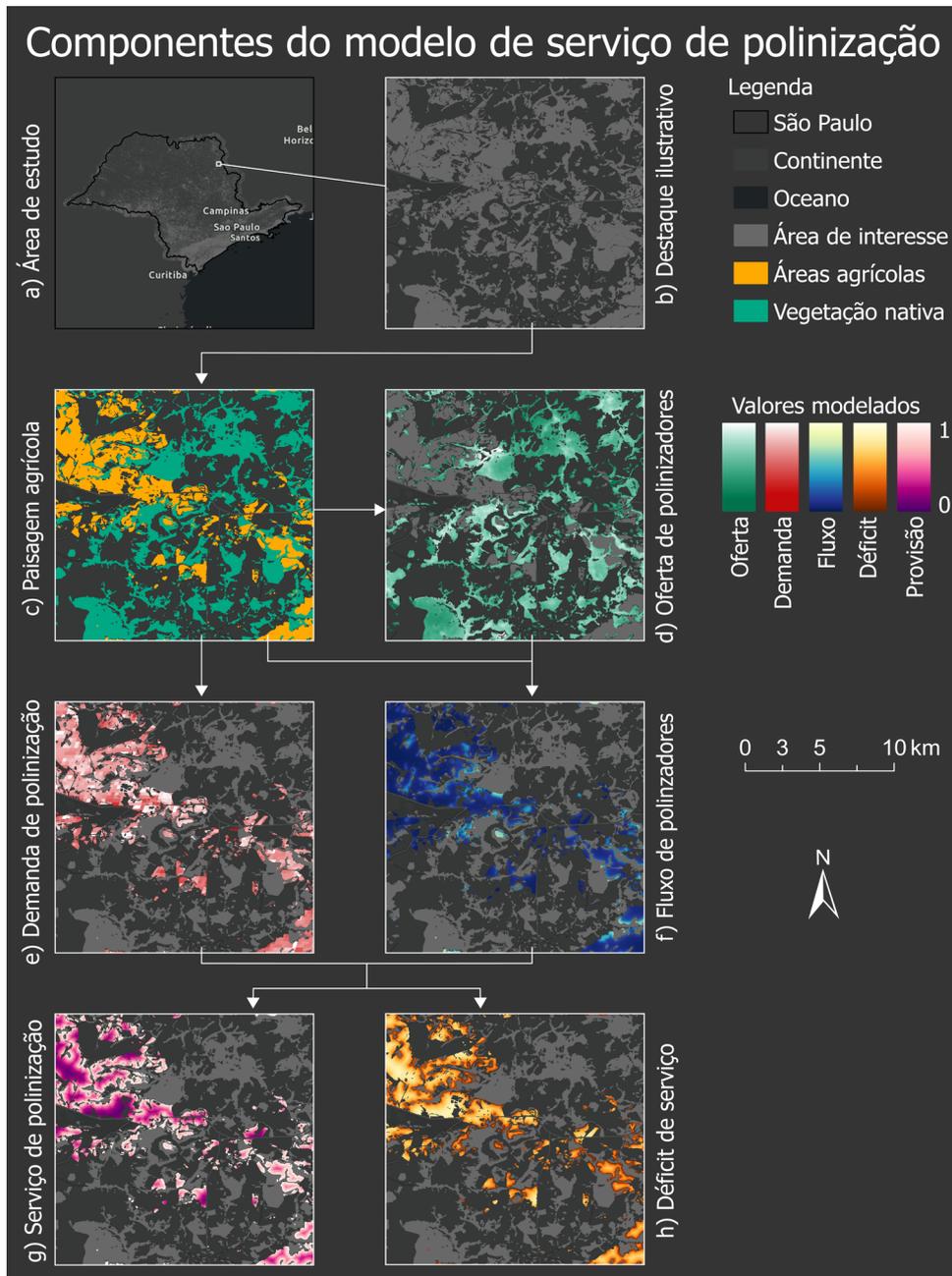
Mapeamos a cadeia de provisão de polinização para o ano 2022, tendo como produtos os dados em formato matricial (*raster*), apresentando os valores de potencial de oferta (Apêndice 1), potencial de demanda (Apêndice 2), fluxo da polinização (Apêndice 3), provisão do serviço de polinização (Apêndice 4) e déficit de polinização (Apêndice 5) para toda a extensão do estado de São Paulo. Esses dados estão publicamente disponíveis no repositório digital do Laboratório de Ecologia e Análise de Paisagens (Leap), da FFCLRP-USP.<sup>1</sup>

Os resultados do modelo possibilitam identificar espacialmente a variação do potencial de provisão das áreas de vegetação nativa para os cultivos como uma variável contínua (Figura 6). Esse potencial de provisão é mais intenso normalmente em regiões com maior proporção de vegetação nativa e diversidade da paisagem. Em relação à oferta de polinizadores, essa é menos intensa especialmente nas áreas onde a paisagem é menos heterogênea e onde há pouca vegetação nativa, como esperado (Figura 6d). Como a demanda de polinização está diretamente relacionada com o porte e a fitossanidade dos cultivares, seus valores variam dentro das áreas agrícolas sem nenhuma orientação espacial específica (Figura 6e).

O fluxo, por sua vez, é mais intenso nas localidades mais próximas à vegetação nativa (Figura 6f) e menos intenso quanto mais distante da vegetação nativa e mais próximo do centro da demanda (Figura 6f). Esse padrão se reflete no serviço de polinização potencialmente provido. Nas regiões de borda entre a vegetação nativa e a área agrícola, a provisão é maior (Figura 6g), enquanto na região central da maioria das áreas agrícolas a provisão é menor (Figura 6g). No entanto, se os cultivos estiverem inseridos em contextos altamente circundados ou intercalados por vegetação nativa, a provisão do serviço é garantida em toda a sua extensão (efeito visível no lado esquerdo da Figura 6g). Por fim, o déficit potencial de serviço de polinização é exatamente o

<sup>1</sup>Disponível em: <DOI: <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.11527589>>.

oposto da provisão, em que áreas próximas ou circundadas por vegetação nativa não têm déficit e áreas mais distantes têm grande déficit de provisão (Figura 6h).

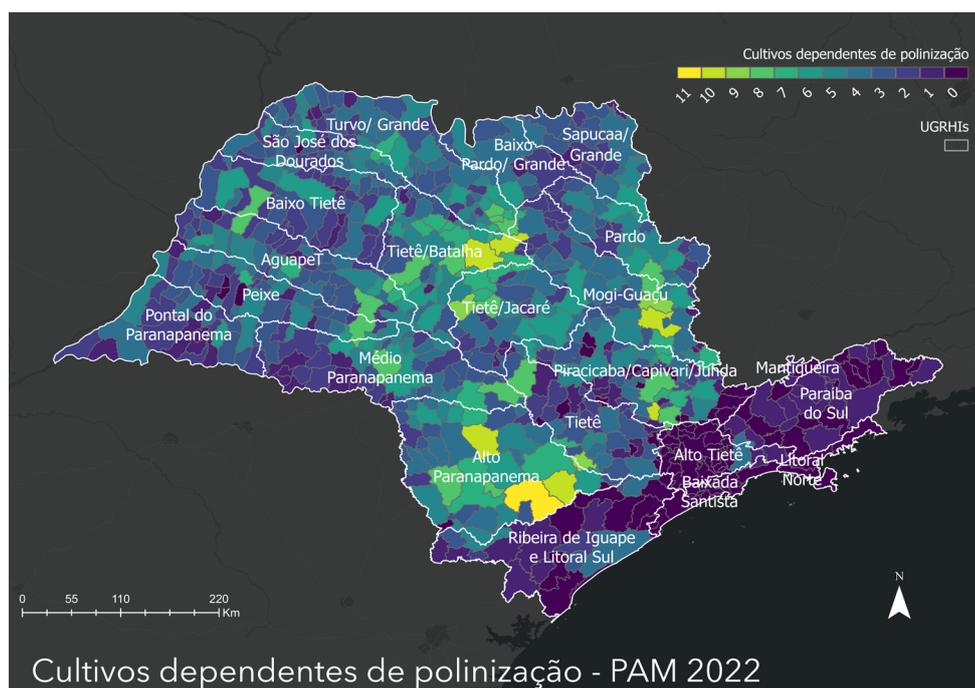


**Figura 6** – Espacialização dos resultados do modelo de provisão potencial do serviço de polinização: (a) no estado de São Paulo; (b) a exemplo, foi feito um recorte (*zoom*) para melhor visualizar os resultados; (c) vegetação nativa, referente à área de oferta (verde) e área agrícola de demanda (laranja); (d) gradiente da oferta potencial de polinizadores, variando do verde mais claro (maior) para o mais escuro (menor oferta); (e) gradiente da demanda de polinização, variando do vermelho mais claro (maior) para o mais escuro (menor demanda); (f) gradiente do fluxo potencial de polinizadores, variando do azul mais claro (maior) para o mais escuro (menor fluxo); (g) gradiente do serviço potencial de polinização, variando do rosa (maior) para o roxo (menor provisão); (h) gradiente do déficit potencial de polinização, variando do amarelo (maior) para o vermelho (menor déficit).  
 Fonte: Biota Síntese, 2024.

## Valoração do serviço de polinização

Compilamos os dados de produção da lavoura e o valor da produção em 2022 a partir do sistema de Produção Agrícola Municipal (PAM; IBGE 2023). Obtivemos esses dados para 69 cultivos nos 645 municípios de São Paulo (Figura 7). Os níveis de dependência obtivemos a partir da literatura (Siopa et al., 2024). Com exceção da soja, agrupamos os dados de produção agrícola em categorias correspondentes à classificação do mapa de uso do solo, após a multiplicação pelos respectivos valores de dependência de polinizadores. Para o café, utilizamos os dados da soma da produção de *Coffea arabica* e *Coffea canephora*. Para a produção de citros calculamos a soma da produção de laranja, limão e tangerina. Agrupamos os demais cultivos nas categorias “outros cultivos perenes” e “outros cultivos temporários”.

Por fim, estimamos o valor do serviço de polinização a partir da multiplicação da proporção do serviço provido pela produção da lavoura vezes a dependência do polinizador da cultura multiplicado pelo valor da produção (Figura 1). Já o cálculo do valor do déficit estimamos pela multiplicação do déficit de polinização pela produção da lavoura vezes dependência do polinizador da cultura multiplicado pelo valor da produção.



**Figura 7** – Número de cultivos dependentes de polinização com mais de 100 ha nos municípios paulistas conforme os dados da Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE em 2022. Fonte: Biota Síntese, 2024.

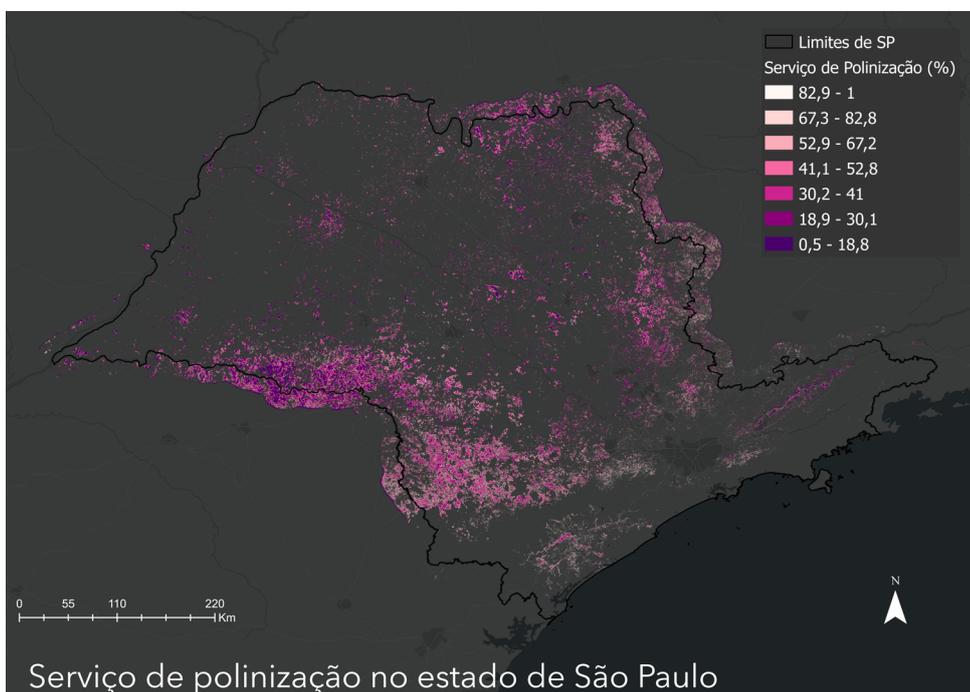
## MAPEANDO BENEFÍCIOS: ANÁLISE DA PROVISÃO E DÉFICIT DO SERVIÇO DE POLINIZAÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO

Considerando a provisão potencial do serviço de polinização para todo o estado de São Paulo, observa-se que os locais onde esse serviço é mais fortemente entregue estão concentrados nas regiões norte/nordeste do estado, próximo à divisa com Minas Gerais, e ao sul e sudoeste, próximo à divisa com o Paraná (Figura 8). Isso se deve especialmente à localização da demanda pelo serviço de polinização, ao norte, dada pelo cultivo do café e de frutas cítricas, em especial a laranja, e ao sul e sudoeste, pelo cultivo de soja (Figura 4). Já as regiões ao centro e noroeste do estado estão majoritariamente ocupadas pelo cultivo da cana-de-açúcar, milho e pastagens, que não demandam o serviço de polinização (Figura 8).

Dentre as regiões com demanda de polinização, observa-se que há grande heterogeneidade na provisão desse serviço, com destaque para a região sul do estado, na UGRHI do Médio Paranapanema (Figura 8, Tabela 1). Nessa região, há campos extensos com o monocultivo da soja, intercalados com o cultivo da cana-de-açúcar, sem a preservação da vegetação nativa na rede de drenagem (Áreas de Preservação Permanente). Como consequência, as paisagens são homogêneas, com poucos fragmentos de vegetação nativa isolados entre si, que sozinhas apresentam relativamente baixa capacidade de oferta de serviço de polinização. Essas paisagens homogeneizadas são destinadas quase exclusivamente ao monocultivo extensivo de soja e laranja e ambas possuem nível de dependência à polinização próximo de 19% (Siopa et al., 2024). Dessa forma, há porções significativas de terra com alta demanda afastadas das áreas de oferta de polinizadores e, portanto, com valores relativamente baixos de provisão. Esse padrão se repete em menor proporção na região norte do estado, onde também estão presentes os cultivos de soja e laranja intercalados com o cultivo da cana.

Na região do Alto Paranapanema, ao sul do estado, o cultivo da soja e da laranja é realizado em paisagens um pouco mais heterogêneas e a provisão do serviço alcança cerca de 50% da demanda (Figura 8). Nessas áreas, há maior presença de vegetação nativa, especialmente em Áreas de Preservação Permanente (APP) e pequenos remanescentes nos interflúvios. Um padrão similar é observado na região norte de São Paulo. As bacias dos rios Pardo, Sapucaí e Grande, onde as áreas de cultivo de café e citros se intercalam com as áreas de APP e Reserva Legal, têm alto potencial de provisão do serviço de polinização (Figura 8, Tabela 1). As áreas com maior provisão do serviço, onde cerca de 80% da demanda é atendida, se concentram ao redor da capital e no extremo sul do estado (Figura 8). Mais especificamente, essas áreas

se localizam no entorno do cinturão verde da cidade de São Paulo e às margens das Unidades de Conservação (UC) que se concentram ao longo da Serra do Mar e contemplam as UGRHI Tietê/Sorocaba, Piracicaba/Capivari/Jundiaí, Ribeira de Iguape e Litoral Sul (Figura 8, Tabela 1). Nessa região há a presença de grandes Unidades de Conservação (UC) estaduais e remanescentes de Mata Atlântica intercalados e uma grande variedade de cultivos perenes e temporários, com variáveis níveis de dependência de polinização. Essa composição gera paisagens mais heterogêneas, capazes de abrigar maior diversidade de polinizadores próximos às áreas de demanda. Esse contexto se apresenta como exemplo de como um sistema forte e consistente de UC pode favorecer a sinergia entre a conservação da biodiversidade, ao mesmo tempo em que fornece benefícios diretos ao setor agrícola.



**Figura 8** – Provisão do serviço de polinização no estado de São Paulo para todos os cultivos dependentes de polinização no ano de 2022.  
Fonte: Biota Síntese, 2024

**Tabela 1** – Estatísticas descritivas (média, desvio e soma) dos valores de serviço de polinização e déficit do serviço dos pixels nas Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (UGRHI)

Cd	UGRHI	Serviço de polinização			Déficit do Serviço		
		Média	Desvio	Soma	Média	Desvio	Soma
1	Mantiqueira	0.75	0.2	10534.7	0.25	0.2	3532.3
2	Paraíba do Sul	0.44	0.24	251400.9	0.56	0.24	317847.1
3	Litoral Norte	0.92	0.09	336.1	0.08	0.09	29.9
4	Pardo	0.49	0.21	453982.8	0.51	0.21	470497.8
5	Piracicaba/ Capivari/Jundiá	0.46	0.21	488151.3	0.54	0.21	572503.7
6	Alto Tietê	0.67	0.19	115579.3	0.33	0.19	57118.7
7	Baixada Santista	0.72	0.17	8699	0.28	0.17	3328
8	Sapucaia/ Grande	0.44	0.19	645228.2	0.56	0.19	817045
9	Mogi Guaçu	0.41	0.19	825170.9	0.59	0.19	1172459.1
10	Tietê/Sorocaba	0.56	0.22	564750.7	0.44	0.22	446980.3
11	Ribeira de Iguape/Litoral Sul	0.69	0.18	504837.2	0.31	0.18	226297.8
12	Baixo Pardo/ Grande	0.37	0.2	369431.7	0.63	0.2	631027.3
13	Tietê/Jacaré	0.38	0.2	369197.1	0.62	0.2	591721.9
14	Alto Paranapanema	0.51	0.2	3415925.9	0.49	0.2	3274817.1
15	Turvo/Grande	0.47	0.2	283614.1	0.53	0.2	321769.9
16	Tietê/Batalha	0.41	0.21	205391.9	0.59	0.21	292575.1
17	Médio Paranapanema	0.39	0.21	2141636.1	0.61	0.21	3321796.9
18	São José dos Dourados	0.41	0.19	39176.2	0.59	0.19	55704.8
19	Baixo Tietê	0.36	0.17	273248.2	0.64	0.17	491841.8
20	Aguapei	0.35	0.2	100418.5	0.65	0.2	189919.5
21	Peixe	0.33	0.19	122591.5	0.67	0.19	245901.5
22	Pontal do Paranapanema	0.34	0.2	336194.1	0.66	0.2	641445.9

Fonte: Biota Síntese, 2024.

Os padrões de provisão do serviço se refletem no mapa do déficit do serviço de polinização (Figura 9). Para o déficit, fica evidente como as paisagens extremamente homogêneas, ocupadas por monocultivos extensivos e dependentes de polinização possuem alto déficit do serviço de polinização (>80%, Figura 9). Esse padrão se destaca na porção mais a sudoeste do estado, destinada ao cultivo de soja, incluindo o Médio e o Alto Paranapanema e na região de Mogi Guaçu (Figura 9, Tabela 1). Essas duas últimas, também se destacam por apresentar grande variedade de cultivos dependentes de polinização (Figura 6). Além disso, mesmo nas demais regiões do estado onde há maior provisão do serviço, há também porções substanciais de alto déficit de polinização (entre ~40% e 70%). Isso ocorre, em especial, nas regiões com grandes áreas ocupadas pelo cultivo de soja e laranja como Sapucaí/Grande, Baixo Pardo/Grande, Baixo Tietê e o Pontal do Paranapanema (Figura 9, Tabela 1).



**Figura 9** – Déficit do serviço de polinização no estado de São Paulo para todos os cultivos dependentes de polinização no ano de 2022.  
Fonte: Biota Síntese, 2024.

## Valoração da polinização

A produção agrícola do estado de São Paulo somou aproximadamente R\$ 107,7 bilhões em 2022. Desse montante, a parcela da produção agrícola dependente do serviço de polinização correspondeu a R\$ 9,8 bilhões. Esse valor representa cerca de 9,1% do total da produção agrícola em 2022 no estado de São Paulo (Tabela 2, Figura 10). Contudo, desse valor, aproximadamente 40,5% foram de fato decorrentes do serviço de polinização provido, correspondendo a cerca de R\$ 3,9 bilhões. Já o déficit de polinização, em locais de baixa provisão, apresentou perda de R\$ 4,2 bilhões no ano de 2022. Isso significa que, suprindo o déficit, poderia ser dobrado o valor decorrente do serviço de polinização no estado. Além disso, em razão das limitações no mapeamento das áreas agrícolas (como as áreas agrícolas que não foram corretamente detectadas em alguns municípios), 1,5% da produção agrícola não pode ser avaliada, o que representa um valor de R\$ 1,6 bilhão. Assumindo que cerca de 50% dessa parcela não são avaliadas, o valor desse déficit pode alcançar R\$ 5 bilhões. Esse valor representa um acréscimo de aproximadamente 13,3% no valor total da produção dos cultivos dependentes de polinização no estado de São Paulo, caso esse déficit fosse sanado. Neste contexto, iniciativas de promoção e conservação das comunidades de polinizadores em áreas vegetadas próximas aos cultivos, por exemplo, via estabelecimento de áreas protegidas e restauração ecológica, podem reduzir ou sanar o déficit estimado. Além disso, fomentar as cadeias produtivas da apicultura e meliponicultura nas regiões com déficit de polinização traria benefícios em curto e médio prazos complementando os serviços providos pelas áreas naturais. Contudo, é importante ressaltar que essas práticas aumentam artificialmente a densidade populacional local das abelhas manejadas, potencializando a pressão competitiva sobre os polinizadores selvagens, sobretudo no caso da *A. mellifera* (Wojcik et al., 2018; Campbell et al., 2023). Por essa razão, a apicultura e a meliponicultura devem ser associadas ao manejo de ruderais e ao plantio de pasto apícola, além de serem direcionadas a regiões com níveis elevados de déficit de polinização.

A soja, as frutas cítricas (em especial a laranja) e o café foram os cultivos mais impactados pelo déficit de polinização (Figura 10). Com 58%, 45% e 29% da sua demanda sem a provisão do serviço, esses déficits representam um prejuízo de aproximadamente R\$ 1,4 bilhão, R\$ 1 bilhão e R\$ 657 milhões, respectivamente. Somados, esses três cultivos concentram mais de 73% do déficit de serviço de polinização em São Paulo (Figura 10). Embora esse déficit seja o resultado de uma ineficiência do sistema de produção, ele também representa uma oportunidade de ganhos reais e tangíveis. Esses ganhos podem ocorrer por meio de políticas públicas que colaborem com a conservação e a restauração da vegetação nativa, a preservação e o manejo de polinizadores, o incremento na diversidade de cultivos e o incentivo da

adoção de técnicas de manejo e práticas amigáveis aos polinizadores pelos agricultores (Figura 11; Garibaldi et al., 2014; Hipólito et al., 2016; Lundin et al., 2021).

Além dos ganhos em produtividade previstos ao sanar os déficits de polinização desses cultivos, ganhos em qualidade e valor de mercado dos produtos gerados representam excelente estímulo para que o setor produtivo adote as medidas necessárias para aumentar a oferta do serviço de polinização e obtenha retorno econômico em relação ao investimento realizado na restauração de habitats. Na soja, por exemplo, a polinização contribui para aumento no tamanho das sementes (Gazzoni; Barateiro, 2024) e no teor de óleo (Wolditsadik; Beyene, 2023; Galetto et al., 2024), enquanto no café melhora a qualidade da bebida e o valor da saca (Canzi et al., 2023; Machado et al., 2024; Alves et al., 2024).

**Tabela 2** – Valor da produção agrícola municipal paulista dependente de polinização no ano de 2022 a cada R\$1000

Lavouras	Valor da Produção (R\$ k)	Dependência (R\$ k)	Serviço de polinização (R\$ k)	Déficit de Polinização (R\$ k)
Soja	12.370.880	2.350.467	979.406	1.370.329
Café	4.695.417	1.455.831	767.350	657.449
Citrus	12.636.766	3.497.930	960.898	1.026.226
Outras Permanentes	1.441.475	820.560	430.423	278.197
Outras Temporárias	6.378.707	1.642.693	814.412	823.320
Totais	37.523.245	9.767.481	3.952.489	4.155.521

Fonte: Biota Síntese, 2024.

Na Tabela 2 apresentamos apenas as lavouras dependentes de polinização presentes no estado conforme as categorias constantes no mapa de uso do solo. Para cada cultivo apresentamos o valor total da produção agrícola estadual dependente de polinização, seguido pela parcela do valor da produção agrícola municipal correspondente ao nível de dependência de polinização. Dessa parcela estimamos qual o valor da produção agrícola municipal correspondente à provisão do serviço de polinização e o valor de seu déficit conforme o modelo espacialmente explícito de provisão do serviço.

Quanto custa o

## déficit do serviço de polinização

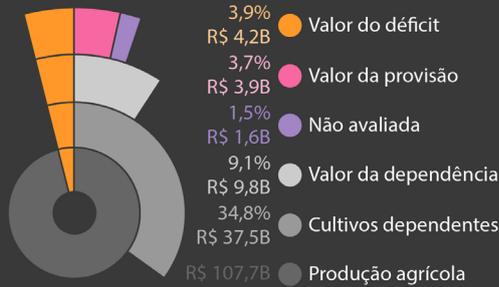
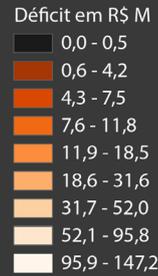
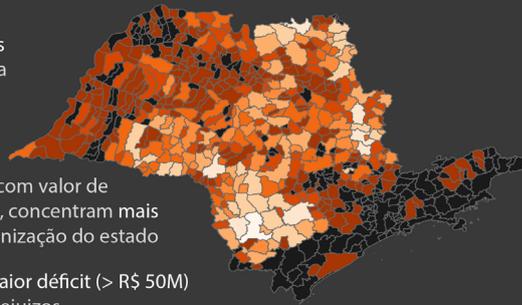
para a agricultura do estado de São Paulo?

Em 2022 o déficit do serviço de polinização custou de 4,2 a 5 Bilhões de Reais ao setor agrícola.

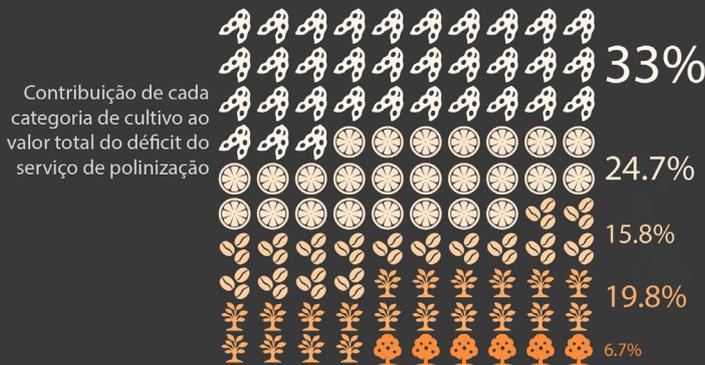
A maioria dos municípios paulistas (61%) apresenta um déficit de serviço de polinização com valor superior a R\$ 1M

8% dos municípios (53), com valor de déficit superior a R\$ 20M, concentram mais de 50% do déficit de polinização do estado

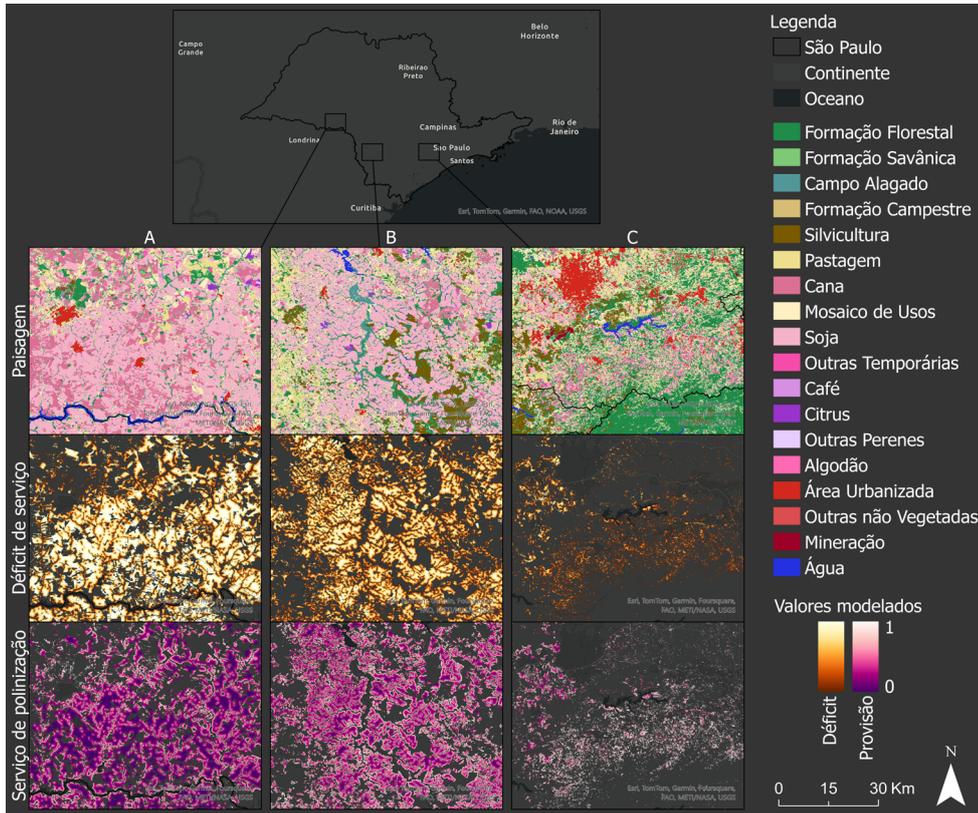
Os 10 municípios com maior déficit (> R\$ 50M) somam R\$ 745,9M em prejuízos



Proporção do valor da produção dos cultivos associada ao déficit, a provisão do serviço de polinização e a porção não avaliada



**Figura 10** – Infográfico sintético da valoração do déficit de polinização no estado de São Paulo em 2022; R\$ M - milhões de reais; R\$ B - bilhões de reais. Fonte: Biota Síntese, 2024.



**Figura 11** – Comparação de serviços e déficits em três regiões de São Paulo com diferentes perfis de desenvolvimento agrícola: (A) Região do Médio Paranapanema, onde há maior homogeneização das paisagens em razão especialmente ao cultivo intensivo, no caso soja e cana-de-açúcar, sem a preservação da vegetação nas Áreas de Preservação Permanente, Reservas Legais ou outras áreas protegidas e que por isso concentram os maiores níveis de déficit do serviço de polinização; (B) Região do Alto Paranapanema onde, pela presença de vegetação remanescente em paisagens mais heterogêneas, há maior provisão do serviço de polinização e menor déficit em relação ao perfil A; (C) Região sul do Tietê onde, pela proximidade de unidades de conservação com remanescentes de vegetação nativa e em paisagens mais heterogêneas, há maior oferta de polinizadores intercalada com áreas de cultivo (demanda), gerando níveis maiores de provisão e menor déficit do serviço de polinização se comparados com os perfis A e B. Fonte: Biota Síntese, 2024.

## APLICABILIDADE DO MODELO

### Serviço de polinização e conservação dos polinizadores

O modelo apresentado tem grande utilidade prática, pois permite avaliar a oferta de polinizadores por todo o estado, auxiliando a identificar onde devem ser alocados esforços de conservação e restauração para preservar populações de polinizadores em longo prazo. A conservação dos polinizadores e de seus habitats, criando áreas de resguardo de fauna, é crucial para a manutenção futura do serviço de polinização (Ricketts, 2004; Hardman et al., 2016). Essas áreas, embora não tenham demanda imediata, podem se tornar importantes fontes de polinizadores, por exemplo, em contexto de mudanças climáticas e ou de diferentes ciclos agroeconômicos que alterem a distribuição espacial dos cultivos no estado.

Nosso modelo revelou muitas áreas com altos níveis de déficit de polinização no estado de São Paulo, o que pode comprometer a produtividade das lavouras dependentes de polinização e representar um custo de oportunidade a ser considerado no planejamento de políticas públicas. Identificar essas áreas pode direcionar iniciativas de restauração e técnicas de manejo amigáveis aos polinizadores nos locais onde terão maior impacto positivo. Aumentar a diversidade de polinizadores na paisagem, por exemplo, pode incrementar o processo de polinização (Soares et al., 2022) e a produtividade agrícola (Monasterolo et al., 2022; Campbell et al., 2023), compensando parte dos custos de restauração de ecossistemas e contribuindo para a viabilidade econômica dos cultivos. Assim, o modelo proposto pode ajudar no planejamento de paisagens multifuncionais e na adaptação das áreas agrícolas às mudanças climáticas ou outras alterações (planejadas ou não), tornando-se uma ferramenta essencial para a conservação de espécies e outros serviços ecossistêmicos (Kremen; Merenlender, 2018).

A intensificação ecológica da agricultura<sup>1</sup> e a identificação de áreas com alta oferta de polinizadores são estratégias úteis para o manejo territorial e para a conservação dessa fauna. A baixa provisão do serviço de polinização ocorre tanto pela alta demanda dos cultivos quanto pela baixa oferta de polinizadores. Paisagens homogêneas, como extensas áreas de monocultivos de soja com poucos remanescentes de vegetação nativa, combinam alta demanda por polinização com baixa diversidade de polinizadores (Moreira et al., 2015; 2018a; 2018b; Boscolo et al., 2017; Nery et al., 2018; Coutinho et al., 2021). Assim,

<sup>1</sup> A intensificação ecológica da agricultura é uma abordagem que busca aumentar a produtividade agrícola potencializando processos ecológicos (e.g. polinização e o controle de pragas) pela gestão de uso do solo, da adoção de sistemas de produção e técnicas de manejo que favoreçam a manutenção da biodiversidade em paisagens agrícolas (Foley et al., 2005; Tittone, 2014; Geertsema, 2016; Kleijn et al., 2019).

essas paisagens apresentam uma restrição do serviço de polinização às margens das áreas de cultivo, resultando em altos níveis de déficit. Em contraste, paisagens onde áreas de cultivo estão intercaladas com Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Legais preservadas apresentam maior diversidade de polinizadores, conforme estimado pelo nosso modelo. Sabe-se também que UC apresentam alta diversidade de polinizadores nativos e elevada oferta de polinização. Consequentemente, essas paisagens com alta cobertura de vegetação nativa e alta diversidade de polinizadores contêm níveis mais elevados de provisão do serviço de polinização, especialmente até um limite de 40% de cobertura vegetal (Moreira et al., 2015; 2018a; Arroyo-Rodríguez et al., 2020; Campbell et al., 2023).

Incentivar paisagens multifuncionais que promovam a coexistência entre a biodiversidade e a agricultura pode trazer benefícios tanto para os sistemas agrícolas quanto para os ecossistemas naturais, aumentando a resiliência de ambos (Foley et al., 2005; Tittone, 2014; Geertsema, 2016; Kleijn et al., 2019). Essas paisagens valorizam a heterogeneidade, considerando a associação de diferentes cultivos, manutenção de grandes áreas de vegetação nativa, bem como pequenos fragmentos que possibilitem a dispersão das espécies ao longo da paisagem (Moreira et al., 2015; 2018a; Arroyo-Rodríguez et al., 2020). Essa conformação representa um compromisso ótimo entre a entrega de bens e serviços aos seres humanos e a preservação da vida nativa, podendo orientar estratégias de preservação e restauração de ecossistemas (Arroyo-Rodríguez et al., 2020).

Os serviços de polinização também podem proporcionar imensos benefícios econômicos, o que pode ser fundamental para motivar os proprietários locais a empreenderem esforços de conservação em terras agrícolas dependentes de polinizadores (Kleijn et al., 2019). Um estudo de caso recente, realizado na Costa Rica, explorou uma variedade de objetivos de produção e conservação usando uma paisagem de produção de café, gerando uma nova estrutura de planejamento para determinar a melhor disposição espacial para a restauração em paisagens agrícolas e levando em conta as melhorias nos rendimentos ao longo de 40 anos após a restauração. Os resultados mostram que a restauração estratégica pode aumentar a cobertura florestal em aproximadamente 20% enquanto dobra os lucros coletivos dos proprietários de terras, mesmo considerando as terras retiradas da produção (López-Cubillos et al., 2023).

Os esforços de conservação e restauração em terras agrícolas podem ser benéficos para apoiar os polinizadores e aumentar os rendimentos agrícolas, pois as espécies nativas de polinizadores requerem áreas naturais para nidificação e alimentação (Roubik, 1989; Kennedy et al., 2013; Campbell et al., 2023). A preservação dos remanescentes de vegetação nativa tem um papel central, pois, além de servirem de áreas fonte de diversidade biológica, abrigam ecossistemas maduros

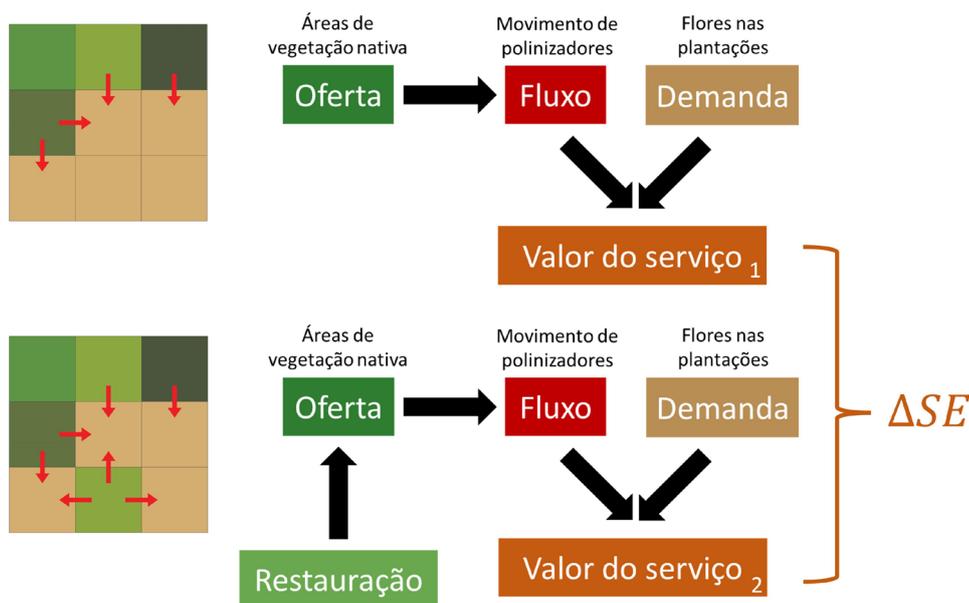
cuja replicação através da restauração pode ser muito lenta ou até virtualmente impossível (Garcia et al., 2015; González-Chaves et al., 2023). A restauração também pode ser desafiadora em razão dos altos custos de implantação e do custo de oportunidade associado com a redução de terras destinadas à produção (Brançalion et al., 2015; 2021). Somado a isso, as mudanças climáticas ameaçam a diversidade de polinizadores a manutenção do serviço de polinização, podendo reduzir ou deslocar geograficamente as condições adequadas para a ocorrência das espécies nativas, sem que esses organismos tenham a possibilidade de se adaptar às novas condições, assim como desacoplar a fenologia e distribuição geográfica de plantas e polinizadores (Freimuth et al., 2021; Imbach et al., 2017; Martins et al., 2014; Powney et al., 2019; Polce et al., 2014; Carrasco et al., 2020; Giannini et al., 2017; 2020). Considerando essas questões, o modelo apresentado aqui permitirá projetar paisagens sustentáveis que exigirão abordagens de planejamento que considerem a complexa dinâmica espaço-temporal dos serviços de polinização que fluem da vegetação nativa e restaurada para as culturas.

### **Restauração e Pagamento por Serviços Ambientais**

Considerando os benefícios desse modelo em apresentar o estado da arte do serviço de polinização ao longo do estado de São Paulo, sob a óptica de paisagens multifuncionais e intensificação ecológica, a equipe do Biota Síntese tem desenvolvido estudos para auxiliar nos processos de tomada de decisão. Esses estudos sugerem aplicações práticas, como a avaliação monetária do serviço de polinização, a indicação de áreas prioritárias para restauração focada no aumento da provisão de polinização, a avaliação da provisão de polinização em diferentes contextos de gerenciamento das UC, entre outros.

A avaliação monetária do serviço de polinização nos municípios paulistas, baseada no mapeamento da provisão aqui apresentado, poderá subsidiar diversas políticas de financiamento. A exemplo, temos a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (Pepsa; Decreto n.66.549, de 7 de março de 2022) e o recém-lançado Finaclima (Decreto n.68.577, de 5 de junho de 2024). Nos últimos anos, o incentivo da Pepsa em São Paulo tem crescido, com o objetivo também de incluir a valoração de novos serviços ambientais além dos já financiados. Nosso modelo de provisão de serviços de polinização foi desenvolvido também para ajudar a subsidiar essa política, destacando a importância de integrar a polinização como um serviço ambiental valorizado e remunerado. Acreditamos que essa atual janela de oportunidade é ideal para demonstrar como o modelo pode contribuir para a efetividade e expansão da Pepsa, promovendo a conservação da biodiversidade e a sustentabilidade agrícola no estado de São Paulo.

Outra grande utilidade desse modelo é seu potencial de indicar áreas prioritárias para restauração de ecossistemas que aumentem a provisão da polinização em áreas agrícolas vizinhas. No esquema descrito na Figura 12 (parte superior da figura), temos um cenário ilustrativo de provisão de serviços, com as setas representando o fluxo de serviço direto da área de provisão para a área de demanda. Na sequência (esquema inferior da mesma figura), temos um cenário alternativo simulando a restauração de novas áreas na mesma região com o objetivo de aumentar a provisão do serviço. Nesse exemplo, o modelo sugere a restauração dos locais que maximizam o fluxo de polinizadores para todas as regiões vizinhas. Caso o local restaurado fosse o quadrado central contíguo à área de oferta já existente, uma maior área ficaria com baixa provisão do serviço. Dessa forma, uma vez que o serviço seja avaliado nos cenários atuais do estado, os cenários de restauração também podem ser avaliados e comparados entre si, quanto ao valor adicional atrelado ao ganho na provisão de polinização. Mediante a comparação de cenários é possível incorporar o ganho na provisão do serviço de polinização, e seu impacto sobre o custo de oportunidade, na avaliação multicritério para definição das áreas prioritárias para a restauração.



**Figura 12** – Diferentes cenários de aplicação do modelo da cadeia de provisão do serviço de polinização (oferta-fluxo-demanda). O esquema horizontal superior representa um cenário atual hipotético e o inferior representa um cenário de restauração. O valor adicional do serviço em cenário de restauração pode ser avaliado a partir do valor do delta ( $\Delta SE$ ).  
Fonte: Biota Síntese, 2024.

O modelo para estimar o serviço de polinização ganha especial relevância no contexto do Programa Refloresta-SP, lançado em 2022, com a meta de incentivar a restauração voluntária de 700 mil hectares no estado até 2050. Ao contrário da restauração exigida por lei, na qual muitas vezes a área já está predefinida, na restauração incentivada é possível escolher os locais que trazem maiores benefícios. A polinização é essencial para a rentabilidade de diversos cultivos agroflorestais, bem como de grande parte dos produtos não madeireiros produzidos em florestas multifuncionais fomentados no Refloresta-SP. Enquanto nos modelos tradicionais de provisão a floresta nativa apenas fornece polinizadores para a lavoura em seu entorno, na abordagem multifuncional presente no Refloresta-SP, a área restaurada também se beneficia do aumento de polinizadores que ela mesma proporciona. Essa é uma relação direta e efetiva, sem contar com os benefícios para a paisagem de modo mais amplo.

O modelo também tem o potencial para avaliar o efeito da restauração da vegetação no serviço de polinização, incluindo cenários de cumprimento do Código Florestal por exemplo (Lei Federal n.12.651/2012). Adicionalmente, estamos desenvolvendo um estudo que compara o efeito em diferentes categorias de UC (UC de uso sustentável *vs.* proteção integral) sobre a provisão do serviço de polinização. Os resultados desse estudo podem subsidiar atividades de gestão e planejamento das UC, como as políticas relacionadas às UC estaduais e seus planos de manejo.

### **Adaptação e Resiliência Climática**

No contexto do impacto das mudanças climáticas, os resultados do modelo de provisão do serviço de polinização podem subsidiar tanto o Plano de Ação Climática (PAC) vigente para São Paulo quanto o Plano Estadual de Adaptação e Resiliência Climática (Pearc) em elaboração, contribuindo para a definição dos territórios focais das políticas públicas visando a mitigação e a adaptação às mudanças climáticas, como apresentado a seguir.

O Pearc tem como objetivo implementar ações que reduzam a vulnerabilidade de setores críticos, como agricultura, saúde, infraestrutura e recursos hídricos, promovendo soluções de adaptação baseadas em ciência e dados locais. Através do Pearc, o Estado busca integrar políticas públicas com foco na redução de riscos climáticos e na preservação dos ecossistemas, incluindo a recuperação de áreas degradadas e o incentivo a práticas de uso sustentável da terra. Além disso, o plano estimula a conscientização e participação das comunidades locais, setores privados e organizações não governamentais, visando a construção de uma sociedade mais preparada e resiliente aos impactos do clima.

A definição dos territórios focais das políticas públicas no escopo do Pearc voltadas à conservação dos polinizadores e do serviço de

polinização prestado à agricultura deve considerar aspectos ecológicos e de biodiversidade, da justiça climática, bem como da segurança alimentar e nutricional. Podemos atender a esses critérios considerando como prioritárias as regiões (1) com maior déficit do serviço de polinização prestado por polinizadores nativos, (2) com maior diversidade de cultivos dependentes do serviço ecossistêmico (SE) de polinização e (3) com maior proporção da população em situação de vulnerabilidade social (Figura 13). Além disso, é fundamental que questões de governança, assim como janelas de oportunidade, sejam observadas.

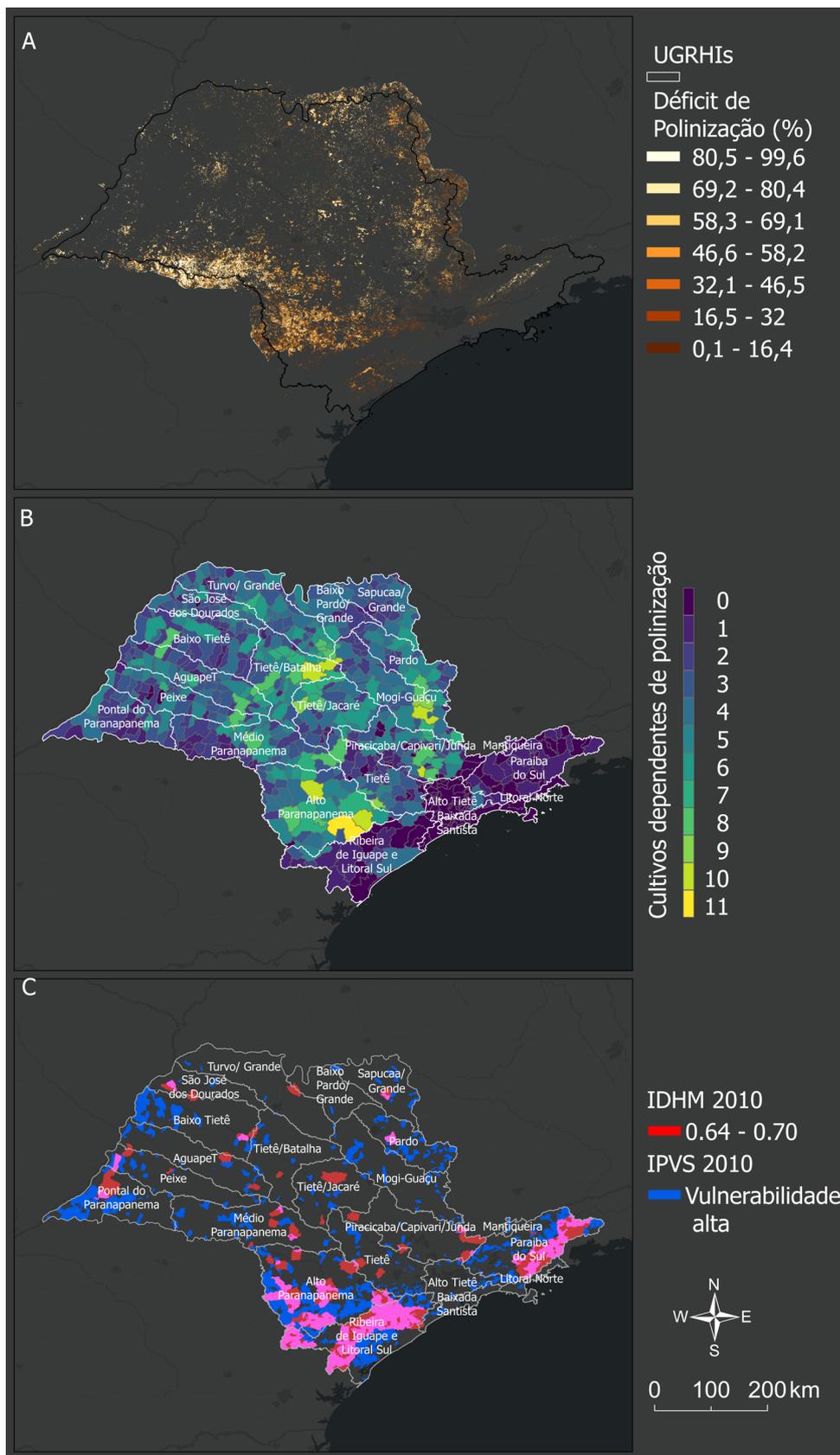
Por exemplo, o Alto do Paranapanema se destaca por ter o maior número de tipos de cultivos dependentes de polinização no estado de São Paulo e alto déficit do serviço de polinização por conta da falta de vegetação nativa em uma região com alta demanda de polinização (Figura 13). A região possui também uma alta diversidade de formações naturais por se tratar de uma região de ecótono, representando uma importante interseção entre biodiversidade e segurança alimentar e nutricional, dois eixos do Pearc. A existência de vias de comunicação estabelecidas entre a Semil e as comunidades locais pode facilitar o contato inicial e a implementação de projetos piloto. Além disso, essa região integra o Plano de Ação Territorial do Caminho das Tropas, que pode ser um instrumento estratégico para estimular diversas ações a serem sugeridas pelo Pearc.

O Plano de Ação Territorial para Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção Caminho das Tropas Paraná-São Paulo visa propor, promover e implementar ações focadas na proteção, conservação, restauração e uso sustentável dos ecossistemas e da biodiversidade ao longo deste território histórico. Com especial atenção às espécies-alvo de fauna e flora, além das formações campestres, savânicas e de Floresta Ombrófila Mista, o plano busca proteger a rica diversidade ecológica da região, onde várias espécies enfrentam risco de extinção. A gestão do PAT é compartilhada entre os estados do Paraná, por meio da Sedest/IAT, e São Paulo, pela Semil, unindo esforços na recuperação de habitats, criação de áreas de proteção e monitoramento das espécies ameaçadas. O plano também promove a



participação das comunidades locais e setores produtivos em práticas sustentáveis, assegurando a preservação dos serviços ecossistêmicos e do equilíbrio ambiental na região do Caminho das Tropas.

A região do Paraíba do Sul também pode ser definida como um território focal. Nessa região, a Semil mantém uma forte rede de interação com a comunidade local em razão das atividades do Projeto Conexão Mata Atlântica, executado nos últimos sete anos e encerrado em junho de 2024. Esse projeto foi voltado para a conservação e recuperação do bioma Mata Atlântica, com foco na restauração de ecossistemas e na promoção de práticas sustentáveis que beneficiem tanto o meio ambiente quanto as comunidades locais (Semil, 2024). Atuando nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, o programa incentiva proprietários rurais a adotarem ações de preservação e recuperação de áreas florestais, por meio de incentivos financeiros e apoio técnico por meio de um programa de pagamento por serviços ambientais com o apoio de instituições parceiras e financiamento do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF). Uma das principais metas do Conexão Mata Atlântica foi aumentar a cobertura vegetal nativa, protegendo a biodiversidade e melhorando a qualidade dos recursos hídricos. Além disso, o programa contribuiu para a mitigação das mudanças climáticas através do sequestro de carbono e fomenta o desenvolvimento de cadeias produtivas sustentáveis. O Conexão Mata Atlântica reforçou colaboração entre governo, sociedade civil e setor privado na construção de um modelo de desenvolvimento mais equilibrado e resiliente para a região. O projeto terminou com longa fila de espera de produtores interessados, convencidos pela experiência positiva de seus vizinhos que participaram. Assim, a articulação preexistente está pronta para ser acionada, favorecendo as chances de bons resultados e alta adesão de atores locais em projetos de curto prazo, a exemplo dos três anos que estão sendo o recorte temporal inicial no Pearc. Nesse contexto, os critérios antes descritos podem ser utilizados para o direcionamento das ações no interior desse território.



**Figura 13** – Variáveis sugeridas como critério para definição dos territórios focais para as políticas públicas voltadas aos polinizadores e ao serviço de polinização no âmbito do Parc; A – estimativa do déficit de polinização conforme o modelo de serviço de polinização desenvolvido pelo Biota Síntese; B – número de cultivos dependentes de polinização com mais de 20 ha colhidos no ano de 2022, conforme os dados do PAM - IBGE; C – índices IDHM e IPVS para o ano de 2010. Fonte: Biota Síntese, 2024.

## JANELAS DE OPORTUNIDADE NAS POLÍTICAS ESTADUAIS

A perspectiva para a Síntese de Polinização é que possamos, a partir da compreensão do modelo e de sua aplicabilidade, avaliar o modelo de provisão potencial do serviço de polinização de forma que seja possível sugerir aderências e identificar desafios para sua utilização em instrumentos (projetos, programas, planos e políticas públicas) de gestão ambiental do estado.

Com esse objetivo, após reunião de apresentação geral do modelo, uma equipe de gestores da Semil (por meio do comitê Biota Síntese) elaborou uma lista de potenciais instrumentos que podem utilizar os métodos propostos. Essa lista ajudará a estimular a aderência da Síntese de Polinização e dos resultados desse modelo com as políticas públicas estaduais. Os instrumentos previamente apontados foram:

- A Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (Pepsa - Decreto Estadual n.66.549/2022), em associação com o Programa Refloresta-SP, que prevê (artigo 12 do Decreto Estadual n.66.550/2022) a definição de “*instrumentos e metodologias para a identificação, quantificação, validação e o registro de serviços ecossistêmicos e de biodiversidade gerados por projetos de conservação, restauração e uso sustentável de recursos naturais*”. Essa política abriu espaço para futuros arranjos de pagamento por serviço de polinização ainda inexplorados nas políticas públicas.
- Plataforma do Refloresta-SP ([refloresta.ambiente.sp.gov.br](http://refloresta.ambiente.sp.gov.br)). Instrumento do Programa Refloresta-SP (Decreto Estadual n.66.550/2022) instituído pela Resolução Semil n.03/2023, é uma plataforma digital que cria recomendações personalizadas para implantação de Florestas Multifuncionais, incluindo combinações de espécies, formas de manejo e uso econômico sustentável. Há potencial para integrar resultados do modelo de polinização às bases de dados que a plataforma utiliza para gerar recomendações de restauração florestal que beneficiem o serviço de polinização, uma vez que as bases de dados utilizadas ainda não incluem nenhuma entrada relacionada a esse serviço ecossistêmico;
- Plano Estadual de Adaptação e Resiliência Climática (Pearc), nos eixos de “Segurança Alimentar e Nutricional” e de “Biodiversidade”, bem como no eixo transversal de Justiça Climática. A primeira versão do plano foi disponibilizada para consulta pública em 2024, com a proposta de um rol de ações a serem implementadas no curto prazo (até 3 anos), seguidas por ações de médio e longo prazo. A polinização é um serviço ecossistê-

mico sensível às mudanças climáticas, muito relevante para a conservação da biodiversidade expressa na forma de interações planta-animal e com impacto econômico importante nas cadeias de produção de alimentos. Esse sistema é sensível a mudanças climáticas e deve ser considerado nas ações do Pearc de forma a mitigar efeitos negativos e preparar as paisagens paulistas para lidar com essas mudanças de forma mais resiliente. As ações desenvolvidas no âmbito do Pearc devem contar com recursos provenientes do Fina-clima, mecanismo de captação de recursos privados e de financiamento climático, no âmbito estadual, com a finalidade de desenvolver soluções visando à mitigação, adaptação e resiliência frente às mudanças do clima. O Biota Síntese colaborou diretamente na elaboração do Pearc;

- Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE - Decreto Estadual n.67.430/2022), no âmbito da diretriz estratégica da biodiversidade. Os mapas de demanda, oferta, provisão e déficit gerados pelo modelo aqui apresentado podem subsidiar:
  - » A criação de um novo indicador de biodiversidade na seção de diagnóstico que poderia incorporar o componente espacialmente explícito do modelo;
  - » A abordagem teórica de provisão de serviços de polinização, que embasa o modelo, nas diretrizes aplicáveis do ZEE;
- Programa Nascentes (<https://semil.sp.gov.br/sma/programanascentes/>) e demais iniciativas institucionais que envolvam, em alguma medida, a priorização de áreas para restauração e conservação, de modo que seja contemplado o critério de incremento no serviço de polinização;
- Planos de Ação Territorial (PAT), que dão ênfase às espécies de fauna e flora ameaçadas de extinção. Há duas resoluções que estabelecem os Planos de Ação Territorial (PAT Cinturão Verde - Resolução Semil n.26/2024 e PAT Caminho das Tropas - Resolução Sima n.11/2022), que podem integrar os mapas de



Créditos: © Eduardo Freitas Moreira

polinização para fomentar ações que incrementem o serviço de polinização e favoreça a conservação tanto das espécies de fauna polinizadora quanto de flora polinizada.

- As UC, que abrigam alguns dos ecossistemas mais preservados e com maior diversidade de polinizadores, oferecem diversas oportunidades de incorporação dos produtos do modelo de polinização:
  - » Identificar áreas de demanda agrícola sob a influência dessas UC, melhorando a comunicação deste serviço e possíveis formas de otimizá-lo, por exemplo, manejo agrícola que conserve polinizadores;
  - » Identificação de condicionantes de licenciamento aplicáveis no entorno das UC;
  - » Incorporação aos zoneamentos de Reservas de Desenvolvimento Sustentável (RDS) e Reservas Extrativistas (Resex), categorias de uso sustentável promotoras de economias de base florestal capazes de se beneficiar amplamente do serviço de polinização;
  - » Subsídio aos Planos de Manejo de Áreas de Proteção Ambiental (APA), categoria de uso sustentável que pode ser adequada para incorporar paisagens “alimentares” e multifuncionais, com grande sinergia com os serviços de polinização;
  - » Subsídio aos Planos de Manejo com relação às Zonas de Amortecimento (ZA), que possuem importante interface com paisagens agrícolas no entorno de UC e que frequentemente se beneficiam dos serviços de polinização que elas proveem;
  - » Subsídio à instalação de meliponários nas UCs e entorno, tanto para ampliar a oferta de polinizadores quanto para favorecer a conservação das espécies de abelhas nativas;
  - » Integração dos dados de polinização ao monitoramento dos insetos que já ocorre em UC, incluindo polinizadores
- A Rede Refloresta é uma ferramenta digital que será desenvolvida no âmbito de projeto aprovado em edital de 2023 do Programa de Políticas Públicas da Fapesp, com o objetivo integrar e operacionalizar informações espaciais importantes para a tomada de decisão relacionada à restauração. Considerando que a decisão de onde restaurar interfere na oferta futura do serviço de polinização, o modelo de polinização pode ser incorporado como uma das camadas para a tomada de decisão.
- Refinamento das informações da localização de meliponicultores no estado (Resolução Sima n.11/2021), entendendo a relação da sua localização com oferta, demanda, provisão e déficit. Aqui, também seria possível utilizar o modelo para indicar locais chave para a implantação de meliponicultura

como forma de favorecer tanto o serviço de polinização quanto o fortalecimento de populações nativas de abelhas.

- A Política Estadual de Agroecologia e Produção Orgânica (Peapo) do estado de São Paulo foi instituída pela Lei n.16.684/2018 e regulamentada pelo Decreto n.66.508/2022. Um de seus objetivos é priorizar o desenvolvimento de sistemas agroalimentares locais e sustentáveis. A melhoria na provisão do serviço ecossistêmico de polinização integra o conjunto de práticas benéficas à biodiversidade e à sustentabilidade, representando importante sinergia entre o conteúdo desta publicação e a Peapo.
- O Programa Estadual de Incentivo ao Cultivo de *Coffea canephora*, lançado em outubro de 2024, visa ampliar o cultivo no estado a partir de um novo tipo de grão, o *canephora*, e gerar oportunidades para o produtor recuperar pastagens degradadas. Em parceria com a iniciativa privada, deve beneficiar 20 mil produtores e irá movimentar R\$ 500 milhões para a infraestrutura produtiva. A região oeste do estado de São Paulo, por exemplo, com sua vantagem hidrográfica, tem potencial para o cultivo do café *canephora*, cultura que agrega sustentabilidade financeira e ambiental. Ao mesmo tempo, o *canephora* é mais dependente de polinização cruzada que o café arábica. Assim, as informações geradas por essa nota técnica poderão subsidiar as tomadas de decisão para que a paisagens locais e regionais dos novos plantios sejam estruturadas de forma estratégica, obtendo o máximo de produtividade possível e conservando os polinizadores silvestres.

Para além das oportunidades de políticas estaduais, que são o foco principal desta publicação, existem políticas nacionais importantes, com influência importante sobre o território paulista. Alguns exemplos são:

a) a Lei n.12.651/2012 de Proteção da Vegetação Nativa, que por exigir a recomposição de Áreas de Preservação Permanente e Reservas Legais, tem potencial para suprir grande parte do déficit de polinização. O mapeamento aqui apresentado assim poderia orientar a recomposição de áreas que podem contribuir proporcionalmente mais para a provisão do serviço de polinização e assim para o aumento da produtividade agrícola no estado; b) o Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Insetos Polinizadores (PAN Polinizadores) do ICMBio (ICMBio, 2024); c) o Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono, Mapa, 2024). O cálculo da pegada de carbono dos produtos agropecuários é relativo à produtividade por hectare considerando todos os insumos utilizados no processo. Aumentando-se a produtividade dos cultivos por meio de incremento do serviço de polinização, o que poderia ser incorporado no âmbito do Plano ABC a pegada de carbono é reduzida, gerando o efeito “poupa-terra”, que consiste no crescimento da

produção agrícola sem a necessidade de desmatar novas áreas; e d) o Programa Nacional de Conversão de Pastagens Degradadas em Sistemas de Produção Agropecuários e Florestais Sustentáveis (PNCPPD).

O modelo de provisão potencial do serviço de polinização teria grande aplicação nas regiões em que há uma grande quantidade de pastagens degradadas que poderiam ser convertidas em sistemas agrícolas sustentáveis, beneficiando diretamente os polinizadores, a exemplo do Pontal do Paranapanema e do Vale do Paraíba. Uma das aplicações interessantes seria incluir nesse processo de restauração de pastagens estratégias que incluam a paisagem espécies de plantas e processos que favoreçam os polinizadores oferecendo alimento e locais de nidificação, inclusive como pasto apícola para produção de mel.

Por fim, além das políticas existentes listadas antes, é possível sugerir novas políticas ou instrumentos e utilidades para o modelo desenvolvido. Por exemplo, o estado de São Paulo pode usá-lo para estruturar os mecanismos de financiamento dos créditos de biodiversidade estabelecidos pelo Marco Global de Biodiversidade de Kunming-Montreal em 2022 (Souza et al., 2023). Uma possibilidade para além de políticas diretas é a incorporação dos dados espaciais (mapas) no sistema da Semil, a partir da utilização do DataGEO.<sup>1</sup> Essa ação facilitará a utilização desses dados pelos técnicos, pesquisadores ou mesmo pela sociedade civil.

<sup>1</sup>Disponível em: <<https://datageo.ambiente.sp.gov.br/>>.

## SÍNTESE DE POLINIZAÇÃO

O compilado desta Nota Técnica, incluindo o modelo, possíveis instrumentos e dados, foi fundamental para subsidiar a Síntese de Polinização, com a primeira oficina de coprodução realizada em junho de 2024. Durante o processo de coprodução, a lista acima de instrumentos e ações em aderência ao modelo foi avaliada por toda a equipe. Após identificarmos os instrumentos e possíveis ações mais relevantes para iniciarmos aplicações de possíveis pilotos e aproveitar chances de interação entre academia e políticas públicas, realizamos contribuições mais específicas ao Plano Estadual de Adaptação e Resiliência Climática, que integraram a versão disponibilizada para consulta pública em novembro/2024. Direcionar esforços para a elaboração desse plano foi uma forma de aproveitar tanto a conveniência de uma janela de oportunidade quanto o nível de impacto em potencial a partir de sua futura implementação. No entanto, novos instrumentos podem ser agregados e integrados ao longo do desenvolvimento da Síntese de Polinização.



Créditos: © Eduardo Freitas Moreira

## ACESSO AOS DADOS COMPLETOS

Todas as camadas e resultados reportados nesta Nota Técnica estão organizados e publicamente disponíveis para consulta no repositório permanente GitHub LEAP-USPRP/PolLEM-Pollination-Landscape-Evaluation-Model-in-SP, com DOI: 10.5281/zenodo.11527589 e podem ser acessados de forma atualizada por meio do seguinte link: <https://zenodo.org/records/11586644>. Estes dados estão licenciados sob a licença Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International Public License. Isso significa que os dados podem ser compartilhados, utilizados e adaptados para fins não comerciais, desde que seja dada a devida atribuição aos autores originais, e que quaisquer obras derivadas sejam distribuídas sob a mesma licença.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, D. A. et al. A sustainable and bee-pollinated coffee to start your day. *bioRxiv*, p.2024-9, 2024. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10975249>
- ARROYO-RODRÍGUEZ, V. et al. Designing optimal human-modified landscapes for forest biodiversity conservation. *Ecology letters*, v.23, n.9, p.1404-20, 2020. <https://doi.org/10.1111/ele.13535>
- BOSCOLO, D. et al. Positive responses of flower-visiting bees to landscape heterogeneity depend on functional connectivity levels. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v.15, n.1, p.18-24, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.03.002>
- BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. *Restauração florestal*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- BRANCALION, P. H. et al. The cost of restoring carbon stocks in Brazil's Atlantic Forest. *Land Degradation & Development*, v.32, n.2, p.830-41, 2021. <https://doi.org/10.1002/ldr.3764>
- BURD, M. et al. Ovule number per flower in a world of unpredictable pollination. *American Journal of Botany*, v.96, n.6, p.1159-67, 2009. <https://doi.org/10.3732/ajb.0800183>
- CAMPBELL, A. J. et al. Forest conservation maximises açai palm pollination services and yield in the Brazilian Amazon. *Journal of Applied Ecology*, v.60, n.9, p.1964-76, 2023. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14460>
- CANZI, F. A. et al. Effect of pollination on the composition of raw arabica coffee (*Coffea arabica* L.): antioxidant capacity, bioactive compounds, and volatiles precursors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.103, n.11, p.5578-87, 2023. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12635>
- CARRASCO, L. et al. Potential regional declines in species richness of tomato pollinators in North America under climate change. *Ecological Applications*, v.31, n.3, 2020. <https://doi.org/10.1002/eap.2259>
- COUTINHO, J. G. et al. Landscape structure is a major driver of bee functional diversity in crops. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v.9, p.624835, 2021. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.624835>
- FERREIRA, R. B.; PARREIRA, M. R.; NABOUT, J. C. The impact of global climate change on the number and replacement of provisioning ecosystem services of Brazilian Cerrado plants. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.193, n.11, p.731, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09529-6>
- FOLEY, J. A. et al. Global consequences of land use. *Science*, v.309, n.5734, p.570-4, 2005. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>

FREIMUTH, J.; BOSSDORF, O.; WILLEMS, F. M. Climate warming changes synchrony of plants and pollinators. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* doi, 2021. <https://doi.org/10.1101/2021.01.10.425984>

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (Seade). (2013). Índice Paulista de Vulnerabilidade Social – IPVS 2010. Disponível em: <<https://ipvs.seade.gov.br/>>. Acesso em: 6 nov. 2024.

GALETTO, L. et al. Impact of Pollination and Agroecosystem Configuration on Oil Content and Composition in Soybean Crops. *SSRN*, 4885353, 2024. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4885353>

GARCIA, L. C. et al. Flower functional trait responses to restoration time. *Applied Vegetation Science*, v.18, n.3, p.402-12, 2015. <https://doi.org/10.1111/avcc.12163>

GARIBALDI, L. A. et al. Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecology letters*, v.14, n.10, p.1062-72, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01669>.

GARIBALDI, L. A. et al. From research to action: enhancing crop yield through wild pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v.12, n.8, p.439-47, 2014. <https://doi.org/10.1890/130330>

GARIBALDI, L. A. et al. Crop pollination management needs flower-visitor monitoring and target values. *Journal of Applied Ecology*, v.57, n.4, p.664-70, 2020. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13574>

GAZZONI, D. L.; PAZ BARATEIRO, J. V. G. R. Soybean yield is increased through complementary pollination by honey bees. *Journal of Apicultural Research*, v.63, n.4, p.801-12, 2024. <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2161219>

GEERTSEMA, W. Actionable knowledge for ecological intensification of agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v.14, n.4, p.209-16, 2016. <https://doi.org/10.1002/fee.1258>

GIANNINI, T. C. et al. Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. *PLOS ONE*, v.12, n.8, e0182274, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182274>

GIANNINI, T. C. et al. Climate change in the Eastern Amazon: Crop-pollinator and occurrence-restricted bees are potentially more affected. *Regional Environmental Change*, v.20, n.1, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01611-y>

GONZÁLEZ-CHAVES, A. et al. Forest proximity rather than local forest cover affects bee diversity and coffee pollination services. *Landscape Ecology*, v.35, p.1841-55, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01061-1>

GONZÁLEZ-CHAVES, A. D. et al., Evidence of time-lag in the provision of ecosystem services by tropical regenerating forest to coffee yields. *Environmental Research Letters*, v.18, n.2, p.025002, 2023. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acb161>

HARDMAN, C. J. et al. Delivery of floral resources and pollination services on farmland under three different wildlife-friendly schemes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.220, p.142-51, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.015>

HIPÓLITO, J. et al. Performance, effectiveness, and efficiency of honeybees as pollinators of *Coffea arabica* (Gentianales, Rubiaceae). *Neotropical Entomology*, v.49, p.501-10, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13744-020-00785-8>

HIPÓLITO, J.; VIANA, B. F.; GARIBALDI, L. A. The value of pollinator-friendly practices: Synergies between natural and anthropogenic assets. *Basic and Applied Ecology*, v.17, n.8, p.659-67, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.09.003>

HOUK, W. G. The ovule and seed of *Coffea arabica* L. *Science*, v.83, n.2159, p.464-5, 1936. <https://doi.org/10.1126/science.83.2159.464>

IMBACH, P. et al. Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.114, n.39, p.10438-442, 2017. <https://doi.org/10.1073/pnas.1617940114>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2023. Produção Agrícola Municipal (PAM): culturas temporárias e permanentes, 2022. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 5 abril 2023.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBio. Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Insetos Polinizadores. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/pan/pan-insetos-polinizadores>>. Acesso em: 6 nov. 2024.

IPBES. *The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production*. Bonn: Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. 2016. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3402856>

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA), FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP) e PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD), 2013. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) 2010. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/>>. Acesso em: 5 jan. 2024.

- KENNEDY, C. M. et al. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology letters*, v.16, n.5, p.584-99, 2013. <https://doi.org/10.1111/ele.12082>
- KLEIJN, D. et al. Ecological intensification: bridging the gap between science and practice. *Trends in Ecology & Evolution*, v.34, n.2, p.154-66, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.11.002>
- KLEIN, A. M.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, v.270, n.1518, p.955-61, 2003. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2306>
- KNIGHT, T. M. et al. Pollen limitation of plant reproduction: pattern and process. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v.36, p.467-97, 2005. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102403.115320>
- KREMEN, C.; MERENLENDER, A. M. Landscapes that work for biodiversity and people. *Science*, v.362, n.6412, p.eaau6020, 2018. <https://doi.org/10.1126/science.aau6020>
- LANG, N. et al. A high-resolution canopy height model of the Earth. *Nature Ecology & Evolution*, v.7, n.11, p.1778-89, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41559-023-02206-6>
- LÓPEZ-CUBILLOS, S. et al. Optimal restoration for pollination services increases forest cover while doubling agricultural profits. *PLoS Biology*, v.21, n.5, e3002107, 2023. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002107>
- LUNDIN, O. et al. Integrated pest and pollinator management—expanding the concept. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v.19, n.5, p.283-91, 2021. <https://doi.org/10.1002/fee.2325>
- MACHADO, A. C. P. et al. Optimizing coffee production: Increased floral visitation and bean quality at plantation edges with wild pollinators and natural vegetation. *Journal of Applied Ecology*, v.61, n.3, p.465-75, 2024. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14591>
- MAPBIOMAS. MapBiomass Project - The annual land use and land cover maps. 2023. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 15 fev. 2024.
- MARTINS, A. C. et al. Species conservation under future climate change: The case of *Bombus bellicosus*, a potentially threatened South American bumblebee species. *Journal of Insect Conservation*, v.19, n.1, p.33-43, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10841-014-9740-7>
- MCTI. Projeto Conexão Mata Atlântica - Projeto de Recuperação e Proteção dos Serviços do Clima e da Biodiversidade do Corredor Sudeste da Mata Atlântica Brasileira - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações.

2019. Disponível em: <<https://conexaomataatlantica.mctic.gov.br/cma/o-projeto/o-que-e>>. Acesso em: 15 fev. 2024.

METZGER, J. P. et al. Considering landscape-level processes in ecosystem service assessments. *Science of The Total Environment*, v.796, p.149028, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149028>

MICHENER, C.D., 2007. The bees of the world. John Hopkins University Press, Baltimore.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Plano ABC+: Plano Setorial de Adaptação e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030. S. d. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais>>. Acesso em: 6 nov. 2024.

MKHABELA, M. S. et al. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.151, n.3, p.385-93, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.11.003>

MONASTEROLO, M. et al. Native pollinators increase fruit set while honeybees decrease the quality of mandarins in family farms. *Basic and Applied Ecology*, v.64, p.79-88, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2022.07.008>

MOREIRA, E. F.; BOSCOLO, D.; VIANA, B. F. Spatial heterogeneity regulates plant-pollinator networks across multiple landscape scales. *PloS one*, v.10, n.4, p.e0123628, 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123628>

MOREIRA, E. F.; BOSCOLO, D.; VIANA, B. F. Beyond good and evil: context-dependent effects of agriculture on pollinators' communities and its interactions. *Oecologia Australis*, v.22, n.4, p.686-95, 2018a. <https://doi.org/10.4257/oeco.2018.2204.11>

MOREIRA, E. F. et al. Ecological networks in changing tropics. In: Ecological Networks in the Tropics: An Integrative Overview of Species Interactions from Some of the Most Species-Rich Habitats on Earth. *Cham: Springer*, p.155-69, 2018b. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-68228-0\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68228-0_11)

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v.403, p.853-8, 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>

NERY, L. S. et al. Bee diversity responses to forest and open areas in heterogeneous Atlantic Forest. *Sociobiology*, v.65, n.4, p.686-95, 2018. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v65i4.3472>

PAM-IBGE. Produção Agrícola Municipal. 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>>. Acesso em: 15 fev. 2024.

- POLCE, C. et al. Climate-driven spatial mismatches between British orchards and their pollinators: Increased risks of pollination deficits. *Global Change Biology*, v.20, n.9, p.2815-28, 2014. <https://doi.org/10.1111/gcb.12577>
- PORTO, R. G. et al. Pollination ecosystem services: A comprehensive review of economic values, research funding and policy actions. *Food Security*, v.12, n.6, p.1425-42, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01043-w>
- POWNEY, G. D. et al. Widespread losses of pollinating insects in Britain. *Nature Communications*, v.10, n.1, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08974-9>
- RADER, R. et al. Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.113, n.1, p.146-51, 2016. <https://doi.org/10.1073/pnas.1517092112>
- RIBEIRO, G. S.; ALVES, E. M.; CARVALHO, C. A. L. D. Biology of pollination of *Citrus sinensis* variety 'pera rio'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.39, n.2, p.e-033, 2017. <https://doi.org/10.1590/0100-29452017033>
- RICKETTS, T. H. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology*, v.18, n.5, p.1262-71, 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00227.x>
- RODRIGUES, R. R. et al. Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. *Forest Ecology and Management*, v.261, n.10, p.1605-13, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.005>
- ROUBIK, D. W. *Ecology and Natural History of Tropical Bees*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511574641>
- ROZNIK, M.; BOYD, M.; PORTH, L. Improving crop yield estimation by applying higher resolution satellite NDVI imagery and high-resolution cropland masks. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v.25, 100693, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100693>
- SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA (Semil). Projeto Conexão Mata Atlântica em São Paulo [recurso eletrônico]. Fundação Florestal e Finatec; Coordenação Geral por Claudette M. Hahn, Luiza Saito e Raquel Galera. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística, 2024. Disponível em: <<https://fflorestal.sp.gov.br/publicacoes/>>.
- SIMA/IPA. Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura. Inventário da cobertura vegetal nativa do Estado de São Paulo. São Paulo, Brazil, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/handle/123456789/2475/>>. Acesso em: 5 nov. 2024.
- SINGH, G. (Ed.) *The soybean: botany, production and uses*. Wallingford: CABI, 2010. ISBN 978-1-84593-644-0.

SIOPA, C. et al. Animal-pollinated crops and cultivars—A quantitative assessment of pollinator dependence values and evaluation of methodological approaches. *Journal of Applied Ecology*, v.61, n.6, p.1279-88, 2024. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14634>

SOARES, R. G. S.; FERREIRA, P. A.; BOSCOLO, D. et al. Forest cover and non-forest landscape heterogeneity modulate pollination of tropical understory plants. *Landscape Ecology*, v.37, p.393-409, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01356-x>

SOUZA, F. H.; CHAVES, R. B.; BRAGA, A. G. *Restauração de ecossistemas: financiamento por meio de Blended Finance e fundos de biodiversidade*. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP; Instituto de Pesquisas Ambientais, 2023. Disponível em: <[biotasantese.iea.usp.br/pt/](http://biotasantese.iea.usp.br/pt/)>.

SOUZA JUNIOR, C. M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, v.12, n.17, p.2735, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>

STEIN, A.; GERSTNER, K.; KREFT, H. Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecology letters*, v.17, n.7, p.866-80, 2014. <https://doi.org/10.1111/ele.12277>

TITTONELL, P. Ecological intensification of agriculture—sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v.8, p.53-61, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.006>

TREEP, J. et al. Seed dispersal as a search strategy: dynamic and fragmented landscapes select for multi-scale movement strategies in plants. *Movement Ecology*, v.9, p.1-14, 2021. <https://doi.org/10.1186/s40462-020-00239-1>

VÁZQUEZ, D. P.; MORRIS, W. F.; JORDANO, P. Interaction frequency as a surrogate for the total effect of animal mutualists on plants. *Ecology Letters*, v.8, p.1088-94, 2005. <http://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00810.x>

WOJCIK, V. A. et al. Floral resource competition between honey bees and wild bees: is there clear evidence and can we guide management and conservation? *Environmental entomology*, v.47, n.4, p.822-33, 2018. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy077>

WOLDITSADIK, M.; BEYENE, T.; ABI, D. Investigating the Role of Honeybee (*Apis mellifera* L.) Pollination on Seed Yield of Soybean (*Glycine max* L. Merrill). *American Journal of BioScience*, v.11, n.4, p.88-91, 2023. <https://doi.org/10.11648/j.ajbio.20231104.12>

WOLOWSKI, M. et al. *Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil*. São Carlos: Editora Cubo, 2019. p.9. <http://doi.org/10.4322/978-85-60064-83-0>

## AUTORES

### **Eduardo Freitas Moreira**

*Concepção, desenvolvimento da nota técnica, desenvolvimento da metodologia e do modelo de provisão, levantamento, análise e mapeamento de dados, redação e revisão do texto*

Biólogo, mestre em Ecologia e Biomonitoramento, doutorado em Ecologia pela Universidade Federal da Bahia com período sanduíche na Universidad Nacional de Río Negro (Argentina). Desenvolve estudos de biologia e ecologia de polinizadores e da polinização aplicando geoprocessamento na modelagem de serviços ecossistêmicos em paisagens agrícolas e políticas ambientais. É pesquisador de pós-doutorado no projeto Biota Síntese, atuando no desafio de “Agricultura e Serviços Ecossistêmicos”, onde desenvolve estudos sobre os serviços ecossistêmicos de polinização e controle de pragas.

### **Luara Tourinho de Oliveira Pereira (Luara Tourinho)**

*Desenvolvimento da nota técnica, auxílio no desenvolvimento da metodologia, do levantamento, da análise e do mapeamento de dados, redação e revisão do texto*

Doutora em Ecologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, com período de intercâmbio na University of California, Santa Cruz. Atual pesquisadora de pós-doutorado do projeto Biota Síntese (eixo Agricultura e Serviços Ecossistêmicos), desenvolvido na Universidade de São Paulo, com período de intercâmbio na University of Cambridge. Principais interesses: Biologia da Conservação, Mudanças Globais, Serviços Ecossistêmicos, Agricultura Sustentável e Gestão Ambiental.

### **Rafael Barreiro Chaves (Rafael B. Chaves)**

*Concepção, desenvolvimento, e revisão da nota técnica. Alinhamento da coprodução em interface com as políticas públicas estaduais*

É especialista ambiental da Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do estado de São Paulo (Semil), onde trabalha desde 2009 com foco em políticas e programas de restauração de ecossistemas, serviços ecossistêmicos, e na coprodução de ciência e política pública. Vice-diretor do projeto Biota Síntese, é interlocutor da Semil em diversas pesquisas acadêmicas, promo-

vendo a interface com políticas estaduais. Graduado em Ecologia pela Unesp e doutorando em Ecologia pela USP, é conselheiro da Sociedade Brasileira de Restauração Ecológica e do Pacto pela Restauração da Mata Atlântica.

### **Blandina Felipe Viana**

*Revisão geral da nota técnica*

Professora titular aposentada de ecologia na Universidade Federal da Bahia, docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Ecologia: Teoria, Aplicação e Valores do Instituto de Biologia da UFBA. É cofundadora e membro do comitê de gestão da Rede Brasileira de Ciência Cidadã. Atua na interface entre o uso e a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos em sistemas naturais, urbanos e agrícolas. Utiliza abordagens transdisciplinares, como a ciência cidadã, para promover uma compreensão mais profunda dos desafios socioambientais e incentivar mudanças de atitude em relação à natureza.

### **Cristiano Menezes**

*Revisão geral da nota técnica*

É biólogo pela Universidade Federal de Uberlândia e doutor em Entomologia pela Universidade de São Paulo. É servidor público da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Meio Ambiente desde 2019, onde atua como pesquisador e chefe de Pesquisa & Desenvolvimento. Estuda a biologia das abelhas sem ferrão e desenvolve tecnologias para sua criação em escala comercial e uso para polinização agrícola. Tem atuado na disseminação de conhecimento científico sobre abelhas e contribui com políticas públicas para promover a convivência harmônica entre a agricultura e as abelhas.

### **Kayna Agostini**

*Revisão geral da nota técnica*

Graduada em Ciências Biológicas, mestrado e doutorado em Biologia Vegetal pela Unicamp. É professora associada da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e coordena a Rede Brasileira de Interações Planta-Polinizador (REBIPP) desde 2016. Atua na área de Biologia da Polinização, com enfoque na importância do serviço de polinização para a produção de alimentos.

### **Camila Matias Goes de Abreu**

*Revisão geral e apoio no desenvolvimento da nota técnica*

É especialista ambiental no governo do estado de São Paulo, cargo público que ocupa desde 2009. Nessa função, desempenhou atividades relacionadas à gestão pública no âmbito de compras públicas sustentáveis; controle de produtos e subprodutos de espécies florestais nativas; identificação macroscópica da madeira; manejo de fauna silvestre *in situ* e *ex situ* (licenciamento ambiental, conservação ambiental, controle populacional de espécies nativas e exóticas, saúde ambiental, composição de plantel, gestão de empreendimentos de fauna silvestre em cativeiro); restauração ecológica; elaboração, monitoramento e avaliação de projetos ambientais. É graduada em Ciências Biológicas pela Unesp e especialista em Biotecnologia pela Universidade Estadual de Maringá.

### **Cristina Azevedo**

*Revisão geral e apoio no desenvolvimento da nota técnica*

Bióloga, mestre em Ciência Ambiental pela Universidade de São Paulo. É servidora pública desde 1989. Foi coordenadora de Biodiversidade e Recursos Naturais e secretária adjunta de Meio Ambiente do estado de São Paulo. Atuou no Ministério do Meio Ambiente, como coordenadora técnica do Conselho de Gestão do Patrimônio Genético. Atualmente é assessora da Coordenação de Planejamento Ambiental da Semil/SP. Tem atuado com o tema de mudanças climáticas, participando do processo de elaboração do Plano de Ação Climática - PAC2050 e do Plano Estadual de Adaptação e Resiliência Climática (Pearc).

### **Luciano Elsinor Lopes**

*Revisão geral da nota técnica*

Biólogo pela Unicamp, mestre e doutor em Ecologia pela USP com período sanduíche na Universidade de Stanford (Estados Unidos). Desenvolve estudos sobre ecologia de polinizadores e da polinização na perspectiva da ecologia de paisagens. É professor na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e pesquisador no projeto Biota Síntese, atuando no desafio de “Agricultura e Serviços Ecosistêmicos”.

**Natália Macedo Ivanauskas**

*Revisão geral da nota técnica*

Engenheira agrônoma, mestre e doutora em Biologia Vegetal pela Universidade Estadual de Campinas. Foi professora assistente na Universidade do Estado de Mato Grosso, pesquisadora científica na Embrapa e atualmente é pesquisadora científica nível VI do Instituto de Pesquisas Ambientais. Atua na área de Botânica, com ênfase em Fitogeografia.

**Jean Paul Metzger**

*Revisão geral e apoio no desenvolvimento da nota técnica*

É biólogo pela Universidade de São Paulo, mestre e doutor em Ecologia da Paisagem na Universidade de Toulouse, França. É professor titular de ecologia na Universidade de São Paulo, atuando no Instituto de Biociências e no Instituto de Estudos Avançados. Trabalha com questões relacionadas à fragmentação de florestas tropicais, conectividade e restauração da paisagem, avaliação de serviços ecossistêmicos, soluções baseadas na natureza e bem-estar humano.

**Danilo Boscolo**

*Supervisão, desenvolvimento da nota técnica e análise metodológica*

Biólogo, mestre e doutor em Ecologia pela Universidade de São Paulo, com período sanduíche na UFZ-Leipzig, Alemanha, e pós-doutorado na Universidade Federal da Bahia. É pesquisador principal do projeto Biota Síntese, coordenando o desafio de “Agricultura e Serviços Ecossistêmicos”, focando em serviços ecossistêmicos de polinização e controle de pragas. Além de estudos sobre ecologia de paisagens modificadas, colabora em projetos interdisciplinares que conectam pesquisa a aplicações na gestão de paisagens, integrando conhecimento científico nas políticas públicas para aprimorar estratégias de conservação.

**Fotografias**

© Eduardo Freitas Moreira

**Diagramação**

Joana da Silva Thomaz

**Revisão**

Nelson Barbosa

**Produção editorial**

Fernanda Cunha Rezende