



**ANA BEATRIZ LIGO**

**PADRÕES MACROECOLÓGICOS EM REDES DE  
INTERAÇÕES MUTUALÍSTICAS ENTRE MORCEGOS E  
FRUTOS NA REGIÃO NEOTROPICAL**

**Lavras – MG  
2021**

**ANA BEATRIZ LIGO**

**PADRÕES MACROECOLÓGICOS EM REDES DE INTERAÇÕES  
MUTUALÍSTICAS ENTRE MORCEGOS E FRUTOS NA REGIÃO NEOTROPICAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração Ecologia e Conservação de Recursos Naturais em Ecossistemas Fragmentados e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Renato Gregorin  
Orientador

Dr. Rafael de Souza Laurindo  
Co-orientador

**Lavras – MG  
2021**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Ligo, Ana Beatriz.

Padrões macroecológicos em redes de interações mutualísticas  
entre morcegos e frutos na Região Neotropical. / Ana Beatriz Ligo.  
- 2021.

99 p.

Orientador(a): Renato Gregorin.

Coorientador(a): Rafael de Souza Laurindo.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Macroecologia. 2. Redes de interações. 3. Mutualismo. I.  
Gregorin, Renato. II. Laurindo, Rafael de Souza. III. Título.

**ANA BEATRIZ LIGO**

**PADRÕES MACROECOLÓGICOS EM REDES DE INTERAÇÕES  
MUTUALÍSTICAS ENTRE MORCEGOS E FRUTOS NA REGIÃO NEOTROPICAL**

**MACROECOLOGICAL PATTERNS IN MUTUALISTIC INTERACTION  
NETWORKS BETWEEN BATS AND FRUITS IN THE NEOTROPICAL REGION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração Ecologia e Conservação de Recursos Naturais em Ecossistemas Fragmentados e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 08 de março de 2021  
Dr. Lucas Del Bianco Faria – UFLA  
Dr. Jeferson Vizentin-Bugoni - UIUC

Prof. Dr. Renato Gregorin  
Orientador

Dr. Rafael de Souza Laurindo  
Co-orientador

**Lavras – MG  
2021**

*A minha família e amigos,*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Ecologia Aplicada da Universidade Federal de Lavras e a todos os professores e professoras do programa pela oportunidade de cursar o mestrado e por todo o conhecimento adquirido ao longo desses dois anos.

Ao meu orientador Renato Gregorin por ter me recebido no Laboratório de Diversidade e Sistemática de Mamíferos (LADISMA), por ter me orientado sempre com contribuições valiosas e me ensinado tanto sobre os morcegos. Também agradeço ao meu co-orientador Rafael Laurindo, por abrir as portas do mundo das redes de interações e por me auxiliar tanto nas diversas etapas do trabalho. Sem a orientação de vocês o trabalho não seria possível!

À Ellen por ter me recebido tão bem desde meu primeiro dia em Lavras, até esses últimos dias que antecederam a defesa da dissertação. Muito obrigada por sempre ter sanado minhas dúvidas, me ajudado e orientado com tanta paciência e carinho!

Aos colegas do Laboratório de Diversidade e Sistemática de Mamíferos (LADISMA): Sebastião, Rodrigo, Matheus, Lucas, Gabriela, Jaqueline e Letícia por todas as interações no laboratório. Agradeço especialmente ao Arthur por todo o companheirismo nas disciplinas e almoços, pelos conselhos valiosos e por pacientemente ter me ensinado tanto sobre a identificação e ecologia dos morcegos neotropicais, muito obrigada! E também um agradecimento especial à Naiara que mais do que uma colega virou uma amiga! Muito obrigada pela amizade, pelo companheirismo em campo e na fotografia dos anuros (rs), por encarar junto comigo a tarefa de “aprender coisas de campo”, por me fazer rir a maior parte do tempo e me contar as histórias da vida no interior de Minas Gerais.

A todas as amigas que Lavras me deu: Norma, Carol, Fernanda Moreira, Luane, Ana, Mateus Melo, Matheus Corrêa, Luana e Marianne. Muito obrigada por toda a companhia nas disciplinas, pelos almoços no RU, pelos conselhos, pela ajuda nos momentos de angústia, pelo cafezinho e pela cerveja nos dias que dava e por todos os momentos legais que passamos juntos. Que bom que eu conheci vocês! Agradeço especialmente ao Victor pela amizade que construímos nesse tempo, por me ensinar o que sabia sobre teoria de redes e análises estatísticas, por me ouvir e me aconselhar sempre, por me apresentar a UFLA lá no começo de 2019, por ter feito com que eu me sentisse em casa e não menos importante: obrigada por todas as crises de riso. Também agradeço especialmente à Fernanda Souza pela amizade que fortalecemos durante a pandemia, por dividir comigo os vinhos e a caminhada acadêmica, pelos papos sobre dispersão de sementes e sobre o selvagem que existe em nós.

Às amigas Camila, Isis, Marina e Elora por todo o apoio desde o processo seletivo, mudança de estado e ao longo desses dois anos longe. Muito obrigada pela amizade, carinho, companhia e interesse em entender um pouquinho meu trabalho.

Ao Felipe Orlando por todo o incentivo para que eu seguisse meus sonhos nesses dezoito anos de amizade. Obrigada por me acompanhar nessa jornada e em todas as outras, por rir e chorar comigo a cada outubro, por me apoiar e entender minhas decisões, por puxar minha orelha quando foi necessário e por estar do meu lado sempre.

Ao Jairo, meu amor e meu companheiro de vida, por todo o incentivo para cursar o mestrado, desde a decisão de participar do processo seletivo e em todos os dias desde então. Obrigada por todo o amor, companheirismo, por aceitar mudar de estado para estar ao meu lado, obrigada por entender a minha ausência quando as atividades da pós-graduação tomavam todo o meu tempo, obrigada por ser meu porto seguro. Sem você o caminho seria muito mais árduo! Obrigada por me acompanhar na vida!

Agradeço o apoio de todos os meus familiares, minha mãe Élide, meu pai José Carlos (*in memoriam*), minhas irmãs Evelin e Josiane, meus cunhados André F. e André A. e meus sobrinhos Laura e Andrey. Obrigada por me apoiarem em todas as minhas decisões, pelo respeito ao meu trabalho, pelo acolhimento, pelo interesse em entender um pouquinho sobre a minha pesquisa, pela ajuda com a mudança de estado e pela preocupação com meu bem-estar. Muito obrigada!

Ao Prof. Dr. Lucas Del Bianco Faria, Dr. Jeferson Bugoni e Prof<sup>a</sup>. Dra. Ligiane Moras por aceitarem compor a banca avaliadora, dessa forma contribuindo para a melhoria do trabalho.

Ao Écio Diniz pelo auxílio nas análises estatísticas.

Agradeço o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela concessão da bolsa de estudos.

Muito obrigada a todas(os) que contribuíram direta ou indiretamente com a produção deste trabalho e com a minha jornada acadêmica!

*“Por viver muitos anos dentro do mato  
moda ave  
o menino pegou um olhar de pássaro –  
contraiu visão fontana.  
Por forma que ele enxergava as coisas por igual  
como os pássaros enxergam (...)”*

*— Manoel de Barros*



## RESUMO

As interações mutualísticas entre morcegos e frutos podem variar de acordo com fatores como clima, localização geográfica e distúrbio humano. A influência desses fatores pode implicar em modificações na estrutura das redes de interações morcego-planta, embora a forma como essas variáveis determinam a estrutura das redes ainda não seja bem conhecida. Utilizando um banco de dados com 48 redes de interações entre morcegos e frutos distribuídas na Região Neotropical, nós avaliamos a influência da precipitação anual, temperatura média anual, latitude, altitude e impacto humano sobre o aninhamento, modularidade e diversidade de interações. A precipitação anual foi o principal fator associado à estrutura das redes de interações, enquanto outras variáveis não foram associadas na organização das interações. Especificamente, redes foram mais modulares em áreas mais úmidas, e mais aninhadas e com maior diversidade de interações em áreas mais secas. Dessa forma, é possível que alterações nos regimes de chuvas em decorrência de mudanças climáticas possam modificar a estrutura das redes de interações mutualísticas entre morcegos neotropicais e frutos, refletindo em alterações no consumo de frutos e dispersão de sementes com consequências para a manutenção e regeneração de florestas tropicais.

**Palavras-chave:** Morcegos neotropicais. Mutualismo. Aninhamento. Modularidade. Diversidade de interações.

## ABSTRACT

Mutualistic interactions between bats and fruits can vary according to factors such as climate, geographic location and human disturbance. The influence of these factors may imply changes in the structure of the bat-plant interaction networks, although the way in which these variables determine the structure of the networks is not yet well known. Using a database with 48 networks of interactions between bats and fruits distributed in the Neotropical Region, we evaluated the influence of annual precipitation, average annual temperature, latitude, altitude and human impact on nestedness, modularity and diversity of interactions. Annual precipitation was the main factor associated with the structure of the interaction networks, while other variables were not associated in the organization of the interactions. Specifically, networks were more modular in wetter areas, and more nested and with a greater diversity of interactions in drier areas. Thus, it is possible that changes in rainfall patterns due to climate change may modify the structure of the networks of mutualistic interactions between neotropical bats and fruits, reflecting changes in fruit consumption and seed dispersal with consequences for the maintenance and regeneration of tropical forests.

**Keywords:** Neotropical bats. Mutualism. Nestedness. Modularity. Diversity of interactions.

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	<b>11</b>
<b>1</b> Introdução .....	<b>11</b>
<b>2</b> Referencial teórico .....	<b>13</b>
<b>2.1</b> Interações entre morcegos e frutos na Região Neotropical .....	<b>13</b>
<b>2.2</b> Redes de interações mutualísticas .....	<b>14</b>
<b>2.3</b> Influência de fatores extrínsecos na estrutura das redes de interações mutualísticas .....	<b>16</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>19</b>
<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGO</b> .....	<b>23</b>
<b>1</b> Introdução .....	<b>23</b>
<b>2</b> Metodologia .....	<b>25</b>
<b>2.1</b> Banco de dados.....	<b>25</b>
<b>2.2</b> Redes de interações.....	<b>26</b>
<b>2.3</b> Variáveis macroecológicas .....	<b>25</b>
<b>2.4</b> Análise de dados.....	<b>28</b>
<b>3</b> Resultados.....	<b>29</b>
<b>4</b> Discussão.....	<b>31</b>
<b>5</b> Conclusão .....	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>35</b>

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

As interações estabelecidas entre plantas e animais são fundamentais para a manutenção, o funcionamento e a dinâmica de ecossistemas tropicais (ANDRESEN; ARROYO-RODRÍGUEZ; ESCOBAR, 2018; KALKO, 2007). Nos trópicos, aproximadamente 90% das espécies de plantas lenhosas dependem dos animais para o processo de reprodução incluindo a polinização e a dispersão de sementes (JORDANO, 2000), sendo que entre os vertebrados, os principais frugívoros são aves e mamíferos (JORDANO et al., 2006).

Os morcegos frugívoros presentes nas Américas pertencem à família Phyllostomidae, estão amplamente distribuídos na Região Neotropical e são particularmente importantes na regeneração das florestas tropicais por conta da grande proporção de frutos de espécies de sucessão inicial que consomem e dispersam suas sementes (MUSCARELLA; FLEMING, 2007). Essas interações mutualísticas entre morcegos e frutos podem variar geograficamente com latitude e altitude (SALDAÑA-VAZQUEZ et al., 2013), e as consequentes variações na temperatura (LAURINDO; GREGORIN; TAVARES, 2017) e na precipitação (RAMOS-PEREIRA; MARQUES; PALMEIRIM, 2010), como também podem ser afetadas pelo distúrbio humano (MELLO et al., 2011).

As interações mutualísticas vêm sendo estudadas por meio de uma abordagem de redes complexas (BASCOMPTE, 2013). Em redes de interações, as espécies que interagem são representadas por nós e as ligações estabelecidas entre os nós representam as interações, como por exemplo, a polinização ou dispersão de sementes (BASCOMPTE, 2013). A maneira como as redes de interações se estrutura leva à emergência de propriedades como aninhamento, modularidade e diversidade de interações, que são aspectos importantes para a estabilidade das comunidades, a manutenção dos processos ecológicos e a conservação da biodiversidade (TYLIANAKIS et al., 2010). Em contrapartida, os fatores extrínsecos (*e.g.* clima, distribuição geográfica, etc) que podem influenciar as interações entre os organismos, também podem refletir na estrutura das redes de interações (DEHLING, 2018; RICO-GRAY et al., 2012).

Alguns estudos foram conduzidos com o objetivo de avaliar o efeito de fatores extrínsecos nas propriedades das redes de interações mutualísticas a partir de uma escala macroecológica, contudo, grande parte das pesquisas utiliza como modelo redes de interações entre plantas e polinizadores (*e.g.* DALSGAARD et al., 2011; GONZÁLEZ et al., 2015;

MARUYAMA et al., 2018; OLESEN; JORDANO, 2002; TRØJELSGAARD; OLESEN, 2012). Entretanto, embora exista uma tradição de estudos relacionados às interações mutualísticas entre animais e frutos, apenas recentemente os fatores direcionadores da estrutura das redes de interações mutualísticas entre dispersores de sementes e frutos estão começando a serem entendidos em escalas macroecológicas (ESCRIBANO-ÁVILA et al., 2018). Ainda assim, essas redes de interações mutualísticas são compostas principalmente por aves, enquanto outros animais frugívoros são subamostrados (ESCRIBANO-ÁVILA et al., 2018).

Dessa forma, na segunda parte deste trabalho nós investigamos como os fatores climáticos (temperatura média anual e precipitação média anual), geográficos (latitude e altitude) e antropogênicos (índice de impacto humano) afetam as estruturas das redes de interações mutualísticas entre morcegos e frutos ao longo da Região Neotropical. Esperamos encontrar redes menos aninhadas e com maiores modularidades e diversidade de interações em locais com valores elevados de temperatura e precipitação, e em menores latitudes, altitudes e com baixo índice de impacto humano. De forma contrária, esperamos que as redes sejam mais aninhadas e com menores modularidades e diversidade de interações em locais com baixa temperatura e precipitação, e em maiores latitudes, altitudes e alto índice de impacto humano.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Interações entre morcegos e frutos na Região Neotropical

A família Phyllostomidae se encontra amplamente distribuída na Região Neotropical e é a família mais rica em termos de diversidade de espécies (FENTON et al., 1992). A distribuição dos morcegos filostomídeos segue um gradiente latitudinal, onde a riqueza de espécies tende a aumentar em direção à linha do Equador e são mais raros em latitudes elevadas (RAMOS-PEREIRA; PALMEIRIM, 2013; STEVENS, 2004). De forma semelhante, a distribuição também pode sofrer influência da altitude, onde há uma redução na abundância de morcegos filostomídeos em altitudes maiores quando comparado com altitudes menores (CASTAÑO; CARRANZA; PÉREZ-TORRES, 2018; DIAS; ESBÉRARD; PERACCHI, 2008).

Grande parte das espécies da família Phyllostomidae é fitófaga, apresentando diferentes níveis de especialização alimentar, como frugivoria e nectarivoria, mas também incluindo polinivoria e folivoria (FENTON; SIMMONS, 2014). As espécies que são altamente dependentes de frutos para alimentação pertencem às subfamílias Carrollinae, Rhinophyllinae e Stenodermatinae; enquanto espécies das subfamílias Glossophaginae, Lonchophyllinae e Phyllostominae têm frutos como alimento secundário, sendo que algumas espécies se alimentam de frutos apenas ocasionalmente (MELLO, 2015).

Essas interações mutualísticas entre os morcegos filostomídeos e frutos são essenciais para o funcionamento do ecossistema, assim como para a manutenção da diversidade das florestas tropicais e para a sucessão florestal, já que esses animais apresentam uma dieta composta prioritariamente de espécies de plantas de sucessão inicial (MUSCARELLA; FLEMING, 2007). Os frutos consumidos por morcegos normalmente são carnosos do tipo baga, possuem odor forte ao amadurecer, apresentam coloração verde e costumam ser expostos na planta-mãe. Essas características os inserem na síndrome de dispersão denominada de quiropterocoria (van der PIJL, 1972). Na Região Neotropical, morcegos consomem frutos de ao menos 546 espécies de plantas, pertencentes a 191 gêneros e 62 famílias (LOBOVA; GEISELMAN; MORI, 2009). As principais famílias de plantas consumidas por morcegos filostomídeos são Cactaceae, Arecaceae, Sapotaceae, Moraceae e Myrtaceae (MUSCARELLA; FLEMING, 2007).

As interações mutualísticas entre morcegos e frutos podem ser afetadas por diversos fatores extrínsecos (SALDAÑA-VAZQUEZ et al., 2013; SALDAÑA-VAZQUEZ, 2014). Os fatores geográficos, como latitude e altitude, podem por exemplo, influenciar a proporção de determinadas espécies de plantas consumidas por morcegos dos gêneros *Sturnira* e *Artibeus* (SALDAÑA-VAZQUEZ et al., 2013). Os fatores climáticos, como variações na temperatura atuam afetando a disponibilidade de plantas em frutificação refletindo também na abundância de morcegos (LAURINDO; GREGORIN; TAVARES, 2017) e o mesmo pode ocorrer com a variação na precipitação, onde existe uma correlação positiva entre precipitação, disponibilidade de frutos e abundância de morcegos (RAMOS-PEREIRA; MARQUES; PALMEIRIM, 2010). Além disso, essa interação mutualística possivelmente pode ser afetada pelo impacto humano, entretanto a medida do quanto essas interações são afetadas por perturbações antropogênicas ainda é pouco conhecida (REGOLIN et al., 2020).

## 2.2 Redes de interações mutualísticas

As interações mutualísticas podem envolver dezenas de espécies e atualmente vêm sendo analisadas por meio da abordagem de redes bipartidas, onde as espécies que participam do mutualismo são representadas por dois grupos de nós — um representando a espécie de animais e outro de plantas — e a ligação estabelecida entre os dois grupos de nós refere-se, por exemplo, aos processos de polinização ou dispersão de sementes pelos animais (BASCOMPTE, 2013). As redes de interações mutualísticas são consideradas redes bipartidas pois representam as relações entre espécies de dois grupos distintos, normalmente de dois níveis tróficos (e.g. interações mutualísticas entre animais e plantas), mas as relações não ocorrem entre espécies do mesmo nível (DEHLING, 2018). Além disso, o efeito da interação ocorre em ambas as direções — tanto a planta, quanto o animal são beneficiados — portanto as redes bipartidas são consideradas como não direcionadas (DEHLING, 2018).

A estrutura das redes de interações pode ser caracterizada por meio de diversas métricas e índices, como aninhamento, modularidade e diversidade de interações (ANTONIAZZI; DÁTTILO; RICO-GRAY, 2018; BASCOMPTE; JORDANO, 2013). Essas propriedades estruturais das redes de interações têm consequências importantes para os processos ecológicos e evolutivos (GONZÁLEZ et al., 2015; VÁZQUEZ et al., 2009), além de fornecer informações importantes a respeito das regras subjacentes à organização dos processos ecológicos e também

sobre o quão robustas as redes de interações são frente às mudanças e perturbações (DEHLING, 2018).

As redes mutualísticas entre plantas e animais podem apresentar uma estrutura aninhada, onde os parceiros de interação de espécies mais especialistas são um subconjunto dos parceiros de interação de espécies mais generalistas (ALMEIDA-NETO et al., 2008). O aninhamento nas redes de interações mutualísticas está associada ao aumento no número de espécies que coexistem à medida que reduz a competição interespecífica (BASTOLLA et al., 2009). Além disso, como as redes de interações aninhadas possuem um núcleo de plantas e animais generalistas que interagem entre si, algumas espécies podem participar de muitas interações, implicando em redundância funcional e possibilitando rotas alternativas para a manutenção da rede caso ocorra perda de espécies (BASCOMPTE; JORDANO, 2007). Essa estrutura também fornece a possibilidade de persistência para as espécies mais especialistas, já que as interações são consideradas assimétricas — onde as espécies especialistas tendem a depender de espécies generalistas — e as espécies generalistas têm uma tendência em apresentar uma maior estabilidade, ou seja, alta abundância e menor flutuação já que dependem de diversas espécies (BASCOMPTE; JORDANO, 2007).

Por outro lado, a modularidade refere-se à formação de módulos distintos, onde as espécies dentro de um módulo interagem mais entre si e estabelecem poucas interações com as espécies dos outros módulos (BASCOMPTE, 2013). A modularidade pode ser vista como uma medida de especialização, pois a separação da rede em módulos reflete partição de nichos (OLESEN et al., 2007; CORDEIRO et al., 2020). A robustez que essa estrutura pode proporcionar para as redes de interações ainda é um assunto a ser debatido. Por um lado, essa estrutura pode implicar em uma maior robustez da rede frente a perturbações, pois tal perturbação pode afetar apenas alguns módulos enquanto outros são preservados (FORTUNA et al., 2006; THEBAULT; FONTAINE, 2010; STOUFFER; BASCOMPTE, 2011). Contudo, as redes de interações com modularidade elevada podem apresentar uma menor conectividade geral, resultando em redundância mais baixa e conseqüentemente uma menor robustez contra extinções secundárias (DEHLING, 2018).

Além do aninhamento e da modularidade, a métrica de diversidade de interações ( $H'$ ) considera composição da comunidade e frequência das espécies e é maximizada quando as espécies diferem mais na utilização dos recursos, ou seja, fornece uma medida da heterogeneidade entre os links na rede (BLÜTHGEN; MENZEL; BLÜTHGEN, 2006), dessa forma, uma maior diversidade de interações pode favorecer uma maior taxa de processos do



ecossistema (TYLIANAKIS et al., 2010). É uma métrica calculada de forma análoga à diversidade de Shannon, mas no lugar de espécies, utiliza as interações entre as espécies como a unidade base (BERSIER; BANASEK-RICHTER; CATTIN, 2002).

O estudo das interações mutualísticas por meio da abordagem de redes complexas oferece diversas vantagens para a análise das interações: 1) Permite a visualização e descrição de interações em comunidades com uma diversidade elevada (BASCOMPTE; JORDANO, 2007); 2) Fornece maneiras de quantificar e comparar de forma estatística os padrões de rede entre comunidades (BASCOMPTE; JORDANO, 2007); 3) Possibilita um maior conhecimento sobre processos ecológicos e evolutivos envolvidos nas interações (BASCOMPTE; JORDANO, 2007); 4) Os padrões de interações encontrados em redes mutualísticas podem apresentar informações importantes a respeito de como as interações podem variar geograficamente (OLESEN; JORDANO, 2002); 5) Fornece informações sobre como as condições abióticas afetam a variação nas interações entre os organismos (LAURINDO; GREGORIN; TAVARES, 2017; PELLISSIER et al., 2018).

### **2.3 Influência de fatores extrínsecos na estrutura das redes de interações mutualísticas**

Nos últimos anos, houve um aumento no interesse em entender como os gradientes ambientais estão associados à estrutura das redes de interações, como consequência da necessidade de prever como as comunidades se comportam em um contexto de mudanças ambientais (DEHLING, 2018; TYLIANAKIS; MORRIS, 2017; WELTI; JOERN, 2015). Esses gradientes podem incluir gradientes naturais — como por exemplo, os gradientes latitudinais e altitudinais — e também gradientes causados pelo impacto humano no meio ambiente, já que ambos podem promover alterações na abundância, fenologia, comportamento e co-ocorrência das espécies que interagem (PELLISSIER et al., 2017; TYLIANAKIS & MORRIS, 2017). Dessa forma, as propriedades estruturais emergentes das redes de interações podem ser resultado da influência de diferentes fatores sobre os organismos (RICO-GRAY et al., 2012), embora os estudos publicados até agora mostrem resultados divergentes.

Alguns estudos foram conduzidos com o objetivo de compreender como as variáveis climáticas, como a temperatura e a precipitação, influenciam as estruturas das redes de interações mutualísticas (*e.g.* GONZÁLEZ et al., 2015, MARUYAMA et al., 2018; RICO-GRAY et al., 2012; SEBASTIÁN-GONZÁLEZ et al., 2014; WELTI & JOERN, 2015). O aumento da temperatura e da precipitação está associado a, por exemplo, um maior

aninhamento nas redes de interações entre formigas e plantas com nectários extraflorais, como reflexo dessas variáveis climáticas sobre a riqueza e fenologia das plantas que participam dessa rede de interação (RICO-GRAY et al., 2012). De forma similar, as redes de interações entre morcegos e frutos podem ser mais aninhadas em períodos com maior precipitação, e esse maior valor de aninhamento pode ser resultado da influência das chuvas sobre a disponibilidade de frutos (LAURINDO; GREGORIN; TAVARES, 2017). Além disso, a temperatura pode afetar a estrutura das redes de interações entre morcegos e frutos de forma indireta, pois essa variável também exerce influência sobre a disponibilidade de plantas em frutificação e abundância de morcegos (LAURINDO; GREGORIN; TAVARES, 2017). Em contrapartida, Sebastián-González e colaboradores (2014) relataram que as redes de interação de dispersão de sementes em áreas com menor precipitação foram mais aninhadas quando comparadas às redes de interação de áreas mais úmidas. De forma semelhante, redes de interação mutualísticas entre plantas e polinizadores apresentaram uma estrutura mais aninhada em áreas de baixa precipitação, enquanto a modularidade aumentou em regiões mais chuvosas, entretanto, a temperatura não teve influência na estrutura das redes (TRØJELSGAARD; OLESEN, 2012).

Outros estudos conduzidos em escalas macroecológicas levam em consideração o aumento na riqueza de espécies que ocorre em direção às menores latitudes e altitudes, contudo, ainda não há um consenso sobre como esses padrões respondem em nível de redes ecológicas (TRØJELSGAARD; OLESEN, 2012). Pesquisadores sugerem que uma maior riqueza de espécies em menores latitudes possa levar à partição de nicho, resultando em redes de interações mais modulares e com maior especialização (TRØJELSGAARD; OLESEN, 2012). De fato, alguns estudos envolvendo redes de interações mutualísticas entre plantas e polinizadores corroboram com essa hipótese, apresentando interações mais especializadas em direção às latitudes menores, refletindo em redes mais modulares em regiões mais próximas à linha do Equador (DALSGAARD et al., 2011; OLESEN; JORDANO, 2002; TRØJELSGAARD; OLESEN, 2012). Entretanto, outro estudo mostra que as redes de interações mutualísticas envolvendo plantas, polinizadores e dispersores de sementes, podem apresentar uma menor especialização em direção às latitudes tropicais, e esse gradiente de especialização latitudinal pode ser reflexo do gradiente de diversidade de plantas que diminuiu em maiores latitudes, sugerindo, portanto, que uma maior diversidade de recursos pode ser um fator importante quando se trata de generalização das espécies que participam das redes mutualísticas (SCHLEUNING et al., 2012). Embora os estudos citados tenham demonstrados resultados contrários, há ainda algumas pesquisas que não identificaram influência do gradiente latitudinal

ou de elevação nos padrões estruturais das redes de interações mutualísticas (*e.g.* SEBASTIÁN-GONZÁLEZ et al., 2014).

Além dos gradientes ambientais naturais ao longo dos quais a estrutura das redes de interações mutualísticas pode variar, gradientes de impacto humano também podem ser considerados fatores importantes na análise da topologia das redes. Em uma escala macroecológica, as redes de dispersão de sementes e de polinização podem sofrer uma influência consistente em relação ao nível de perturbação antropogênica, resultando em redes mais aninhadas e menos modulares em áreas com maior impacto humano (SEBASTIÁN-GONZÁLEZ et al., 2014; TAKEMOTO; KAJIHARA, 2016). Em um estudo envolvendo redes de interações entre morcegos e frutos em florestas contínuas e fragmentadas na Mata Atlântica, a estrutura das redes foi similar em ambos os tipos de floresta, no entanto, a riqueza de frutos consumidos por morcegos foi menor em florestas fragmentadas do que em florestas contínuas, o que pode impactar diretamente na dispersão de sementes e dinâmica florestal (LAURINDO et al., 2018). Além disso, morcegos das subfamílias Stenodermatinae e Carrollinae podem desempenhar papéis importantes nas redes porque mantêm interações fortes com mais espécies de plantas quando comparados a outras espécies de morcegos, dessa forma conectando os módulos das redes e atuando como espécies centrais (MELLO et al., 2019). Entretanto, há uma escassez de estudos que avaliam os efeitos da perturbação do habitat sobre o consumo de frutos por morcegos e o reflexo disso nas redes de interações planta-morcego (REGOLIN e tal., 2020).

Dessa forma, os fatores externos associados à estrutura das redes de interações permanecem pouco compreendidos, especialmente em redes de interações entre morcegos e frutos. No próximo capítulo é investigado como os fatores climáticos (precipitação anual e temperatura média anual), geográficos (latitude e altitude) e antrópicos (impacto humano) podem estar associados com variações nas estruturas das redes morcego-planta distribuídas ao longo da Região Neotropical.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA-NETO, M.; P. GUIMARÃES; P. R. GUIMARÃES; R. D. LOYOLA; W. ULRICH. A consistent metric for nestedness analysis in ecological systems: reconciling concept and measurement. *Oikos*, v. 117, p. 1227-1239, 2008.
- ANDRESEN, E.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; ESCOBAR, F. Tropical Biodiversity: The Importance of Biotic Interactions for Its Origin, Maintenance, Function, and Conservation. In: DÁTTILO, W.; RICO-GRAY, V. (Eds.). **Ecological Networks in the Tropics: An Integrative Overview of Species Interactions from Some of the Most Species-Rich Habitats on Earth**, Springer, 2018. p. 1-13.
- ANTONIAZZI, R.; DÁTTILO, W.; RICO-GRAY, V. A Useful Guide of Main Indices and Software Used for Ecological Networks Studies. In: DÁTTILO, W.; RICO-GRAY, V. (Eds.). **Ecological Networks in the Tropics: An Integrative Overview of Species Interactions from Some of the Most Species-Rich Habitats on Earth**, Springer, 2018. p. 185-196.
- BASCOMPTE, J.; JORDANO, P. **Mutualistic Networks**. Princeton University Press, 2013. 206p.
- BASCOMPTE, J.; JORDANO, P. Plant-Animal mutualistic networks: The architecture of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 38, n. 1, p. 567–593, 2007.
- BASCOMPTE, J.; JORDANO, P. **Mutualistic Networks**. Princeton University Press, 2013. 206p.
- BERSIER, L. F.; BANASEK-RICHTER, C.; CATTIN, M. F. Quantitative descriptors of foodweb matrices. *Ecology*, v. 83, n. 9, p. 2394-2407, 2002.
- BLÜTHGEN, N.; MENZEL, F.; BLÜTHGEN, N. Measuring specialization in species interaction networks. *BMC Ecology*, v. 6, n. 9, p. 1-12, 2006.
- CASTAÑO, J. H.; CARRANZA, J. A.; PÉREZ-TORRES, J. Diet and trophic structure in assemblages of montane frugivorous phyllostomid bats. *Acta Oecologica*, v. 91, p. 81-90, 2018.
- CORDEIRO, J.; DE OLIVEIRA, J. H.; SCHMITZ, H. J.; VIZENTIN-BUGONI, J. High niche partitioning promotes highly specialized, modular and non-nested florivore–plant networks across spatial scales and reveals drivers of specialization. *Oikos*, v. 129, n. 5, p. 619-629, 2020.
- DALSGAARD, B. *et al.* Specialization in Plant-Hummingbird Networks Is Associated with Species Richness, Contemporary Precipitation and Quaternary Climate-Change Velocity. *PLoS ONE*, v. 6, n. 10, e25891, 2011.
- DEHLING, D. M. The structure of ecological networks. In: DÁTTILO, W.; RICO-GRAY, V. (Eds.). **Ecological Networks in the Tropics: An Integrative Overview of Species Interactions from Some of the Most Species-Rich Habitats on Earth**, Springer, 2018. p. 29-42

DIAS, D.; ESBÉRARD, C. E. L.; PERACCHI, A. L. Riqueza, diversidade de espécies e variação altitudinal de morcegos na Reserva Biológica do Tinguá, estado do Rio de Janeiro, Brasil (Mammalia, Chiroptera). In: REIS, N. R.; PERACCHI, A. L.; SANTOS, G. A. S. D. (Eds). **Ecologia de Morcegos**. Londrina: Editora Technical Books, 2008. 125-142.

ESCRIBANO-AVILA, G.; LARA-ROMERO, C.; HELENO, R.; TRAVESET, A. Tropical Seed Dispersal Networks: Emerging Patterns, Biases, and Keystone Species Traits. In: DÁTTILO, W.; RICO-GRAY, V. (Eds.). **Ecological Networks in the Tropics: An Integrative Overview of Species Interactions from Some of the Most Species-Rich Habitats on Earth**, Springer, 2018. p. 93-110.

FENTON, M. B.; ACHARYA, L.; AUDET, D.; HICKEY, M. B. C.; MERRIMAN, C.; OBRIST, M. K.; SYME, D. M.; ADKINS, B. Phyllostomid bats (Chiroptera: Phyllostomidae) as indicators of habitat disruption in the Neotropics. **Biotropica**, v. 24, n. 3, p. 440-446, 1992.

FENTON, M. B., SIMMONS, N. **Bats: a World of Science and Mystery**. The University of Chicago Press: Chicago, IL, USA, 2014. 240p.

FORTUNA, M. A.; BASCOMPTE, J. Habitat loss and the structure of plant–animal mutualistic networks. **Ecology Letters**, v. 9, n. 3, p. 278-283, 2006.

GONZÁLEZ, A. M. M. *et al.* The macroecology of phylogenetically structured hummingbird-plant networks. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 11, p. 1212-1224, 2015.

JORDANO, P. Fruits and frugivory. In: FENNER, M. (Ed.). **Seeds: the ecology of regeneration in plant communities**. 2nd. ed. Wallingford: CABI Publishing, 2000. p. 125-166.

JORDANO, P.; GALETTI, M.; PIZO, M. A.; SILVA, W. R. Ligando frugivoria e dispersão de sementes à Biologia da Conservação. In: ROCHA, C.F.D.; BERGALLO, H. G.; SLUYS, M. V.; ALVES, M. A. S. (Eds.). **Biologia da Conservação: Essências**. São Carlos: Editora Rima, 2006. p. 211-236.

KALKO, E. K. V. Fruits and bats: supply and demand in the tropical rainforest. **Phyton**, v. 46, n. 2, p. 195-201, 2007.

LAURINDO, R. S.; GREGORIN, R.; TAVARES, D. V. Effects of biotic and abiotic factors on the temporal dynamic of bat-fruit interactions. **Acta Oecologica**, v. 83, p. 38-47, 2017.

LAURINDO, R. S.; NOVAES, R. L. M.; VIZENTIN-BUGONI, J.; GREGORIN, R. The effects of habitat loss on bat-fruit networks. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 3, p. 589-601, 2018.

LOBOVA, T. A.; GEISELMAN, C. K.; MORI, S. A. **Seed dispersal by bats in the Neotropics**. New York: New York Botanical Garden Press, 2009. 471p.

MARUYAMA, P. K. *et al.* Functional diversity mediates macroecological variation in plant-hummingbird interaction networks. **Global Ecology and Biogeography**, v. 27, n. 10, p. 1186-1199, 2018.

MELLO, M. A. R.; MARQUITTI, F. M. D.; GUIMARÃES-JR, P. R.; KALKO, E. K. V.; JORDANO, P.; AGUIAR, M. A. M. The missing part of seed dispersal networks, structure and robustness of bat-fruit interactions, **PLoS One**, v. 6, n. 2, p. 1-10, 2011.

MELLO, M. A. R.; RODRIGUES, F. A.; COSTA, L. F.; KISSLING, W. D.; ŞEKERCIOĞLU, Ç. H.; MARQUITTI, F. M. D.; KALKO, E. K. V. Keystone species in seed dispersal networks are mainly determined by dietary specialization. **Oikos**, v. 124, n. 8, p. 1-9, 2015.

MELLO, M. A. R.; FELIX, G. M.; PINHEIRO, R. B.; MUYLAERT, R. L.; GEISELMAN, C.; SANTANA, S. E.; TSCHAPKA, M.; LOFTI, N.; RODRIGUES, F. A.; STEVENS, R. D. Insights into the assembly rules of a continent-wide multilayer network. **Nature Ecology & Evolution**, v. 3, p. 1525-1532, 2019.

MUSCARELLA, R.; FLEMING, T. H. The role of frugivorous bats in tropical forest succession. **Biological Reviews**, v. 82, n. 4, p. 573-590, 2007.

OLESEN, J. M.; BASCOMPTE, J.; DUPONT, Y. L.; JORDANO, P. The modularity of pollination networks. **Proceedings of the National Academy of Science**, v. 104, n. 50, p. 19891–19896, 2007.

OLESEN, J. M.; JORDANO, P. Geographic patterns in plant-pollinator mutualistic networks. **Ecology**, v. 83, n. 9, p. 2416-2424, 2002.

PELLISSIER, L.; ALBOUY, C.; BASCOMPTE, J.; FARWIG, N.; GRAHAM, C.; LOREAU, M.; MAGLIANESI, M.A.; MELIÁN, C.J.; PITTELOUD, C.; ROSLIN, T.; ROHR, R.; SAAVEDRA, S.; THUILLER, W.; WOODWARD, G.; ZIMMERMANN, N.E.; GRAVEL, D. Comparing species interaction networks along environmental gradients. **Biological Reviews**, v. 93, n. 2, p. 785-800, 2018.

RAMOS-PEREIRA, M. J.; MARQUES, J. T.; PALMEIRIM, J. M. Ecological responses of frugivorous bats to seasonal fluctuation in fruit availability in Amazonian forests. **Biotropica**, v. 42, n. 6, p. 680-687, 2010.

RAMOS-PEREIRA, M. J.; PALMEIRIM, J. M. Latitudinal diversity gradients in New World bats: Are they a consequence of niche conservatism? **PLoS ONE**, v. 8, n. 7, p. 1-12, 2013.

REGOLIN, A. L.; MUYLAERT, R. L.; CRESTANI, A. C.; DÁTTOLO, W.; RIBEIRO, M. C. Seed dispersal by Neotropical bats in human-disturbed landscapes. **Wildlife Research**, 2020.

RICO-GRAY, V.; DÍAZ-CASTELAZO, C.; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, A.; GUIMARÃES, P. R.; NATHANIEL-HOLLAND, J. Abiotic factors shape temporal variation in the structure of an ant-plant network. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 6, n. 2, 289-295, 2012.

SALDAÑA-VÁZQUEZ, R. A. Intrinsic and extrinsic factors affecting dietary specialization in Neotropical frugivorous bats. **Mammal Review**, v. 44, n. 3-4, 2014.

SALDAÑA-VÁZQUEZ, R. A.; SOSA, V. J.; IÑIGUEZ-DÁVALOS, L. I.; SCHONDUBE, J. E. The role of extrinsic and intrinsic factors in Neotropical fruit bat-plant interactions. **Journal of Mammalogy**, v. 94, n. 3, p. 632-639, 2013.

SCHLEUNING, M. *et al.* Specialization of Mutualistic Interaction Networks Decreases toward Tropical Latitudes. **Current Biology**, v. 22, n. 20, p. 1925–1931, 2012.

SEBASTIÁN-GONZÁLEZ, E.; DALSGAARD, B.; SANDEL, B.; GUIMARÃES, P. R. Macroecological trends in nestedness and modularity of seed-dispersal networks: human impact matters. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 3, p. 293-303, 2014.

SIMMONS, N. B. Order Chiroptera, In: WILSON, D. E. & REEDER, D. M. (Eds). **Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference**. Baltimore, The Johns Hopkins University Press, 3<sup>rd</sup> ed., 2005. p. 312-529.

STEVENS, R. D. Untangling latitudinal richness gradients at higher taxonomic levels: familial perspectives on the diversity of New World bat communities. **Journal of Biogeography**, v. 31, n. 4, p. 665-674, 2004.

STOUFFER, D. B.; BASCOMPTE, J. Compartmentalization increases food-web persistence. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 9, p. 3648-3652, 2011.

TAKEMOTO, K.; KAJIHARA, K. Human Impacts and Climate Change Influence Nestedness and Modularity in Food-Web and Mutualistic Networks. **PLOS ONE**, v. 11, n. 6, p. 1-16, 2016.

THÉBAULT, E.; FONTAINE, C. Stability of ecological communities and the architecture of mutualistic and trophic networks. **Science**, v. 329, n. 5993, p. 853-856, 2010.

TRØJELSGAARD, K.; OLESEN, J. M. Macroecology of pollination networks. **Global Ecology and Biogeography**, v. 22, n. 2, p. 149-162, 2012.

TYLIANAKIS, J. M.; LALIBERTÉ, E.; NIELSEN, A.; BASCOMPTE, J. Conservation of species interaction networks. **Biological Conservation**, v. 143, n. 10, p. 2270-2279, 2010.

TYLIAKANIS, J. M.; MORRIS, R. J. Ecological Networks Across Environmental Gradients. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 48, p. 25-48, 2017.

VAN DER PIJL, L. **Principles of dispersal in higher plants**. 2. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1972. 162p.

VÁZQUEZ, D. P.; BLÜTHGEN, N.; CAGNOLO, L.; CHACOFF, N. P. Uniting pattern and process in plant–animal mutualistic networks: a review. **Annals of Botany**, v. 103, n. 9, p. 1445-1457, 2009.

WELTI, E. A. R.; JOERN, A. Structure of trophic and mutualistic networks across broad environmental gradients. **Ecology and Evolution**, v. 5, n. 2, p. 326-334, 2015.

## SEGUNDA PARTE – Artigo

### **PADRÕES MACROECOLÓGICOS EM REDES DE INTERAÇÕES MUTUALÍSTICAS ENTRE MORCEGOS E FRUTOS NA REGIÃO NEOTROPICAL**

(Artigo redigido conforme normas do MANUAL DE NORMALIZAÇÃO E ESTRUTURA DE TRABALHOS ACADÊMICOS: TCCS, MONOGRAFIAS, DISSERTAÇÕES E TESES da Universidade Federal de Lavras - 3a edição revista, atualizada e ampliada)

Ana Beatriz Ligo<sup>1</sup>, Rafael de Souza Laurindo<sup>1</sup>, Renato Gregorin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Diversidade e Sistemática de Mamíferos, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras, Campus Universitário, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

#### **1 Introdução**

As interações mutualísticas entre os morcegos da família Phyllostomidae e as plantas que têm seus frutos consumidos por esses animais são essenciais para o funcionamento dos ecossistemas, para a sucessão vegetal e para a manutenção da diversidade das florestas tropicais (MUSCARELLA; FLEMING, 2007). Essas interações mutualísticas animal-planta podem ser analisadas e quantificadas por meio de ferramentas estatísticas da teoria de redes complexas, onde as espécies são representadas por nós, e as interações que ocorrem entre as espécies são representadas por conexões entre os nós (BASCOMPTE; JORDANO, 2013).

Diferentes métricas são utilizadas para descrever a estrutura dessas redes, e entre as mais difundidas estão o aninhamento, a modularidade e a diversidade de interações (ANTONIAZZI; DÁTTILO; RICO-GRAY, 2018; BASCOMPTE; JORDANO, 2013). O aninhamento ocorre quando as espécies mais especializadas interagem com subconjuntos dos recursos utilizados pelas espécies mais generalistas. Ou seja, espécies especialistas interagem apenas com espécies generalistas, espécies generalistas interagem entre si e há inexistência ou uma baixa frequência de interações entre espécies especialistas (ALMEIDA-NETO et al., 2008). As redes mutualísticas pode ser modulares quando há formação de subconjuntos de espécies estreitamente conectadas, interagindo mais entre si do que com outras espécies da rede, formando módulos relativamente independentes na comunidade (OLESEN et al., 2007). Já a métrica de diversidade de interações fornece uma medida da heterogeneidade de links presentes



nas redes de interações e é maximizada quando as espécies diferem mais na utilização dos recursos (BLÜTHGEN; MENZEL; BLÜTHGEN, 2006).

Para uma melhor compreensão da estrutura, evolução e funcionamento das comunidades ecológicas é necessária uma análise dos fatores extrínsecos que influenciam as interações mutualísticas entre plantas e animais (SALDAÑA-VAZQUEZ et al., 2013; SEBASTIÁN-GONZÁLEZ et al., 2014). Dessa forma, nos últimos anos houve um aumento no interesse em entender como a estrutura das redes de interações varia em gradientes ambientais (*e.g.* gradientes climáticos, latitudinais e altitudinais) e antrópicos, já que ambos podem promover alterações na abundância, fenologia, comportamento e co-ocorrência das espécies e, conseqüentemente, influenciar suas interações (PELISSIER et al., 2017; TYLIANAKIS; MORRIS, 2017). Estudos prévios têm demonstrado que em áreas com alta precipitação as redes mutualísticas podem apresentar maior modularidade, enquanto que em áreas com baixa precipitação as redes são mais aninhadas (GONZÁLEZ et al., 2015; SEBASTIÁN-GONZÁLEZ et al., 2014; TRØJELSGAARD; OLESEN, 2012). Outros estudos consideram o aumento na riqueza de espécies que ocorre em direção às menores latitudes e altitudes como um fator que pode estar associado à estrutura das redes de interações, favorecendo a alta modularidade em regiões mais próximas à linha do Equador (DALSGAARD et al., 2011; OLESEN; JORDANO; 2002; TRØJELSGAARD; OLESEN, 2012) e em altitudes intermediárias (HOISS; KRAUSS; STEFFAN-DEWENTER, 2015). Além dos gradientes ambientais naturais que podem influenciar a estrutura das redes de interações mutualísticas, gradientes de impacto humano também podem ser considerados fatores importantes na análise da topologia das redes já que estudos prévios identificaram que em áreas com maior impacto humano as redes de interações mutualísticas eram mais aninhadas e menos modulares (SEBASTIÁN-GONZÁLEZ et al., 2014; TAKEMOTO; KAJIHARA, 2016).

Apesar do aumento de estudos envolvendo redes de interações mutualísticas nos últimos anos (CAGNOLO, 2018), os fatores direcionadores da estrutura das redes envolvendo dispersores de sementes e frutos estão começando a serem entendidos em escalas macroecológicas (ESCRIBANO-ÁVILA et al., 2018). Contudo, essas redes de interações mutualísticas são compostas principalmente por aves, enquanto outros animais frugívoros, como os morcegos, permanecem pouco estudados (ESCRIBANO-ÁVILA et al., 2018).

Aqui, foi avaliada como a estrutura das redes de interações morcego-fruto é influenciada por fatores climáticos, geográficos e de impacto humano. Foram compiladas 48 redes de interações morcego-fruto distribuídas na Região Neotropical para investigar a associação entre

a temperatura, precipitação, latitude, altitude e o impacto humano e métricas de aninhamento, modularidade e diversidade de interações. Como hipótese, espera-se encontrar redes menos aninhadas e com maiores modularidades e diversidade de interações em locais com valores elevados de temperatura e precipitação, e em menores latitudes, altitudes e com baixo impacto humano. De forma contrária, espera-se que as redes sejam mais aninhadas e com menores modularidades e diversidade de interações em locais com baixa temperatura e precipitação, e em maiores latitudes, altitudes e alto impacto humano.

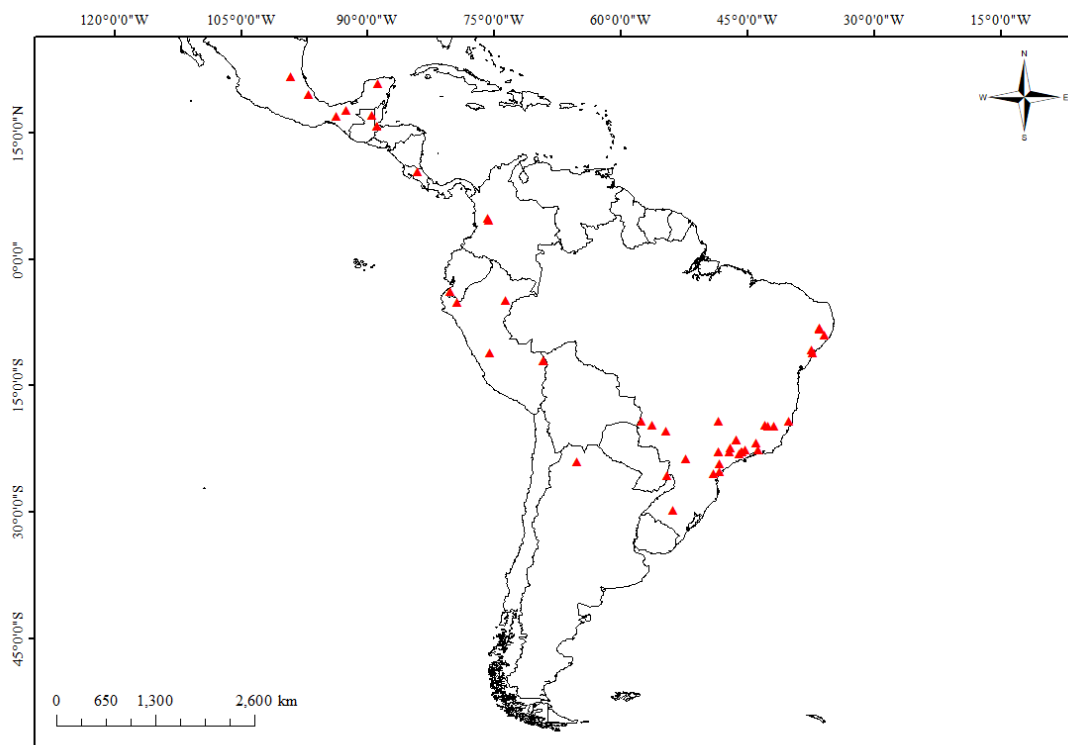
## **2 Metodologia**

### **2.1 Banco de dados**

Para a construção das redes de interações, foram realizadas buscas de estudos nas plataformas Web of Science (<webofknowledge.com/>) e Google Scholar (<scholar.google.com.br/>). A pesquisa incluiu combinações das seguintes palavras-chave (em português, inglês e espanhol): “Morcegos”; “Phyllostomidae”; “Frugivoria”; “Frutos”; “Dieta”; “Dispersão de sementes” e “Interação”. Complementamos o banco de dados com estudos citados no referencial bibliográfico dos trabalhos encontrados; além disso, foram incluídas também teses e dissertações. A busca de dados não foi limitada por ano de publicação ou periódico. Foram incluídos estudos que: 1) Apresentavam dados quantitativos das interações entre morcegos e frutos, ou seja, que incluíam a frequência de interações, estimada como o número de amostras fecais de uma determinada espécie de morcego em que as sementes de uma determinada espécie de planta estavam presentes; 2) Foram conduzidos nas estações seca e chuvosa; 3) Apresentavam dados de todas as espécies frugívoras de morcego presentes na área de estudo e não de apenas um gênero ou espécie. De cada estudo selecionado, foram registradas as espécies de morcegos, a quantidade de fezes de uma espécie de morcego em que determinada espécie de planta estava presente e a coordenada geográfica do local amostrado.

A busca resultou em 48 redes de interações distribuídas em 07 países da Região Neotropical (Figura 1; Material Suplementar). Contudo, em algumas regiões ainda há uma ausência de dados que permitam a construção de matrizes e análises de redes com o a Amazônia brasileira (Figura 1).

Figura 1 — Localização das 48 redes de interações mutualísticas entre morcegos e frutos distribuídas na Região Neotropical.



Fonte: Da autora (2021).

## 2.2 Redes de interações

Para cada estudo selecionado foram construídas matrizes de interação contendo as espécies de morcegos nas linhas e as espécies de plantas nas colunas. Nessas matrizes, a frequência da interação foi considerada como a presença de sementes de uma determinada espécie de planta em uma amostra fecal, independentemente do número de sementes (LAURINDO et al., 2018; MELLO et al., 2011).

Para caracterizar a estrutura de cada rede de interação mutualística foram calculados os valores de aninhamento, modularidade e diversidade de interações. O aninhamento foi avaliado pela métrica  $wNODF$ , que calcula o preenchimento não sobreposto e decrescente de matrizes quantitativas (ALMEIDA-NETO; ULRICH, 2011) e seus valores variam de zero (não aninhada) a 100 (totalmente aninhada). A modularidade foi estimada utilizando o algoritmo  $DIRTLPAwb+$  (BECKETT, 2016). A modularidade varia de zero (sem divisão de módulo) a 1 (modularidade máxima). A diversidade de interações foi calculada pelo índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ), sendo que quanto maior o valor de  $H'$  maior é a heterogeneidade entre os links na rede (BLÜTHGEN; MENZEL; BLÜTHGEN, 2006).

Para estimar a significância de wNODF, Q e H' foi realizada a comparação dos valores observados com o intervalo de confiança de 95% extraído de 1000 redes aleatórias (para wNODF e H') e 500 redes aleatórias (para Q) que foram criadas utilizando o modelo nulo vaznull, proposto por Vázquez et al. (2007). Esse modelo nulo mantém o número de espécies, o tamanho da rede e a conectância constantes enquanto gera as redes aleatórias Vázquez et al. (2007). Além disso, as métricas de aninhamento, modularidade e diversidade de interações podem ser influenciadas por diferenças no tamanho das redes e no esforço de amostragem. Para controlar essas possíveis diferenças foi utilizada a transformação z-score para cada métrica, que representa a diferença entre o valor observado e o valor médio obtido pelos 1000 modelos nulos dividido pelo desvio padrão destes modelos (ULRICH; ALMEIDA-NETO; GOTELLI, 2009). Sendo assim, os valores utilizados nas análises estatísticas foram os valores significativos e transformados por meio do z-score.

Todas as métricas de rede e modelos nulos foram calculadas utilizando o pacote “*bipartite*” (DORMANN et al., 2009) no software R versão 4.0.2 (R Development Core Team 2018).

### **2.3 Variáveis macroecológicas**

Os valores de temperatura média anual (°C), precipitação média anual (mm), latitude, altitude e impacto humano de cada área de estudo foram extraídos por meio do software ArcGis (versão 10.3). Para as variáveis climáticas e geográficas foi utilizado o conjunto de dados do WorldClim (versão 2.1) com resolução de 1 quilômetro (FICK; HIJMANS, 2017). Os níveis de impacto humano foram avaliados utilizando o The Global Human Footprint Dataset (HFP) (WSC; CIESIN, 2005). O HFP, ou Índice de Impacto Humano, consiste em um conjunto de dados global criado a partir de camadas de dados — com resolução de 1 quilômetro — que integram informações sobre a densidade populacional humana, transformação e uso da terra, infraestrutura e acesso à energia elétrica (*e.g.* áreas construídas, luzes noturnas) e acessibilidade espacial (*e.g.* estradas, ferrovias, hidrovias) (SANDERSON et al., 2002). O Índice de Impacto Humano varia de 0 (menor influência humana) à 72 (maior influência humana) (SANDERSON et al., 2002).

## 2.4 Análise de dados

Foram utilizados Modelos Lineares Generalizados (GLM's) para modelar as variáveis respostas — aninhamento (wNODF), modularidade (Q) e diversidade de interações (H') — em função das variáveis explicativas — precipitação média anual, temperatura média anual, latitude, altitude e índice de impacto humano (CRAWLEY, 2012). Previamente à construção dos modelos, verificou-se o nível de correlação das variáveis explicativas a partir do coeficiente de correlação de Pearson. O nível de correlação foi considerado como não aceitável para coeficientes de Pearson acima de 0.70 (DORMANN et al., 2012; ZUUR; IENO; ELPHICK, 2009; ZUUR; IENO; SMITH, 2007). A correlação de Pearson foi calculada com a função “cor” e visualizada graficamente com a função “chart.Correlation” do pacote “PerformanceAnalytics” (PETERSON; CARL, 2020). Após esse diagnóstico, notou-se que a temperatura média anual e a altitude foram altamente correlacionadas ( $r > 0.70$ ), sendo assim excluiu-se a variável altitude das análises (ver Material Suplementar).

Além de verificar a correlação, foram testadas a relação de linearidade das variáveis explicativas com as variáveis respostas, utilizando os testes SUP e L2 com a função “cumres” do pacote “gof” (HOLST, 2020). Para isso, foram construídos modelos lineares (LM) que foram submetidos ao teste de linearidade com a função “cumres”, tendo eles as mesmas variáveis consideradas para os GLMs. Esse diagnóstico de linearidade é baseado na cumulatividade dos resíduos do modelo (LIN; WEI; YING, 2002). Quando SUP ou L2 tiveram valor de  $p$  significativo ( $p < 0.05$ ) para uma variável explicativa, isso indica que ela possui relação não linear com a variável resposta. Sendo assim, para alcançar a linearidade foi realizada transformação logarítmica das variáveis explicativas que mostraram relação não linear com as variáveis respostas. Dessa forma, o modelo global para aninhamento teve a variável latitude log-transformada.

Após o diagnóstico prévio de correlação e linearidade, foram feitos os modelos globais para testar a hipótese de que as métricas de aninhamento, modularidade e diversidade de interações estão associadas à temperatura, precipitação, latitude e impacto humano. Para isso, foram construídos modelos para cada variável resposta em função de todas as variáveis explicativas. Como os modelos possuem variáveis contínuas, utilizou-se a distribuição de erro Gaussiana. Os ajustes dos dados a esses modelos foram verificados mediante a análise visual dos resíduos, considerando o gráfico “Normal Q.Q Plot” para verificar a aproximação de ajuste à distribuição normal, e o “Histogram of Resid” para verificação da qualidade de ajuste dos

resíduos puros. Além disso, para verificar se os modelos não tendiam a sub ou superdispersão, dividiu-se o desvio residual com os seus graus de liberdade e comparou-se o valor resultante com o valor de dispersão estimado pelos modelos para distribuição gaussiana. Um desvio residual baixo e a proximidade entre o valor de sua divisão pelos graus de liberdade com o parâmetro de dispersão estimado pelos modelos indicam um modelo com ajuste aceitável (MCCULLAGH; NELDER, 1989).

Os GLMs globais para aninhamento, modularidade e diversidade de interações foram submetidos à seleção de modelos pelo Critério de Informação de Akaike (AICc) (BURNHAM; ANDERSON, 2002). Foram considerados como modelos igualmente parcimoniosos e bem ajustados aqueles com valor  $\Delta\text{AICc} < 4$  (BURNHAM; ANDERSON; HUYVAERT, 2011). Após essa etapa, para verificar a contribuição das variáveis explicativas selecionadas, foram calculados as médias do peso de cada variável de todos os modelos sob  $\Delta\text{AICc} < 4$  (SYMONDS; MOUSSALLI, 2011). A seleção pelo Critério de Informação de Akaike foi executada usando a função “dredge” e a média dos modelos selecionados ( $\Delta\text{AICc} < 4$ ) foi computada com função “model.avg”, ambas no pacote “MuMIn” (BARTON, 2020). Considerou-se os coeficientes ( $\beta$ ) e seus p-valores estimados pelas médias condicionais dos modelos para avaliar a direção (positiva ou negativa) e a significância das relações das variáveis explicativas com as variáveis respostas selecionadas. Por fim, com o objetivo de verificar a importância relativa de cada preditiva para explicar as variáveis dependentes, nós calculamos a soma dos pesos das variáveis explicativas selecionadas nos modelos cujas médias foram computadas. Esse cálculo foi feito por meio da função “importance” do pacote “MuMIn” (BARTON, 2020).

### **3 Resultados**

Para avaliar a influência dos fatores climáticos, geográficos e de impacto humano sobre as métricas de aninhamento, modularidade e diversidade de interações, foram selecionados os modelos com  $\Delta\text{AICc} < 4$  para cada métrica de rede (TABELA 1).

Tabela 1 — Classificação dos melhores modelos lineares ( $\Delta AICc < 4$ ) avaliando a associação de fatores climáticos, geográficos e de impacto humano com a estrutura das redes de interações entre morcegos e frutos.

Métricas	Modelos	AICc	$\Delta AICc$	$W_i$
<b>Aninhamento</b>	Precipitação	65,4	0,00	0,423
	Precipitação + Temperatura	67,3	1,92	0,162
	Latitude (log) + Precipitação	67,7	2,39	0,128
	Impacto + Precipitação	67,8	2,47	0,123
<b>Modularidade</b>	Precipitação	258,9	0,00	0,428
	Precipitação + Temperatura	261,0	2,06	0,153
	Impacto + Precipitação	261,0	2,13	0,147
	Latitude + Precipitação	261,3	2,40	0,129
<b>Diversidade de interações</b>	Latitude + Precipitação	100,7	0,00	0,478
	Latitude + Precipitação + Temperatura	102,3	1,64	0,210
	Impacto + Latitude + Precipitação	103,3	2,63	0,128
	Impacto + Latitude + Precipitação + Temperatura	103,9	3,24	0,095

Fonte: Da autora (2021).

Ao calcular a média de todos os modelos selecionados, a precipitação foi a única variável explicativa significativa para todas as métricas das redes ( $p \leq 0.001$ ), enquanto as outras variáveis (temperatura, latitude e impacto humano) não explicaram as variações encontradas ( $p > 0.05$ ). Tanto o aninhamento quanto a diversidade de interações diminuem com o aumento na precipitação, enquanto a modularidade aumenta (TABELA 2).

Tabela 2 — Parâmetros da média do modelo dos melhores modelos lineares para explicar a estrutura das redes de interações entre morcegos e frutos em função dos fatores climáticos, geográficos e de impacto humano.  $\beta$  indica a inclinação e reflete a intensidade e a direção da associação (positiva ou negativa) entre as variáveis explicativas e resposta.

Métricas	Variável preditora	$\beta$	Z-value	$p$
<b>Aninhamento</b>	<b>Precipitação</b>	<b>-0,0005870</b>	<b>3,172</b>	<b>0,001</b>
	Temperatura	-0,0320056	0,773	0,439
	Latitude (log)	-0,0398281	0,447	0,654
	Impacto Humano	-0,0041329	0,363	0,716

<b>Modularidade</b>	<b>Precipitação</b>	<b>0,005846</b>	<b>4,885</b>	<b>0,001</b>
	Temperatura	0,157868	0,577	0,564
	Impacto Humano	-0,040005	0,516	0,606
	Latitude	0,009500	0,185	0,853
<b>Diversidade de interações</b>	<b>Precipitação</b>	<b>-0.0016954</b>	<b>3.687</b>	<b>0,0002</b>
	Temperatura	-0.1096107	1.131	0,257
	Latitude	0.0490406	2.652	0,700
	Impacto Humano	-0.0282165	0.753	0,451

Fonte: Da autora (2021).

De fato, ao analisar a importância relativa de cada variável explicativa para explicar as variáveis respostas, a precipitação se apresenta como uma variável com valor de importância elevado, ao contrário das outras variáveis explicativas (Tabela 3). Valores próximos à 1 indicam variáveis explicativas mais importantes, enquanto valores próximos à 0 indicam as menos importantes.

Tabela 3 — Valor de importância das variáveis preditoras (precipitação, temperatura, latitude e impacto humano) para as variáveis respostas (aninhamento, modularidade e diversidade de interações).

	<b>Precipitação</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Latitude</b>	<b>Impacto Humano</b>
<b>Aninhamento</b>	<b>1,00</b>	0,19	0,15	0,15
<b>Modularidade</b>	<b>1,00</b>	0,18	0,15	0,17
<b>Diversidade de interações</b>	<b>0,99</b>	0,33	0,92	0,24

Fonte: Da autora (2021).

#### 4 Discussão

Nosso estudo evidencia o importante papel exercido pela precipitação na estruturação das redes de interações entre morcegos e frutos na Região Neotropical. Como previsto, evidenciou-se que em áreas com alta precipitação os morcegos apresentam uma maior partição de recursos, interagindo com determinados parceiros e refletindo em redes de interações com uma estrutura mais modular. Por outro lado, em áreas com menor precipitação os morcegos apresentam um maior compartilhamento de recursos, implicando em redes de interações mais aninhadas onde espécies especialistas interagem com um conjunto de parceiros de interação das espécies mais generalistas. Esses resultados também foram encontrados em redes mutualísticas



entre polinizadores e plantas, que apresentavam maior modularidade em locais de precipitação elevada, e maior aninhamento em locais com baixa precipitação (MARUYAMA et al., 2018; TROJELSGAARD; OLESEN, 2012). Entretanto, ao contrário do previsto, as redes de interações encontradas em áreas mais úmidas apresentaram uma menor diversidade de interações, enquanto em áreas mais secas a diversidade de interações presente nas redes foi maior.

A precipitação pode ser relacionada positivamente à riqueza de plantas e também disponibilidade de frutos, fatores que influenciam direta e indiretamente na estrutura das redes de interações mutualísticas (ALBRECHT et al., 2018; LAURINDO; GREGORIN; TAVARES, 2017). Sendo assim, é esperada uma maior diversidade de frutos em locais com maior precipitação o que pode ocasionar uma partição de recursos mais fina e a ocorrência de interações especializadas, aumentando a modularidade do sistema, assim como já descrito para redes de polinização (MARUYAMA et al., 2018; ZANATA et al., 2017). Além disso, estudos anteriores demonstram que alguns gêneros de morcegos tendem a apresentar uma preferência por determinados gêneros de plantas — *Carollia-Piper*, *Sturnira-Solanum* e *Artibeus-Ficus-Cecropia*, (FLEMING, 1986; SALDAÑA-VÁZQUEZ et al., 2013), contudo, em locais onde disponibilidade de frutos é baixa, os morcegos podem aumentar o compartilhamento de frutos (SÁNCHEZ et al., 2012), o que pode, conseqüentemente, fazer com que os morcegos consumam frutos de diferentes espécies de plantas e não apenas os frutos preferidos, explicando, portanto, o maior aninhamento e a maior diversidade de interações encontrada em redes localizadas em áreas mais secas. Dessa forma, a precipitação pode contribuir na estruturação das redes de interações morcegos-frutos à medida que afeta a disponibilidade de frutos, e conseqüentemente a partição ou compartilhamento de recursos.

Ao contrário do esperado, a variação na temperatura média anual entre as áreas não implicou em alterações na estrutura das redes de interações mutualísticas entre morcegos e frutos. Nas redes mutualísticas morcego-fruto é bem descrito a existência de um núcleo central generalista composto por duas a três espécies de morcegos, dos gêneros *Artibeus*, *Carollia* e *Sturnira*, que mantém a estrutura da rede frente a distúrbios ambientais (CASTAÑO et al., 2020; LAURINDO et al, 2018). É esperado que ao longo de um gradiente de temperatura ocorra mudanças na abundância e no papel desempenhado por cada espécie de morcego, contudo a persistência desse núcleo central pode manter a estrutura similar da rede entre as diferentes localidades. Contudo, a sazonalidade da temperatura pode ser um fator determinante da presença e abundância de morcegos frugívoros (ALROY, 2019; STEVENS; AMARILLA-

STEVENS, 2012), e, portanto, esse resultado também pode ser devido à análise dessa variável do ponto de vista de valores médios anuais e não valores que representem a sazonalidade de temperatura. Estudos anteriores sugerem que a sazonalidade da temperatura pode exercer influência indireta sobre a estrutura das redes à medida que influencia a disponibilidade de frutos, e ambas as variáveis — temperatura e disponibilidade de frutos — determinam a abundância de morcegos (LAURINDO; GREGORIN; TAVARES, 2017).

Embora a diversidade de morcegos filostomídeos apresente um gradiente latitudinal de riqueza de espécies, com uma maior diversidade em direção às menores latitudes (RAMOS-PEREIRA; PALMEIRIM, 2013; STEVENS, 2004), a necessidade do consumo de frutos durante o ano todo restringe a distribuição desses animais apenas à zona tropical enquanto permanecem ausentes nas zonas temperadas (ALROY, 2019). Dessa forma, a presença de morcegos filostomídeos apenas na faixa tropical pode explicar a ausência de influência do gradiente latitudinal na estrutura das redes de interações entre morcegos e frutos, já que estudos anteriores envolvendo outros organismos presentes também em zonas temperadas encontraram variação na estrutura das redes de interações como resultado de gradientes latitudinais (*e.g.* DALSGAARD et al., 2011; OLESEN; JORDANO, 2002; SCHLEUNING et al., 2012).

Além disso, a estrutura das redes de interações entre morcegos e frutos também não respondeu ao nível de impacto humano. Esse resultado foi contrário ao encontrado por Sebastián-González et al. (2014), em que as redes de interações mutualísticas entre grupos de dispersores de sementes e frutos foram mais aninhadas e menos modulares em áreas com alto índice de impacto humano. Nosso resultado pode ser reflexo da persistência de morcegos frugívoros dos gêneros *Carollia*, *Sturnira* e *Artibeus* mesmo em paisagens mais perturbadas (MUYLAERT; STEVENS; RIBEIRO, 2016), onde essas espécies desempenham papéis centrais nas redes morcego-fruto e pode manter a estrutura das redes em áreas com distintos níveis de perturbação (LAURINDO et al., 2018). Também destacamos que a maior parte da dieta dos morcegos frugívoros é composta por plantas de estágio de sucessão inicial como espécies dos gêneros *Piper*, *Solanum*, *Cecropia* comuns em ambientes perturbados (SALDAÑA-VÁZQUEZ et al., 2013). Dessa forma, a influência do impacto humano na estrutura das redes de interações mutualísticas morcego-fruto, pode ser menor do que em outros sistemas (*e.g.* SEBASTIÁN-GONZÁLEZ et al., 2014; SEBASTIÁN-GONZÁLEZ et al., 2020; TAKEMOTO; KAJIHARA, 2016). Contudo, esse resultado deve ser interpretado com cautela pois apesar de não influenciar na estrutura da rede, Laurindo et al. (2018) demonstra que em

áreas fragmentadas a riqueza de frutos consumidos por morcegos é menor que em ambientes conservados, o que pode impactar diretamente na dispersão de sementes e dinâmica florestal.

## **5 Conclusão**

Em resumo, nossos resultados destacam que a precipitação foi a principal variável associada à estrutura das redes de interações mutualísticas entre morcegos neotropicais e frutos, enquanto a temperatura, latitude e o impacto humano não apresentaram efeito significativo na organização das redes. Entretanto, é importante mencionar que a importância de características bióticas e abióticas na estruturação das redes mutualísticas pode variar de acordo com as características dos táxons que compõem o sistema analisado. Porém, assim como encontrado em outros estudos, mudanças nos padrões de precipitação causados por alterações antrópicas no ecossistema podem modificar a estrutura das redes de interações mutualísticas entre morcegos neotropicais e frutos, conseqüentemente alterando as funções ecossistêmicas que esses animais oferecem quanto à manutenção e regeneração de florestas tropicais.

## REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, J. *et al.* Plant and animal functional diversity drive mutualistic network assembly across an elevational gradient. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2018.
- ALMEIDA-NETO, M.; P. GUIMARÃES; P. R. GUIMARÃES; R. D. LOYOLA; W. ULRICH. A consistent metric for nestedness analysis in ecological systems: reconciling concept and measurement. **Oikos**, v. 117, p. 1227-1239, 2008.
- ALMEIDA-NETO, M.; ULRICH, W. A straightforward computational approach for measuring nestedness using quantitative matrices. **Environmental Modelling and Software**, v. 26, n. 2, p. 173-178, 2011.
- ALROY, J. Latitudinal gradients in the ecology of New World bats. **Global Ecology and Biogeography**, v. 28, n. 6, p. 1-9, 2019.
- ANTONIAZZI, R.; DÁTTILO, W.; RICO-GRAY, V. A Useful Guide of Main Indices and Software Used for Ecological Networks Studies. In: DÁTTILO, W.; RICO-GRAY, V. (Eds.). **Ecological Networks in the Tropics: An Integrative Overview of Species Interactions from Some of the Most Species-Rich Habitats on Earth**, Springer, 2018. p. 185-196.
- BARTON, K. (2020). MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.43.17. <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>
- BASCOMPTE, J.; JORDANO, P. **Mutualistic Networks**. Princeton University Press, 2013. 206p.
- BASCOMPTE, J.; JORDANO, P.; MELIAN, C. J.; OLESEN, J. M. The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, n. 16, p. 9383-9387, 2003.
- Beckett, S. J. Improved community detection in weighted bipartite networks. **Royal Society Open Science**, v. 3, n. 1, 140536, 2016.
- BLÜTHGEN, N.; MENZEL, F.; BLÜTHGEN, N. Measuring specialization in species interaction networks. **BMC Ecology**, v. 6, n. 9, p. 1-12, 2006.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information Theoretic Approach**, 2nd ed. Springer, New York. 2002.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R.; HUYVAERT, K. P. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: Some background, observations, and comparisons. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 65, n. 1, p. 23-35, 2011.
- CAGNOLO, L. The Future of Ecological Networks in the Tropics Tropical. In: DÁTTILO, W.; RICO-GRAY, V. (Eds.). **Ecological networks in the tropics: An Integrative Overview of Species Interactions from Some of the Most Species-Rich Habitats on Earth**, Springer, 2018. p. 171-183.
- CRAWLEY, M. J. **The R book**, 2nd Edition. Wiley, Chichester, 2012. 1076p.

DALSGAARD, B. *et al.* Specialization in Plant-Hummingbird Networks Is Associated with Species Richness, Contemporary Precipitation and Quaternary Climate-Change Velocity. **PLoS ONE**, v. 6, n. 10, e25891, 2011.

DORMANN, C. F. *et al.* Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. **Ecography**, v. 36, n. 1, p. 27–46, 2012.

DORMANN, C. F., STRAUSS, R. A method for detecting modules in quantitative bipartite networks. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 5, n. 1, p. 90-98, 2014.

DORMANN, C. F.; FRÜND, J.; BLÜTHGEN, N.; GRUBER, B. Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks. **The Open Ecology Journal**, v. 2, p. 7-24, 2009.

ESCRIBANO-AVILA, G.; LARA-ROMERO, C.; HELENO, R.; TRAVESET, A. Tropical Seed Dispersal Networks: Emerging Patterns, Biases, and Keystone Species Traits. In: DÁTTILO, W.; RICO-GRAY, V. (Eds.). **Ecological networks in the tropics: An Integrative Overview of Species Interactions from Some of the Most Species-Rich Habitats on Earth**, Springer, 2018. p. 93-110.

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

FLEMING, T. H. Opportunism versus specialization: the evolution of feeding strategies in frugivorous bats. In: FLEMING, T. H.; ESTRADA, A. (Eds) **Frugivores and Seed Dispersal**, Dr W Junk Publishers, Dordrecht, the Netherlands. 1986. p.105-118.

FOX, J.; WEISBERG, S. **An R Companion to Applied Regression**, 3rd ed. Sage, Thousand Oaks, 2019. 474p.

GONZÁLEZ, A. M. M. *et al.* The macroecology of phylogenetically structured hummingbird-plant networks. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24. n. 11, p. 1212-1224, 2015.

HOISS, B.; KRAUSS, J.; STEFFAN-DEWENTER, I. Interactive effects of elevation, species richness and extreme climatic events on plant-pollinator networks. **Global Change Biology**, v. 21, n. 11, p. 4086-4097, 2015.

HOLST, K.K., 2020. gof: Model-diagnostics based on cumulative residuals. R package version 1.43.17. <https://CRAN.R-project.org/package=gof>

LAURINDO, R. S.; GREGORIN, R.; TAVARES, D. V. Effects of biotic and abiotic factors on the temporal dynamic of bat-fruit interactions. **Acta Oecologica**, v. 83, p. 38-47, 2017.

LAURINDO, R. S.; NOVAES, R. L. M.; VIZENTIN-BUGONI, J.; GREGORIN, R. The effects of habitat loss on bat-fruit networks. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 3, p. 589-601, 2018.

LIN, D. Y.; WEI, L. J.; YING, Z. Model-checking techniques based on cumulative residuals. **Biometrics**, v. 58, n. 1, p. 1-12, 2002.

- MARUYAMA, P. K. *et al.* Functional diversity mediates macroecological variation in plant-hummingbird interaction networks. **Global Ecology and Biogeography**, v. 27, n. 10, p. 1186-1199, 2018.
- MELLO, M. A. R.; MARQUITTI, F. M. D.; GUIMARÃES-JR, P. R.; KALKO, E. K. V.; JORDANO, P.; AGUIAR, M. A. M. The missing part of seed dispersal networks, structure and robustness of bat-fruit interactions, **PLoS One**, v. 6, n. 2, p. 1-10, 2011.
- MCCULLAGH, P.; NELDER, J. A. **Generalized Linear Models**, 2nd Ed. Chapman & Hall, London. 1989. 532p.
- MUSCARELLA, R.; FLEMING, T. H. The role of frugivorous bats in tropical forest succession. **Biological Reviews**, v. 82, n. 4, p. 573-590, 2007.
- MUYLAERT, R. L.; STEVENS, R. D.; RIBEIRO, M. C. Threshold effect of habitat loss on bat richness in cerrado-forest landscapes. **Ecological Applications**, v. 26, n. 6, p. 1854-1867, 2016.
- OLESEN, J. M.; JORDANO, P. Geographic patterns in plant–pollinator mutualistic networks. **Ecology**, v. 83, n. 9, p. 2416-2424, 2002.
- OLESEN, J. M.; BASCOMPTE, J.; DUPONT, Y. L.; JORDANO, P. The modularity of pollination networks. **Proceedings of the National Academy of Science**, v. 104, n. 50, p. 19891–19896, 2007.
- PETERSON, B. G.; CARL, P. (2020) **PerformanceAnalytics: Econometric Tools for Performance and Risk Analysis**. R package version 2.0.4.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018. **A Language and Environment for Statistical Computing**. Version 3.5.2. R Foundation for Statistical Computing.
- RAMOS-PEREIRA, M. J.; PALMEIRIM, J. M. Latitudinal diversity gradients in new world bats: are they a consequence of niche conservatism? **PLoS ONE**, v. 8, n. 7, e69245, 2013.
- RICO-GRAY, V.; DÍAZ-CASTELAZO, C.; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, A.; GUIMARÃES, P. R.; NATHANIEL-HOLLAND, J. Abiotic factors shape temporal variation in the structure of an ant–plant network. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 6, n. 2, 289-295, 2012.
- SALDAÑA-VÁZQUEZ, R. A. Intrinsic and extrinsic factors affecting dietary specialization in Neotropical frugivorous bats. **Mammal Review**, v. 44, n. 3-4, 2014.
- SALDAÑA-VÁZQUEZ, R. A.; SOSA, V. J.; ÑIGUEZ-DÁVALOS, L. I.; SCHONDUBE, J. E. The role of extrinsic and intrinsic factors in Neotropical fruit bat–plant interactions. **Journal of Mammalogy**, v. 94, n. 3, p. 632-639, 2013.
- SÁNCHEZ, M. S.; CARRIZO, L. V.; GIANNINI, N. P.; BARQUEZ, R. M. Seasonal patterns in the diet of frugivorous bats in the subtropical rainforests of Argentina. **Mammalia**, v. 76, n. 3, p. 269-275, 2012.
- SANDERSON, E. W.; JAITEH, M.; LEVY, M. A.; REDFORD, K. H.; WANNEBO, A.V.; WOOLMER, G. The human footprint and the last of the wild. **Bioscience**, v. 52, n. 10, p. 891-904, 2002.

SCHLEUNING, M. *et al.* Specialization of Mutualistic Interaction Networks Decreases toward Tropical Latitudes. **Current Biology**, v. 22, n. 20, p. 1925–1931, 2012.

SEBASTIÁN-GONZÁLEZ, E.; DALSGAARD, B.; SANDEL, B.; GUIMARÃES, P. R. Macroecological trends in nestedness and modularity of seed-dispersal networks: human impact matters. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 3, p. 293-303, 2014.

SEBASTIÁN-GONZÁLEZ, E. *et al.* Network structure of vertebrate scavenger assemblages at the global scale: drivers and ecosystem functioning implications. **Ecography**, v. 43, n. 8, p. 1143-1155, 2020.

STEVENS, R. D. Untangling latitudinal richness gradients at higher taxonomic levels: familial perspectives on the diversity of New World bat communities. **Journal of Biogeography**, v. 31, n. 4, p. 665-674, 2004.

STEVENS, R. D.; AMARILLA-STEVENS, H. N. Seasonal environments, episodic density compensation and dynamics of structure of chiropteran frugivore guilds in Paraguayan Atlantic forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, n. 1, p. 267-279, 2012.

SYMONDS, M. R. E.; MOUSSALLI, A. A brief guide to model selection, multimodel inference and model averaging in behavioural ecology using Akaike's information criterion. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 65, n. 1, p. 13-21, 2011.

TAKEMOTO, K.; KAJIHARA, K. Human Impacts and Climate Change Influence Nestedness and Modularity in Food-Web and Mutualistic Networks. **PLoS ONE**, v. 11, n. 6, e0157929, 2016.

TRØJELSGAARD, K.; OLESEN, J. M. Macroecology of pollination networks. **Global Ecology and Biogeography**, v. 22, n. 2, p. 149-162, 2012.

ULRICH, W.; ALMEIDA-NETO, M.; GOTELLI, N. J. A consumer's guide to nestedness analysis. **Oikos**, v. 118, n. 1, p. 3-17, 2009.

VÁZQUEZ, D. P.; MELIÁN, C. J.; WILLIAMS, N. M.; BLÜTHGEN, N.; KRASNOV, B. R.; POULI, R. Species abundance and asymmetric interaction strength in ecological networks. **Oikos**, v. 116, n. 7, p. 1120-1127, 2007.

WELTI, E. A. R.; JOERN, A. Structure of trophic and mutualistic networks across broad environmental gradients. **Ecology and Evolution**, v. 5, n. 2, p. 326-334, 2015.

WILDLIFE CONSERVATION SOCIETY - WCS, AND CENTER FOR INTERNATIONAL EARTH SCIENCE INFORMATION NETWORK - CIESIN - Columbia University, 2005. Last of the Wild Project, Version 2, 2005 (LWP-2): Global Human Footprint Dataset (Geographic). NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Palisades, NY.

ZANATA, T. B. *et al.* Global patterns of interaction specialization in bird-flower networks. **Journal of Biogeography**, v. 44, n. 8, p. 1891-1910, 2017.

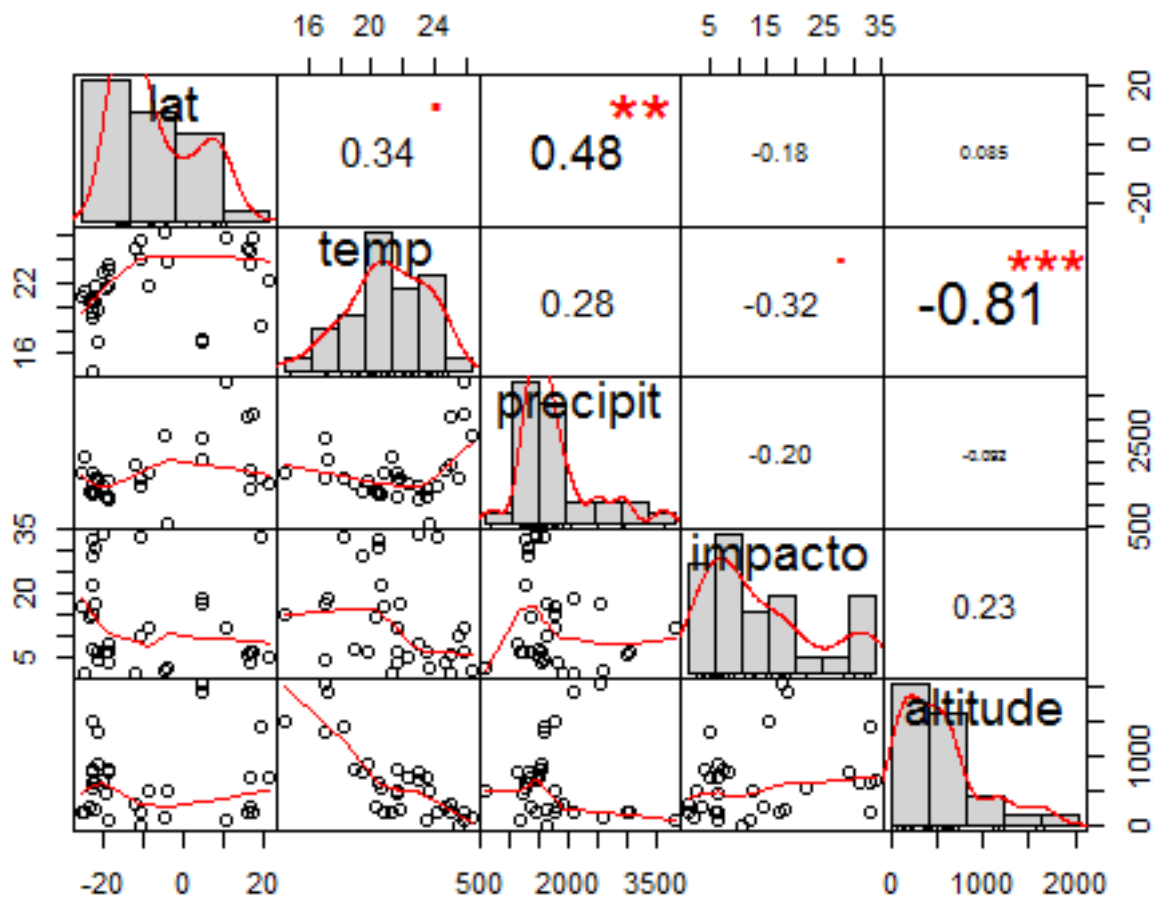
ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; ELPHICK, C. S. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 1, n. 1, p. 3-14, 2009.

ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; SMITH, G. M. **Analyzing Ecological Data**. Springer-Verlag, New York, 2007.



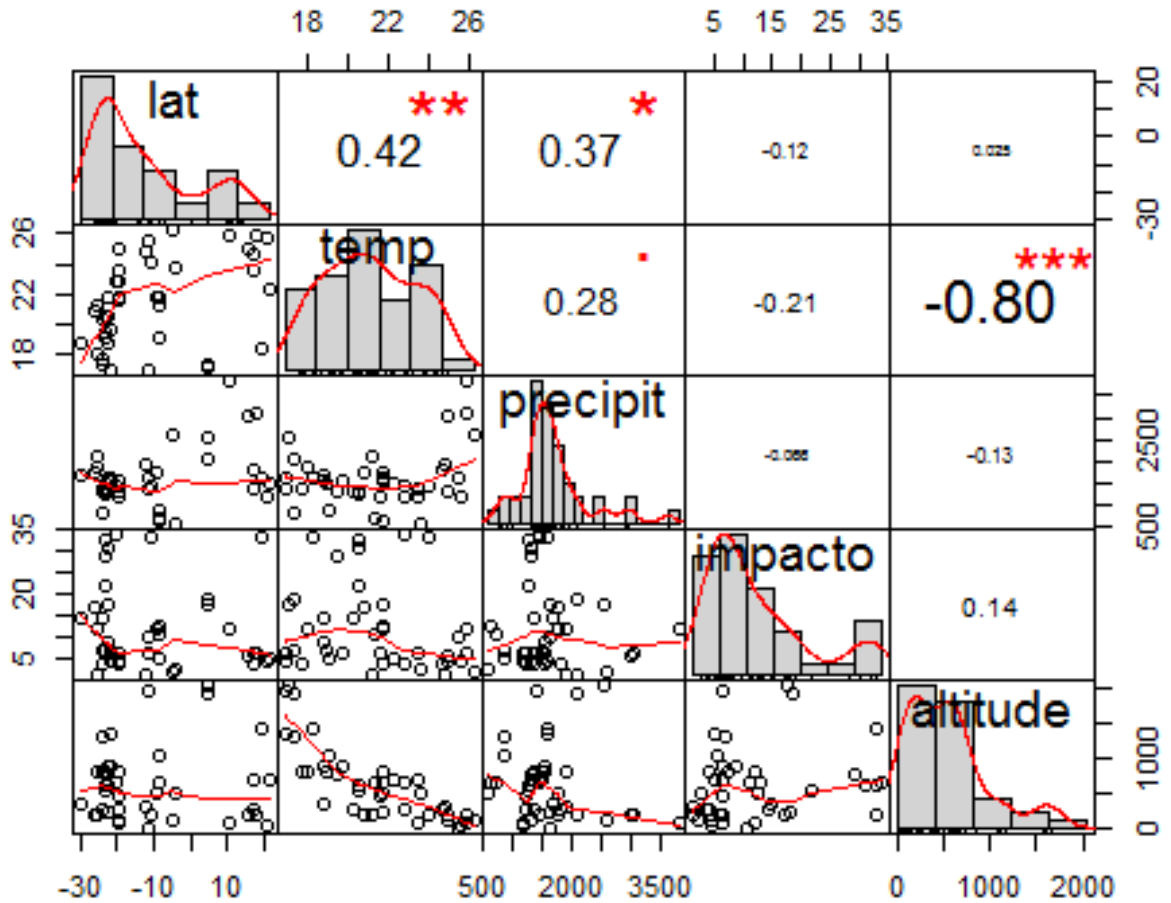
## MATERIAL SUPLEMENTAR

Figura 1 — Correlação entre as variáveis explicativas (latitude, temperatura média anual, precipitação média anual, índice de impacto humano e altitude) para as variáveis resposta aninhamento (wNODF). A variável altitude foi desconsiderada dos modelos devido ao seu alto nível de colinearidade com a temperatura média anual ( $r=-0.81$ , ou seja,  $r>0.70$ ).



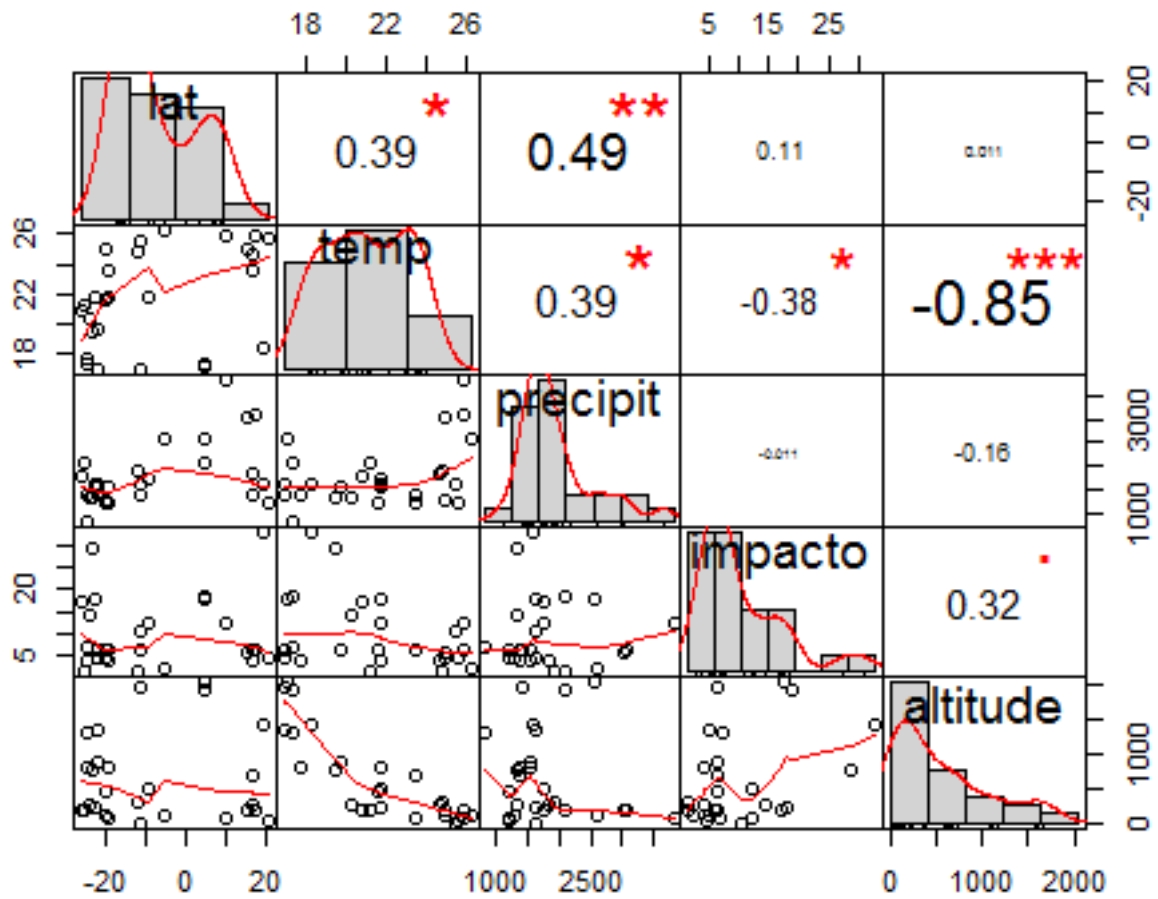
Fonte: Da autora (2021).

Figura 2 — Correlação entre as variáveis explicativas (latitude, temperatura média anual, precipitação média anual, índice de impacto humano e altitude) para as variáveis resposta modularidade (Q). A variável altitude foi desconsiderada dos modelos devido ao seu alto nível de colinearidade com a temperatura média anual ( $r=-0.80$ , ou seja,  $r>0.70$ ).



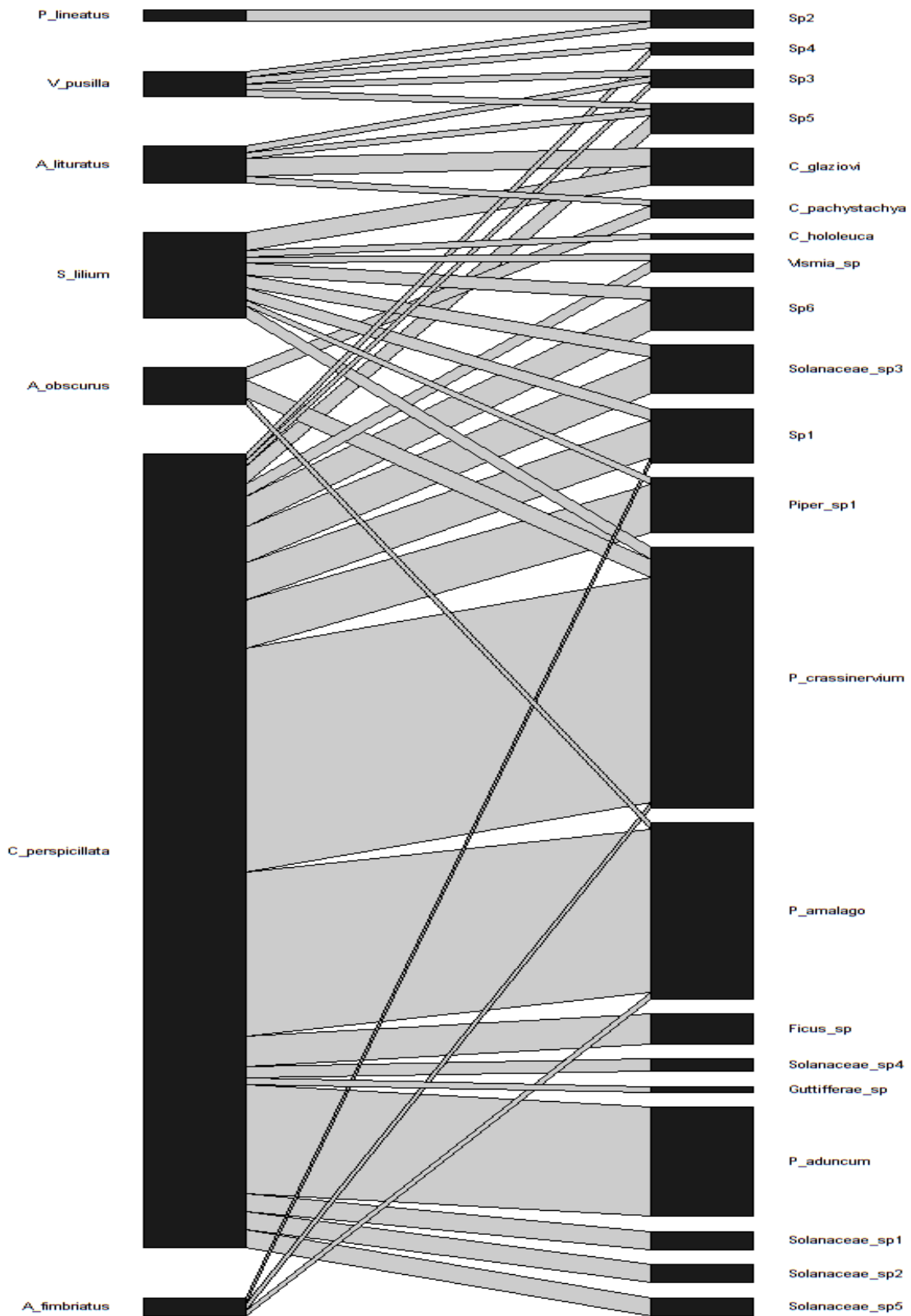
Fonte: Da autora (2021).

Figura 3 — Correlação entre as variáveis explicativas (latitude, temperatura, precipitação, índice de impacto humano e altitude) para a variável resposta diversidade de interações ( $H'$ ). A variável altitude foi desconsiderada dos modelos devido ao seu alto nível de colinearidade com a temperatura média anual ( $r=-0.85$ , ou seja,  $r > 0.70$ ).



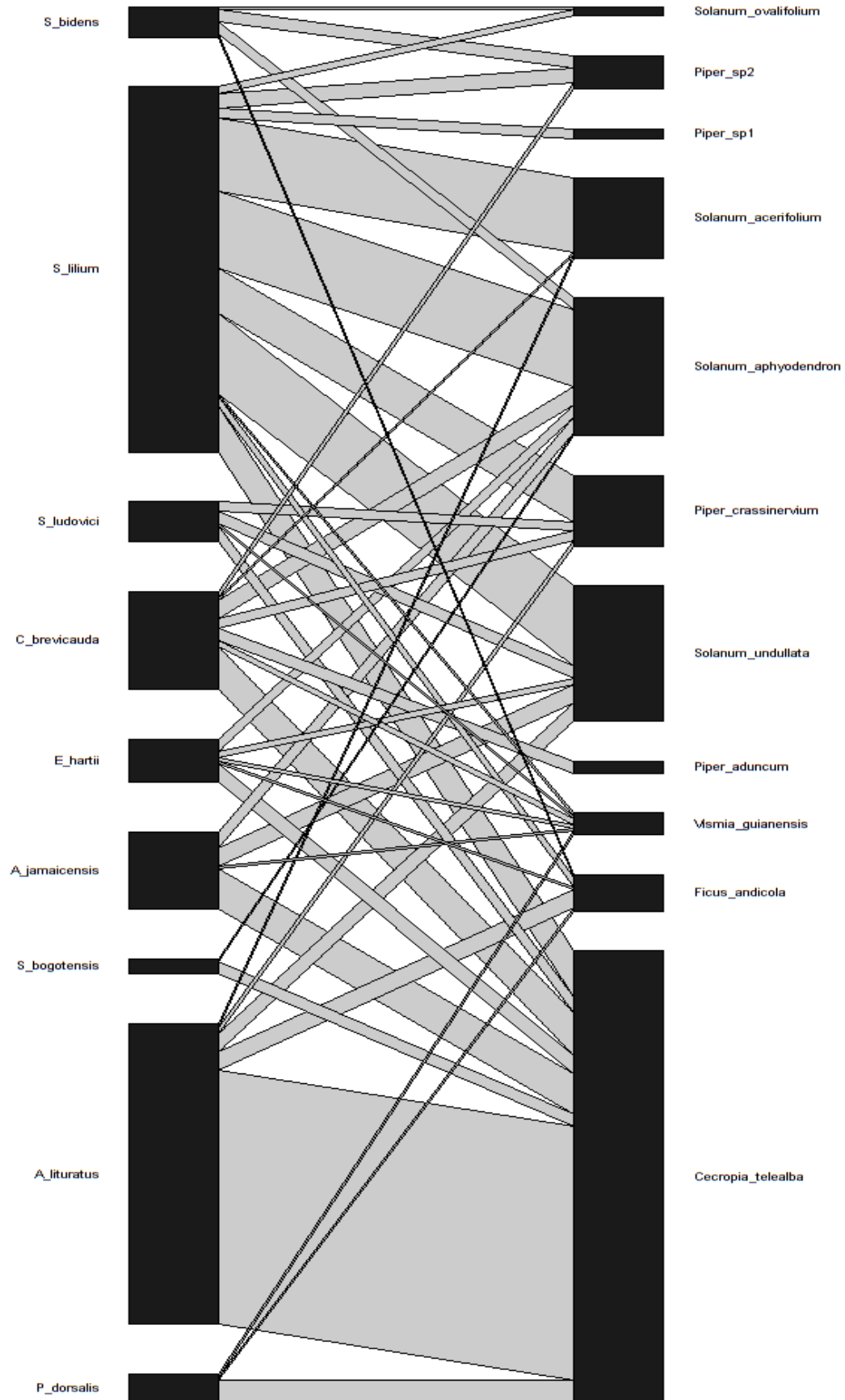
Fonte: Da autora (2021).

### Redes de interações utilizadas no estudo:



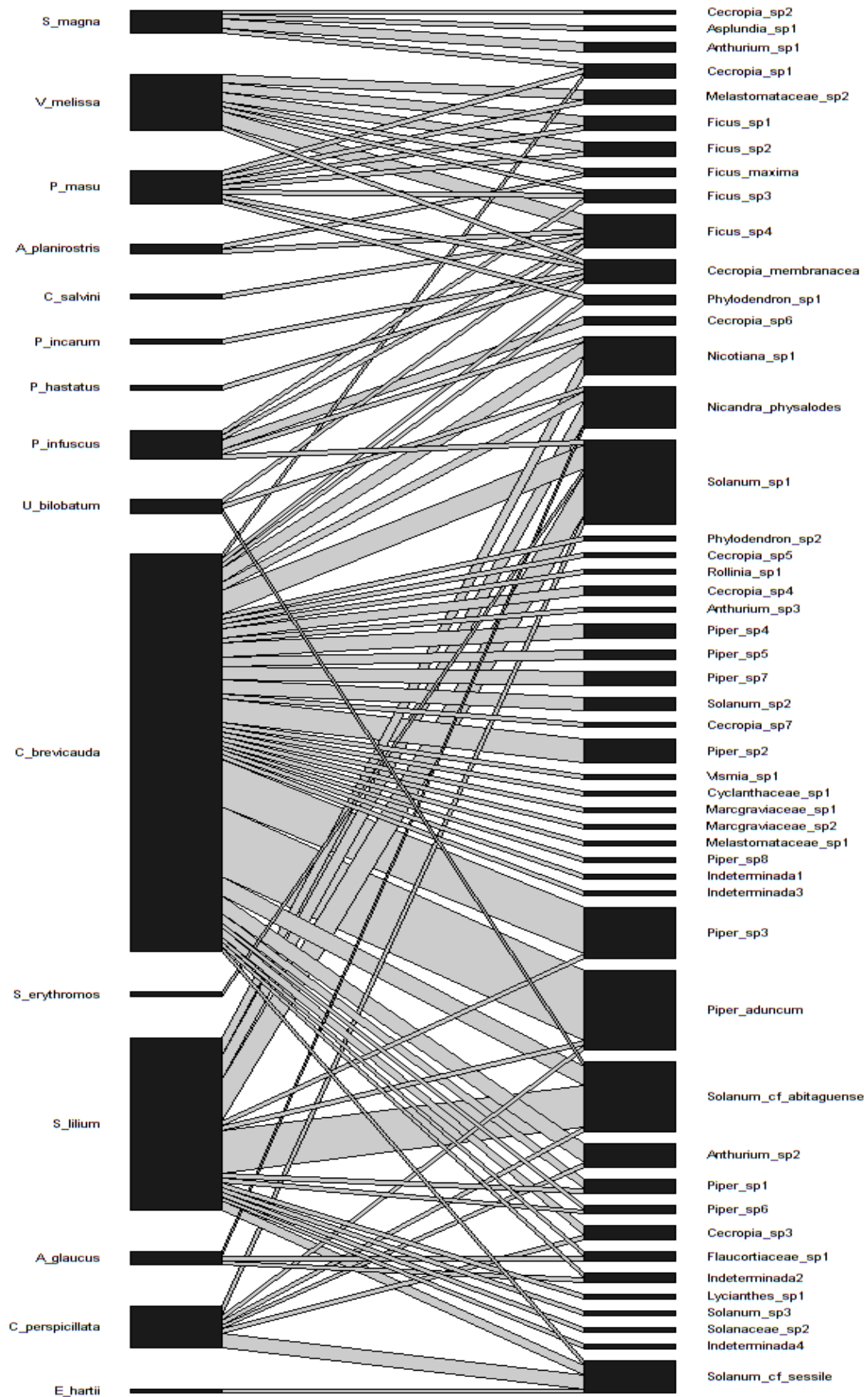
Aguiar & Marinho-Filho (2017)

**Local:** RPPN Feliciano Miguel Abdala (Caratinga, Minas Gerais, Brasil).



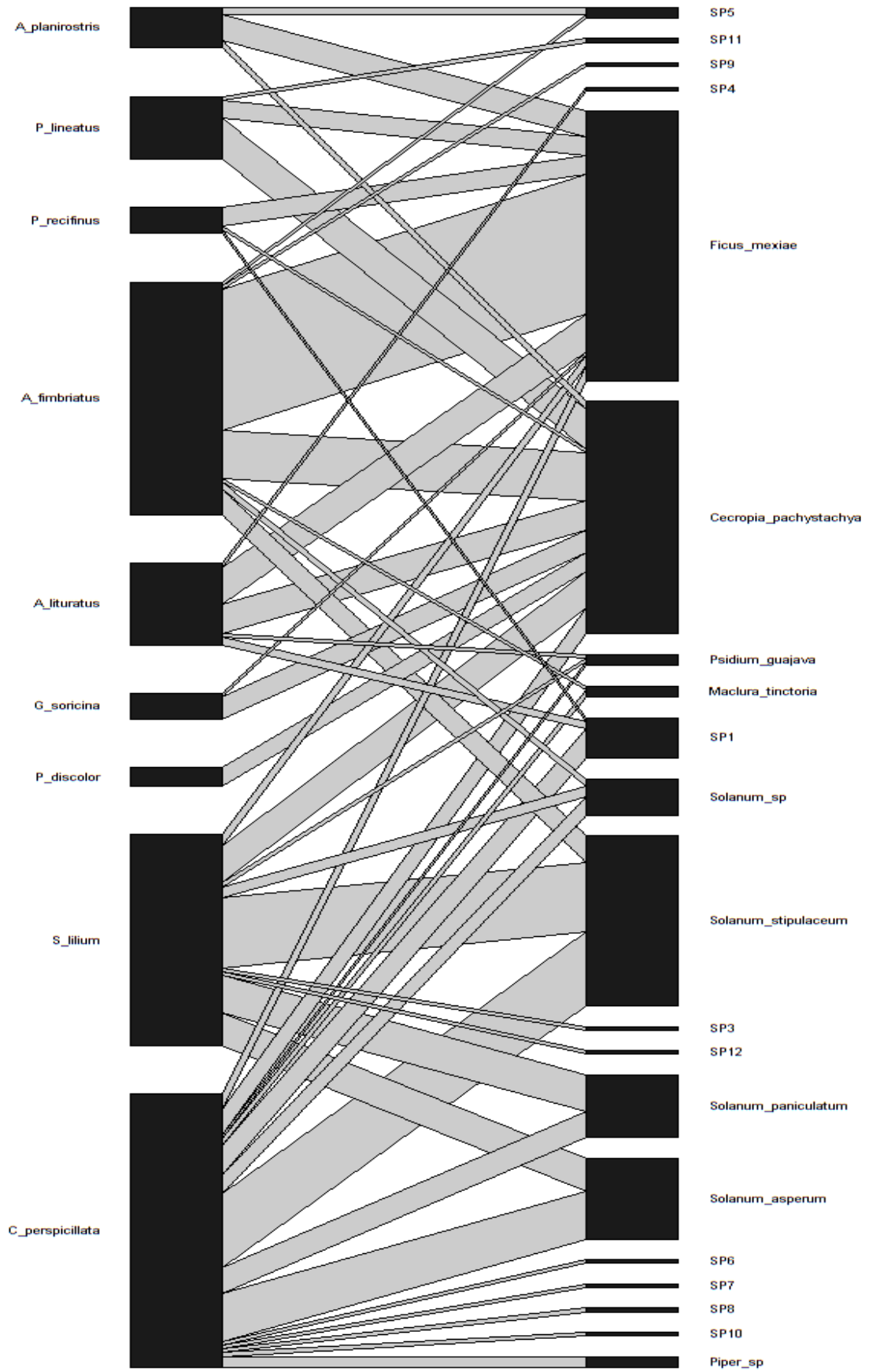
Aguilar-Garavito et al (2014)

**Local:** Reserva Florestal Bremen-La Popa (Filandia-Quindío, Colômbia).



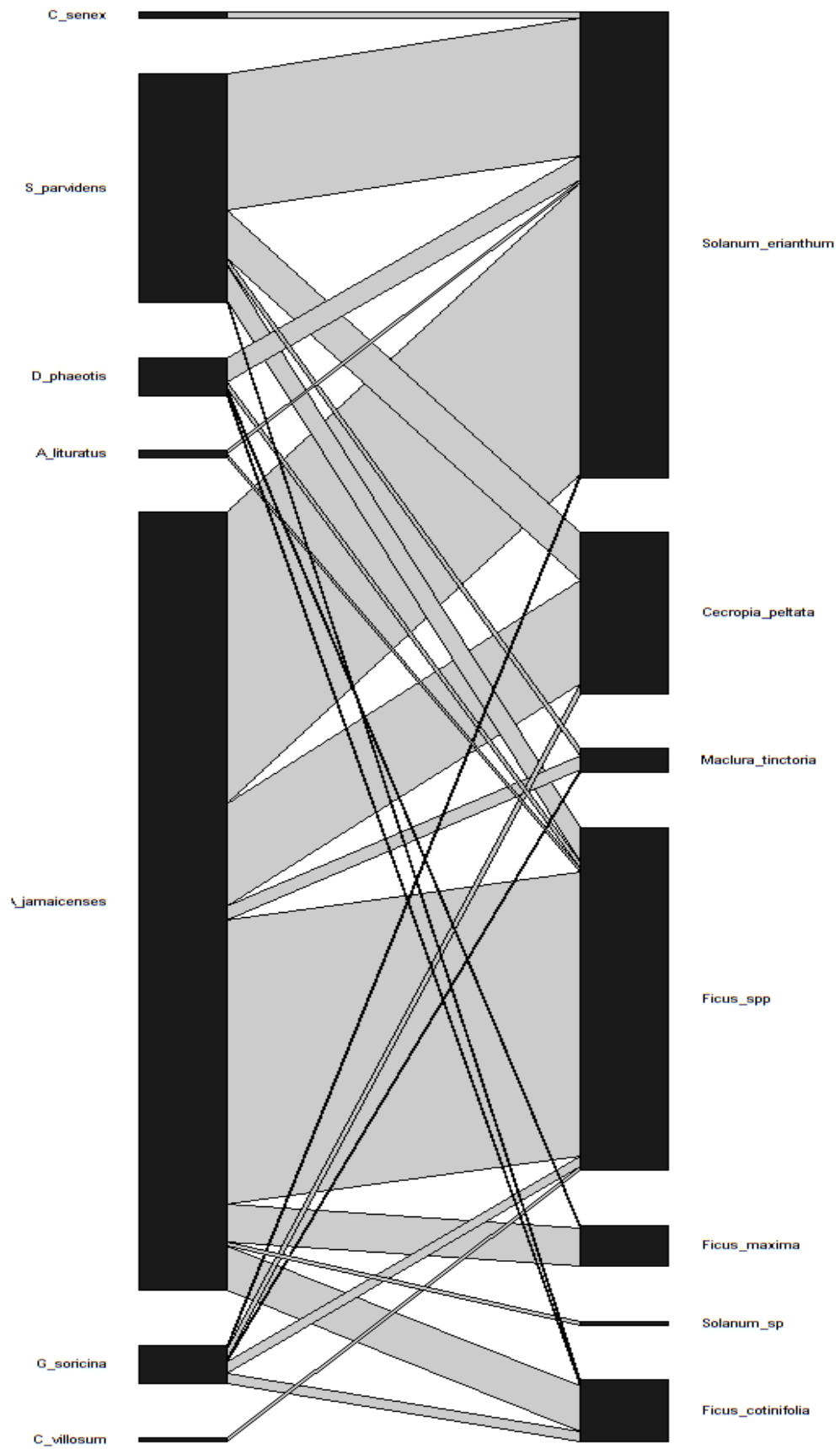
Arias & Pacheco (2019)

**Local:** Santuario Nacional Pampa Hermosa (Junín, Peru).



Bezerra (2017)

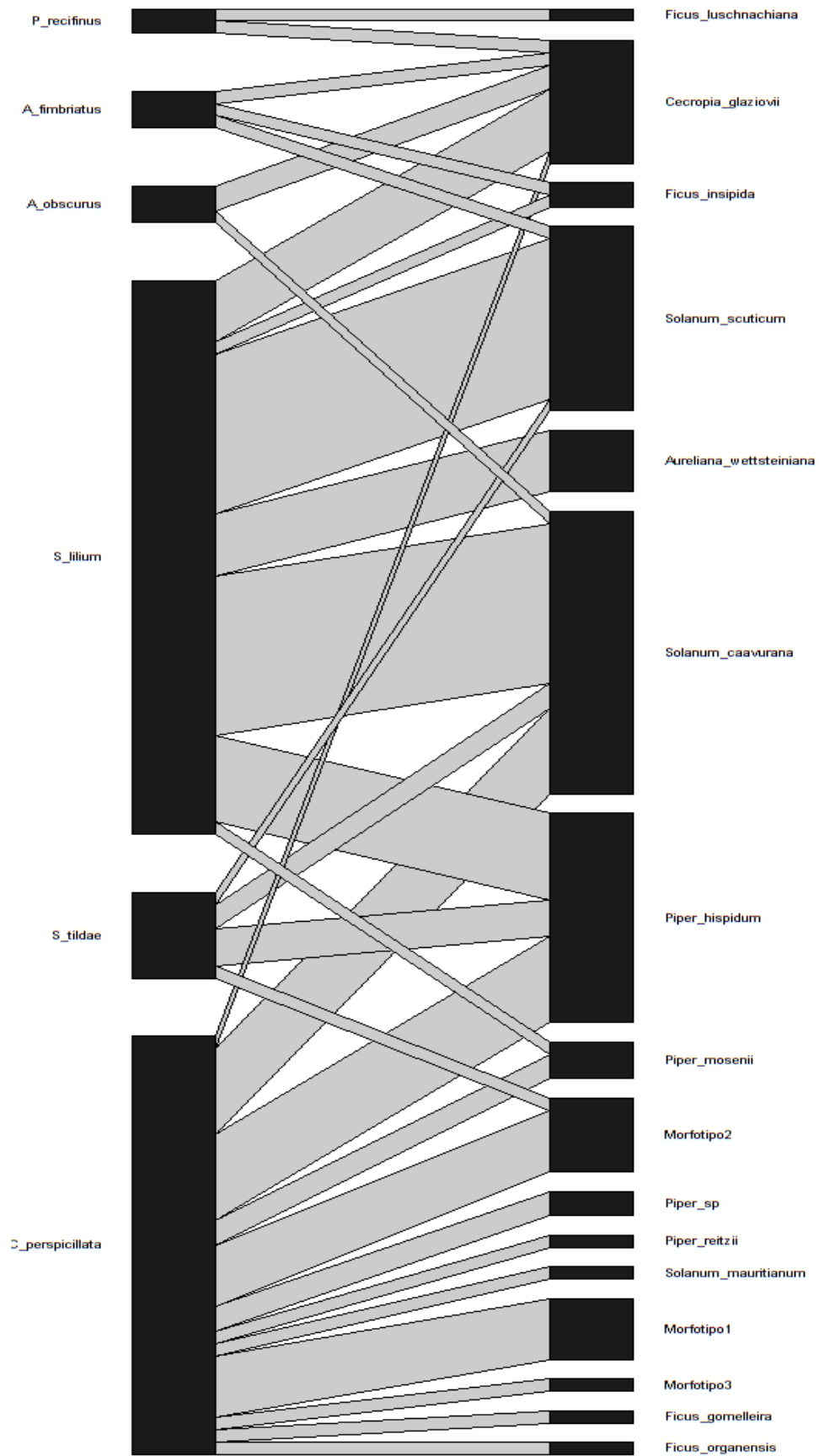
**Local:** Fazenda Vale do Tabocas (Belo Jardim, Pernambuco, Brasil).



Bolívar-Cimé et al. (2014)

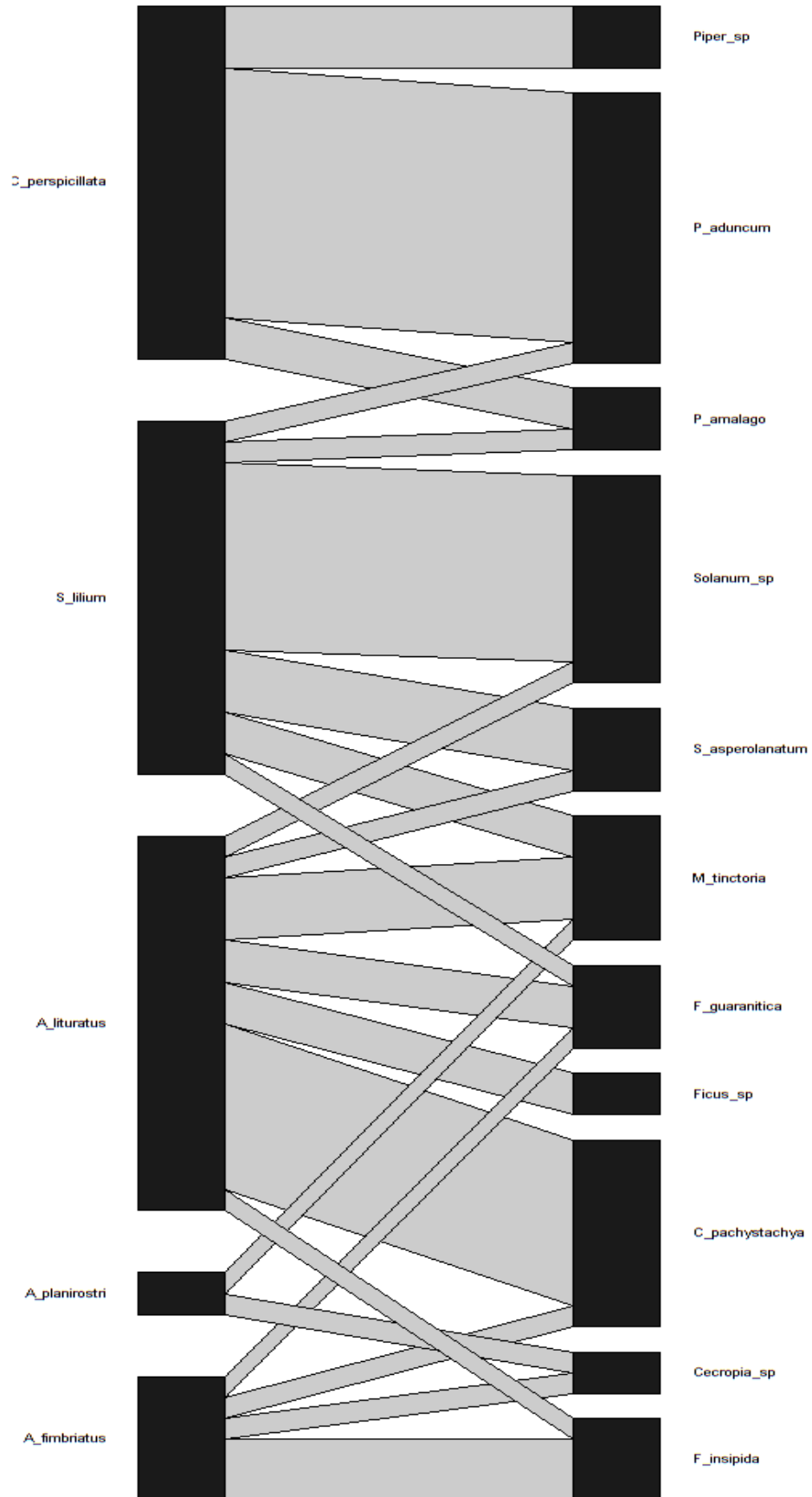
Local: Região nordeste do estado de Yucatan, México.





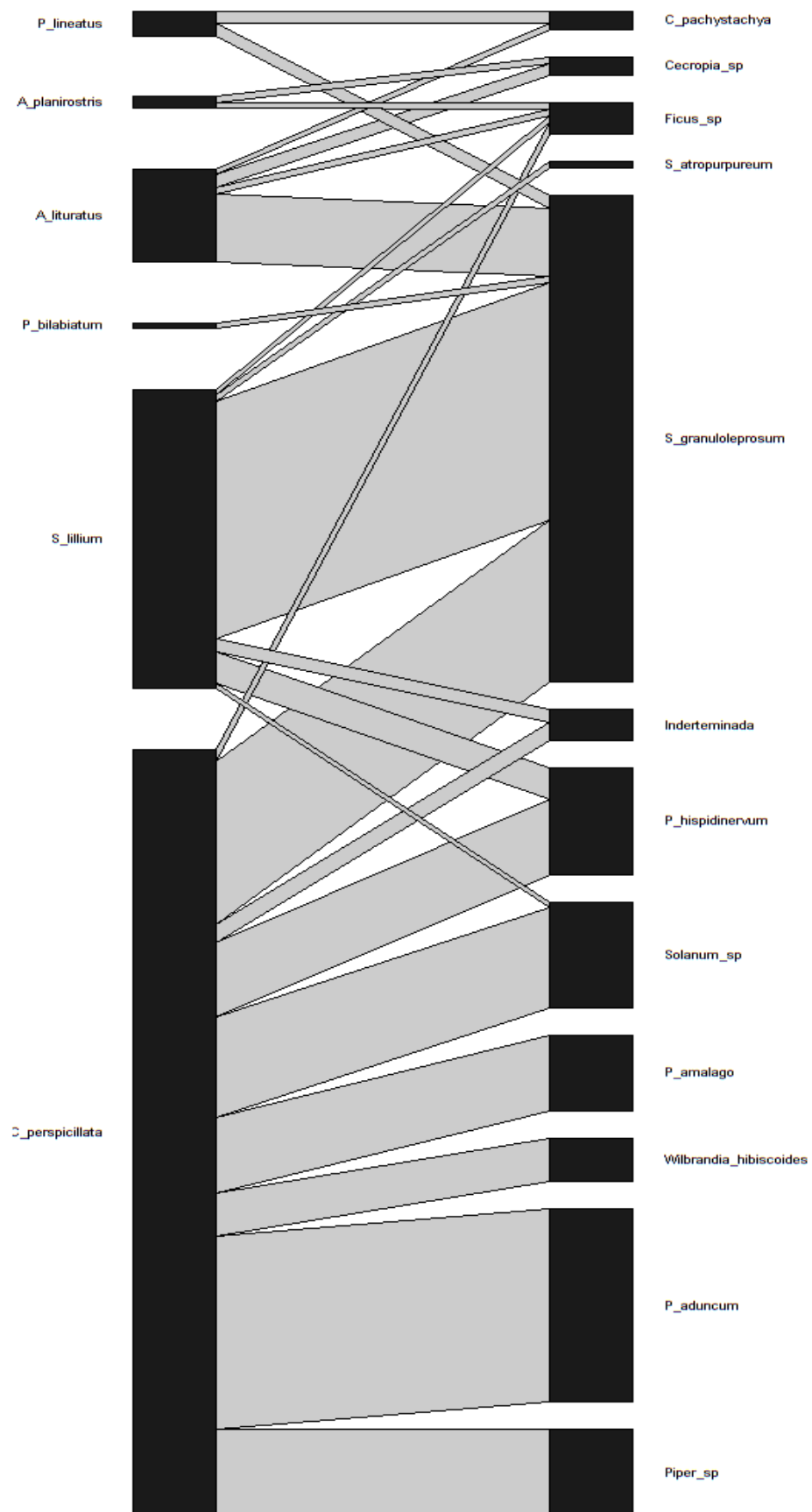
Brito (2011)

**Local:** Parque Estadual do Pico do Marumbi (Morretes, Paraná, Brasil).



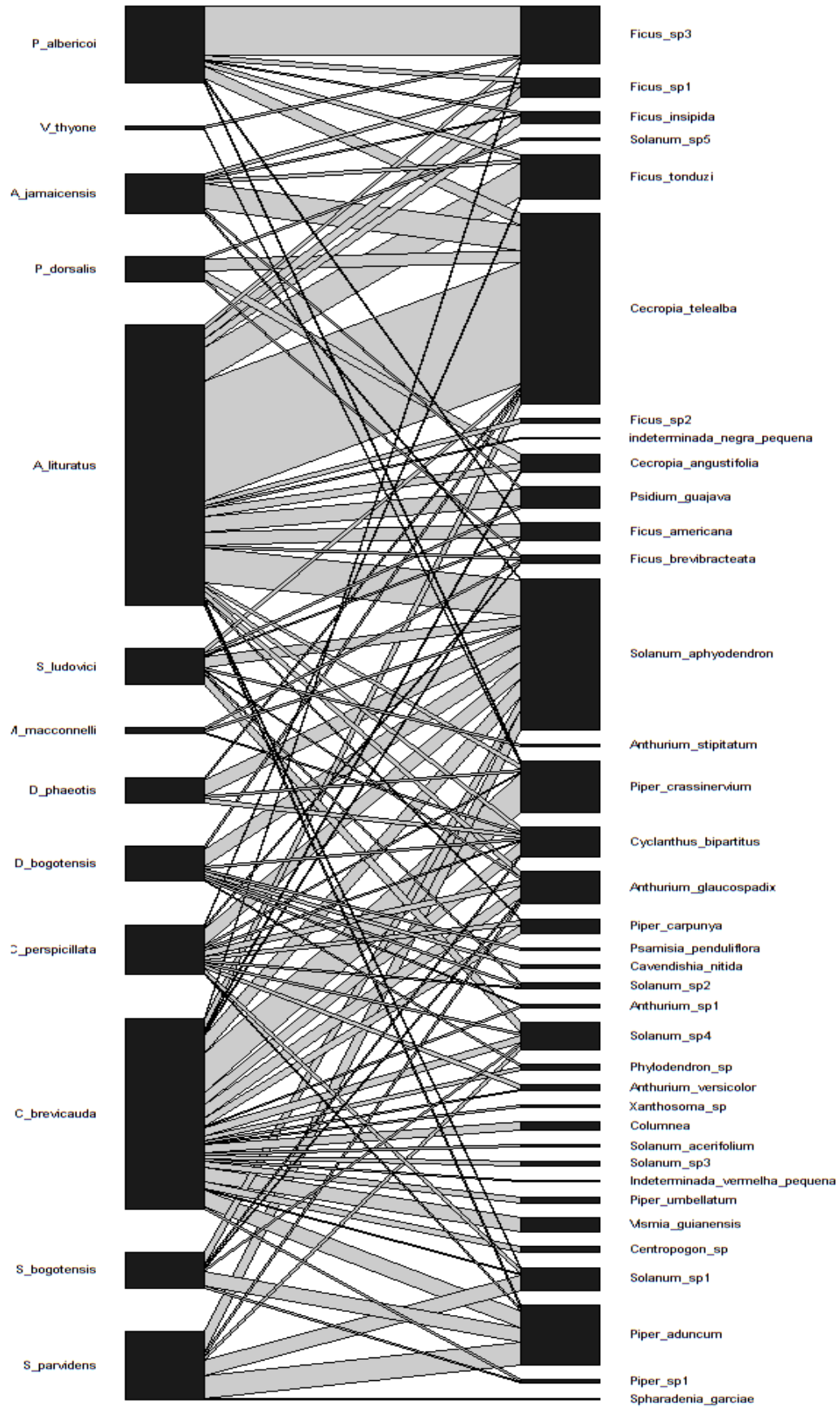
Brito et al. (2010)

**Local:** Recanto Marista (Doutor Camargo, Paraná, Brasil).



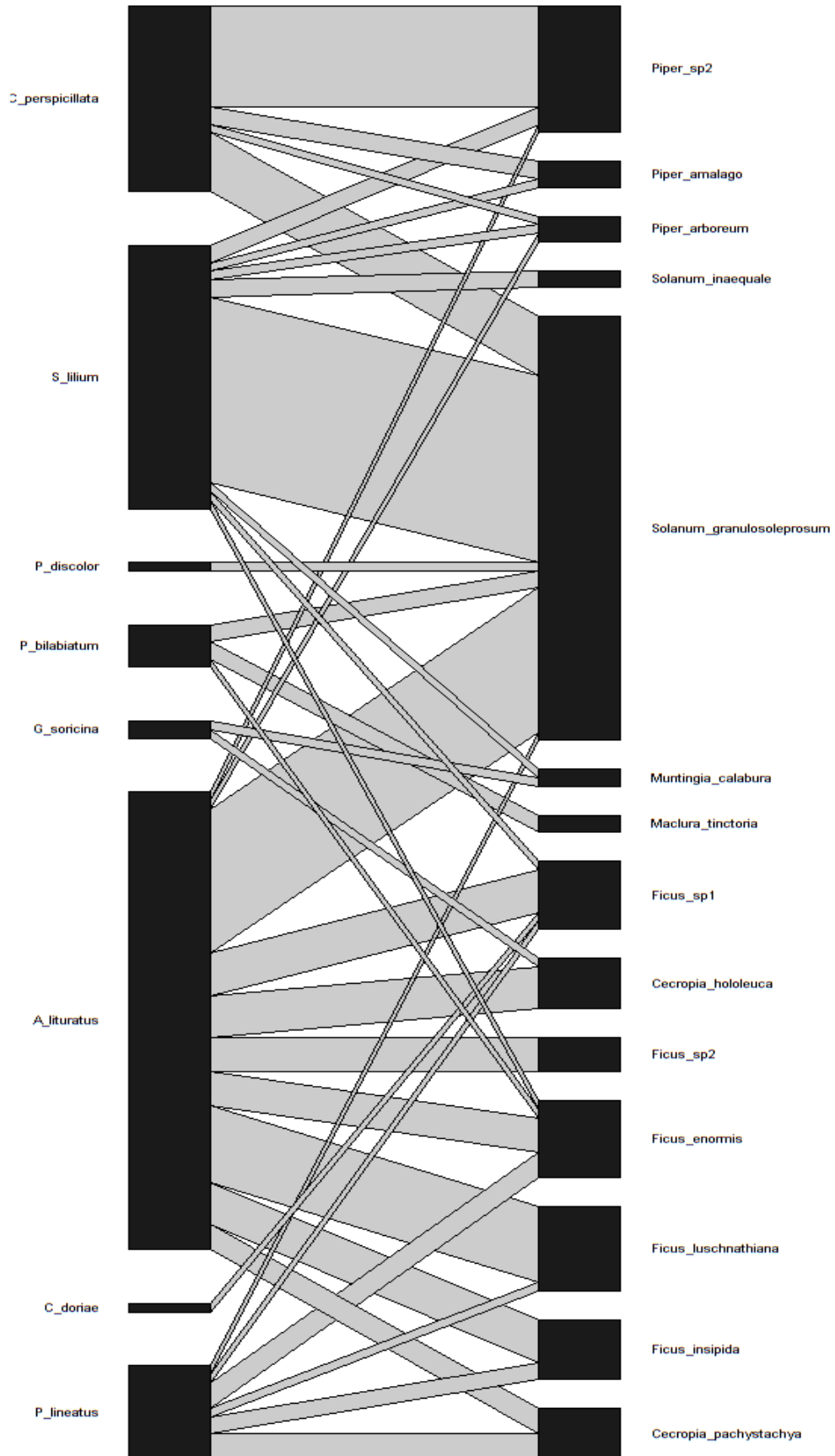
Carvalho (2008)

**Local:** Fazenda Experimental Edgardia (Botucatu, São Paulo, Brasil).



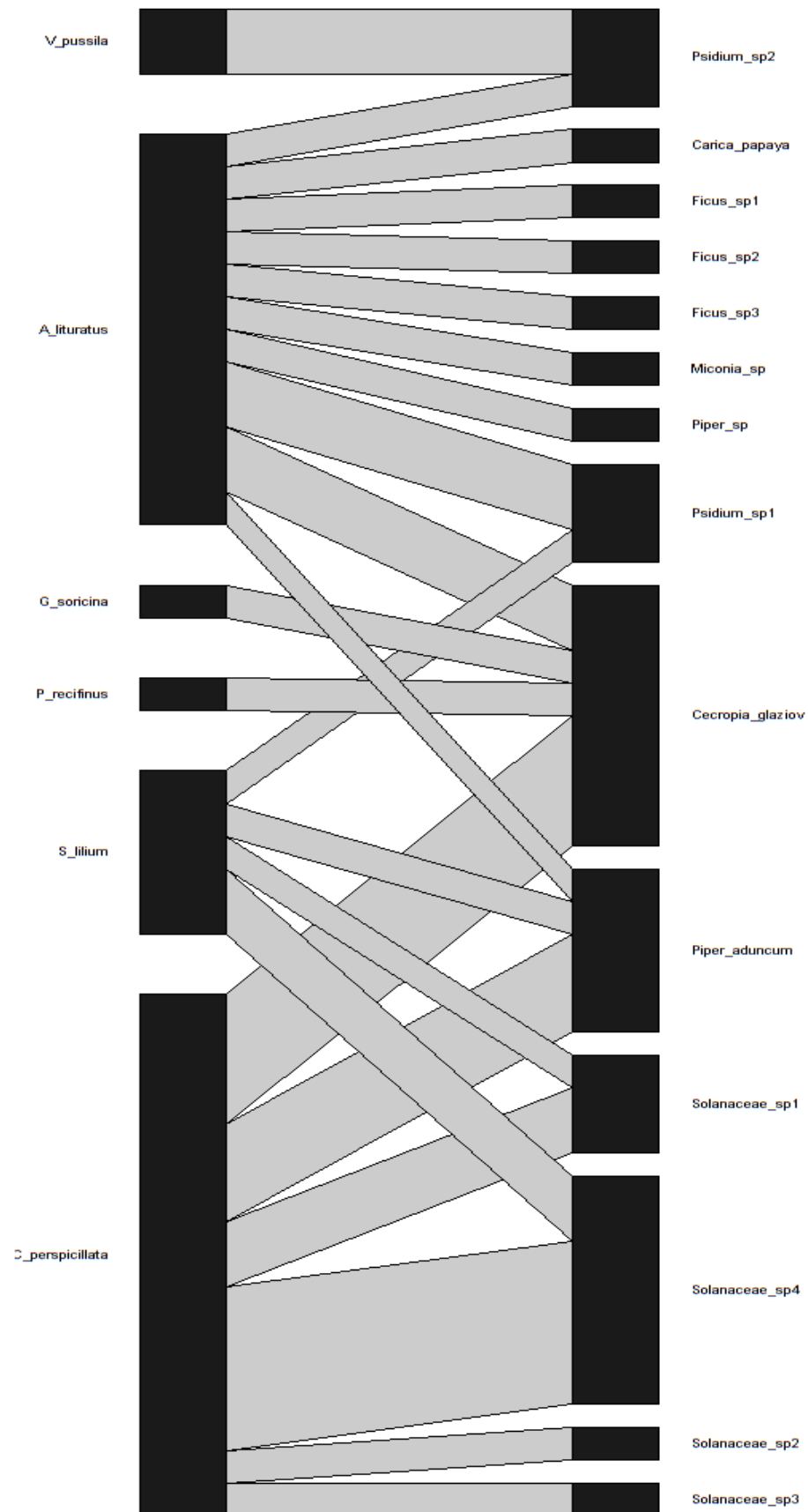
Castaño et al. (2020)

**Local:** Santa Rosa de Cabal, Marsella e Dosquebradas (Colômbia).



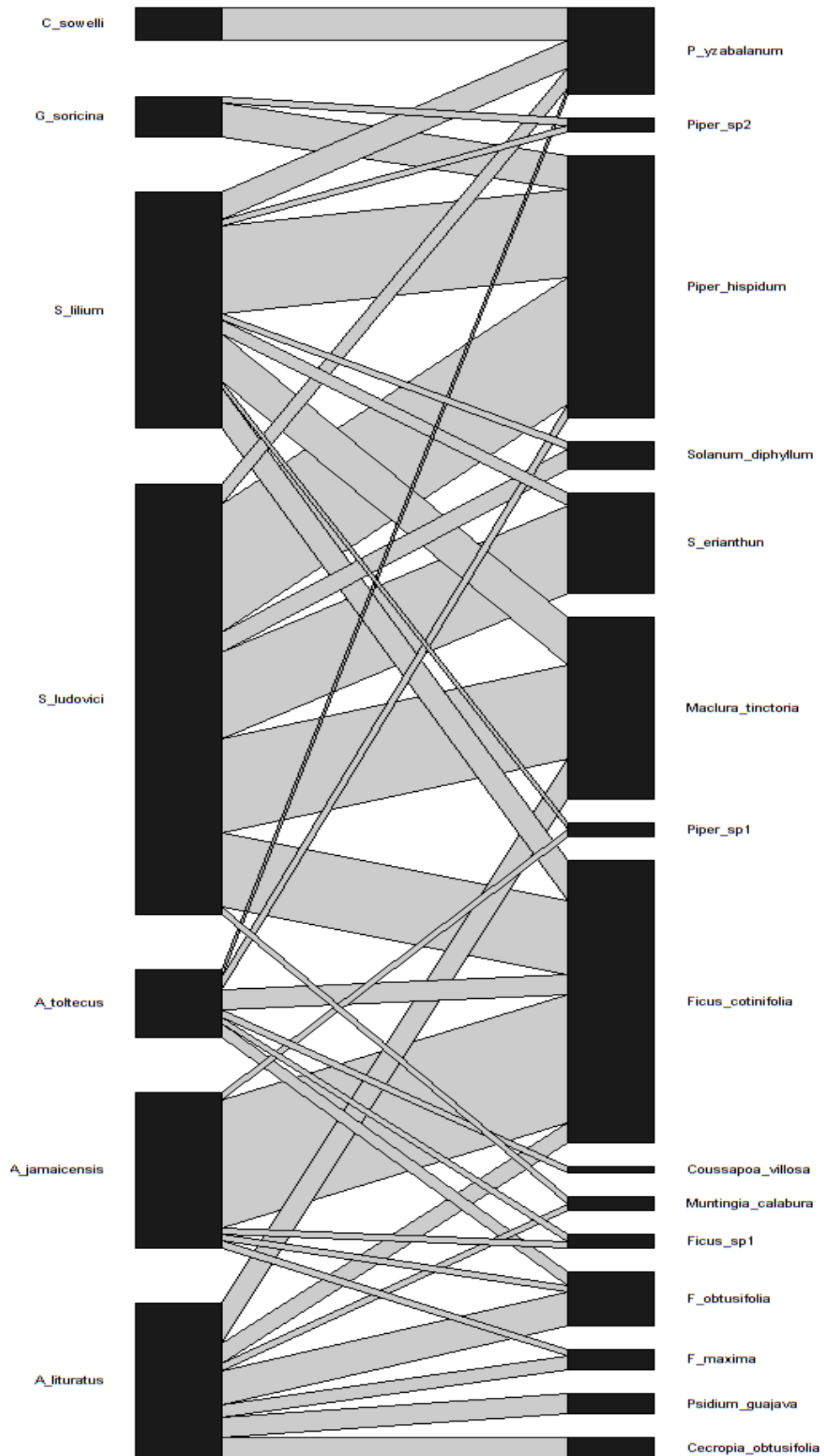
Faria (1996)

**Local:** Reserva de Santa Genebra (Campinas, São Paulo, Brasil).



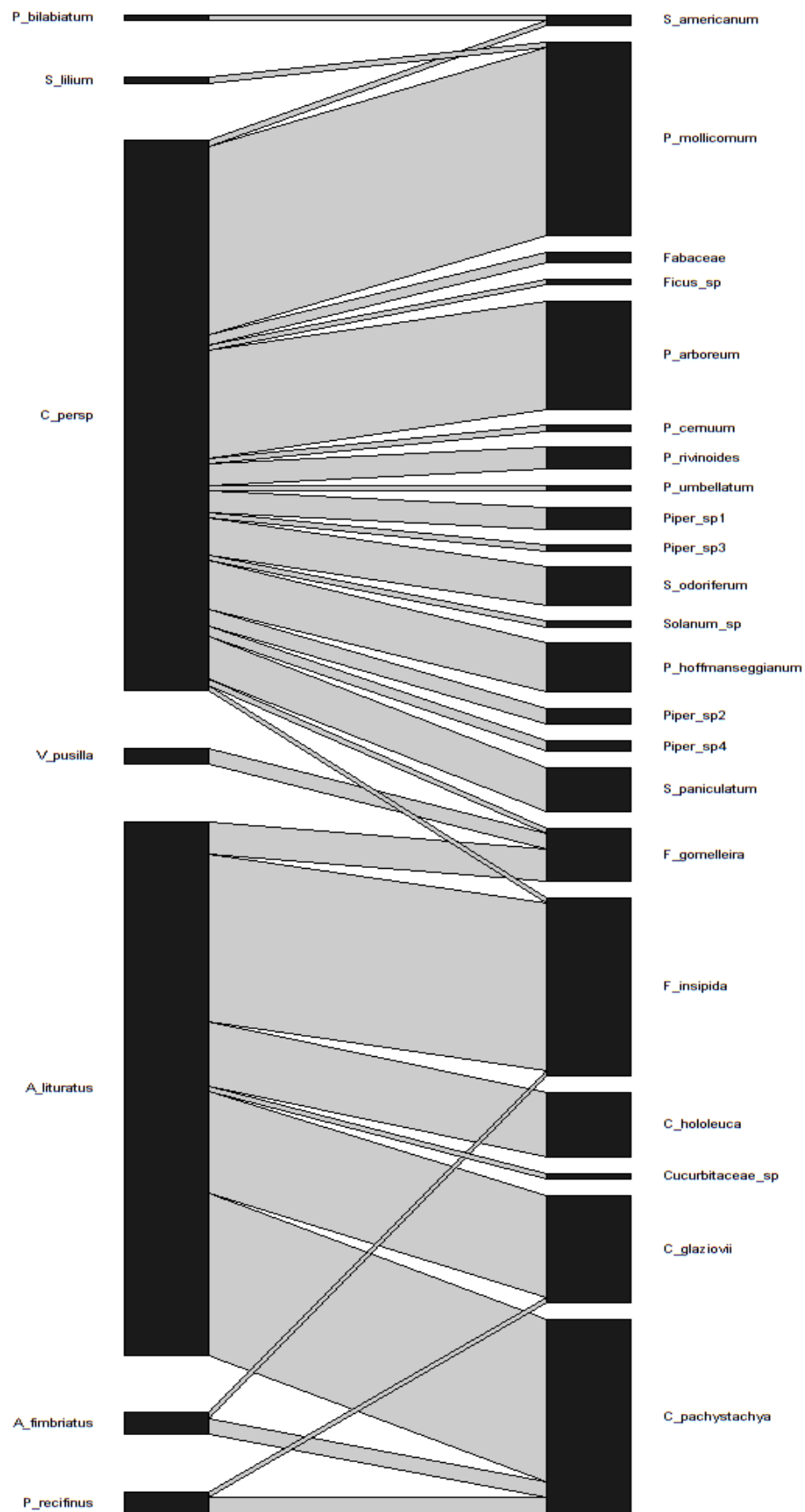
Garcia et al. (2000)

**Local:** Antônio Dias (Minas Gerais, Brasil)



García-Morales et al. (2012)

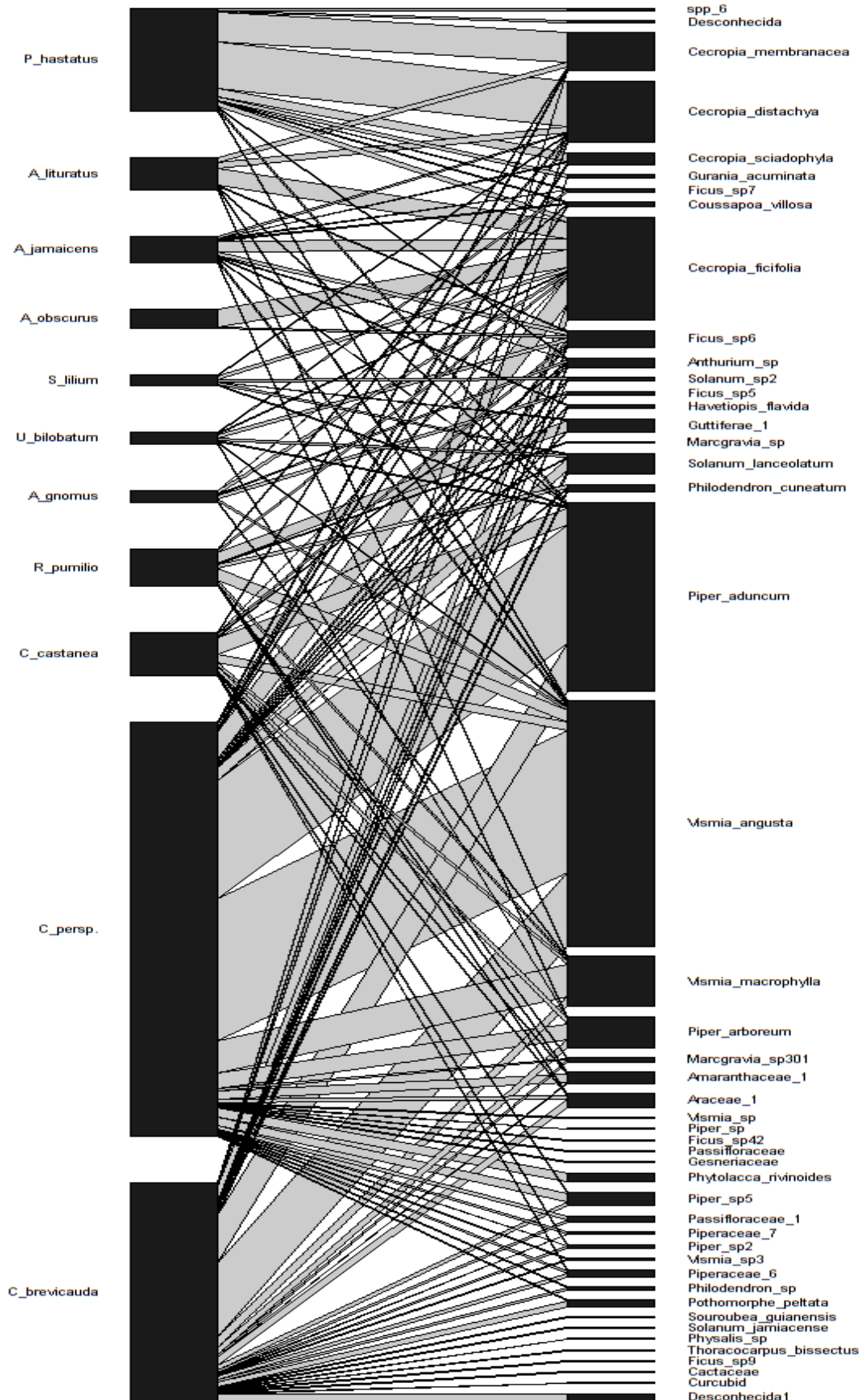
**Local:** Região de Huasteca, parte leste do estado de San Luis Potosí (México).



Gomes (2013)

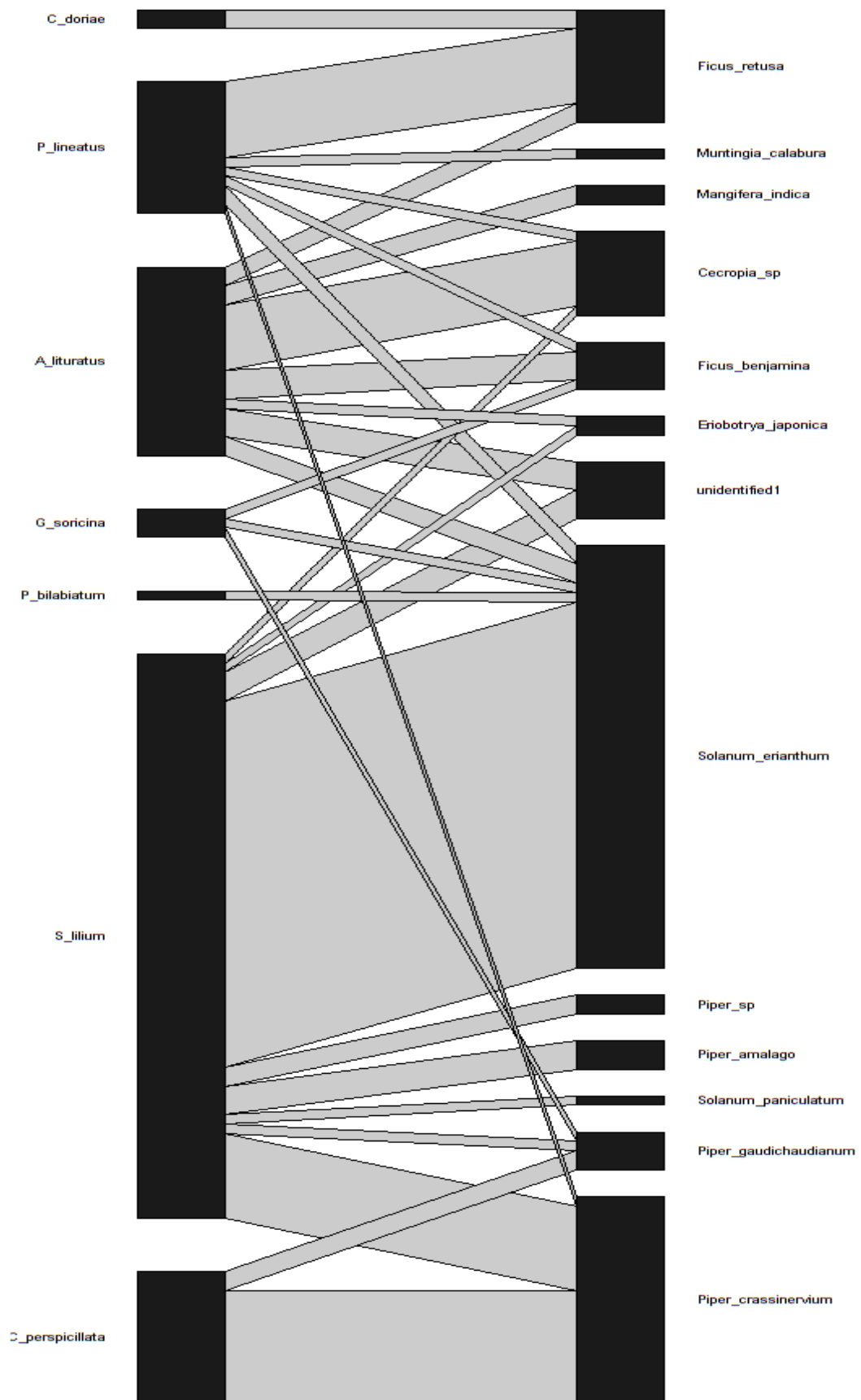
**Local:** Parque Natural Municipal do Curió (Paracambi, Rio de Janeiro, Brasil).





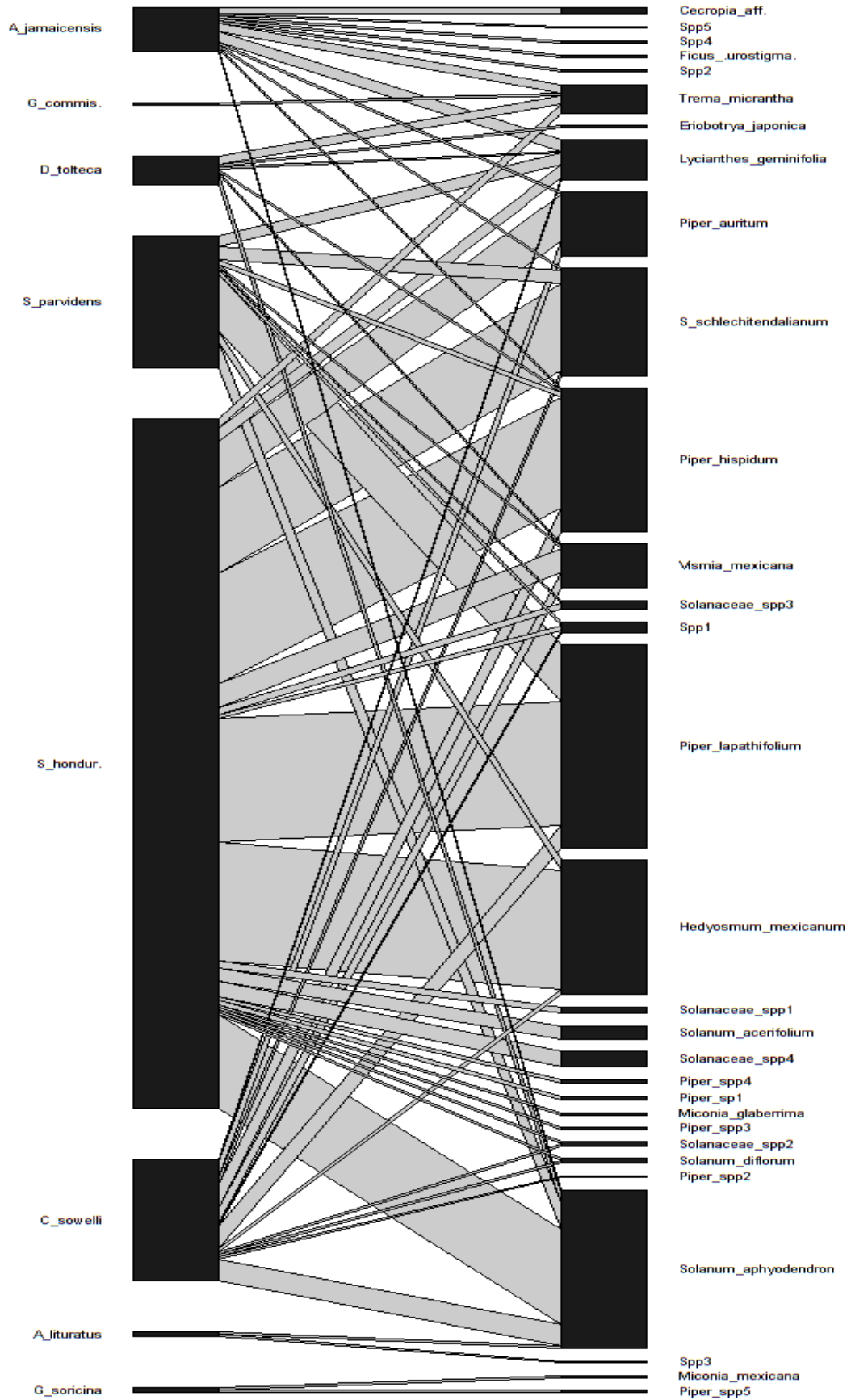
Gorchov et al. (1995)

Local: Iquitos, provincia de Requena, Peru.



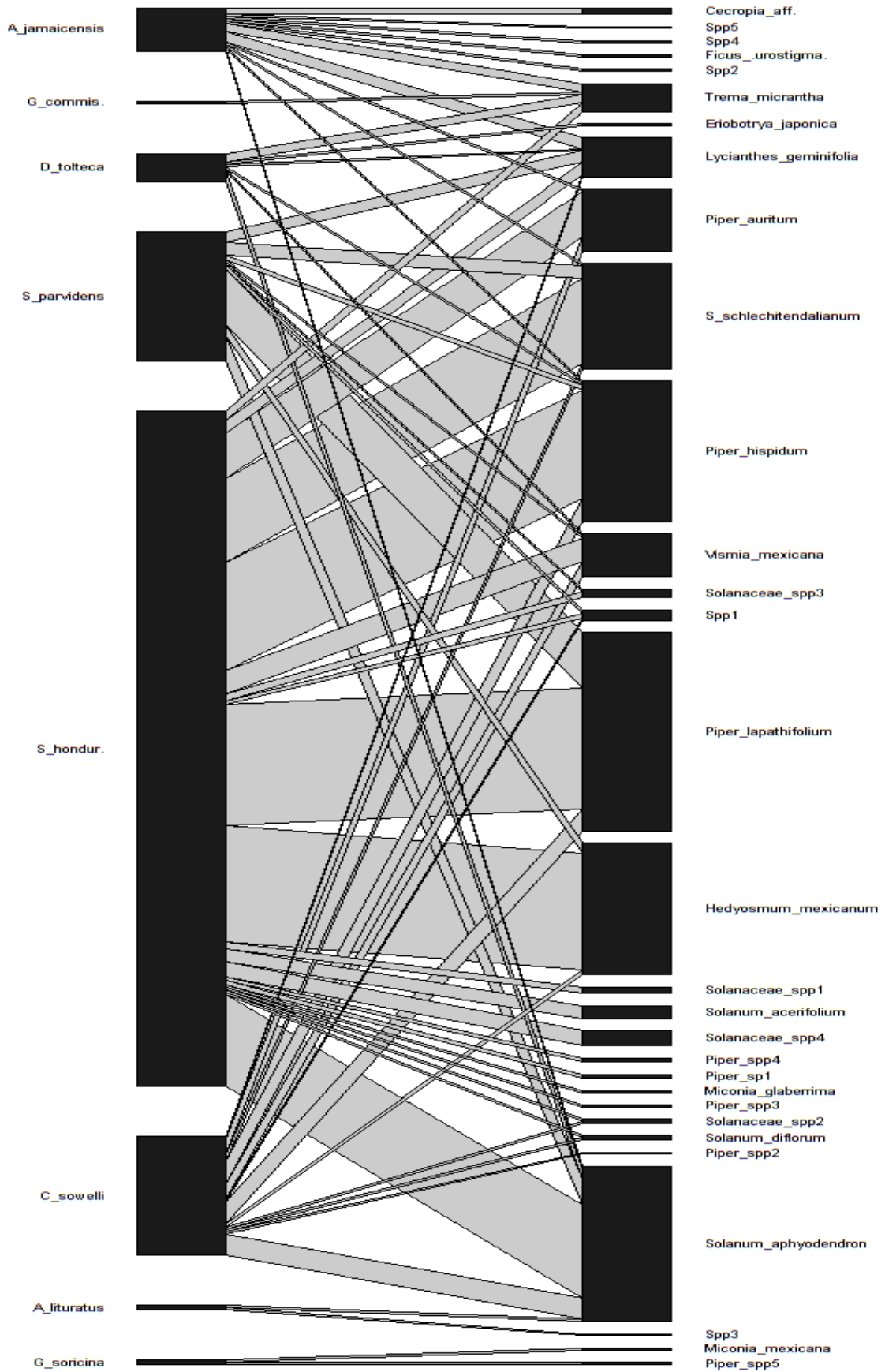
Hayashi (1996)

**Local:** Fazenda Lageado (Botucatu, São Paulo, Brasil).

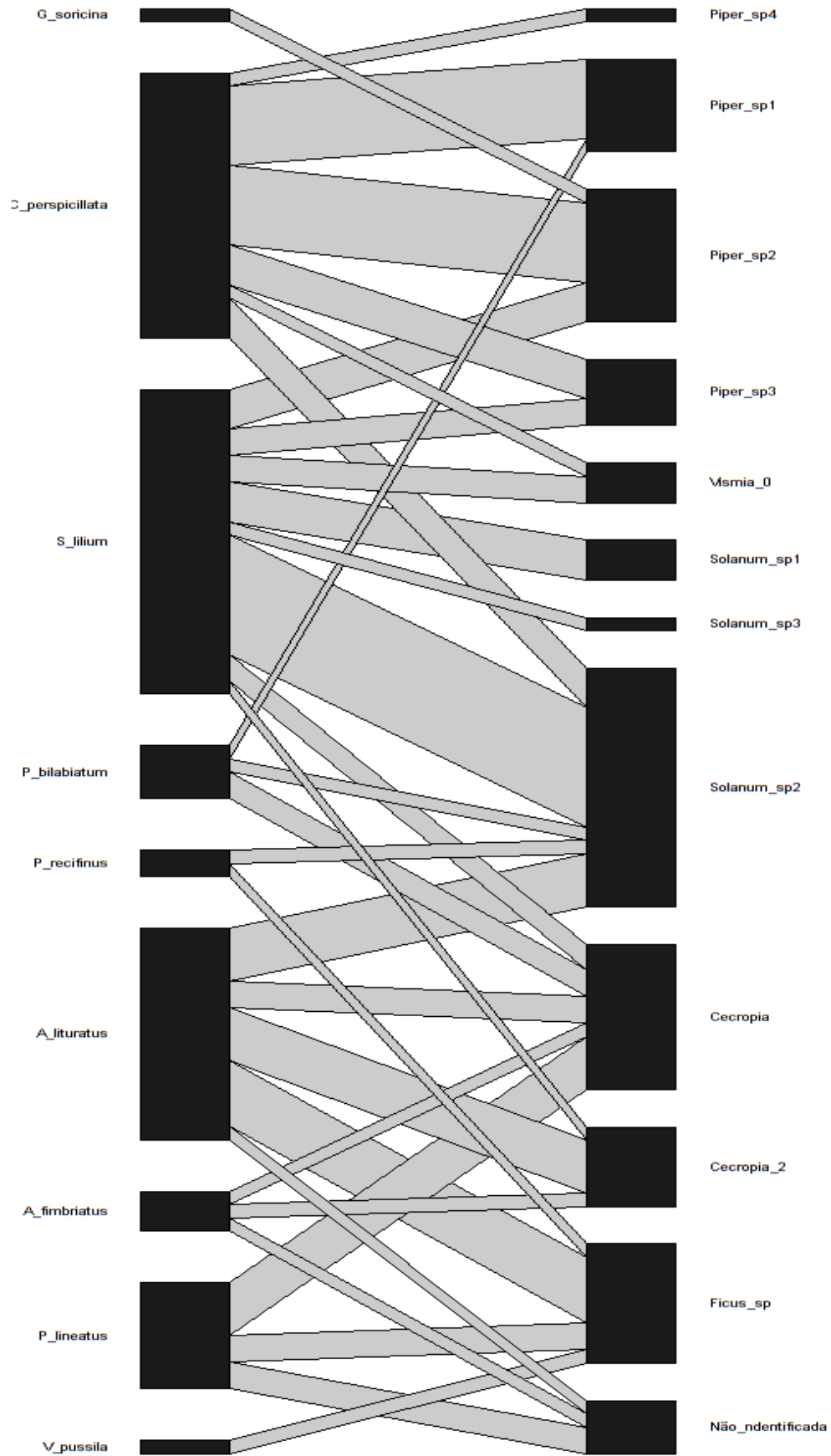


Hernández-Montero et al. (2015)

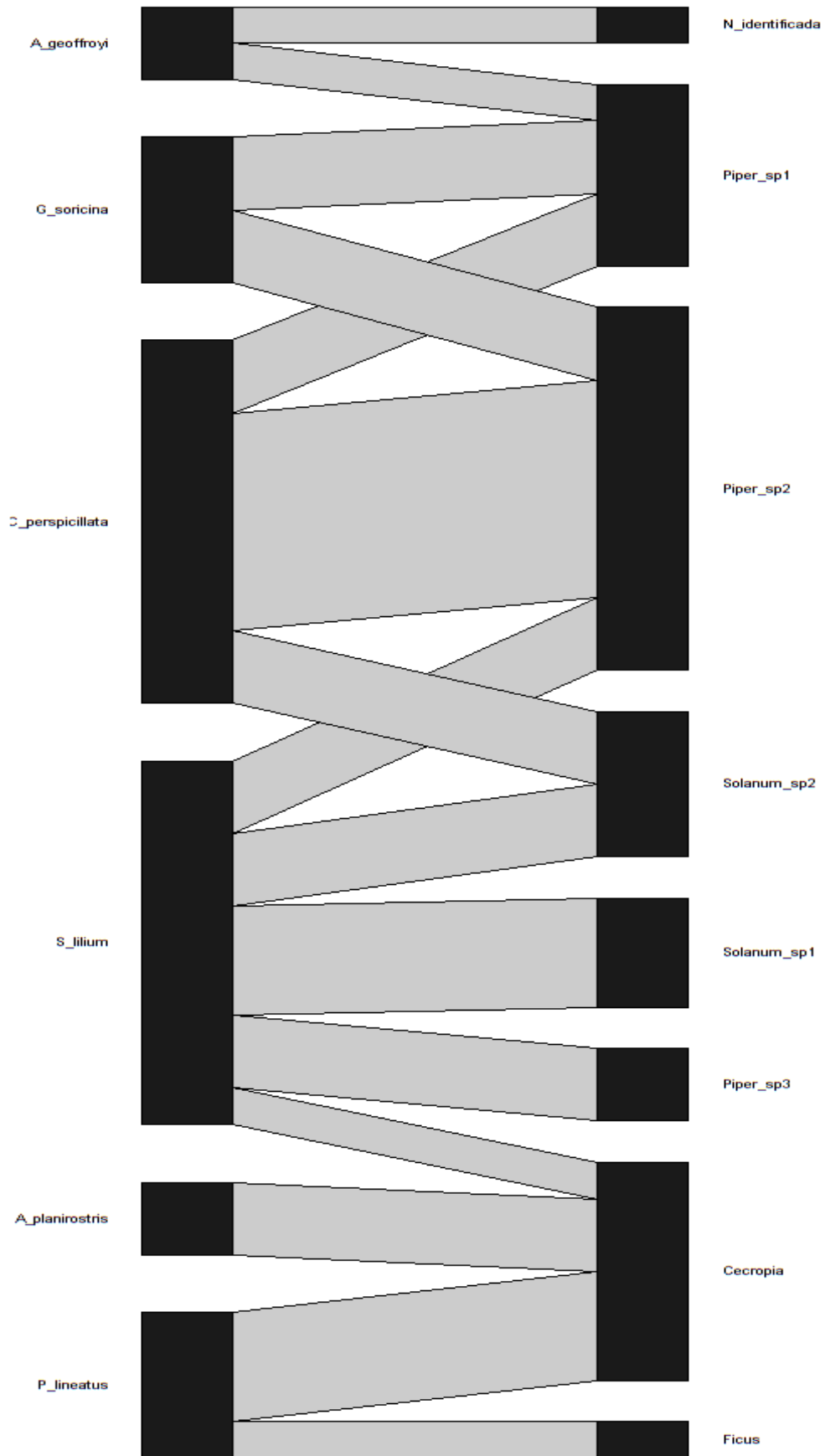
**Local:** Xalapa e San Andrés Tlaxnelhuayocan (Veracruz, México).



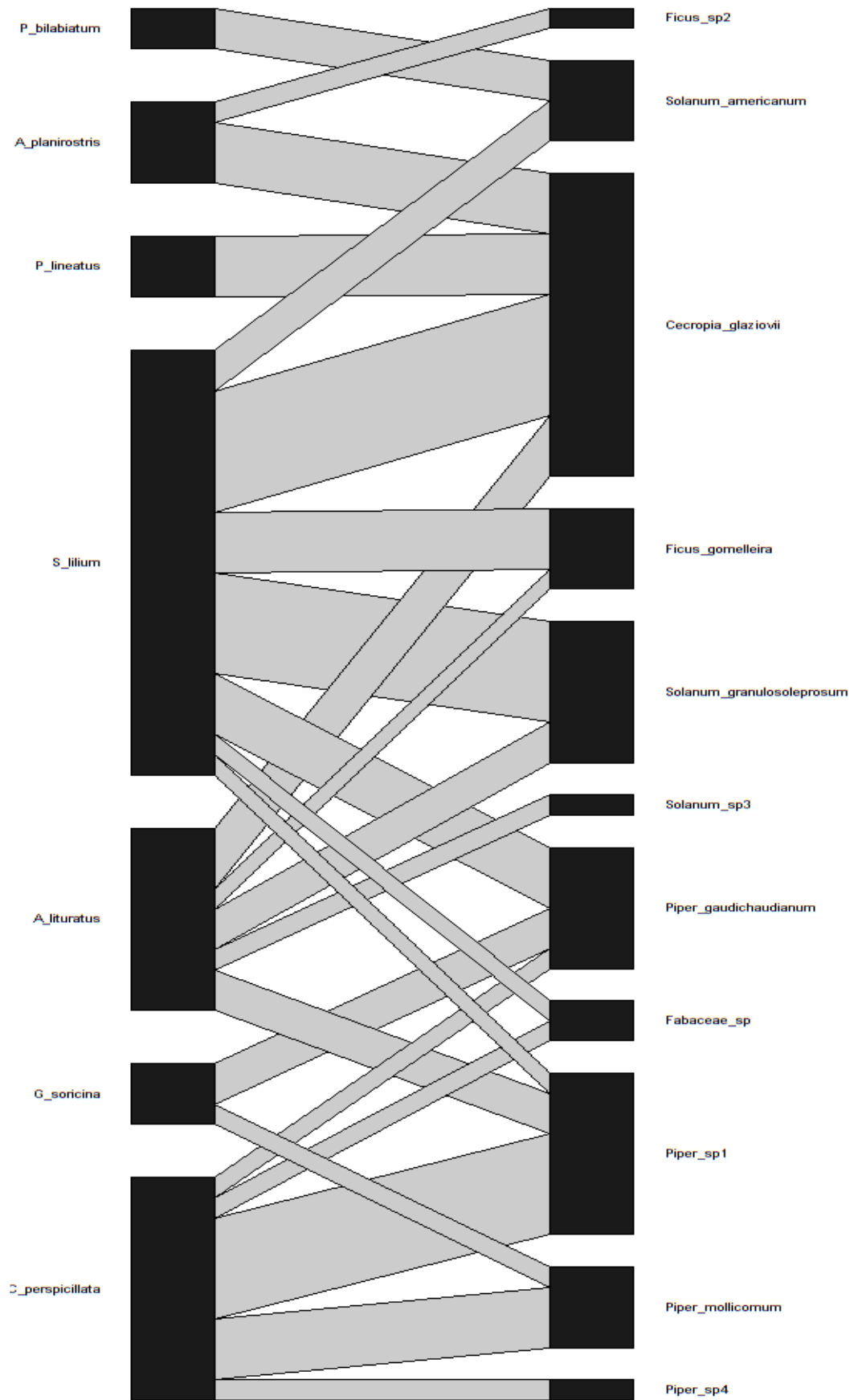
Horsley et al. (2015)  
**Local:** Floresta Iwokrama (Guiana).



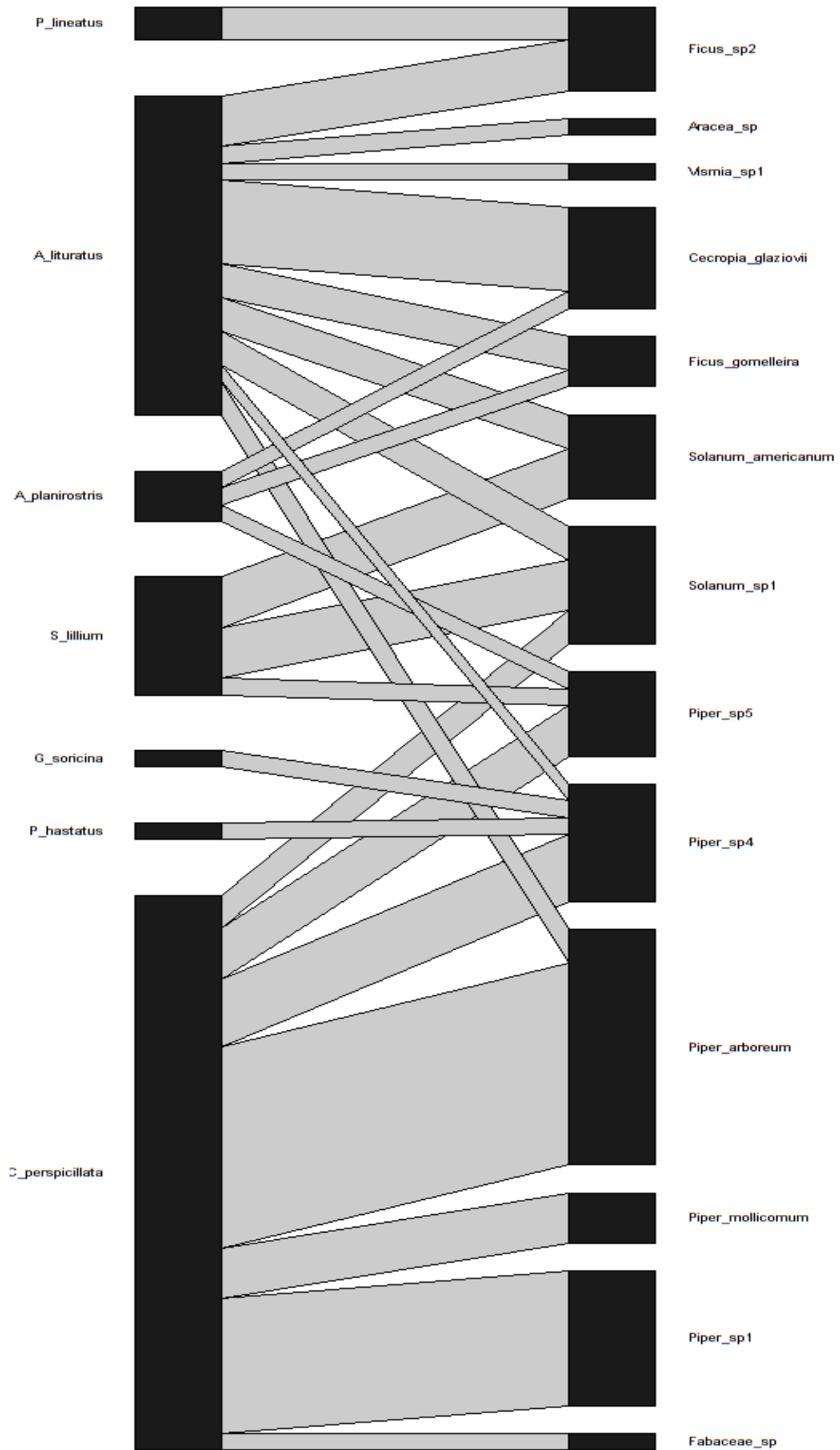
Laurindo et al. (2018)  
**Local:** Piquete (São Paulo, Brasil).



Laurindo et al. (2018)  
**Local:** Renópolis (São Paulo, Brasil).



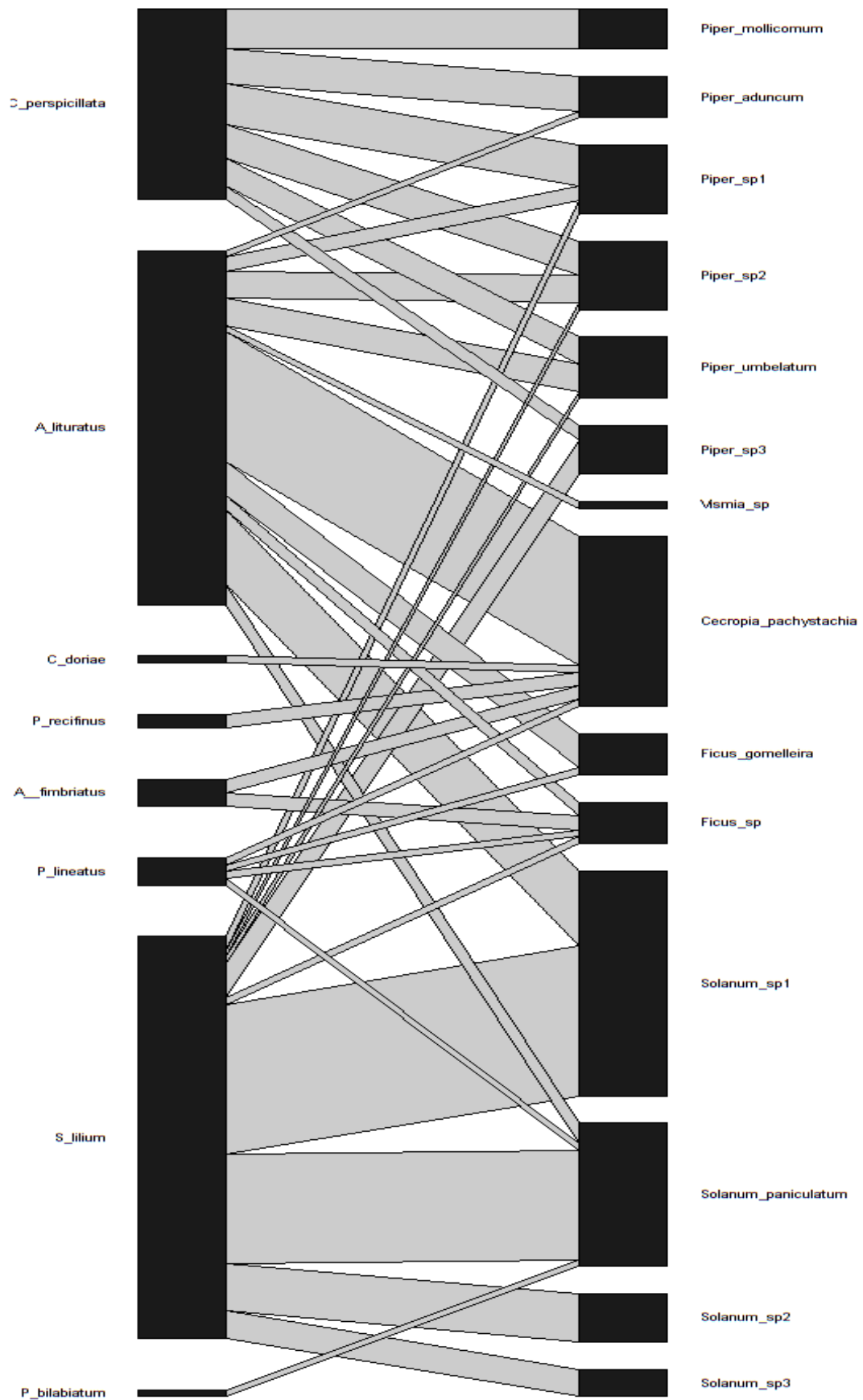
Laurindo et al. (2018)  
**Local:** São José dos Campos (São Paulo, Brasil).



Laurindo et al. (2018)

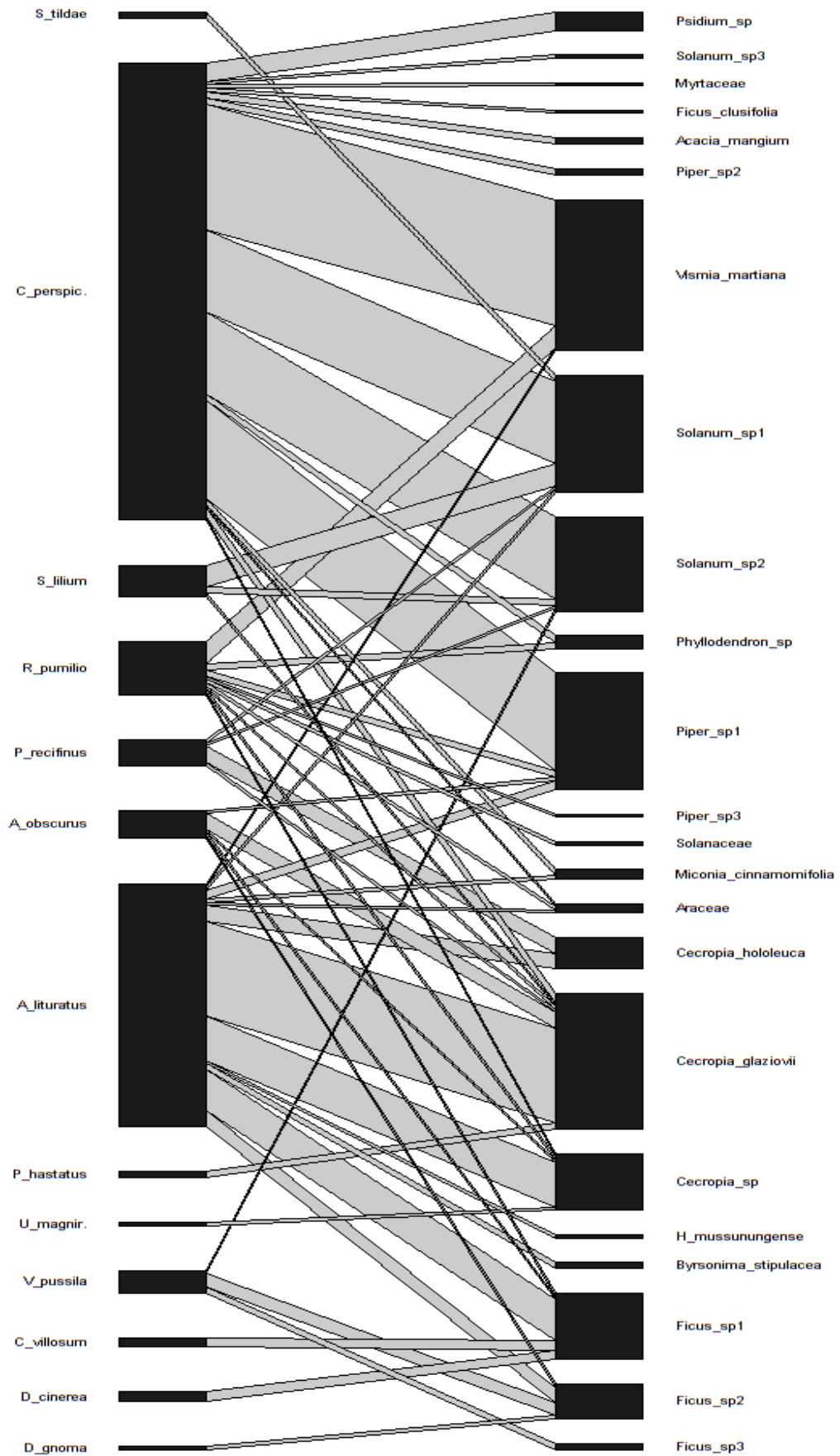
**Local:** Pindamonhangaba (São Paulo, Brasil).





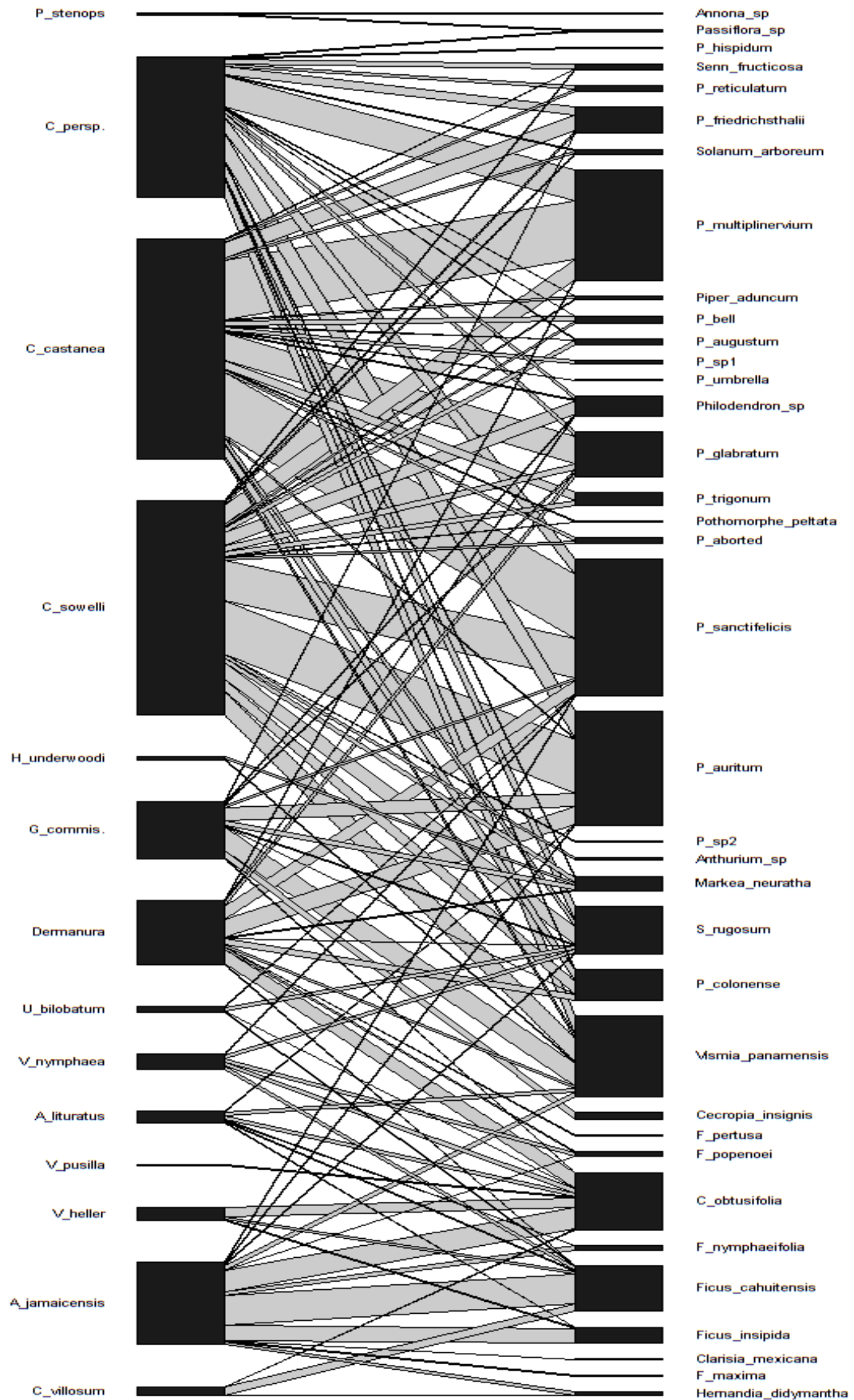
Laurindo et al. (2017)

**Local:** Fazenda Lagoa e Fazenda Monte Alegre (sul de MG, Brasil).

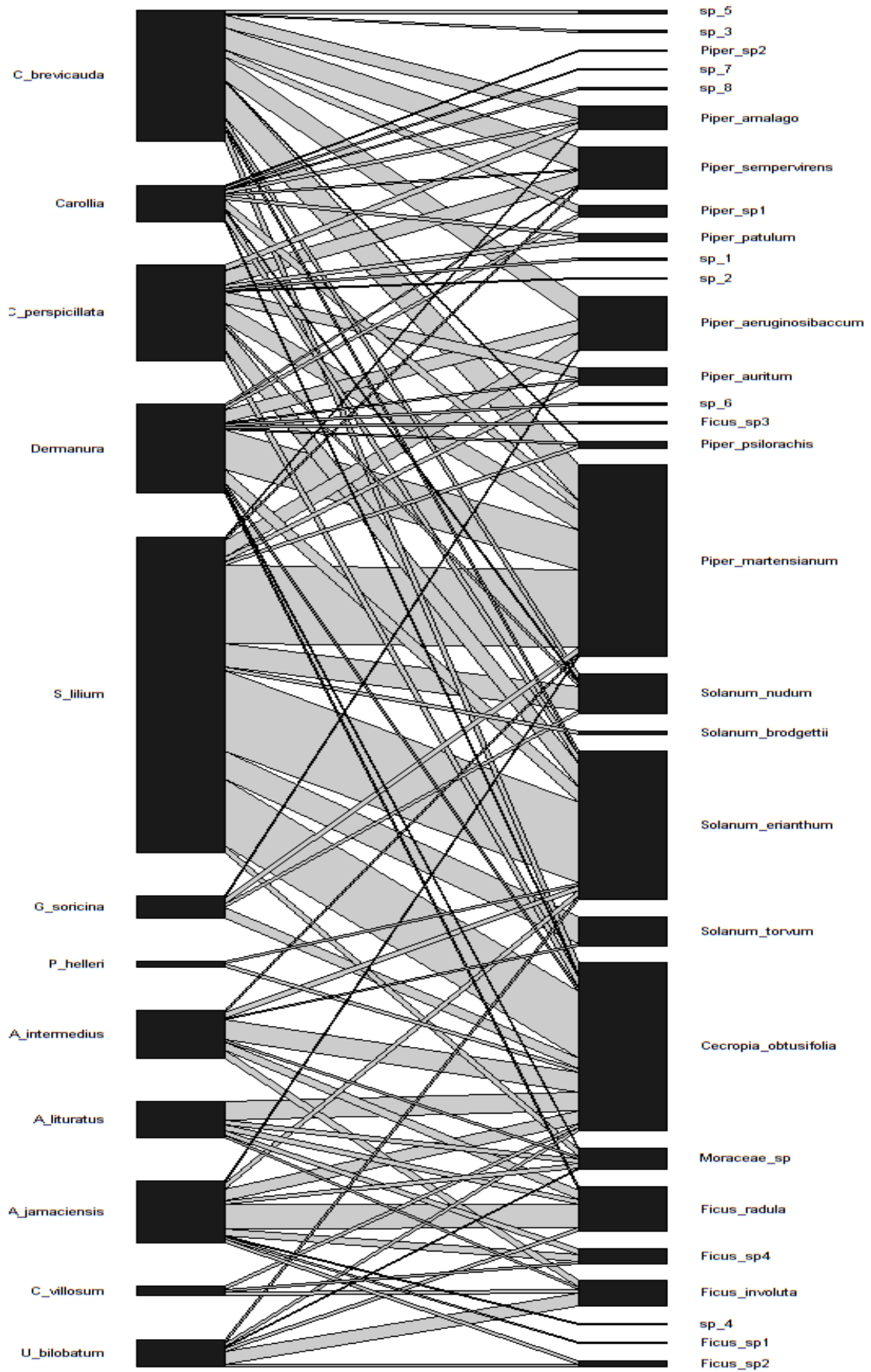


Lima et al. (2016)

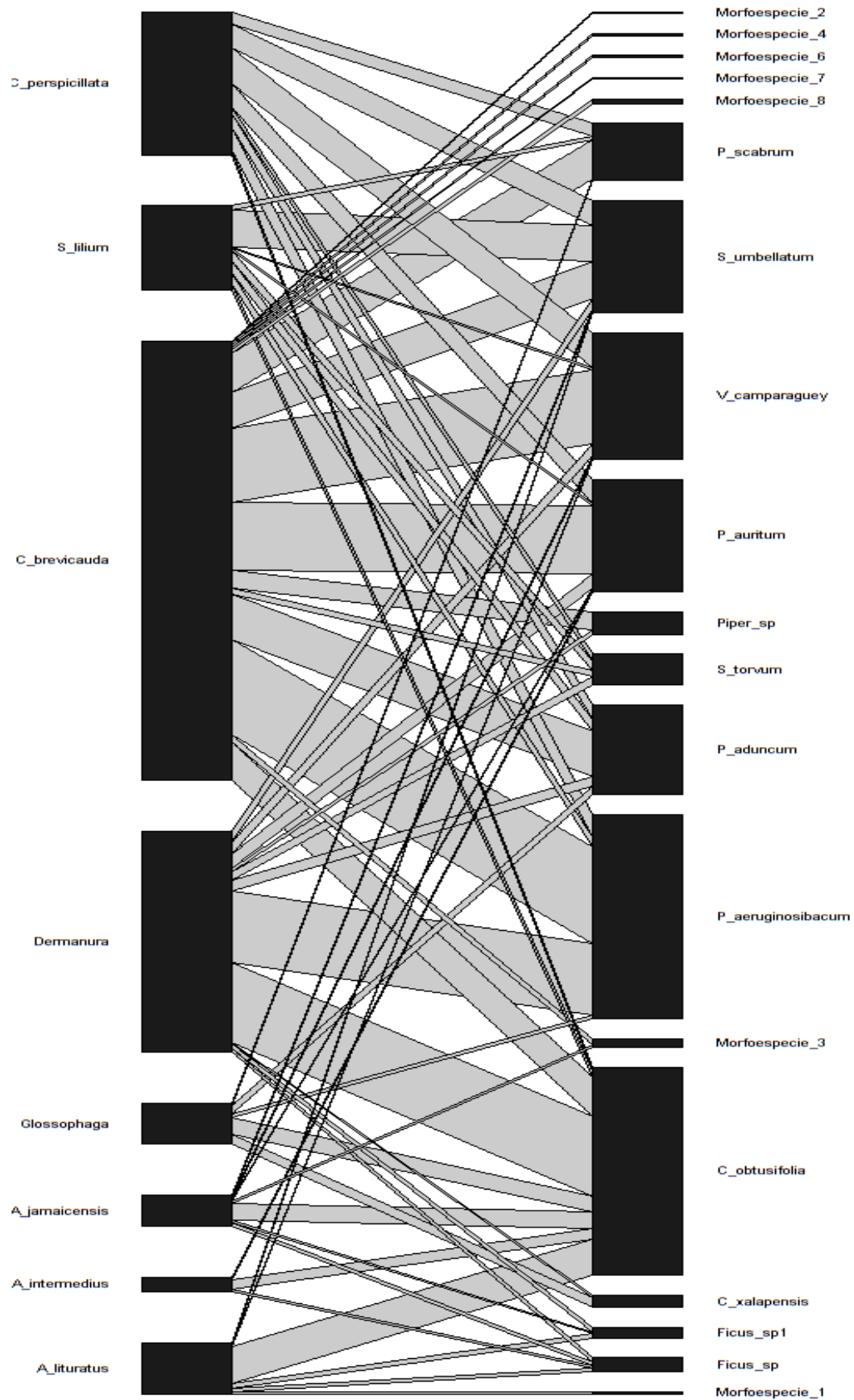
**Local:** Reserva Natural Vale (Espírito Santo, Brasil).



Lopes & Vaughan (2007)  
**Local:** Estação Biológica La Selva (Costa Rica).

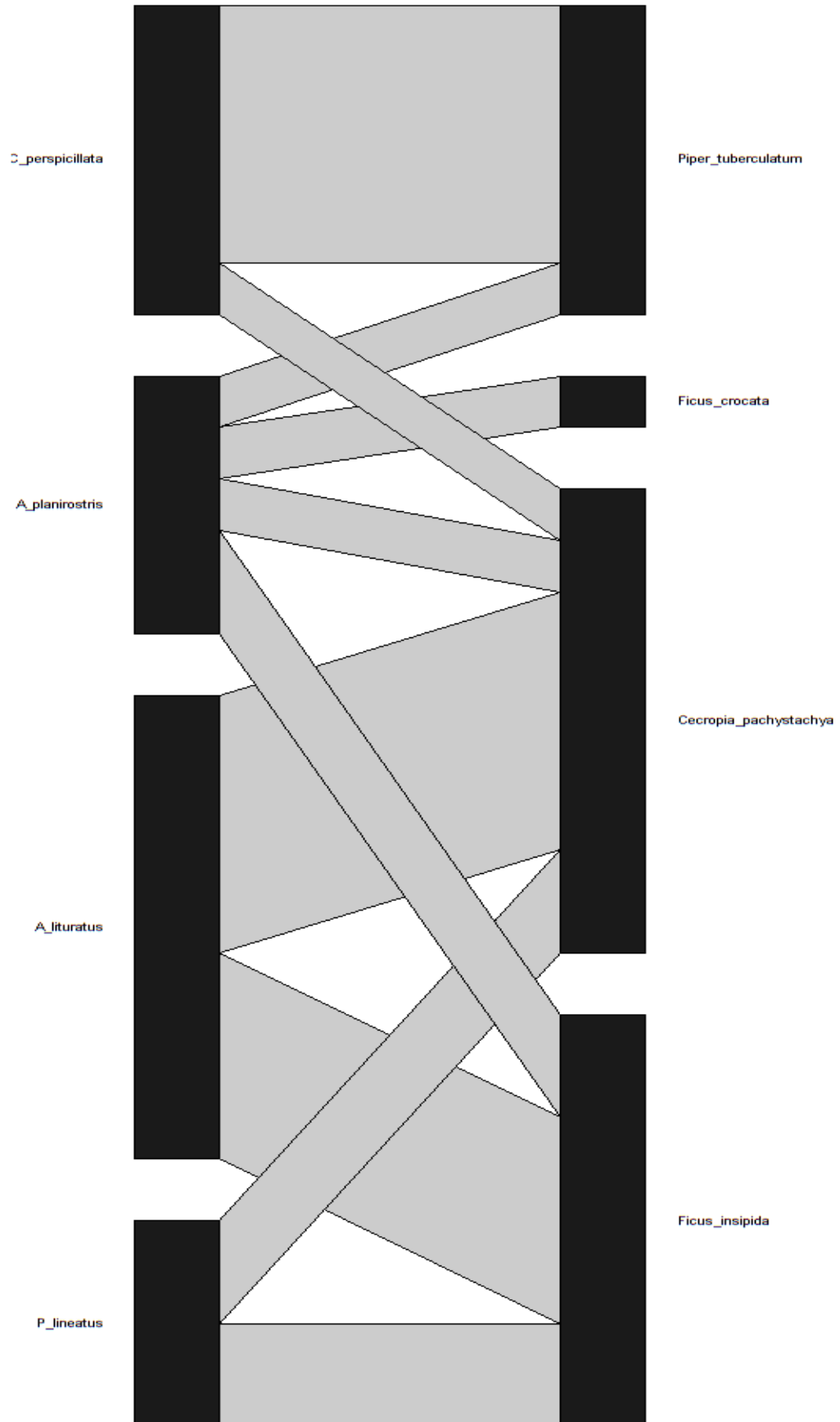


Lou & Yurrita (2005)  
**Local:** Yaxhá (Petén, Guatemala).



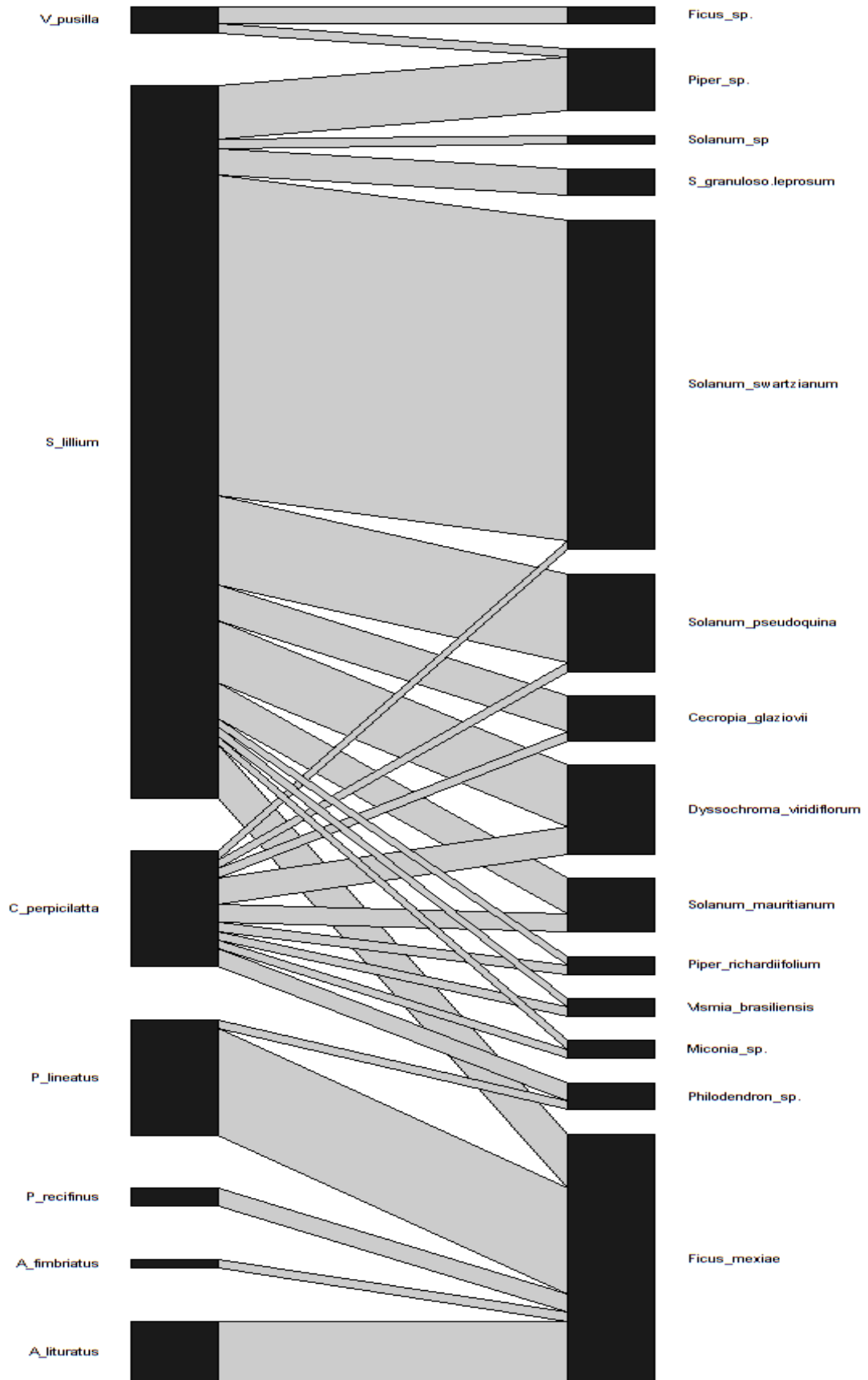
Lou-Vega (2007)

**Local:** Biotopo Chocón Machacas (Livingston, Izabal, Guatemala).



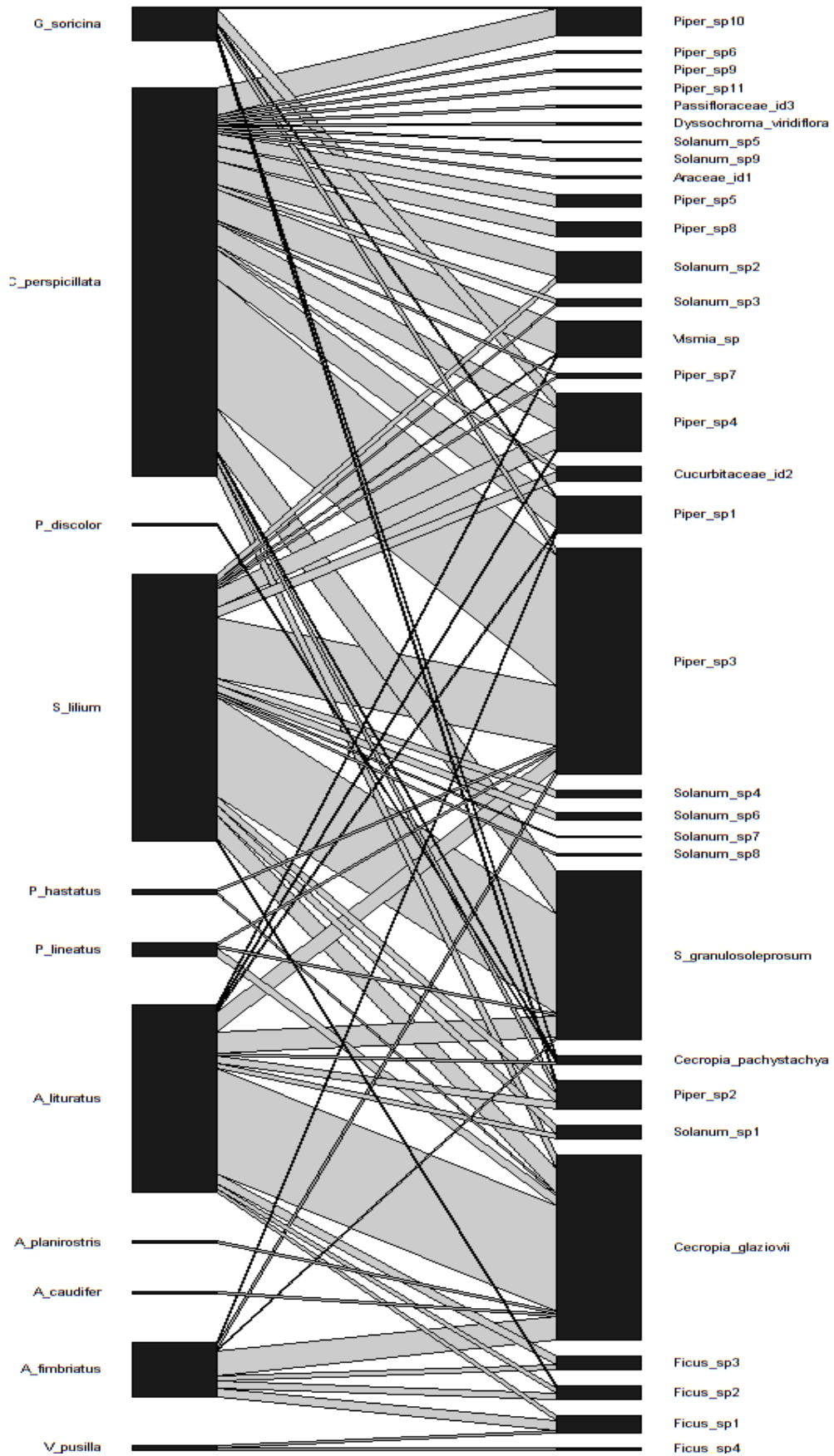
Martins et al. (2014)

**Local:** Lagoa da Cruz (Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil).



Mello et al. (2014)

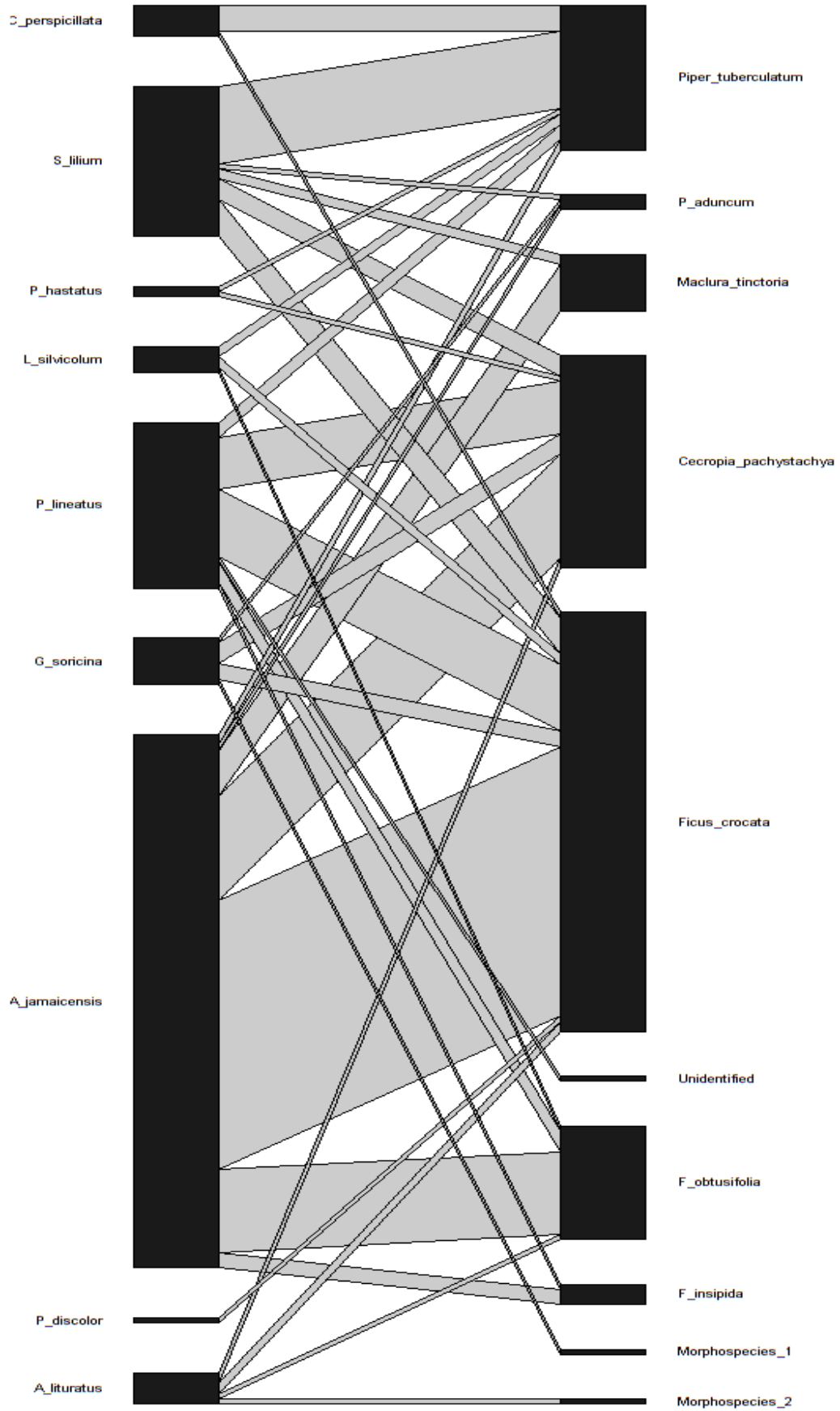
**Local:** Parque Estadual do Ibitipoca (Minas Gerais, Brasil).



Mello et al. (2020)

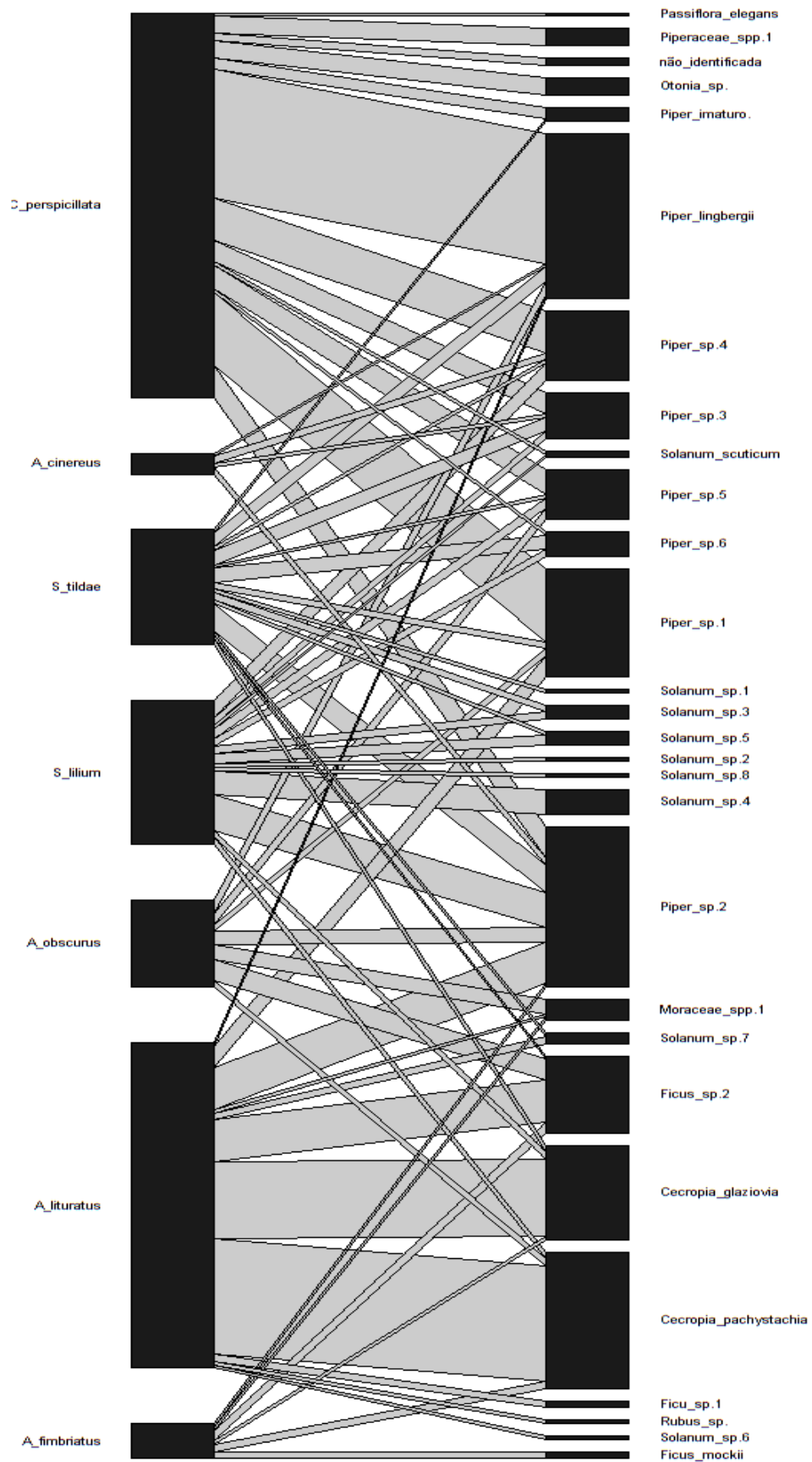
**Local:** Alfenas, Areado e Monte Belo (Minas Gerais, Brasil).





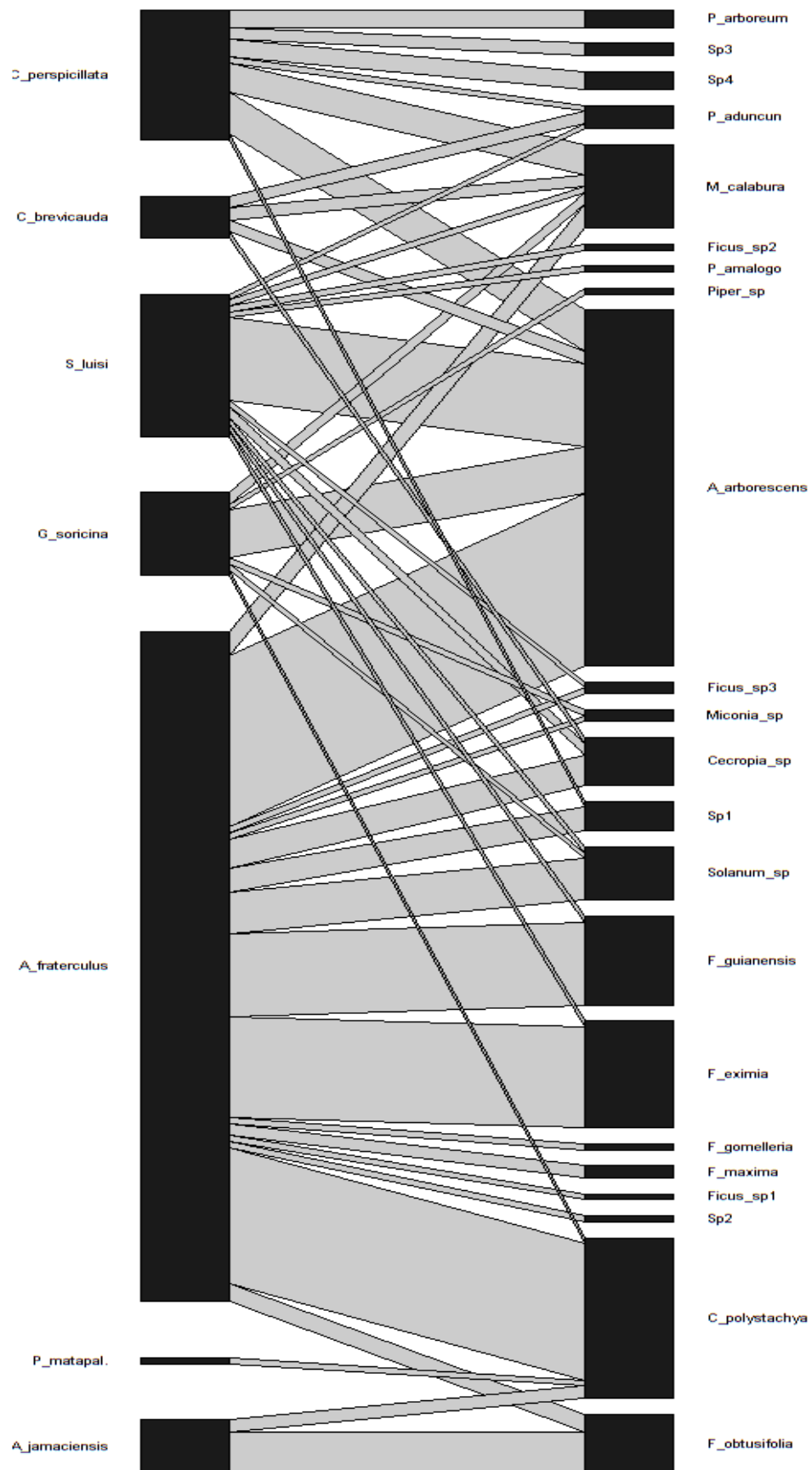
Munin et al. (2012)

**Local:** Fazenda Rio Negro (Nhecolândia, Mato Grosso do Sul, Brasil).



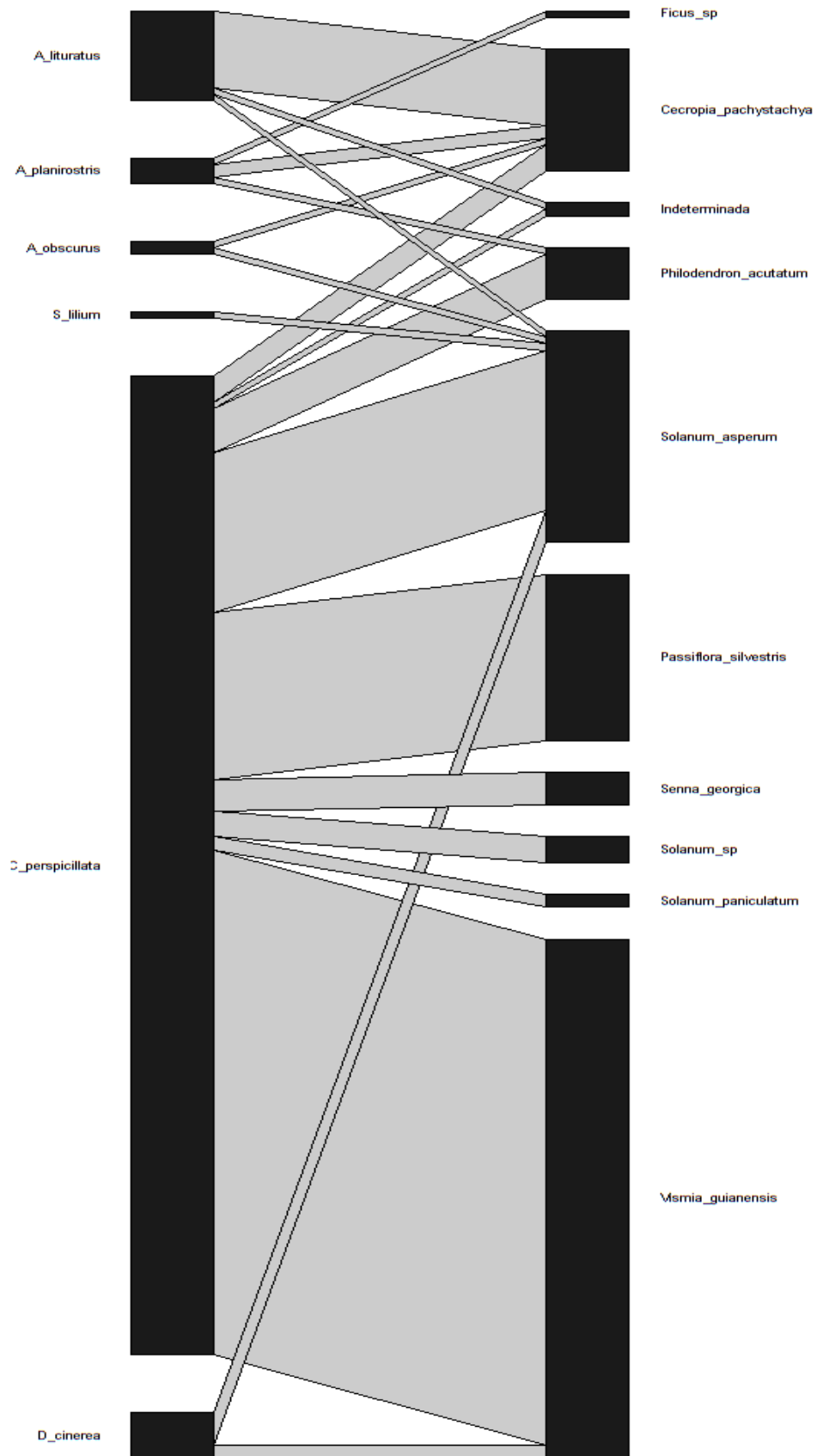
Munster (2008)

**Local:** Reserva Natural do Salto Morato (Guaraqueçaba, Paraná, Brasil).



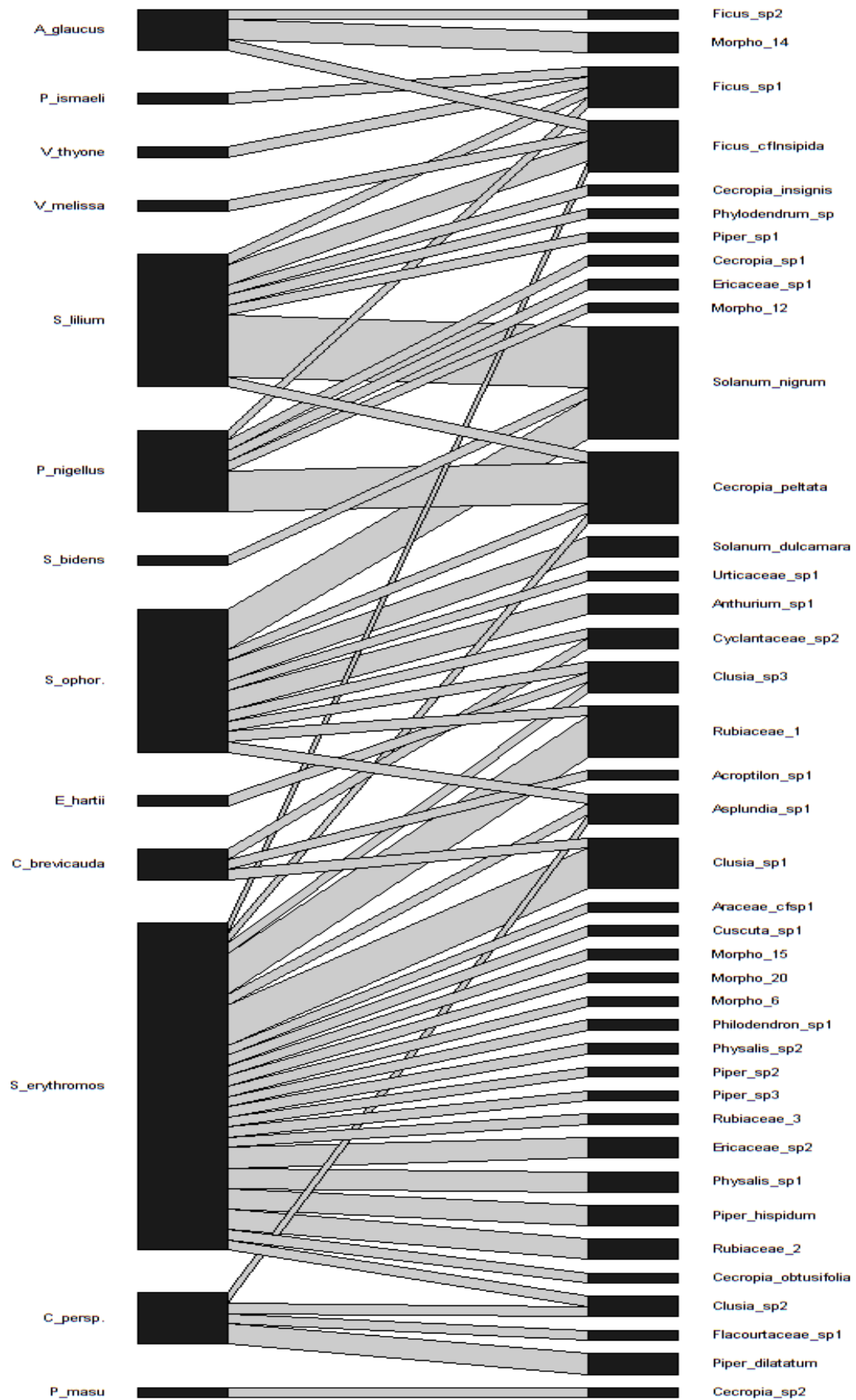
Novoa et al. (2011)

**Local:** Parque Nacional Cerros de Amotape (Zarumilla, Peru).



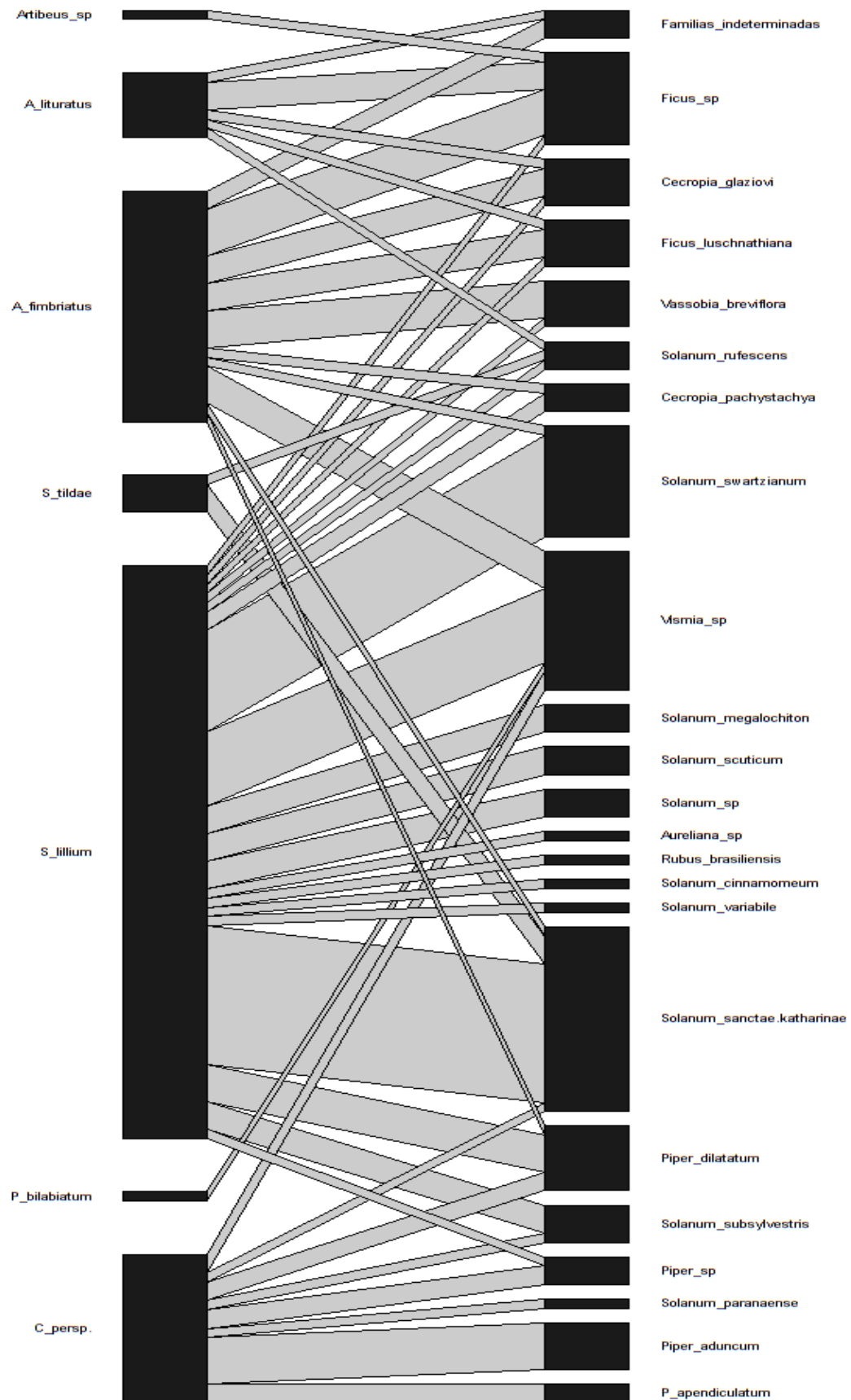
Oliveira (2018)

**Local:** Reserva Particular do Patrimônio Natural do Caju (Itaporanga d'Ajuda, Sergipe, Brasil)



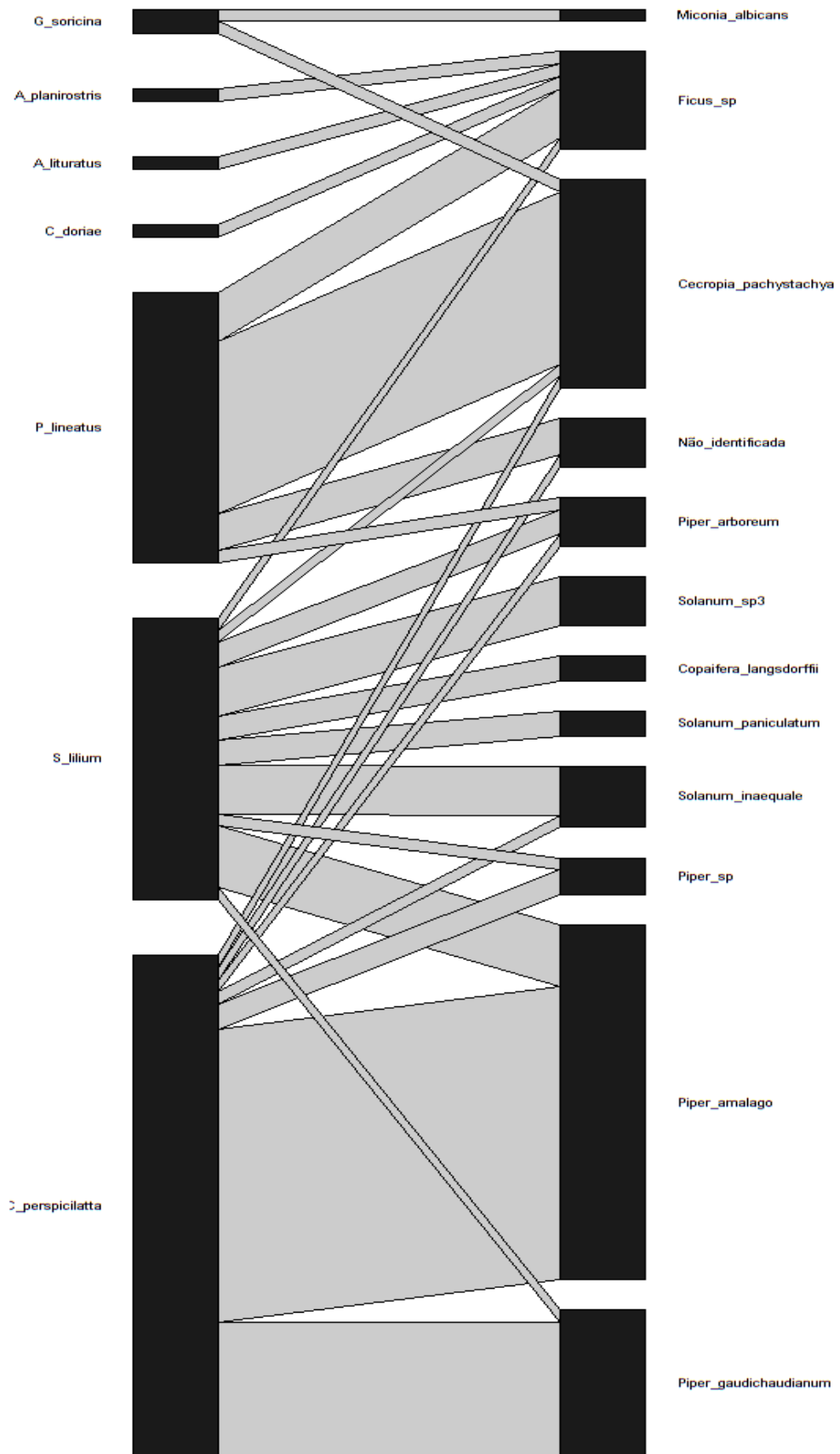
Paniagua (2019)

**Local:** Santuário Nacional Tabaconas Namballe (San Ignacio, Cajamarca, Peru).



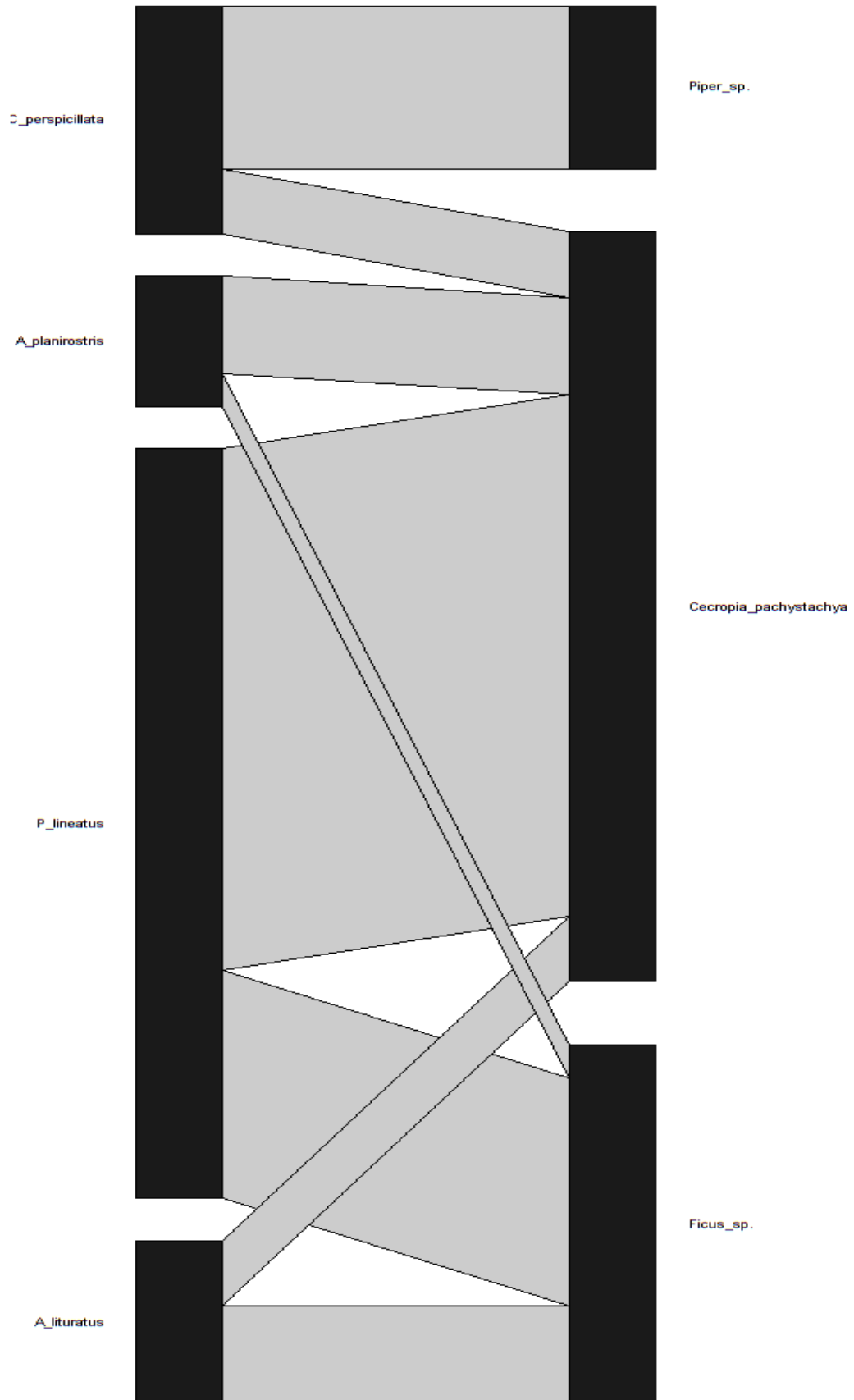
Passos et al. (2003)

**Local:** Parque Estadual de Intervales (Ribeirão Grande, São Paulo, Brasil).



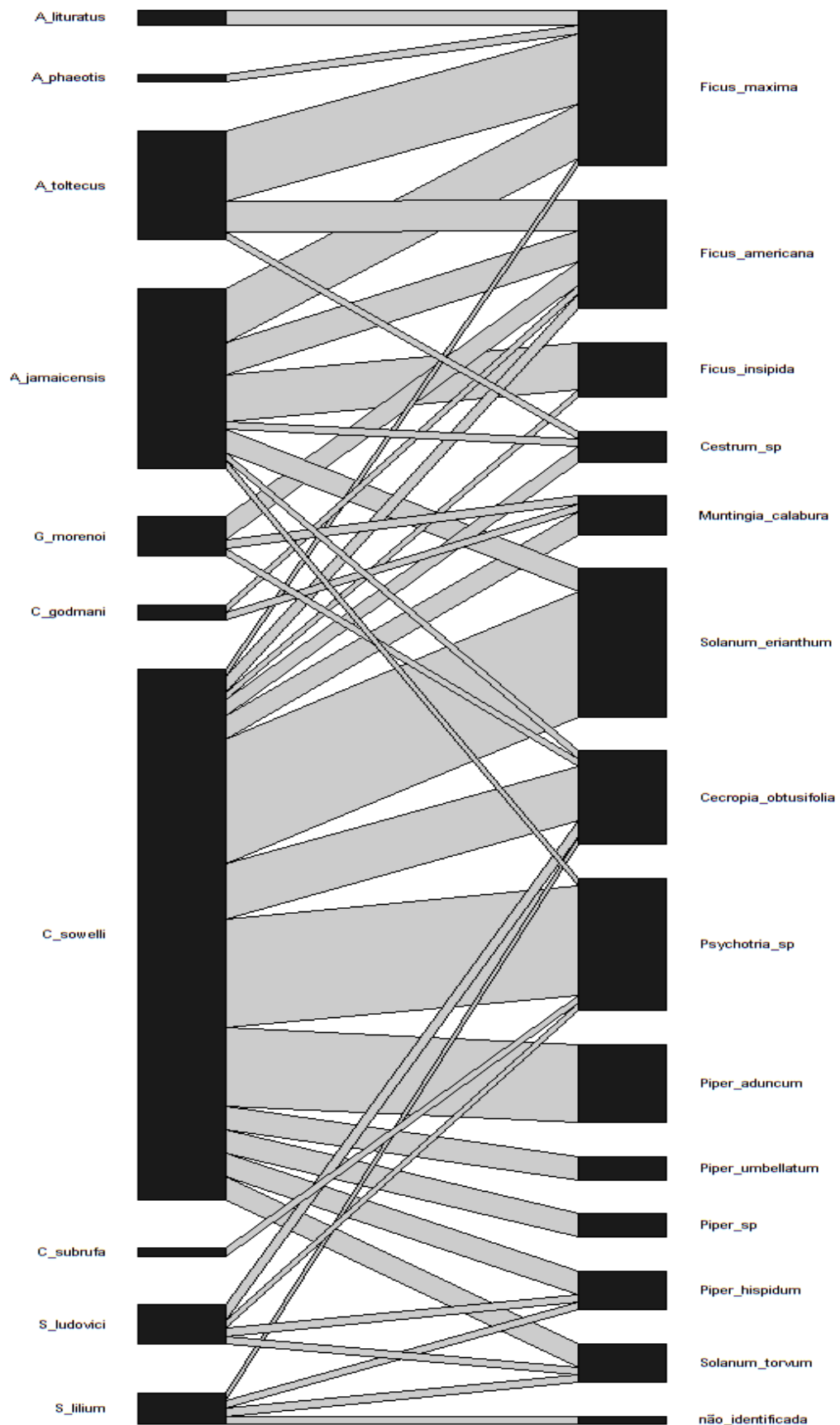
Pedro (1992)

**Local:** Reserva do Panga (Uberlândia, Minas Gerais, Brasil).



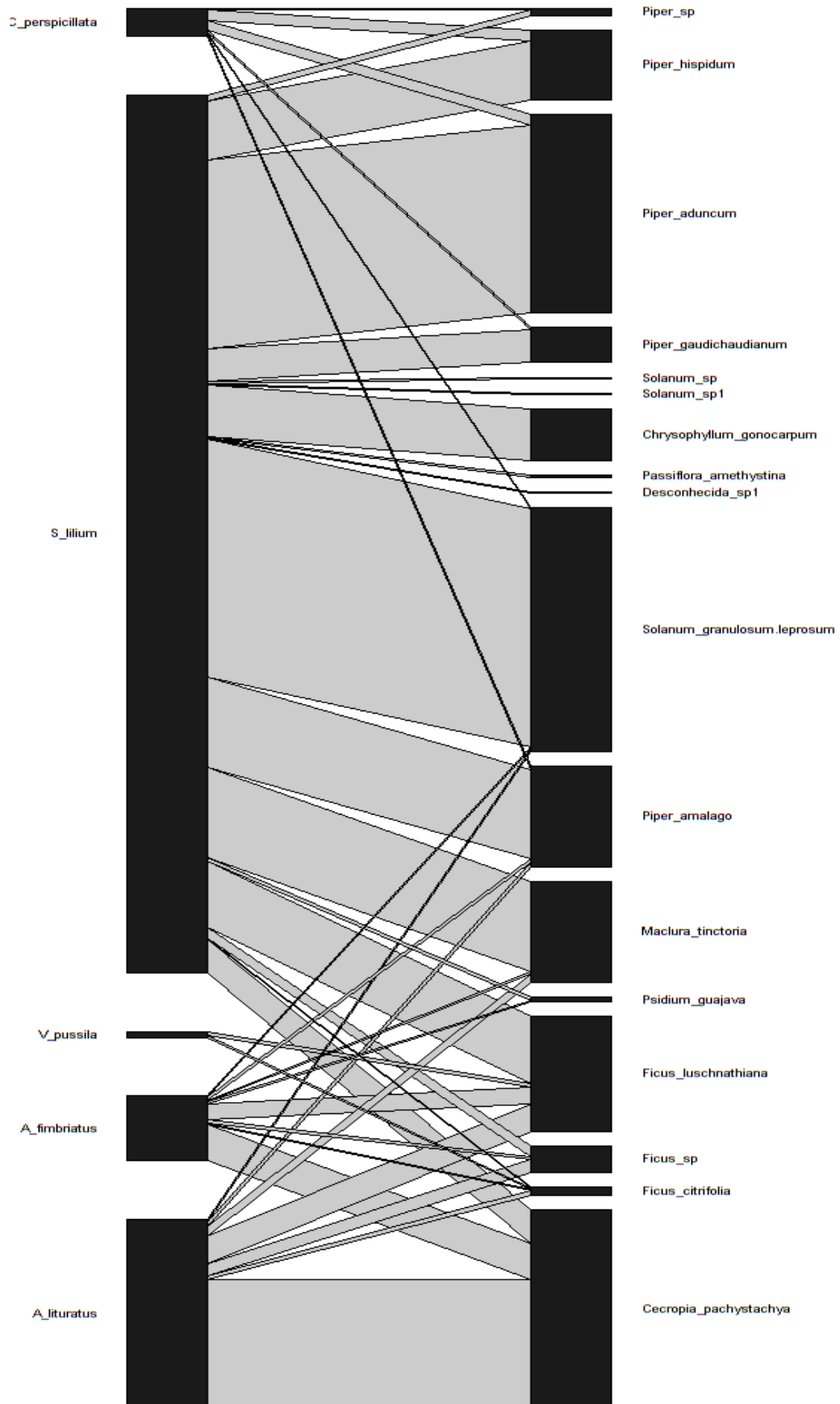
Porfirio & Bordignon (2015)  
**Local:** Maciço do Urucum (Corumbá, Mato Grosso do Sul, Brasil).





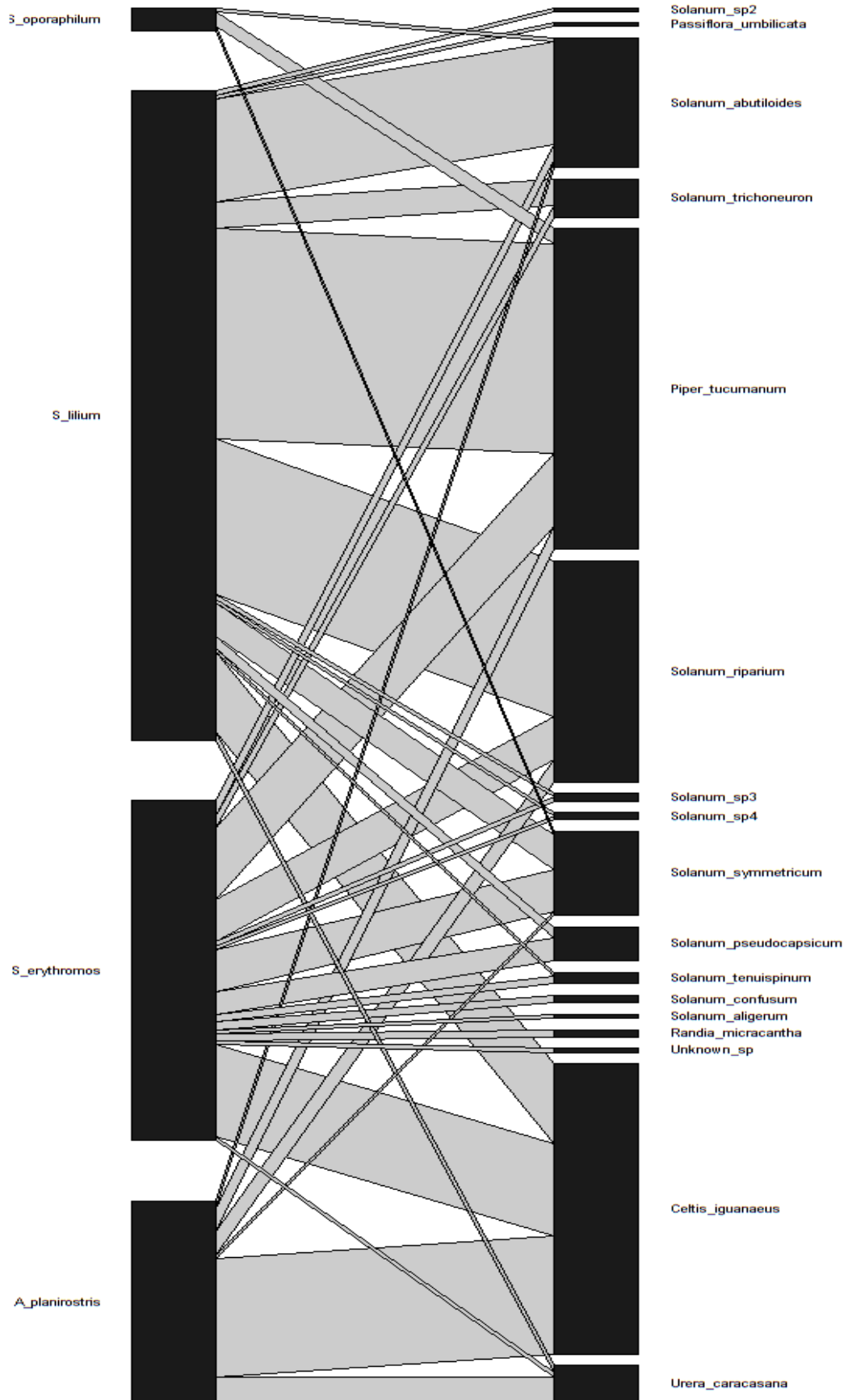
Preciado-Benítez et al. (2015)

**Local:** Reserva da Biosfera Selva El Ocote (Chiapas, México).



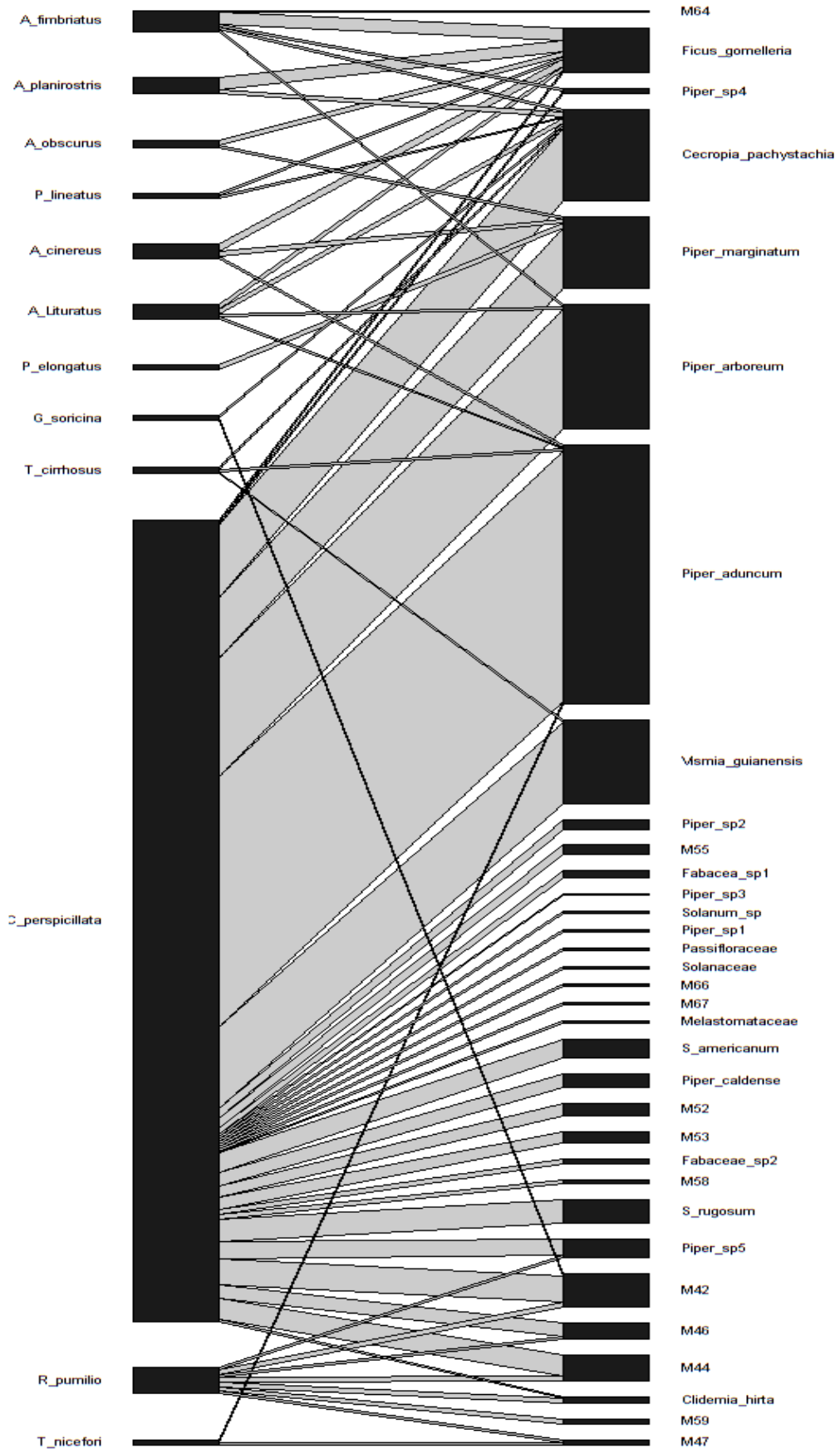
Sánchez et al. (2012)

**Local:** Parque Nacional Iguazú (nordeste da Argentina).



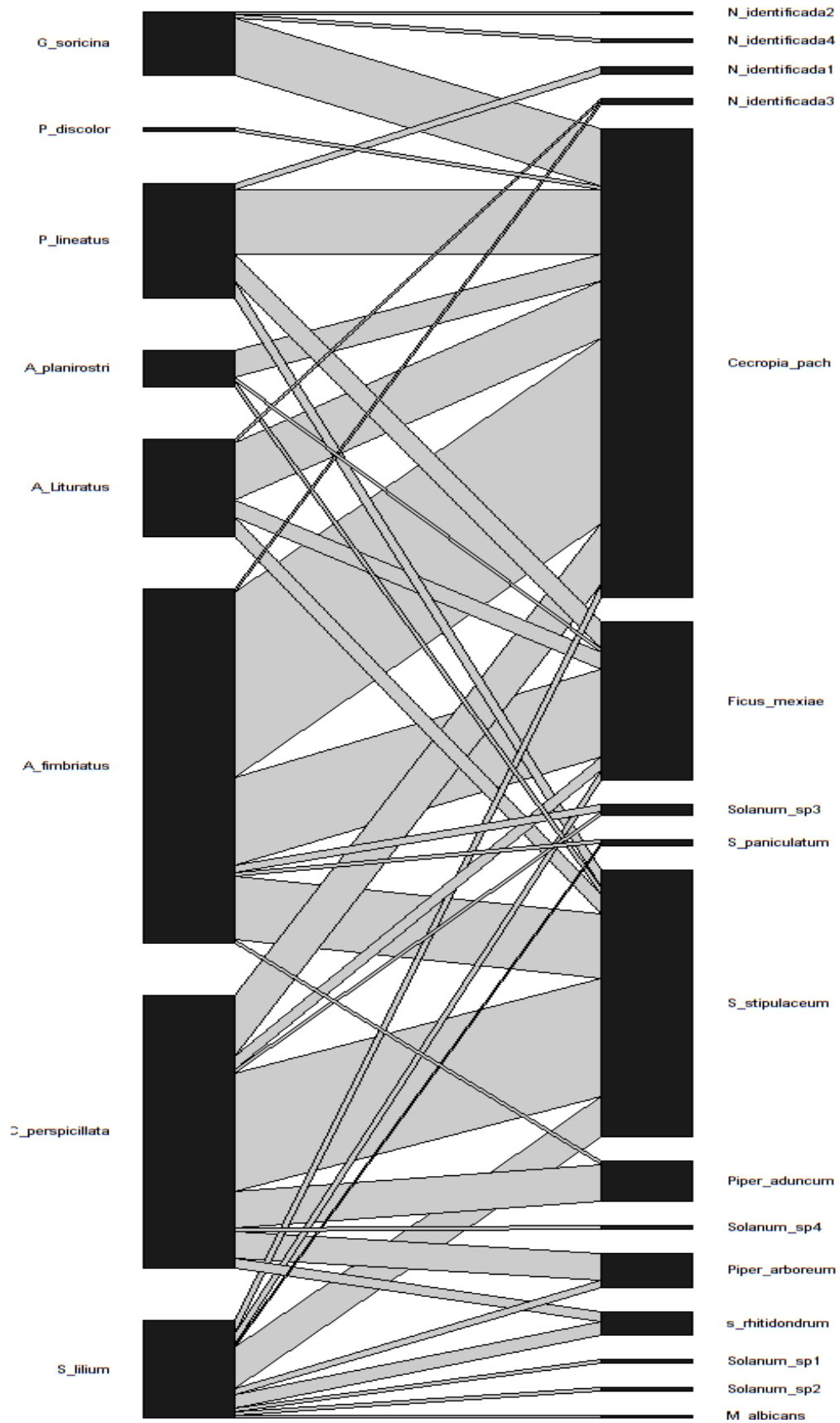
Sánchez et al. (2012)

**Local:** Las Capillas (noroeste da Argentina).



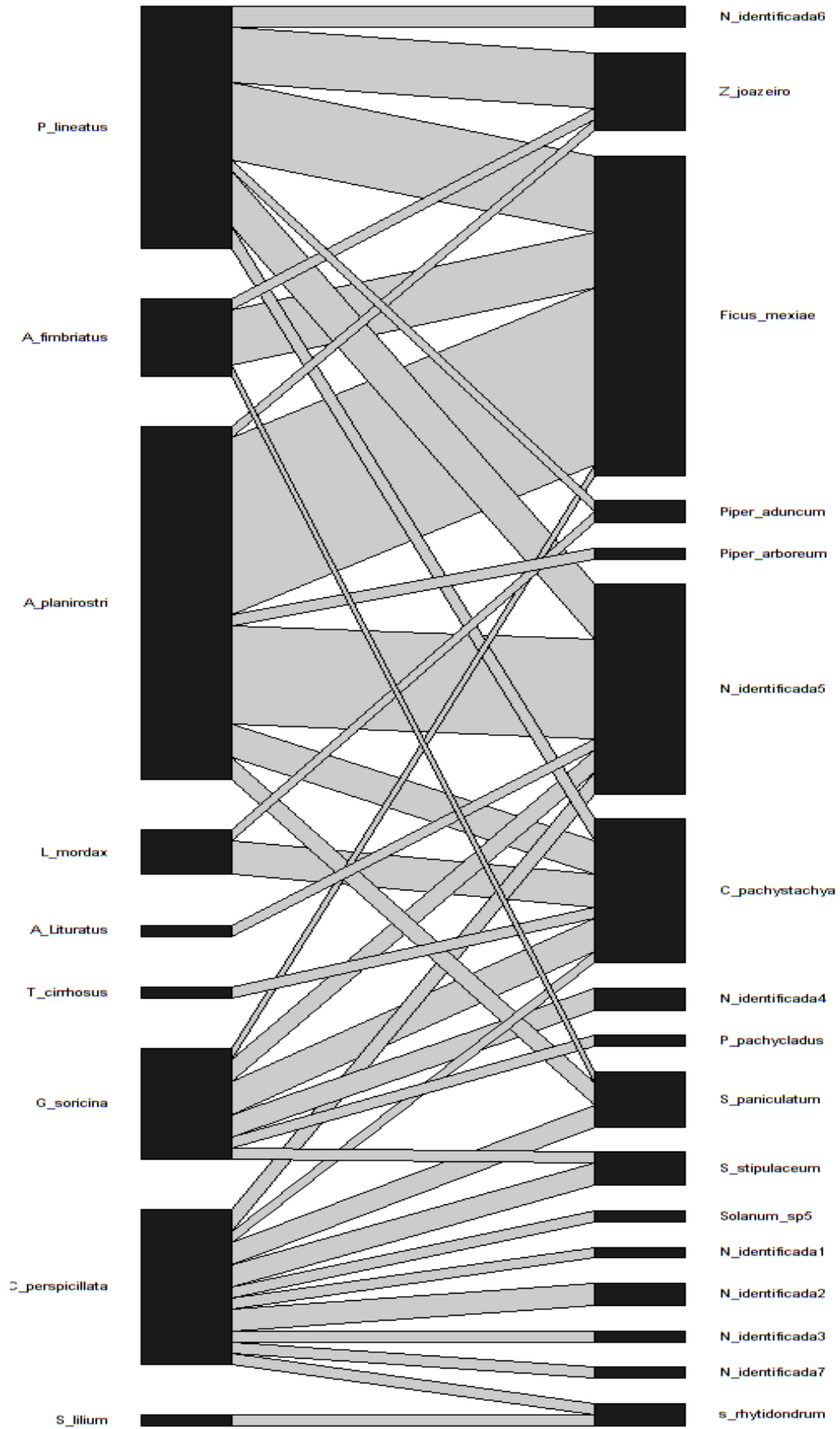
Sarmento et al. (2014)

**Local:** Floresta de Coimbra (Ibateguara, Alagoas, Brasil).



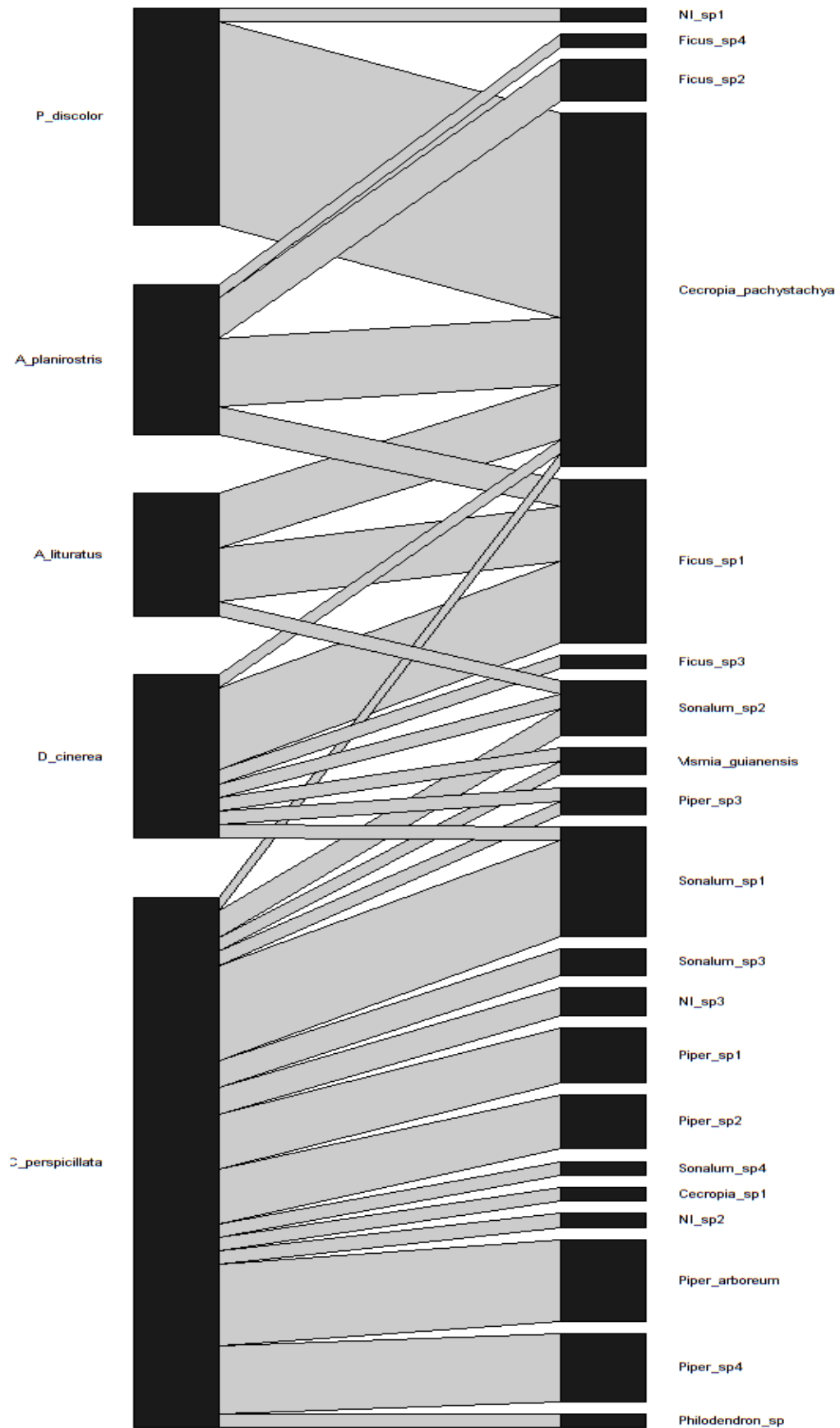
Silva (2007)

**Local:** Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Bituri (Serra do Bituri, Pernambuco, Brasil).



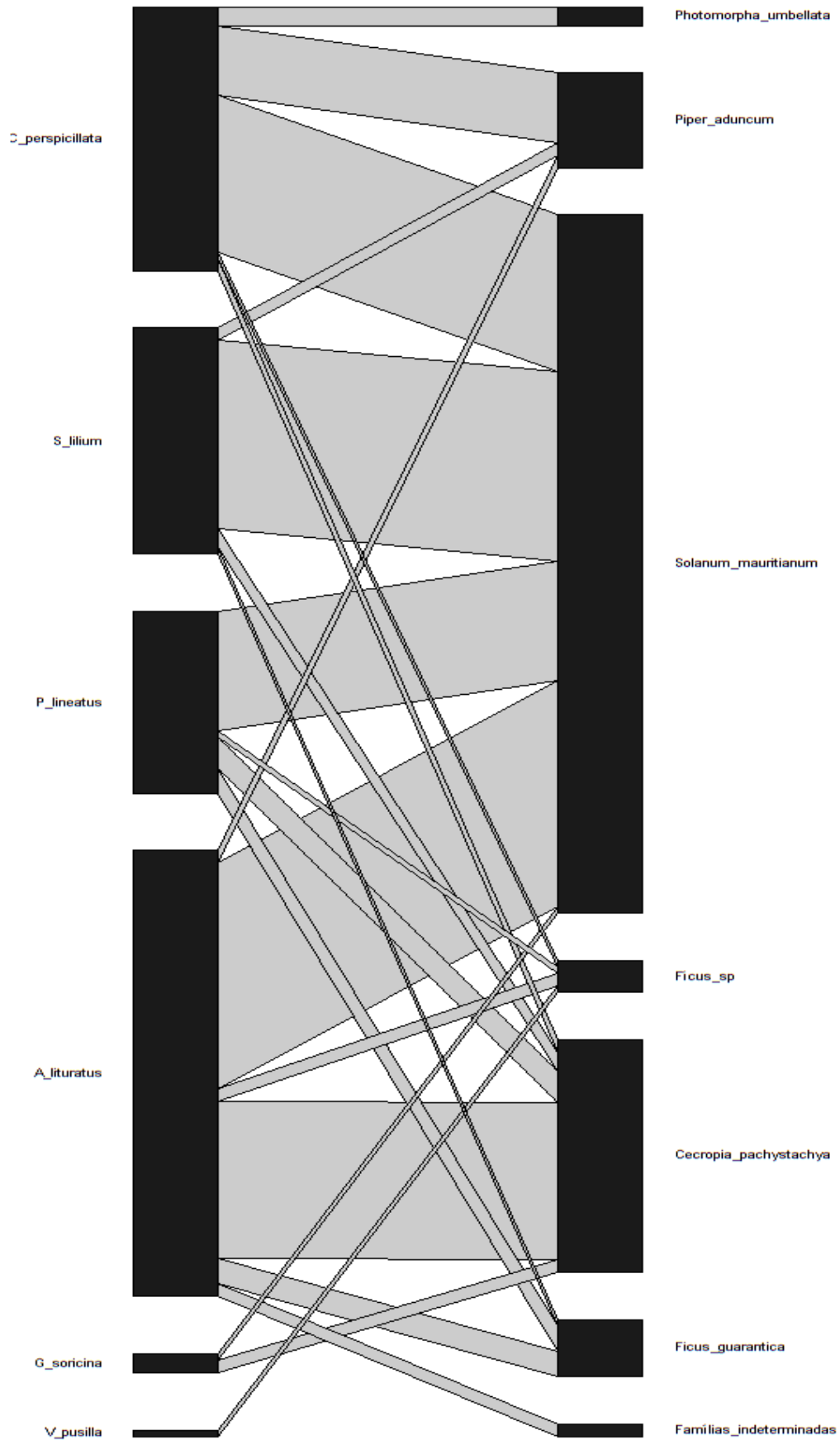
Silva (2007)

**Local:** Fazenda Arara (Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, Brasil).



Silva (2014)

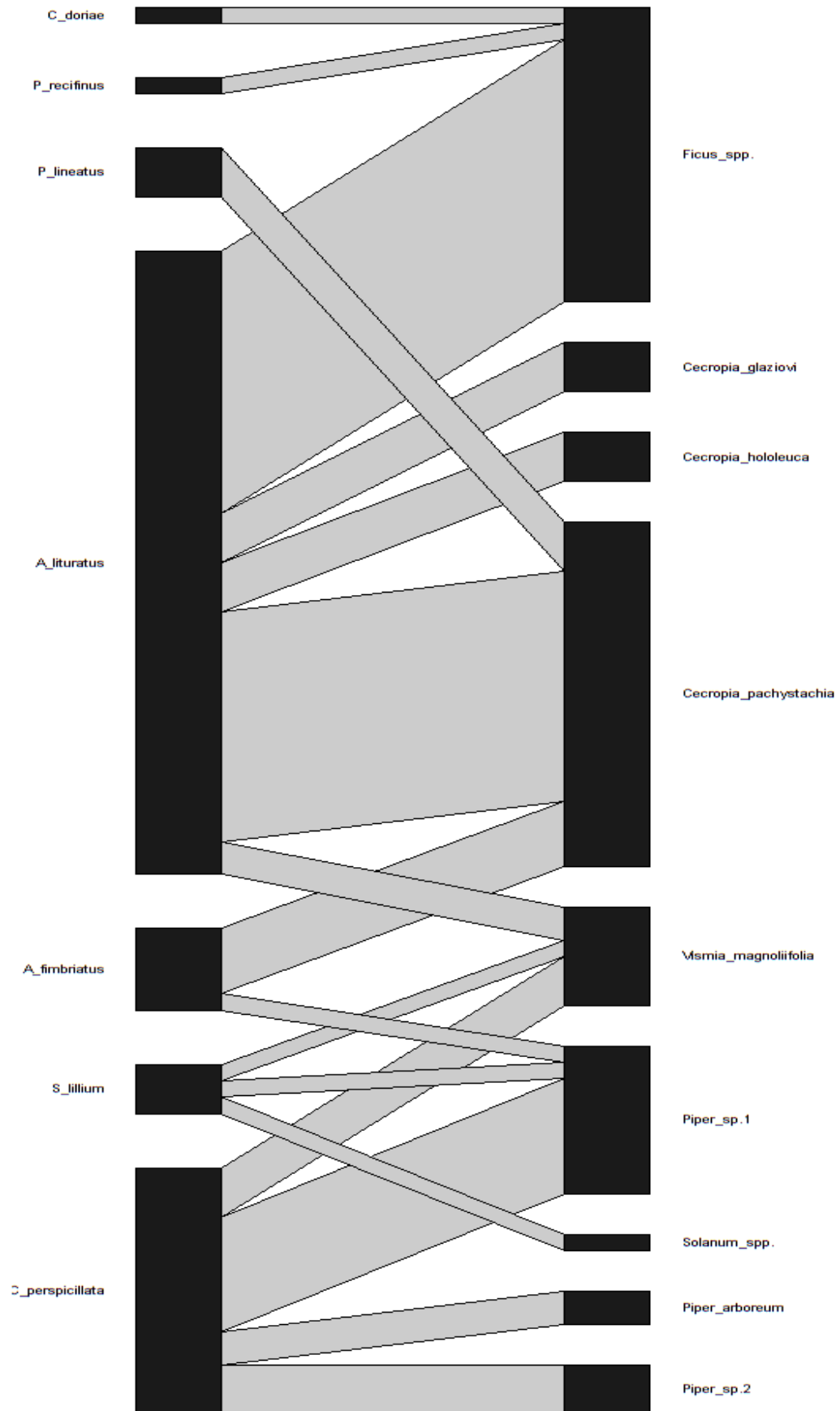
**Local:** Parque Nacional Serra de Itabaiana (Sergipe, Brasil).



Silveira et al. (2011)

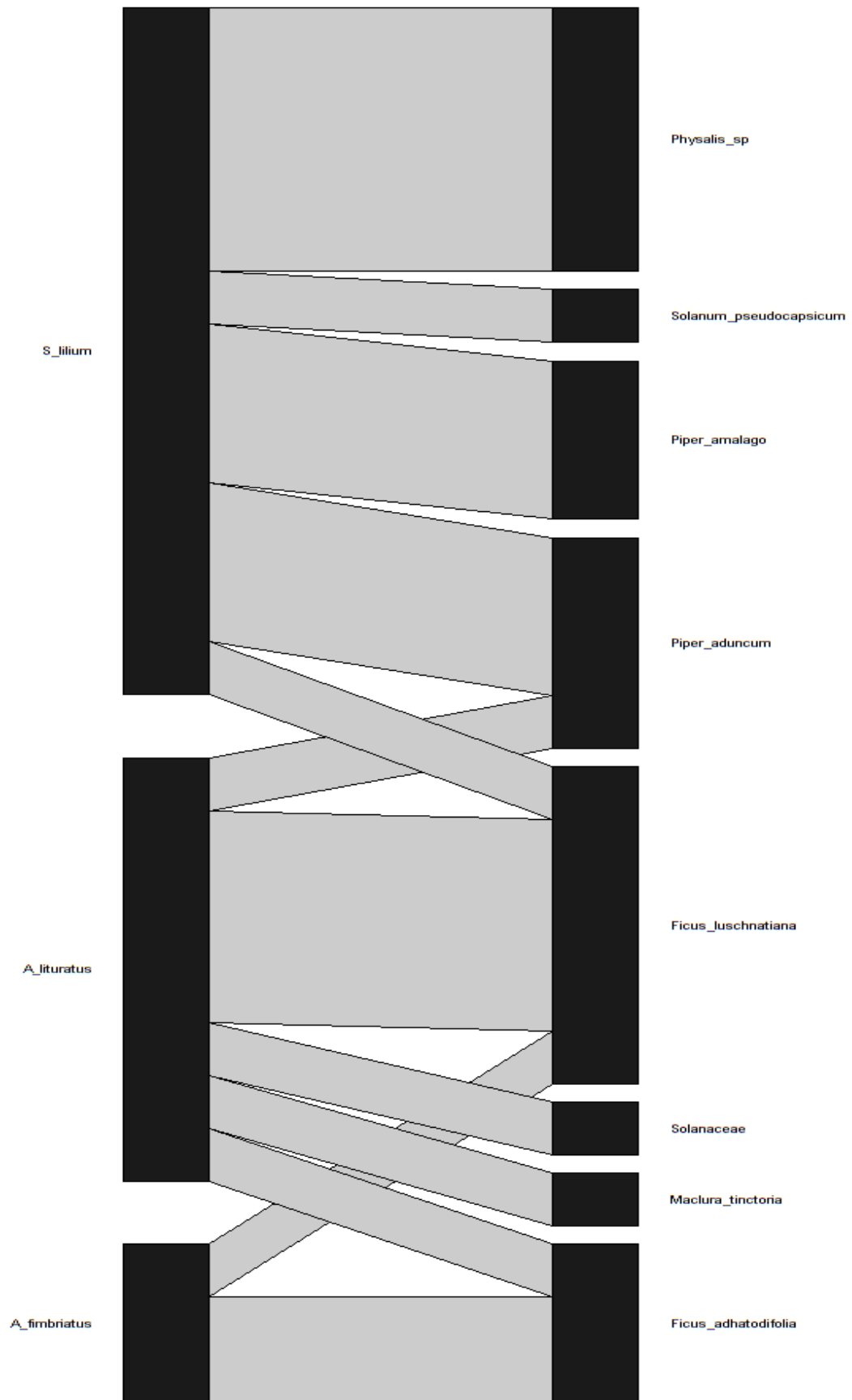
**Local:** Parque Florestal São Marcelo (Mogi Guaçu, São Paulo, Brasil).





Tavares et al. (2007)

**Local:** Parque Estadual do Rio Doce (Minas Gerais, Brasil).



Weber et al. (2011)

**Local:** Morro do Elefante (Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil).



Tabela 1 — Métricas das 48 redes de interações mutualísticas entre morcegos neotropicais e frutos, e seus respectivos valores de significância. Valores não significativos ( $p > 0.05$ ) estão em negrito e não foram utilizados nas análises estatísticas. Q = modularidade observada; QZ = valor de Z referente à modularidade; WNODF = aninhamento observado; ZWNODF = valor de Z referente ao aninhamento; Div\_interação\_obs = diversidade de interações observada; Z\_score = valor de Z referente à diversidade de interações observada. (Continua).

Referência	Q	<i>p</i>	QZ	WNODF	<i>p</i>	ZWNODF	Div_inter_obs	<i>p</i>	Z_score
1	0.1998113	0.0001	3.218297	26.08225	0.013	-2.48882	2.925178	0.007	-2.530889
2	0.3068308	0.0001	13.71816	45.03401	0.017	-2.19297	3.000275	0.002	-3.05963
3	0.4830889	0.0001	5.7583	16.4661	<b>0.085</b>	-1.366506	4.122364	0.005	-2.965295
4	0.3692984	0.0001	8.262061	42.09088	<b>0.257</b>	0.6637948	3.332362	<b>0.487</b>	0.03302137
5	0.1139255	0.0001	4.637079	67.46032	<b>0.259</b>	-0.609854	2.198584	0.02	-2.027996
6	0.3056813	0.024	2.28602	30.16755	<b>0.085</b>	-1.341758	2.962629	<b>0.067</b>	-1.54449
7	0.5425	0.0001	5.504862	13.58974	0.021	-1.939819	2.678379	0.0001	-4.494891
8	0.3035249	0.0001	7.057283	27.98354	0.004	-2.944994	2.523773	<b>0.288</b>	-0.5223693
9	0.445085	0.0001	17.03373	23.45371	0.0001	-3.123643	4.00654	0.0001	-3.520501
10	0.3635067	0.0001	6.037264	21.9888	0.004	-2.636329	3.010958	<b>0.072</b>	-1.507662
11	0.4010226	<b>0.446</b>	0.1354579	25.62893	<b>0.124</b>	1.177801	2.967143	<b>0.283</b>	-0.5176146
12	0.3409784	0.0001	5.341147	25.02268	0.0001	-2.873378	3.111804	<b>0.097</b>	-1.314468
13	0.4984316	0.0001	4.337817	10.23166	0.0001	-4.915116	2.736064	0.001	-3.429084
14	0.305165	0.0001	25.10032	40.4095	0.027	-1.905188	3.697284	0.0001	-7.957297
15	0.4460603	0.0001	9.84403	25.90188	0.009	-2.443772	2.581662	0.002	-3.972832
16	0.1830527	0.0001	6.105446	28.82562	0.0001	-5.090615	3.221981	0.013	-2.315197
17	0.5250998	0.028	2.002188	11.79592	0.05	-1.536081	3.274492	<b>0.257</b>	-0.6030874
18	0.421762	0.002	3.266248	26.09477	<b>0.289</b>	-0.5925278	3.217654	<b>0.257</b>	-0.5932114
19	0.4648438	<b>0.102</b>	1.228507	8.139535	0.039	-1.611314	2.577218	<b>0.257</b>	0.9356264
20	0.3866145	<b>0.156</b>	0.9979904	21.44737	<b>0.264</b>	-0.649273	2.959888	<b>0.257</b>	1.015714
21	0.4272268	0.008	2.842602	19.04762	0.06	-1.500415	2.904144	<b>0.257</b>	-1.218083
22	0.4366475	0.0001	7.161331	24.85994	0.008	-2.362253	3.049218	0.006	-2.695527

23	0.4218159	0.0001	12.7035	26.59953	0.0001	-3.329944	3.196641	0.0001	-5.262363
24	0.3609051	0.0001	23.5129	32.10195	0.0001	-5.295809	3.992709	0.0001	-6.889185
25	0.3110384	0.0001	11.73345	30.54266	0.001	-2.930678	3.847006	0.023	-2.137823
26	0.2487321	0.0001	10.93727	42.87624	0.0001	-3.42318	3.498491	0.005	-2.57103
27	0.3368056	0.014	2.152871	8.730159	0.055	-1.612191	2.103119	<b>0.115</b>	-1.105399
28	0.3595085	0.0001	6.820603	21.03175	0.003	-2.840261	2.646162	0.048	-1.746754
29	0.36435	0.0001	15.28504	37.73928	<b>0.117</b>	-1.188983	3.476879	0.003	-3.081986
30	0.2203012	0.0001	5.558393	51.74897	<b>0.153</b>	-1.044752	2.760016	0.01	-2.297869
31	0.4159843	0.0001	12.78481	29.26869	0.001	-3.411988	3.602388	0.0001	-5.736641
32	0.3060942	0.0001	6.032449	30.20314	0.034	-1.870941	3.15498	<b>0.104</b>	-1.23918
33	0.1966973	0.0001	7.517215	35.41667	0.015	-2.49614	1.965609	0.016	-2.136421
34	0.5791003	<b>0.168</b>	0.935472	5.451955	<b>0.107</b>	-1.166062	3.90844	<b>0.118</b>	-1.181875
35	0.3804251	0.0001	4.163041	24.42518	<b>0.079</b>	-1.392075	3.451457	0.035	-1.968799
36	0.4823089	0.0001	7.207161	13.45101	0.0001	-3.754798	2.608434	0.0001	-4.633934
37	0.2248521	<b>0.074</b>	1.59149	7.407407	0.021	-2.281477	1.730376	<b>0.246</b>	-0.6219559
38	0.37888	0.0001	5.856028	22.23389	0.007	-2.451172	3.213843	0.048	-1.788222
39	0.2715499	0.0001	24.15505	49.42107	0.001	-3.420064	2.665187	0.0001	-5.79373
40	0.2242198	0.0001	9.307308	56.08523	<b>0.368</b>	-0.2757176	2.86617	0.003	-3.125163
41	0.1563488	0.0001	6.985418	31.85827	0.011	-2.345041	2.942123	0.003	-3.265984
42	0.2234162	0.0001	5.951355	40.19868	<b>0.187</b>	-0.8973017	2.977628	<b>0.297</b>	-0.5289806
43	0.3586957	0.034	1.984919	23.27519	<b>0.135</b>	-1.077237	3.171098	<b>0.093</b>	-1.349921
44	0.5013872	0.004	4.234526	11.85119	0.007	-2.31367	3.053732	<b>0.334</b>	-0.3658534
45	0.1928813	0.0001	5.034787	47.96296	0.029	-2.109758	2.41085	<b>0.093</b>	-1.50395
46	0.3966942	0.024	2.449419	22.80702	<b>0.089</b>	-1.365777	2.375616	<b>0.093</b>	-0.3460031
47	0.4131944	0.036	1.858513	14.51613	<b>0.186</b>	-0.9905269	2.27929	<b>0.147</b>	-1.061353
48	0.3199073	0.0001	5.337099	28.36608	0.05	-1.570134	3.993893	0.025	-1.986375

Fonte: Da autora (2021).

(Conclusão)

Tabela 2 — Valores de latitude, temperatura média anual, precipitação média anual, altitude e índice de impacto humano das 48 redes de interações entre morcegos neotropicais e frutos utilizadas no estudo. (Continua).

<b>Referência</b>	<b>Latitude</b>	<b>Temperatura média anual</b>	<b>Precipitação média anual</b>	<b>Altitude</b>	<b>Índice de impacto humano</b>
1	-19.735163	21.6	1210	447	6.40
2	4.672604	17.3	2079	1922	18.73
3	-8.243274	21.3	718	677	11.00
4	-23.603767	20.3	1338	290	14.32
5	-22.826035	20.6	1267	556	22.00
6	4.883601	17.1	2566	2039	17.63
7	-22.822944	20.5	1271	615	32.73
8	-19.65037	22.0	1290	427	5.63
9	21.605697	22.3	1486	705	5.26
10	-22.586759	21.8	1619	236	18.00
11	-4.894435	26.3	2582	132	2.36
12	-22.836872	19.5	1316	768	29.00
13	19.531922	18.3	1598	1421	33.00
14	-22.5993	18.8	1555	892	8.76
15	-22.803572	14.5	1751	1496	15.37
16	-23.068425	19.3	1334	662	13.34
17	-22.840988	19.0	1499	825	7.26
18	-21.406528	19.7	1530	895	6.25
19	-19.150527	23.5	1192	62	6.53
20	10.430262	25.9	3809	68	12.14
21	17.073206	24.7	1817	263	3.85
22	-20.382354	22.9	1440	665	34.00
23	-21.712924	17.0	1603	1346	4.85
24	-19.581257	25.0	1295	111	4.73
25	-25.137844	21.2	2091	185	1.53
26	-3.81107	23.7	595	516	2.85

27	-24.154853	17.7	1364	804	4.00
28	-19.179339	21.7	1554	814	4.25
29	-19.204007	23.0	1128	780	8.53
30	16.936905	23.5	1358	716	6.25
31	-25.66812	20.8	1758	189	17.00
32	-24.033333	17.3	837	1326	7.00
33	-9.011893	21.7	1744	485	12.28
34	-8.145031	21.7	609	668	13.00
35	-8.197833	19.1	859	1054	5.32
36	-22.367708	20.5	1331	613	31.00
37	-19.739427	22.8	1212	282	4.28
38	-12.015174	24.9	1923	292	1.42
39	-29.673422	18.8	1672	338	14.73
40	20.888612	25.7	1189	24	4.63
41	-11.118003	25.5	1625	11	10.53
42	-5.134575	15.1	1351	2396	4.25
43	-10.764148	24.1	1438	186	33.00
44	-25.442494	18.0	1894	802	12.25
45	-21.397418	19.7	1534	889	6.25
46	15.810508	25.0	3013	176	5.80
47	17.61662	25.9	3062	187	6.27
48	-11.044511	16.9	1399	1978	6.34

Fonte: Da autora (2021).

(Conclusão)

### Banco de dados utilizado no estudo

- 1) AGUIAR, L. M. S.; MARINHO-FILHO, J. Bat frugivory in a remnant of Southeastern Brazilian Atlantic forest. **Acta Chiropterologica**, v. 9, n. 1, p. 251-260, 2007.
- 2) AGUILAR-GARAVITO, M.; RENJIFO, L. M.; PÉREZ-TORRES, J. Seed dispersal by bats across four successional stages of a subandean landscape. **Biota Colombiana**, v. 15, n. 2, 2014, p. 87-101, 2014.
- 3) ARIAS, E.; PACHECO, V. Dieta y estructura trófica de un ensamblaje de murciélagos en los bosques montanos del Santuario Nacional Pampa Hermosa, Junín, Perú. **Revista peruana de biología**, v. 26, n. 2, p. 169-182, 2019.
- 4) BEZERRA, J. P. **Utilização de recursos alimentares por morcegos fitófagos e influência na dispersão de sementes em um remanescente de floresta estacional semidecidual montana no semiárido brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, p. 40. 2017.
- 5) BOLÍVAR-CIMÉ, B.; LABORDE, J.; MACSWINEY G., M. C.; SOSA, V. J. Effects of landscape matrix type, patch quality and seasonality on the diet of frugivorous bats in tropical semi-deciduous forest. **Wildlife Research**, v. 41, n. 5, p. 454-464, 2014.
- 6) BRITO, J. E. C. **Morcegos do Parque Estadual do Pico Marumbi: frugivoria e germinação de sementes**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 65. 2011.
- 7) BRITO, J. E. C.; GAZARINI, J.; ZAWADZKI, C. H. Abundância e frugivoria da quiropterofauna (Mammalia, chiroptera) de um fragmento no noroeste do Estado do Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 32, n. 3, p. 265-271, 2010.
- 8) CARVALHO, M. C. **Frugivoria por morcegos em floresta estacional semidecidual: dieta, riqueza de espécies e germinação de sementes após passagem pelo sistema digestivo**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, p. 96. 2008.
- 9) CASTAÑO, J. H.; CARRANZA-QUICENO, J. A.; PÉREZ-TORRES, J. Bat-fruit networks structure resist habitat modification but species roles change in the most transformed habitats. **Acta Oecologica**, v. 105, 2020.
- 10) FARIA, D. M. **Uso de recursos alimentares por morcegos filostomídeos fitófagos na Reserva de Santa Genebra, Campinas, São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 94. 1996.
- 11) GARCIA, Q. S.; REZENDE, J. L. P.; AGUIAR, L. M. S. Seed dispersal by bats in a disturbed area of Southeastern Brazil. **Revista de Biología Tropical**, v. 48, n. 1, p. 125-128, 2000.
- 12) GARCÍA-MORALES, R.; CHAPA-VARGAS, L.; GALINDO-GONZÁLEZ, J.; BADANO, E. I. Seed Dispersal Among Three Different Vegetation Communities in the Huasteca Region, Mexico, Analyzed from Bat Feces. **Acta Chiropterologica**, v. 14, n. 2, p. 357-367, 2012.



- 13) GOMES, L. A. C. **Morcegos Phyllostomidae (Mammalia, Chiroptera) em um remanescente de Floresta Atlântica no sudeste do Brasil: composição de espécies, sazonalidade e frugivoria.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Biologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, p. 78. 2013.
- 14) GORCHOV, D. L.; CORNEJO, F.; ASCORRA, C. F.; JARAMILLO, M. Dietary Overlap between Frugivorous Birds and Bats in the Peruvian Amazon. **Oikos**, v. 74, n. 2, p. 235-250, 1995.
- 15) HAYASHI, M. M. 1996. **Morcegos frugívoros em duas áreas alteradas da Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, p. 104. 1996.
- 16) HERNÁNDEZ-MONTERO, J. R.; SALDAÑA-VÁZQUEZ, R. A.; GALINDO-GONZÁLEZ, J.; SOSA, V. J. Bat-Fruit Interactions Are More Specialized in Shaded-Coffee Plantations than in Tropical Mountain Cloud Forest Fragments. **PLoS ONE**, v. 10, n. 5, e0126084, 2015.
- 17) HORSLEY, T. W. B.; BICKNELL, J. E.; LIM, B. K.; AMMERMAN, L. K. Seed Dispersal by Frugivorous Bats in Central Guyana and a Description of Previously Unknown Plant-Animal Interactions. **Acta Chiropterologica**, v. 17, n. 2, p. 331-336, 2015.
- 18 - 21) LAURINDO, R. S.; VIZENTIN-BUGONI, J.; TAVARES, D. C.; MANCINI, M. C. S.; MELLO, R. M.; GREGORIN, R. Drivers of bat roles in Neotropical seed dispersal networks: abundance is more important than functional traits. **Oecologia**, v. 193, p. 189-198, 2020.
- 22) LAURINDO, R. S.; GREGORIN, R.; TAVARES, D. C. Effects of biotic and abiotic factors on the temporal dynamic of bat-fruit interactions. **Acta Oecologica**, v. 83, p. 38-47, 2017.
- 23) LIMA, I. P.; NOGUEIRA, M. R.; MONTEIRO, L. R.; PERACCHI, A. L. (2016) Frugivoria e dispersão de sementes por morcegos na Reserva Natural Vale, Sudeste do Brasil. In: ROLIM, S. G.; MENEZES, L. F. T.; SRBEK-ARAUJO, A. C. (Eds.) **Floresta Atlântica de Tabuleiro: diversidade e endemismos na Reserva Natural Vale.** Editora Rupestre, pp 433-452.
- 24) LOPEZ, J. E.; VAUGHAN, C. Food niche overlap among neotropical frugivorous bats in Costa Rica. **Revista de Biología Tropical**, v. 55, n. 1, p. 301-313, 2007.
- 25) LOU, S.; YURRITA, C. L. Análisis de nicho alimentario em la comunidade de murciélagos frugívoros de Yaxhá, Petén, Guatemala. **Acta Zoológica Mexicana**, v. 21, n. 1, p. 83-94, 2005.
- 26) LOU, S. 2007. **Dinámica de dispersión de murciélagos frugívoros en el paisaje fragmentado del Biotopo Chocón Machacas, Livingston, Izabal.** Informe del Proyecto FODECYT N° 21-03:01-62.
- 27) MARTINS, M. P. V.; TORRES, J. M.; ANJOS, E. A. C. Dieta dos morcegos filostomídeos (Mammalia, Chiroptera, Phyllostomidae) em fragmento urbano do

- Instituto São Vicente, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 54, n. 20, p. 299-305, 2014.
- 28) MELLO, R. M.; NOBRE, P. H.; MANHÃES, M. A.; PEREIRA, C. P. Frugivory by Phyllostomidae bats in a montane Atlantic Forest, southeastern Minas Gerais, Brazil. **Ecotropica**, v. 20, p. 65-74, 2014.
- 29) MELLO, R. M. **Composition and structure of anthropogenic landscapes shape the interactions among plants, frugivorous bats and ectoparasites**. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, p. 78, 2020.
- 30) MUNIN, R. L.; FISCHER, E.; GONÇALVES, F. Food Habits and Dietary Overlap in a Phyllostomid Bat Assemblage in the Pantanal of Brazil. **Acta Chiropterologica**, v. 14, n. 1, p. 195-204, 2012.
- 31) MUNSTER, L. C. **Dieta de morcegos frugívoros (Chiroptera, Phyllostomidae) na Reserva Natural do Salto Morato**. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 31, 2008.
- 32) NOVOA, S.; CADENILLAS, R.; PACHECO, V. Dispersión de semillas por murciélagos frugívoros em bosques del Parque Nacional Cerros de Amotape, Tumbes, Perú. **Mastozoología Neotropical**, v. 18, n. 1. P. 81-93, 2011.
- 33) OLIVEIRA, T. S. **Ecologia alimentar de morcegos frugívoros em uma área de restinga do nordeste do Brasil e comportamento germinativo de espécies pioneiras após passagem pelo sistema digestório**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, p. 90, 2018.
- 34) PANIAGUA, K. B. **Coexistencia de murciélagos frugívoros del Santuario Nacional Tabaconas Namballe, Cajamarca, Perú**. Tesis (Licenciada em Biologia) – Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ciencias Biológicas. Lima, p. 99, 2019.
- 35) PASSOS, F. C.; SILVA, W. R.; PEDRO, W. A.; BONIN, M. R. Frugivoria em morcegos (Mammalia, Chiroptera) no Parque Estadual Intervalles, sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, n. 3, p. 511-517, 2003.
- 36) PEDRO, W. A. **Estrutura de uma taxocenose de morcegos da Reserva do Panga (Uberlândia, MG), com ênfase nas relações tróficas em Phyllostomidae (Mammalia: Chiroptera)**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 122, 1992.
- 37) PORFIRIO, G.; BORDIGNON, M. O. Phyllostomid bats and their diets at Ururum Massif, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Chiroptera Neotropical**, v. 21, n. 2, p. 1332-1337, 2015.
- 38) PRECIADO-BENÍTEZ, O.; GÓMEZ, B. G.; NAVARRETE-GUTIÉRREZ, D. A.; HORVÁTH, A. The use of commercial fruits as attraction agents may increase the seed dispersal by bats to degraded areas in Southern Mexico. **Tropical Conservation Science**, v. 8, n. 2, p. 301-317, 2015.

- 39 - 40) SÁNCHEZ, M. S.; GIANNINI, N. P.; BARQUEZ, R. M. Bat frugivory in two subtropical rain forests of Northern Argentina: Testing hypotheses of fruit selection in the Neotropics. **Mammalian Biology**, v. 77, n. 1, p. 22-31, 2012.
- 41) SARMENTO, R.; ALVES-COSTA, C. P.; AYUB, A.; MELLO, M. A. R. Partitioning of seed dispersal services between birds and bats in a fragment of the Brazilian Atlantic Forest. **Zoologia**, v. 31, n. 3, p. 245-255, 2014.
- 42 - 43) SILVA, L. A. M. **Comunidades de morcegos na Caatinga e Brejo de Altitude no agreste de Pernambuco**. Tese (Doutorado em Biologia Animal) – Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Biológicas. Brasília, p. 161, 2007.
- 44) SILVA, A. P. S. **Dieta de morcegos filostomídeos (Mammalia: Chiroptera) no Parque Nacional Serra de Itabaiana, Sergipe**. Monografia (Bacharelado em Ecologia) – Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Ecologia. São Cristóvão, p. 31, 2014.
- 45) SILVEIRA, M.; TREVELIN, L.; PORT-CARVALHO, M.; GODOI, S.; MANDETTA, E. N.; CRUZ-NETO, A. P. Frugivory by phyllostomid bats (Mammalia: Chiroptera) in a restored area in Southeast Brazil. **Acta Oecologica**, v. 37, n. 1, p. 31-36, 2011.
- 46) TAVARES, V. C.; PERINI, F. A.; LOMBARDI, J. A. The bat communities (Chiroptera) of the Parque Estadual do Rio Doce, a large remnant of Atlantic Forest in southeastern Brazil. **Lundiana**, v. 8, n. 1, p. 35-47, 2007.
- 47) WEBER, M. M.; ARRUDA, J. L. S.; AZAMBUJA, B. O.; CAMILOTTI, V. L.; CÁCERES, N. C. Resources partitioning in a fruit bat community of the southern Atlantic Forest, Brazil. **Mammalia**, v. 75, n. 3, p. 217-225, 2011.
- 48) ZAVALA-CALLOAPAZA, D. J. **Análisis de la dieta de un ensamble de murciélagos frugívoros em el Departamento de Madre de Dios**. Tesis (Título Profesional de Biólogo) – Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, p. 68, 2018.