

PROD. TEC. ITV DS - N011/2018

DOI: 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2018.11.Silva

PRODUÇÃO TÉCNICA ITV DS

REDES DE INTERAÇÃO PLANTA POLINIZADOR EM CANGAS COMO SUBSÍDIO PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

Relatório Final

Carlos Eduardo Pinto da Silva

Tereza Cristina Giannini

Novembro/2018

Belém/PA

Título: Redes de interação planta polinizador em cangas como subsídio para restauração ecológica	
PROD. TEC. ITV DS - N011/2018	Revisão
Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (x) Pública	00

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

<p>S586</p> <p>Silva, Carlos Eduardo Pinto da Redes de interação planta polinizador em cangas como subsídio para restauração ecológica. / Carlos Eduardo Pinto da Silva, Tereza Cristina Giannini – Belém, PA: ITV, 2018. f.: il.</p> <p>1. Plantas – Polinização - Carajás. 2. Plantas - Canga – Carajás 3. Polinizadores - Abelhas. I. Título.</p> <p>CDD 571.864209811</p>

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves - CRB 2 - 525

SUMÁRIO EXECUTIVO

Na maioria dos casos, os projetos de restauração focam em algum núcleo básico da comunidade alvo, em geral, espécies vegetais dominantes, na esperança que os processos naturais conduzam a comunidade como um todo em uma trajetória rumo à completa restauração do ecossistema. Porém, na última década, a restauração tem incorporado avanços em pesquisas que vêm demonstrando que as funções que fazem parte dos ecossistemas são importantes, e deveriam também receber atenção. Um dos principais exemplos de funções do ecossistema é a transferência de gametas entre as plantas, função essa realizada por certas espécies de animais (em geral, os polinizadores) em suas interações com as espécies vegetais. Tal função é também considerada um serviço de ecossistema, quando resulta especificamente em benefício para o ser humano, como no caso da polinização de culturas agrícolas. A função da polinização tem sido pesquisada através do uso de redes de interação planta-polinizador, e tal método tem sido aplicado como uma ferramenta auxiliar para delinear estratégias práticas visando a restauração de áreas degradadas; oferecer medidas para o monitoramento do sucesso da restauração e; aprofundar o conhecimento sobre o papel das interações planta-polinizador em áreas em restauração através de estudos teóricos. O objetivo do presente trabalho consiste em [i] descrever as redes de interação entre plantas e abelhas de áreas de canga na Floresta Nacional de Carajás e no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, relacionando a estrutura das redes com descritores da paisagem e [ii] destacar espécies de plantas e visitantes florais que têm um papel importante nas redes de interação. O trabalho justifica-se frente ao desconhecimento sobre como as interações entre esses organismos acontecem em locais que apresentam a configuração presente nas cangas, que são áreas de diferentes tamanhos e grau de isolamento, cobertas por vegetação do tipo rupestre e rodeadas por floresta Amazônica.

RESUMO

Restaurar funções ecossistêmicas consiste em uma nova meta para os projetos de restauração. Utilizar os fundamentos apresentados pelo arcabouço teórico associado aos estudos de redes de interação permite caracterizar e avaliar uma das funções ecológicas mais importantes que é a polinização. Nesse trabalho foram descritas as redes de interação planta-abelha em nove áreas de canga visando [i] relacionar medidas da estrutura das redes com a paisagem e [ii] avaliar as principais espécies para a manutenção das redes de interação. Os resultados mostram que as redes de interação das áreas estudadas são muito especializadas e não variam com o tamanho e isolamento das áreas. Poucas espécies e interações são compartilhadas entre as áreas, e as espécies e interações que tendem a ocorrer em um número maior de áreas são aquelas mais generalistas. Algumas espécies de plantas foram importantes nas redes, especialmente aquelas que participam de muitas interações com diferentes espécies de abelhas. Por apresentarem recursos para muitas espécies de polinizadores, essas plantas podem ser consideradas espécies alvo em projetos de restauração das cangas.

ABSTRACT

Restoring ecosystem functions is a new goal for restoration projects. Using the foundations presented by the theoretical framework associated to the studies of interaction networks allows to characterize and evaluate one of the most important ecological functions that is the pollination. In this work, the plant-bee interaction networks were described in nine canga areas, aiming [i] to relate measures of the structure of the networks with the landscape and [ii] to evaluate the main species for the maintenance of interaction networks. The results show that the interaction networks of the studied areas are very specialized and do not vary with the size and isolation of the areas. Few species and interactions are shared between areas, and the species and interactions that tend to occur in a larger number of areas are more generalist. Some species of plants were important in the nets, especially those that participate in many interactions with different species of bees. Because they present resources for many species of pollinators, these plants can be considered target species in canga restoration projects.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Corpos de canga dentro da floresta Amazônica presentes na Floresta Nacional de Carajás (FNC) e no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos (PNCF).....12
- Figura 2** - Quatro índices de redes de interação em relação ao tamanho (em hectares) das áreas de canga A) H_2' mede o grau de especialização da rede, B) O NODF mede o ninhamento da rede, C) Diversidade das interações; e D) Número de polinizadores. Nenhum dos índices variou com relação ao tamanho das áreas.....17
- Figura 3** - Quatro índices de redes de interação em relação ao isolamento (distância mínima em metros) das áreas de A) H_2' mede o grau de especialização da rede, B) O NODF mede o ninhamento da rede, e C) Diversidade das interações; e D) Número de polinizadores. Nenhum dos índices variou com o isolamento das áreas de canga.....18
- Figura 4** - Compartilhamento de espécies relacionado ao compartilhamento das interações. A) Abelhas; B) Plantas. O compartilhamento das espécies de abelhas e plantas explica o compartilhamento das interações.....19
- Figura 5** - Correlação entre grau e a ocorrência nas áreas de estudo. Quanto maior o grau, maior a probabilidade de ocorrência. A) o grau das interações e o número de áreas que foram observadas; B) o grau das abelhas e o número de áreas que cada espécie foi observada; C) o grau das plantas e o número de áreas que cada espécie foi observada.....20
- Figura 6** - *Byrsonima spicata* em outubro na Serra Norte da FNC.....22

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Espécies de plantas que foram visitadas por abelhas na Floresta Nacional de Carajás e no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos com as datas em que foram observadas sendo visitadas por abelhas.....14

Tabela 2 - Espécies de abelhas coletadas nas nove áreas de estudo na Floresta Nacional de Carajás e no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos entre os meses de janeiro de 2017 e maio de 2018.....15

Tabela 3 - Medidas da estrutura das redes de interação nas áreas estudadas e as medidas de tamanho e isolamento de cada área.....16

Tabela 4 - Espécies de plantas com maiores índices de centralidade nas 9 áreas estudadas na Floresta Nacional de Carajás e no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos. Os índices variam de zero a um e descrevem: o número de interações que cada espécie realiza, G=Grau; número de menores caminhos de uma espécie para quaisquer outras espécies na rede B= Betweenness; mede o quão próximo uma espécie está de todas as outras na rede C=Closeness.....22

Tabela 5 - Espécies de abelhas com maiores índices de centralidade nas 9 áreas estudadas na Floresta Nacional de Carajás e no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos. Os índices variam de zero a um e descrevem: o número de interações que cada espécie realiza, G=Grau; número de menores caminhos de uma espécie para quaisquer outras espécies na rede B= Betweenness; mede o quão próximo uma espécie está de todas as outras na rede C=Closeness.....23

Quadro 1 - Espécies de plantas analisadas no presente trabalho e detalhes sobre elas citados em outros trabalhos acerca de plantas prioritárias para RAD em Carajás. [*] indica as plantas que foram centrais em ao menos um índice em uma das áreas estudadas.....25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	09
2 OBJETIVO.....	11
3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	11
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5 CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1 INTRODUÇÃO

A perda de biodiversidade provoca alterações nos ecossistemas, sendo a quebra de interações bióticas um importante exemplo, uma vez que afeta o funcionamento do ecossistema (Diaz et al. 2013). A implementação de estratégias de restauração ecológica consiste em uma importante resposta na busca por reverter esses efeitos (Clewel & Aronson 2013). Geralmente, projetos de restauração têm como principal foco reintroduzir as plantas dominantes das áreas, e consideram que os demais elementos - em especial, a fauna - sejam naturalmente recuperados com o passar do tempo (Palmer et al. 1997). Entretanto, na última década, tem sido dada ênfase para a restauração de funções de ecossistemas. Funções de ecossistema se referem a processos, ou grupos de processos, que mantêm unidos diferentes elementos de diferentes ordens - por exemplo, elementos físicos, geoquímicos e/ou biológicos - que ocorrem dentro de um ecossistema (Lamont 1995, Goldstein 1999, Hooper et al. 2005, Jax 2005). Alguns exemplos de funções ecológicas são: regulação de fluxo hidrológico, estoque e retenção de água, regulação da dinâmica trófica das populações, entre outros (Costanza et al. 1997).

Um exemplo especialmente importante de função ecológica é a polinização, ou seja, a transferência de gametas entre as flores realizada por certas espécies animais, e que resulta na formação de frutos e sementes. Nos trópicos, cerca de 90% das espécies de plantas necessitam de um vetor animal para realizar a polinização (Ollerton et al. 2011), o que demonstra a importância desse tipo de interação. Assim, a restauração de redes de interação planta-polinizador tem se tornado um dos pontos fundamentais em projetos de restauração de áreas modificadas pela ação humana (McCann 2007). Ademais, por serem características-chave dos ecossistemas, as redes de interação são também úteis para monitorar a eficácia da restauração, fornecendo informações quantitativas sobre a estrutura e a função das comunidades (Schleuning et al. 2015).

Estudos de restauração que visam recuperar as redes de interação ainda são escassos. Por exemplo, o trabalho de Kaiser-Bunbury et al. (2017) mostrou que a degradação da polinização pode ser revertida com a retirada de indivíduos de espécies vegetais exóticas. Os autores observaram que as interações em redes de áreas restauradas (sem exóticas) apresentaram maior redundância funcional, o que indica maior resiliência a perturbações. A exclusão das exóticas teve efeito direto na

polinização, especialmente na produção de frutos das plantas nativas. Assim, o uso de redes permite a comparação de áreas restauradas e não restauradas, e o entendimento de como a estrutura dessas redes poderá ser alterada ao longo do processo de restauração.

O estudo de redes de interação entre plantas e polinizadores tem se baseado na abordagem de redes complexas (Bascompte et al. 2003, Jordano et al. 2003, Memmott et al. 2004). Geralmente, as redes de polinização são assimétricas, ou seja, as espécies especialistas interagem com as generalistas; além disso, elas são aninhadas, ou seja, as especialistas interagem com um subconjunto das espécies com as quais as generalistas interagem (Bascompte et al 2003). Essas duas características das redes de interações levam a uma redundância nas interações, o que aumenta sua resiliência; ou seja, como diferentes espécies executam a mesma função, a interação em si tem maior chance de se manter, mesmo que alguns dos parceiros mudem (Memmott et al. 2004, Schleuning et al. 2012).

Além dos índices que informam sobre como a rede está estruturada, existem também índices que informam sobre certas características das espécies que compõem as redes. Nem todas as espécies contribuem igualmente para o funcionamento e estabilidade da rede, e a importância das espécies nas redes pode ser medida por índices de centralidade (Freeman 1979, Wasserman & Faust, 1994, de Nooy et al. 2005, Estrada & Bodin 2008). As redes de interação são formadas por um núcleo central de espécies que são responsáveis por manter a estrutura e a dinâmica das redes (Memmott et al. 2004). As redes de planta e polinizadores apresentam a maioria das interações sustentadas pelas espécies mais generalistas (Bascompte & Jordano 2007), sendo essas espécies responsáveis por manter a robustez da rede de interação e sendo, também, geralmente menos susceptíveis às perturbações ambientais (Aizen et al. 2012). Na maioria dos casos, as espécies mais generalistas são também as espécies que estão mais próximas de todas as outras da rede (Martín-Gonzalez et al. 2010) e, portanto, impactos sobre tais espécies podem rapidamente afetar todas as demais (Freeman 1979). Essas espécies são também consideradas chaves nas redes de interação por agirem como conectoras entre módulos das redes, que de outra forma, permaneceriam isolados (Mello et al. 2013). Assim, conhecer o papel de cada espécie nas redes de interação é de extrema importância para entender o funcionamento da rede como

um todo e prever respostas frente a distúrbios e/ou processos de restauração (Strogatz 2001, Bascompte et al. 2003, Newman 2003, Kolasa 2005, Jordán et al. 2006, Namba et al. 2008).

A Floresta Nacional de Carajás (FNC) contém uma série de serras recortadas com elevações entre 500 e 900m e circundadas por floresta Amazônica (Viana et al. 2016). Os platôs dessas serras são cobertos por afloramentos ferruginosos e são compostos por um mosaico de fitofisionomias predominantemente abertas e associadas ao substrato rochoso (Viana et al. 2016). Esse tipo de vegetação sobre rochas ferruginosas foi denominado 'canga' (Rizzini 1979). As áreas de platô recebem uma alta incidência solar, com mais de 2000 mm de precipitação por ano e uma extensa estação seca (Souza-Filho 2016). A FNC foi setorizada em quatro conjuntos principais: Serra Norte; Serra Sul; Serra Leste e Serra de São Félix. Dois outros platôs, a Serra da Bocaina e a Serra do Tarzan, pertencem atualmente ao Parque Nacional dos Campos Ferruginosos (PNCF). Essas serras caracterizam corpos de canga que variam em extensão e grau de isolamento.

2 OBJETIVO

O objetivo geral do presente projeto consiste em caracterizar as redes de interação de plantas e abelhas em áreas de canga na FNC e no PNCF como suporte para projetos de recuperação de áreas degradadas (RAD).

Os objetivos específicos são:

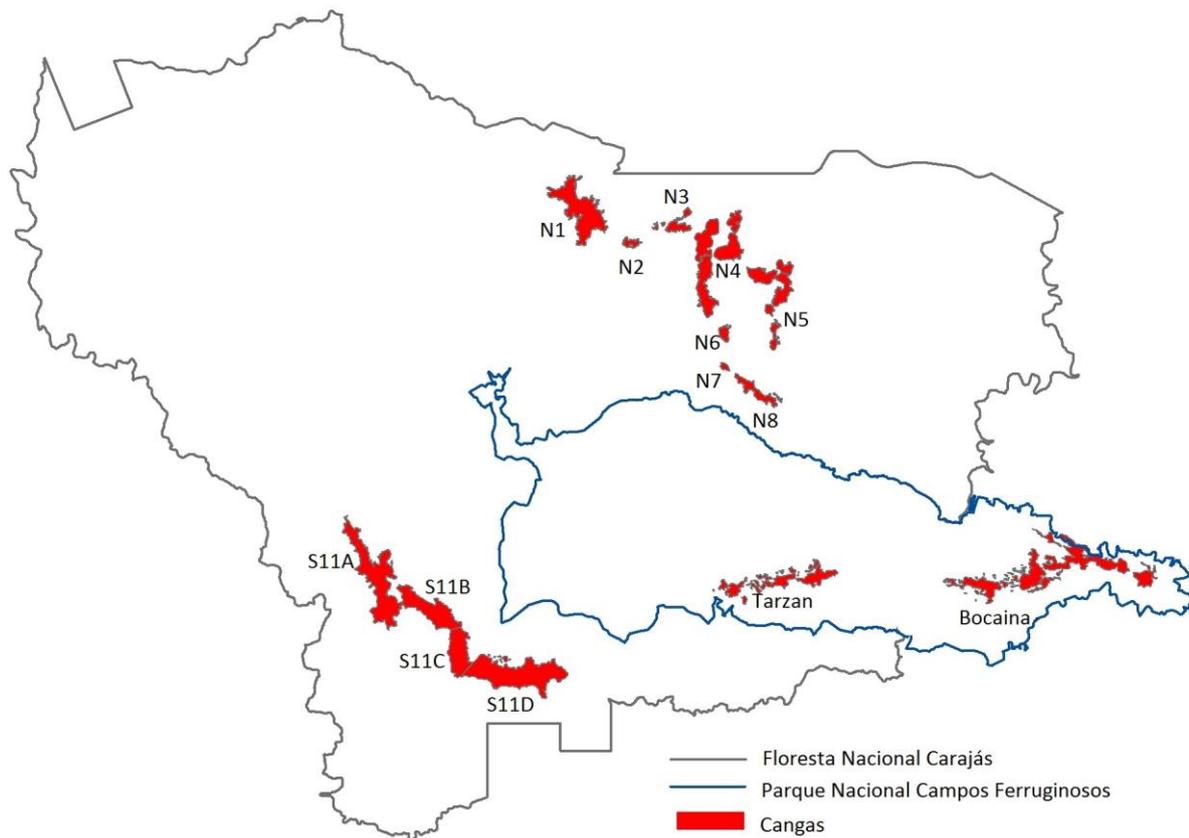
- i. Relacionar a estrutura das redes com características da paisagem, no caso, tamanho dos corpos de canga e seu isolamento.
- ii. Avaliar as espécies que ocupam um papel central nas redes de interação nos diferentes corpos de cangas.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram escolhidas nove áreas de canga na FNC e no PNCF, a saber, S11A, S11B e S11C na Serra Sul; N1, N2, N6, N7 e N8 na Serra Norte e; Serra da Bocaina (Figura 1). Nessas áreas foram colocadas quatro parcelas de 5x5m e um transecto de 1Km.

Com esses pontos definidos, todas as plantas com flores foram observadas por cinco minutos e os visitantes florais que tocavam as partes reprodutivas das flores foram coletados, mortos em câmara mortífera, montados e identificados ou morfotipados.

Figura 1 - Corpos de canga dentro da floresta Amazônica presentes na Floresta Nacional de Carajás (FNC) e no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos (PNCF)



Corpos de canga	S11A	S11B	S11C	N1	N2	N6	N7	N8	Bocaina
Tamanho (ha)	1526	843	625	1181	86	99	255	33	2145
Isolamento (m)	50	50	100	1755	1490	1867	549	549	25570

Fonte: do autor

Com os dados de campo foram construídas matrizes quantitativas de interação entre as plantas e abelhas. As linhas da matriz representam as espécies de plantas (P) e as colunas representam as espécies de abelhas (A). Havendo interação entre determinada abelha e planta, o número de indivíduos que visitou a planta foi anotado na interseção da linha com a coluna correspondente a estas espécies. Os dados de interação foram normalizados. Para uma determinada matriz M foi somado o número de interações observadas I. Com isso, em cada célula da matriz, que

corresponde à interseção entre uma espécie de planta P e uma espécie de abelha A, foi anotado o número de interações normalizado. Este valor corresponde à divisão entre o número de interações observadas entre a planta p e a abelha a com o número total de interações I da matriz M.

As análises de redes de interação foram realizadas com os pacotes bipartite (Dormann et al. 2008) e SNA (Butts 2008), ambos do R (R Core Team). Foram analisados [i] a especialização da rede através do índice H_2' que mede o desvio entre o número de interações realizadas por uma espécie e o número de interações esperado para cada espécie (Blüthgen et al. 2006); [ii] o aninhamento das redes (índice NODF), que foi obtido utilizando o programa ANINHADO (Almeida-Neto et al. 2008); [iii] a diversidade das interações, que é um índice baseado no índice de diversidade de espécies de Shannon aplicado para as interações e; [iv] o número de polinizadores. Os quatro índices (especialização, aninhamento, diversidade de interações e número de polinizadores) foram utilizados para descrever a estrutura das redes de interação das cangas estudadas. Para entender como esses índices de estrutura das redes são influenciados por características da paisagem, foi utilizado o tamanho das áreas e a distância mínima (ou isolamento) entre áreas (Figura 1) como variáveis preditoras. Modelos generalizados lineares (*Generalized Linear Models* – GLM) foram utilizados para as análises.

Para entender o papel das espécies nas redes de interação foram calculados três índices que descrevem a centralidade das espécies, são eles: [i] grau, que é o número de interações que cada espécie realiza; [ii] *closeness*, que mede o quão próximo uma espécie está de todas as outras na rede; e [iii] *betweenness*, que é igual ao número de menores caminhos de uma espécie para quaisquer outras espécies na rede. Para saber se o compartilhamento de interações é explicado pelo compartilhamento de espécies, foi feito um teste de Mantel. Para isso, foram construídas duas matrizes de distâncias onde, numa delas, foi colocado o número de interações compartilhadas par a par entre as áreas e, na outra, foi colocado o número de espécies compartilhadas par a par nas áreas. Esse procedimento foi realizado para espécies de plantas e de abelhas. Com o valor do grau das interações e das espécies foram feitas regressões simples para saber se as espécies e as interações com maior valor de grau (mais generalistas) são aquelas presentes no maior número de áreas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Indivíduos de 25 espécies de plantas (Tabela 1) foram amostrados, interagindo com um total de 53 espécies de abelhas (Tabela 2). Em relação ao número de polinizadores, as redes S11A e N7 se destacaram, sendo que a S11A foi a mais rica em abelhas, enquanto a rede N7 foi a mais pobre (Tabela 3).

Tabela 1 - Espécies de plantas que foram visitadas por abelhas na Floresta Nacional de Carajás e no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos com as datas em que foram observadas sendo visitadas por abelhas

Família	Espécie	Época de coleta
Asteraceae	<i>Borreria verticilata</i>	Abril
Asteraceae	<i>Lepidaploa arenaria</i>	Abril
Asteraceae	<i>Riencourtia pedunculosa</i>	Abril
Bignoniaceae	<i>Anemopaegma</i> sp	Janeiro - Março
Convolvulaceae	<i>Ipomoea maurandioides</i>	Abril
Convolvulaceae	<i>Ipomoea marabaensis</i>	Janeiro-Março
Convolvulaceae	<i>Jacquemontia tamnifolia</i>	Abril
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum nelsonrosae</i>	Agosto
Euphorbiaceae	<i>Croton</i> sp	Janeiro - Março
Leguminosae	<i>Chamaecrista devalxii</i>	Abril - Maio
Leguminosae	<i>Crotalaria maipurensis</i>	Março
Leguminosae	<i>Dioclea apurensis</i>	Março-Maio
Leguminosae	<i>Mimosa acutistipula</i>	Janeiro - Março
Leguminosae	<i>Periandra mediterranea</i>	Janeiro - Agosto
Lythraceae	<i>Cuphea carajasensis</i>	Janeiro - Março
Malpighiaceae	<i>Banisteriopsis anulata</i>	Março - Abril
Malpighiaceae	<i>Banisteriopsis tenela</i>	Agosto
Malpighiaceae	<i>Byrsonima spicata</i>	Agosto/ Novembro - Dezembro
Malpighiaceae	<i>Peixotoa reticulata</i>	Agosto
Malvaceae	<i>Melochia splendens</i>	Janeiro - Março
Melastomataceae	<i>Pleroma carajasense</i>	Abril
Orchidaceae	<i>Catasetum discolor</i>	Fevereiro-Março
Rubiaceae	<i>Mitracarpus carajasensis</i>	Janeiro - Março
Sapindaceae	<i>Serjania caracasana</i>	Março
Turneraceae	<i>Turnera coerulea</i>	Janeiro - Março
Turneraceae	<i>Turnera melochioides</i>	Janeiro - Março
Verbenaceae	<i>Lippia origonoides</i>	Janeiro - Março

Fonte: do autor

Tabela 2. Espécies de abelhas coletadas nas nove áreas de estudo na Floresta Nacional de Carajás e no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos entre os meses de janeiro de 2017 e maio de 2018.

Família	Tribo	Espécie
APIDAE	Apini	<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758
APIDAE	Bombini	<i>Bombus brevivillus</i> Franklin, 1913
APIDAE	Bombini	<i>Bombus transversalis</i> Olivier, 1789
APIDAE	Centridini	<i>Centris aenea</i> Lepeletier, 1841
APIDAE	Centridini	<i>Centris analis</i> Fabricius, 1804
APIDAE	Centridini	<i>Centris denudans</i> Lepeletier, 1841
APIDAE	Centridini	<i>Centris ferruginea</i> Lepeletier, 1841
APIDAE	Centridini	<i>Centris lutea</i> Friese, 1899
APIDAE	Centridini	<i>Centris maranhensis</i> Ducke, 1910
APIDAE	Centridini	<i>Centris nitens</i> Lepeletier, 1841
APIDAE	Centridini	<i>Centris nobilis</i> Westwood, 1840
APIDAE	Centridini	<i>Centris</i> sp1
APIDAE	Centridini	<i>Centris similis</i> Fabricius, 1804
APIDAE	Centridini	<i>Epicharis affinis</i> Smith, 1874
APIDAE	Centridini	<i>Epicharis analis</i> Lepeletier, 1841
APIDAE	Centridini	<i>Epicharis flava</i> Friese, 1900
APIDAE	Emphorini	<i>Melitoma danunciae</i> Oliveira e Engel, 2015
APIDAE	Emphorini	<i>Melitoma segmentaria</i> Fabricius, 1804
APIDAE	Euglossini	<i>Euglossa modestior</i> Dressler, 1982
APIDAE	Euglossini	<i>Euglossa</i> sp
APIDAE	Euglossini	<i>Eulaema cingulata</i> Fabricius, 1804
APIDAE	Euglossini	<i>Eulaema nigrata</i> Lepeletier, 1841
APIDAE	Exomalopsini	<i>Exomalopsis</i> sp
APIDAE	Meliponini	<i>Cephalotrigona capitata</i> Smith, 1854
APIDAE	Meliponini	<i>Cephalotrigona femorata</i> Smith, 1854
APIDAE	Meliponini	<i>Melipona amazonica</i> Schulz, 1905
APIDAE	Meliponini	<i>Melipona interrupta</i> Latreille, 1811
APIDAE	Meliponini	<i>Melipona puncticollis</i> Friese, 1902
APIDAE	Meliponini	<i>Melipona seminigra</i> Friese, 1903
APIDAE	Meliponini	<i>Paratetrapedia connexa</i> Vachal, 1909
APIDAE	Meliponini	<i>Paratetrapedia flavifrons</i> Aguiar e Melo, 2011
APIDAE	Meliponini	<i>Paratetrapedia</i> sp
APIDAE	Meliponini	<i>Ptilotrigona lurida</i> Smith, 1854
APIDAE	Meliponini	<i>Scaptotrigona polysticta</i> Moure, 1950
APIDAE	Meliponini	<i>Scaptotrigona postica</i> Latreille, 1807
APIDAE	Meliponini	<i>Scaptotrigona xanthotricha</i> Moure, 1950
APIDAE	Meliponini	<i>Tetragona beebei</i> Schwarz, 1938
APIDAE	Meliponini	<i>Tetragona clavipes</i> Fabricius, 1804
APIDAE	Meliponini	<i>Tetragona kaieteurensis</i> Schwarz, 1938
APIDAE	Meliponini	<i>Trigona branneri</i> Cockerell, 1912
APIDAE	Meliponini	<i>Trigona dallatorreana</i> Friese, 1900

Família	Tribo	Espécie
APIDAE	Meliponini	<i>Trigona dimidiata</i> Smith, 1854
APIDAE	Meliponini	<i>Trigona fuscipennis</i> Friese, 1900
APIDAE	Meliponini	<i>Trigona guianae</i> Cockerell, 1910
APIDAE	Meliponini	<i>Trigona pallens</i> Fabricius, 1798
APIDAE	Meliponini	<i>Trigona recursa</i> Smith, 1863
APIDAE	Meliponini	<i>Trigona williana</i> Friese, 1900
APIDAE	Xylocopini	<i>Ceratina</i> sp
APIDAE	Xylocopini	<i>Ceratina</i> sp2
APIDAE	Xylocopini	<i>Xylocopa aurulenta</i> Fabricius, 1804
APIDAE	Xylocopini	<i>Xylocopa frontalis</i> Olivier, 1789
APIDAE	Xylocopini	<i>Xylocopa grisescens</i> Lepeletier, 1841
HALICTIDAE	Augochlorini	<i>Pseudaugochlora flammula</i> Almeida, 2008

Fonte: do autor

Tabela 3 - Métricas da estrutura das redes de interação em cada área de canga

Índice/Área	S11A	S11B	S11C	N1	N2	N6	N7	N8	Bocaina
H ₂ '	0.84	0.67	1	1	0.96	1	1	0.78	0.64
NODF	14.5	16.82	19.25	20.38	17.98	21.22	25.24	16.96	26.21
Diversidade de interações	2.8	2.6	2.1	1.8	2.06	1.7	1.4	2.3	2.6
Riqueza de polinizadores	18	14	9	7	13	11	5	10	12

Fonte: do autor

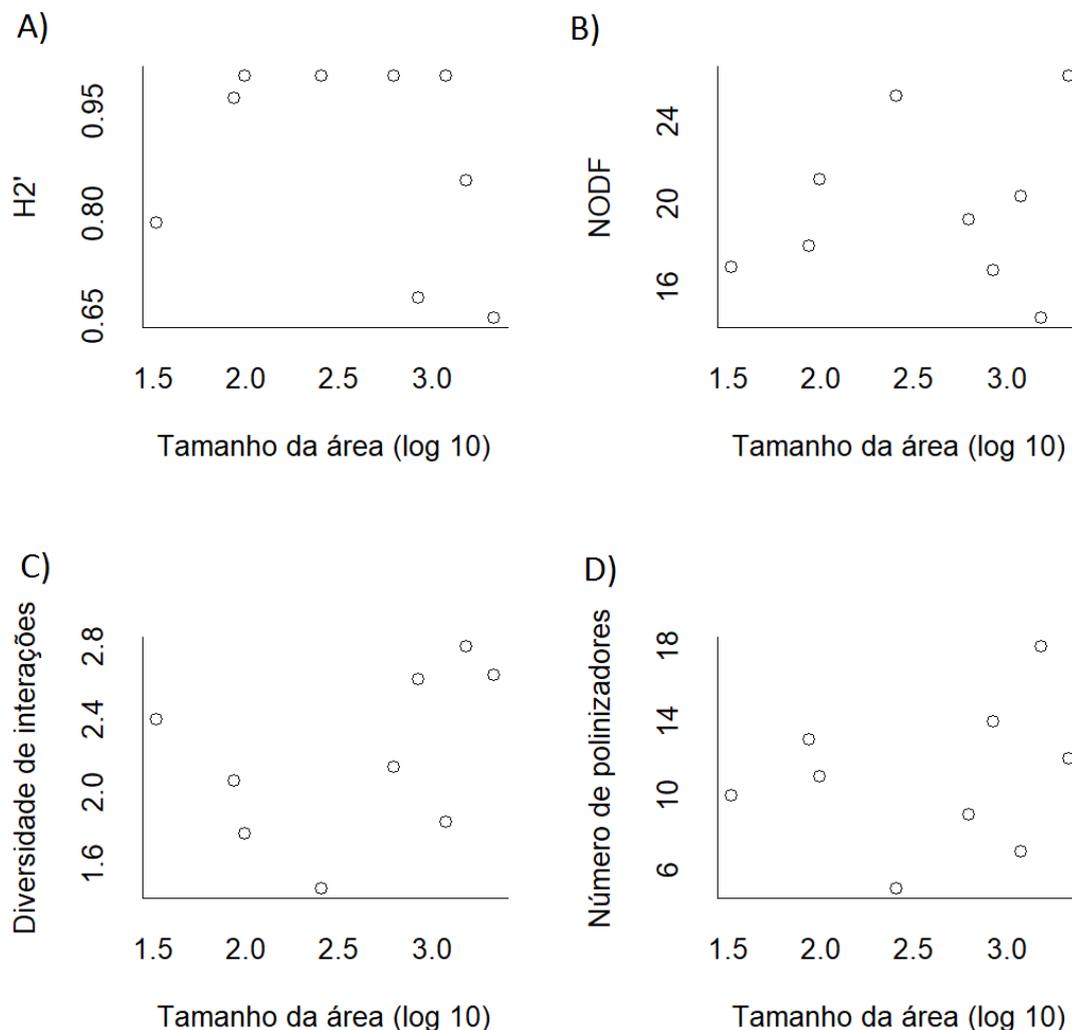
Estrutura das redes em relação às características da paisagem

De forma geral, as redes foram especializadas, e o índice H₂' médio foi de 0.88 (Tabela 3). A rede Bocaina foi a menos especializada (H₂' = 0.67) e as redes N1, N6, N7 e S11C foram as mais especializadas (H₂'= 1). As redes foram pouco aninhadas, e os valores de NODF variaram entre 14.5 e 26.2. A rede S11A foi a que mostrou maior diversidade de interações (ID = 2.8), e a rede N7 a que mostrou a menor (ID = 1.4).

A estrutura das redes de interação não varia com a estrutura da paisagem, ou seja, nenhum dos índices que descrevem as redes foi influenciado pelo tamanho ou pelo isolamento das áreas estudadas (Figuras 2 e 3). Houve uma elevada variação de interações entre as áreas estudadas, que foi positivamente correlacionada com a variação de espécies de plantas ($p= 0,001$; $R = 0,95$) e com a variação de espécies de abelhas ($p = 0,001$; $R = 0,94$) (Figura 4). No entanto, algumas espécies de

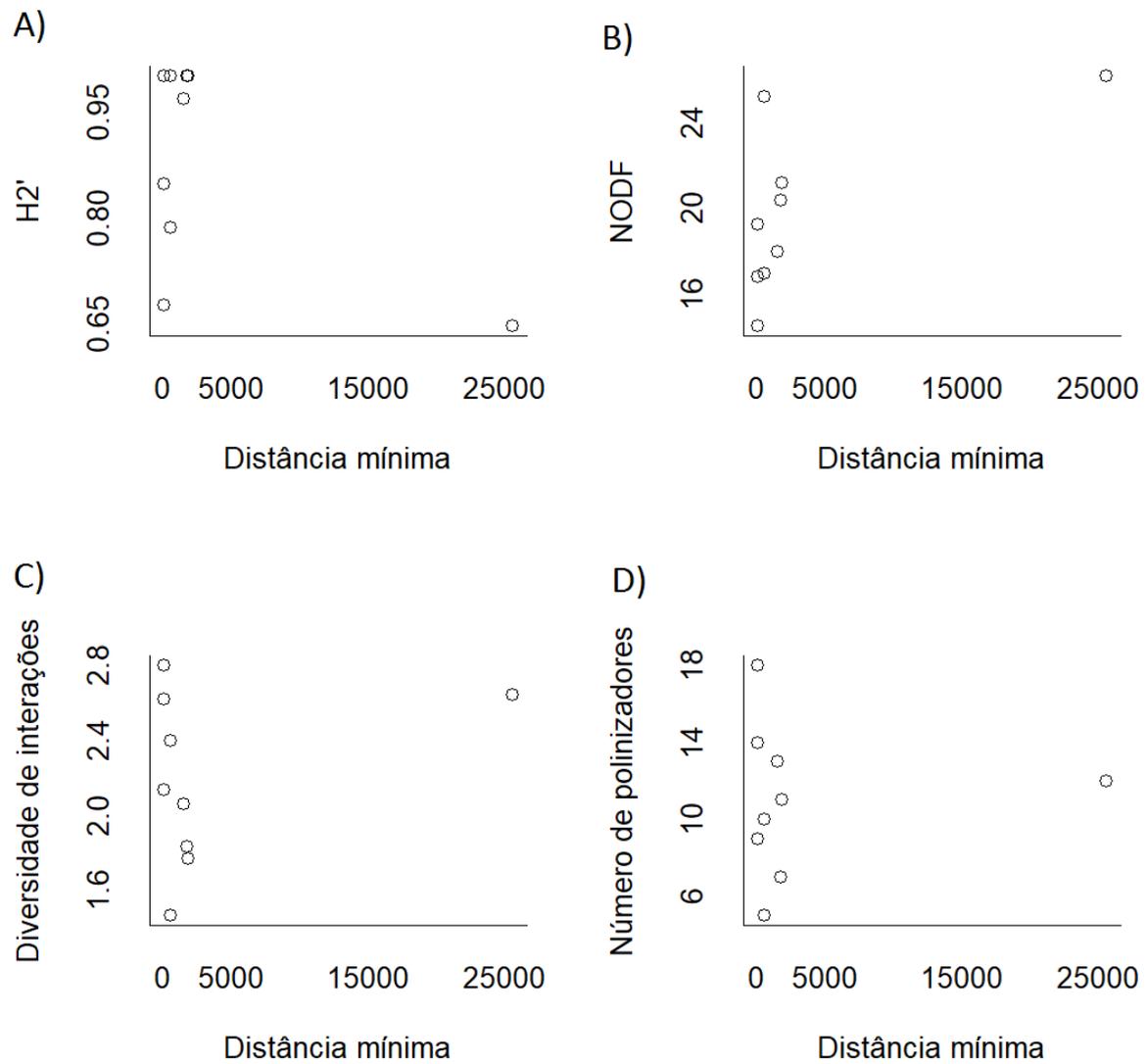
abelhas e plantas e interações se mantiveram presentes em todas áreas; estas que se mantiveram presentes foram as que apresentaram maior valor de grau, ou seja, as mais generalistas (interagem com maior número de parceiros). Assim, as espécies mais generalistas de plantas ($p = 0,00004$; $F = 25,11$; g.l. =23; $R = 0,5$) e de abelhas ($p = 0,00001$; $F = 98,1$; g.l. =53; $R = 0,64$) tendem a estar presentes em todas as áreas estudadas. O mesmo foi encontrado para as interações, ou seja, aquelas interações mais frequentes tendem a estar presentes em todas as áreas ($p = 0,00001$; $F = 75,46$; d.f. =89; $R = 0,45$) (Figura 5).

Figura 2 - Quatro índices de redes de interação em relação ao tamanho (em hectares) das áreas de canga A) H_2' mede o grau de especialização da rede, B) O NODF mede o ninhamento da rede, C) Diversidade das interações; e D) Número de polinizadores. Nenhum desses índices variou com relação ao tamanho das áreas



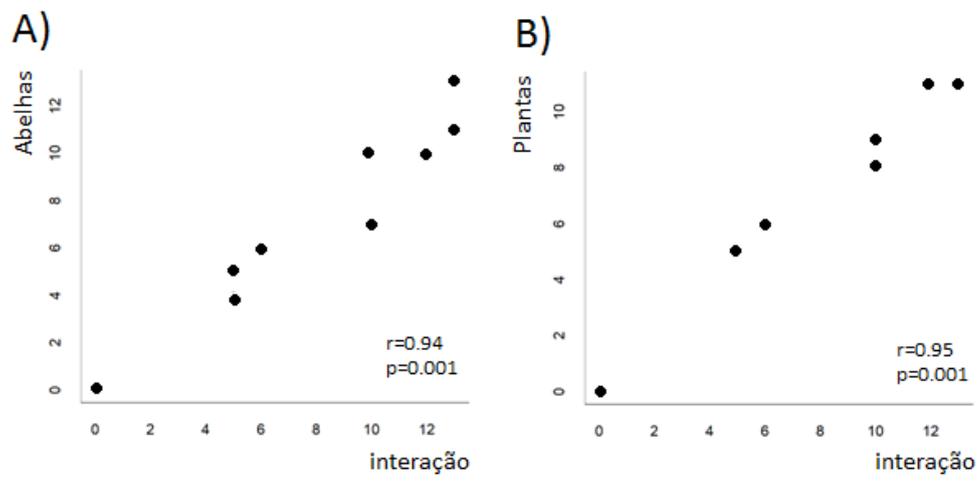
Fonte: do autor

Figura 3 - Quatro índices de redes de interação em relação ao isolamento (distância mínima em metros) das áreas de A) H_2' mede o grau de especialização da rede, B) O NODF mede o ninhamento da rede, e C) Diversidade das interações; e D) Número de polinizadores. Nenhum desses índices variou com o isolamento das áreas de canga.



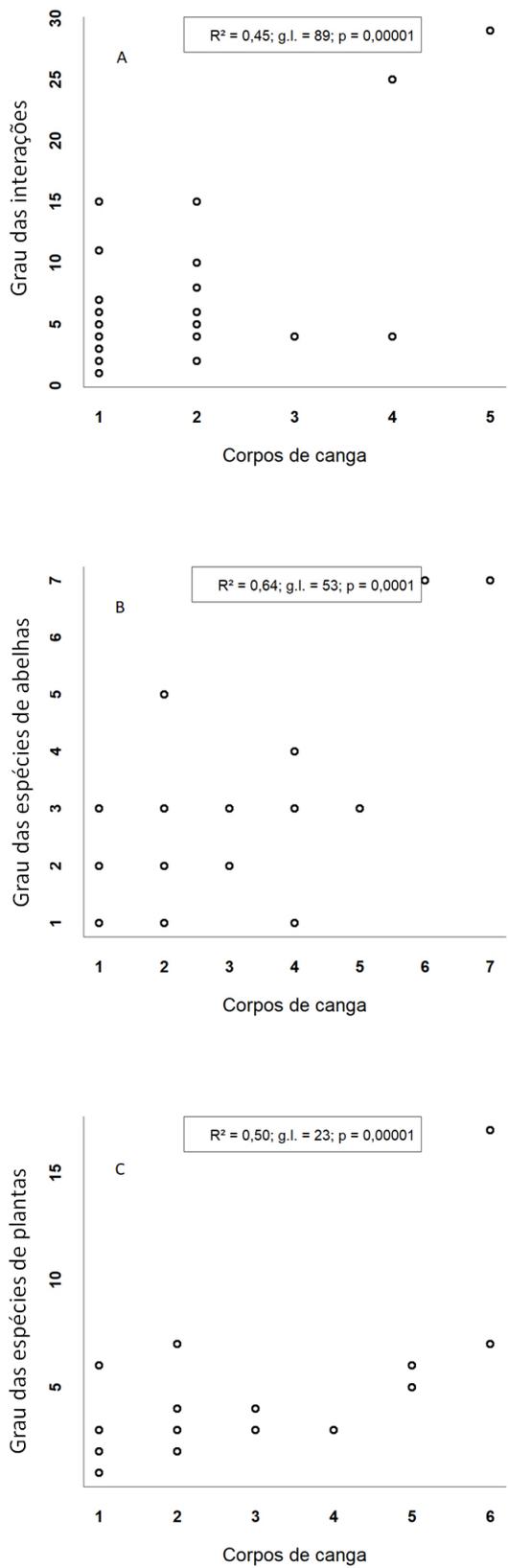
Fonte: do autor

Figura 4 - Compartilhamento de espécies relacionado ao compartilhamento das interações. A) Abelhas; B) Plantas. O compartilhamento das espécies de abelhas e plantas explica o compartilhamento das interações.



Fonte: do autor

Figura 5 - Correlação entre grau e a ocorrência nas áreas de estudo. Quanto maior o grau, maior a probabilidade de ocorrência. A) o grau das interações e o número de áreas que foram observadas; B) o grau das abelhas e o número de áreas que cada espécie foi observada; C) o grau das plantas e o número de áreas que cada espécie foi observada.



Fonte: do autor

Os índices mostraram que as redes são especializadas, ou seja, as espécies interagem com poucos parceiros em cada área estudada. Como consequência, as redes foram pouco aninhadas. Alta especialização e baixo aninhamento indicam que as redes nas áreas de canga são pouco resistentes às perturbações (Memmott *et al.* 2004, Schleuning *et al.* 2012). Por exemplo, na rede de N7, os indivíduos da espécie de abelha sem ferrão *Trigona fuscipennis* interagiram apenas com plantas da espécie *Turnera melochioides*, e o inverso é verdadeiro também. Apesar de abelhas sem ferrão serem espécies generalistas, o resultado obtido sugere que *Turnera melochioides* é uma fonte de recursos importante para *Trigona fuscipennis* na área do N7.

Outro caso interessante ocorre na rede do N2, onde o registro de abelhas da espécie *Melipona puncticollis* só foi realizado em flores da planta *Byrsonima spicata* (Figura 6). Plantas da família das Malpighiaceae, da qual o gênero *Byrsonima* faz parte, são polinizadas apenas por espécies de abelhas que são coletoras de óleo floral (Alves dos Santos *et al.* 2007). *M. puncticollis* não é uma espécie coletora de óleo floral, portanto não é um polinizador de *B. spicata*. No entanto, nos meses de novembro e dezembro, época de floração dessa espécie, os indivíduos de *M. puncticollis* foram ativos na coleta de grãos de pólen caídos nas pétalas de suas flores. Nessa época, plantas de poucas espécies estão floridas e *B. spicata* tem uma floração em massa (ver época de florescimento de todas espécies estudadas na Tabela 1). Assim, apesar de *M. puncticollis* não ser polinizador de *B. spicata*, a presença dessa espécie vegetal é de extrema importância para as populações dessa abelha.

Assim, como dito acima, essas duas características encontradas (alta especialização e baixo aninhamento) sugerem que perturbações nas áreas de canga sejam monitoradas e que os projetos de restauração deem especial atenção às plantas que possam recompor as interações com as comunidades de polinizadores.

Figura 6 - *Byrsonima spicata* em outubro na Serra Norte na Floresta Nacional de Carajás



Fonte: Foto de Tereza Cristina Giannini

Espécies que ocupam um papel central nas redes de interação

A comparação dos índices de centralidade das espécies de plantas e abelhas que compõem as redes estudadas demonstra uma grande variação entre as espécies centrais em cada rede, independente do índice (Tabelas 4 e 5). Nas redes da Serra Sul, entre as espécies de planta destacam-se: *Byrsonima spicata*, *Dioclea apurensis*, *Chamaecrista devalxii*, *Anemopaegma carajasensis*, *Cuphea carajasensis* e *Banisteriopsis anulata*. Nas redes da Serra Norte, entre as espécies de plantas destacam-se: *Byrsonima spicata*, *Lippia origonides*, *Mimosa acutistipula*, *Pleroma carajasensis* e *Cuphea carajasensis*. Na Serra da Bocaina as espécies de plantas que se destacam entre as mais centrais são: *Cuphea carajasensis* e *Crotalaria maipurensis*. No entanto, todas as plantas estudadas merecem destaque, já que todas foram ativamente visitadas por polinizadores nas áreas de estudo.

Tabela 4 - Espécies de plantas com maiores índices de centralidade nas 9 áreas estudadas na Floresta Nacional de Carajás e no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos. Os índices variam de zero a um e descrevem: o número de interações que cada espécie realiza, G=Grau; número de menores caminhos de uma espécie para quaisquer outras espécies na rede B= Betweenness; o quão próximo uma espécie está de todas as outras na rede C=Closeness.

Local	Espécie	G	Espécie	B	Espécie	C
S11A	<i>Byrsonima spicata</i>	0.44	<i>Banisteriopsis anulata</i>	1	<i>Banisteriopsis anulata</i>	0.5

Local	Espécie	G	Espécie	B	Espécie	C
	<i>Mitracarpus carajasensis</i>	0.16			<i>Dioclea apurensis</i>	0.3
	<i>Banisteriopsis anulata</i>	0.16			<i>Serjania caracasana</i>	0.3
S11B	<i>Chamaecrista devalxii</i>	0.4	<i>Anemopaegma carajasensis</i>	0.375	<i>Anemopaegma carajasensis</i>	0.37
	<i>Byrsonima spicata</i>	0.21	<i>Cuphea carajasensis</i>	0.375	<i>Cuphea carajasensis</i>	0.37
					<i>Chamaecrista devalxii</i>	0.25
S11C	<i>Dioclea apurensis</i>	0.33	-	-	-	-
	<i>Riencourtia pendunculosa</i>	0.33				
N1	<i>Lippia orionides</i>	0.28	-	-	-	-
	<i>Mimosa acutistipula</i>	0.28				
N2	<i>Byrsonima spicata</i>	0.46	-	-	<i>Byrsonima spicata</i>	0.5
	<i>Lepidaploa arenaria</i>	0.23			<i>Lepidaploa_arenaria</i>	0.5
	<i>Dioclea apurensis</i>	0.15				
N6	<i>Byrsonima spicata</i>	0.54	-	-	<i>Croton sp</i>	0.5
	<i>Dioclea apurensis</i>	0.27			<i>Cuphea carajasensis</i>	0.5
N7	<i>Stigmaphyllon</i>	0.4	-	-	-	-
N8	<i>Cuphea carajasensis</i>	0.3	-	-	Todas as plantas	0.16
	<i>Mimosa acutistipula</i>	0.2				
	<i>Ipomoea marabaensis</i>	0.2				
	<i>Periandra mediterranea</i>	0.2				
Bocaina	<i>Crotalaria maipurensis</i>	0.58	<i>Crotalaria maipurensis</i>	1	<i>Crotalaria maipurensis</i>	0.23
	<i>Melochia splendens</i>	0.25			<i>Cuphea carajasensis</i>	0.2
	<i>Byrsonima spicata</i>	0.25			<i>Melochia splendens</i>	0.2
					<i>Turnera coerulea</i>	0.2

Fonte: do autor

Tabela 5 - Espécies de abelhas com maiores índices de centralidade nas 9 áreas estudadas na Floresta Nacional de Carajás e no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos. Os índices variam de zero a um e descrevem: o número de interações que cada espécie realiza, G=Grau; número de menores caminhos de uma espécie para quaisquer outras espécies na rede B= Betweenness; o quão próximo uma espécie está de todas as outras na rede C=Closeness.

Local	Espécie	G	Espécie	B	Espécie	C
S11A	<i>Apis mellifera</i>	0.25	<i>Apis mellifera</i>	1	<i>Centris nitens</i>	0.09
	<i>Centris sp.</i>	0.25			<i>Ceratina sp.2</i>	0.09
					<i>Epicharis analis</i>	0.09
					<i>Melipona punctiolis</i>	0.09
					<i>Paratetrapedia flavifrons</i>	0.09
					<i>Paratetrapedia conexa</i>	0.09
					<i>Trigona pallens</i>	0.09
S11B	<i>Trigona recursa</i>	0.3	<i>Eulaema cingulata</i>	0.44	<i>Eulaema cingulata</i>	0.12
S11C	Todas as abelhas	0.2			<i>Xylocopa grisecens</i>	0.16
					<i>Xylocopa frontalis</i>	0.16
					<i>Melipona seminigra</i>	0.16

Local	Espécie	G	Espécie	B	Espécie	C
					<i>Centris</i> sp.	0.16
N1	Todas as abelhas	0.2			<i>Xylocopa fronalis</i>	0.25
					<i>Eulaema nigrita</i>	0.25
					<i>Scaptotrigona xanthotrica</i>	0.25
					<i>Ptilotrigona lurida</i>	0.25
N2	<i>Trigona guianae</i>	0.33	<i>Trigona guianae</i>	1	<i>Trigona guianae</i>	0.14
N6	<i>Apis mellifera</i>	0.4			<i>Centris ferruginea</i>	0.13
					<i>Centris nitens</i>	0.13
					<i>Cephalotrigona femmorata</i>	0.13
					<i>Epicharis affinis</i>	0.13
					<i>Trigona guianae</i>	0.13
					<i>Trigona pallens</i>	
N7	Todas as abelhas	0.25			<i>Tetragona beebei</i>	0.5
					<i>Tetragona kaieteurensis</i>	0.5
N8	<i>Apis mellifera</i>	0.25			<i>Apis mellifera</i>	0.16
	<i>Bombus brevivillus</i>	0.25			<i>Trigona guianae</i>	0.16
	<i>Trigona dimidiata</i>	0.25			<i>Trigona pallens</i>	0.16
Bocaina	<i>Bombus brevivillus</i>	0.66	<i>Bombus brevivillus</i>	0.79	<i>Apis mellifera</i>	0.1
					<i>Bombus brevivillus</i>	0.1
					<i>Eulaema cingulata</i>	0.1
					<i>Eulaema nigrita</i>	0.1
					<i>Exomalopsis</i> sp.	0.1
					<i>Melipona ininterrupta</i>	0.1
					<i>Xylocopa aurulenta</i>	0.1

Fonte: do autor

As espécies de plantas mais generalistas são importantes para a manutenção da rede de polinização nas cangas e responsáveis por oferecer recursos para a sobrevivência de um número maior de abelhas nativas. Além disso, são responsáveis por manter a estrutura e o funcionamento do sistema de polinização nas áreas (Sazima et al. 2010, Mello et al. 2013, Mello et al. 2015). Essas espécies centrais conectam subgrupos das redes e sua extinção pode levar à fragmentação das comunidades (Jeong et al. 200, Newman et al. 2004). Entre estas, como dito acima, destaca-se a *Byrsonima spicata* como sendo uma espécie notadamente importante para oferecer recurso alimentar para os polinizadores na estação seca.

No que diz respeito às abelhas, houve uma grande variação entre os índices das espécies nas diferentes áreas (Tabela 5), o que dificulta a determinação das espécies mais centrais nas redes de interação estudadas. Porém, alguns grupos de

abelhas merecem destaque pois apresentaram altos índices de centralidade e podem ser manejadas. Por exemplo, espécies de abelhas do gênero *Centris* são importantes coletoras de óleo floral e podem ser manejadas usando blocos com orifício de madeira (Silva et al. 2001, Aguiar & Gaglianone 2003, Gaglianone 2005). Outras espécies que se destacaram nas redes foram as do gênero *Xylocopa*, que podem ser manejadas com armadilhas de bambu (Junqueira et al 2012). Algumas espécies de abelhas sem ferrão também se destacaram entre as mais centrais, especialmente as do gênero *Trigona*. Algumas outras espécies de abelhas sem ferrão, bem como abelhas da espécie *Apis mellífera* - outra espécie que se destacou nas redes - podem ser manejadas em caixas racionais (Nogueira Neto 1997, Venturieri 2008). A introdução de abelhas manejadas em áreas agrícolas já demonstrou o aumento na produção (Garibaldi et al. 2017), mas ainda não existem estudos que reportem o efeito da introdução de população de abelhas em áreas de restauração. Um caso de estudo nesse sentido poderia ser desenvolvido em um próximo passo na pesquisa.

Como dito acima, todas as plantas analisadas aqui merecem destaque em programas de RAD, já que todas apresentaram interações com as abelhas dos diferentes corpos de canga. Assim, um quadro geral foi construído, que inclui outras informações acerca dessas plantas, o que pode auxiliar nos referidos programas (Quadro 1).

Quadro 1 - Espécies de plantas analisadas no presente trabalho e detalhes sobre elas citados em outros trabalhos acerca de plantas prioritárias para RAD em Carajás. [*] indica as plantas que foram centrais em ao menos um índice e em uma das áreas estudadas.

Espécie	Giannini et al. 2017	Zappi et al. in press
<i>Anemopaegma carajasense</i> *	Não consta	Arbusto característico das formações abertas da canga, polinizado por abelhas de médio porte. Produz sementes que podem ser dispersas pelo vento, favorecendo a regeneração espontânea em áreas mineradas. Estudos mostram uma melhor germinação após escarificação e perda rápida de viabilidade após armazenamento.
<i>Banisteriopsis anulata</i> *	Não consta	Não consta
<i>Banisteriopsis tenela</i>	Não consta	Não consta
<i>Borreria verticilata</i>	Não consta	Não consta
<i>Byrsonima spicata</i> *	Arbusto, possível de ser usada como facilitadora, ocorre em várias áreas de canga, ocorre em cangas associadas a florestas, polinizadas por abelhas, dispersão de sementes por animais, uso potencial pela população local, espécie bandeira para o ecossistema de canga.	Não consta
<i>Catsetum discolor</i>	Erva, possível de reproduzir pela semente, espécie anemócórica, ocorre em mais de uma área de canga, polinizada por abelhas, uso potencial pela população local, espécie bandeira	Não consta

Espécie	Giannini et al. 2017	Zappi et al. in press
	para o ecossistema de canga.	
<i>Chamaecrista devalxii</i> *	Não consta	Não consta
<i>Crotalaria maipurensis</i> *	Não consta	Leguminosa fixadora de nitrogênio, amplamente utilizada para a revegetação. Apresenta boa germinação de sementes, crescimento rápido e facilidade de uso por hidro-semeadura. Produz grande número de sementes e possui ciclo de vida curto. Incorpora grande quantidade de biomassa
<i>Croton</i> sp *	Não consta	Espécie arbustiva com ampla distribuição e ocorrência nas cangas de Carajás. Pode ser propagada por sementes. Deve ser testado o seu potencial em diferentes ambientes para a recuperação de áreas degradadas
<i>Cuphea carajasensis</i> *	Subarbusto endêmico, ocorre em mais de uma área de canga, polinizada por abelhas, espécie bandeira para o ecossistema de canga.	Subarbusto endêmico, característico das fisionomias da canga. Produz grande quantidade de sementes viáveis e atrai muitos polinizadores. Sua propagação para fins de recuperação pode contribuir para a conservação da espécie. Requer o desenvolvimento de protocolos de propagação para produção de mudas em larga escala.
<i>Dioclea apurensis</i> *	Liana, possível para ser usada como facilitadora, possível de reproduzir pela semente, ocorre em várias áreas de canga, ocorre em canga e floresta, polinizada por abelhas, espécie bandeira para o ecossistema de canga.	Espécie com ocorrência registrada em áreas abertas, com crescimento rápido e sementes com boa taxa de germinação. Tolerante seca e apresenta nodulação com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico do gênero <i>Rhizobium</i> . Possui grande potencial para revegetar cavas de mina e suas sementes germinam após escarificação.
<i>Erythroxylum nelsonrosae</i>	Não consta	Espécie ameaçada de extinção. Seu uso em projetos de recuperação de áreas degradadas pode contribuir para sua conservação
<i>Ipomoea marabaensis</i> *	Liana, possível para ser usada como facilitadora, dispersão anemocórica, endêmica de Carajás#, ocorre em mais de uma canga, polinizada por abelhas, uso potencial pela população local, espécie bandeira para o ecossistema de canga.	Trepadeira robusta com floração abundante, é uma fonte de néctar para a manutenção de populações de abelhas no local. Espécie que requer propagação vegetativa, pois possui baixo número de sementes com pouca viabilidade, pode ser utilizada em cava de mina e outros ambientes abertos.
<i>Ipomoea maurandioides</i>	Rastejante, possível para ser usada como facilitadora, dispersão anemocórica, endêmica de Carajás#, ocorre em mais de uma canga, polinizada por abelhas, espécie bandeira para o ecossistema de canga.	Fonte de néctar para a manutenção de populações de abelhas, trata-se de espécie que requer propagação vegetativa devido à pequena quantidade de sementes com baixa visibilidade. Por ser trepadeira pode ser utilizada em cava de mina e outros ambientes abertos.
<i>Lepidaploa arenaria</i> *	Arbusto, capacidade de reprodução por semente, possível para ser usada como facilitadora, dispersão anemocórica, endêmica de Carajás#, ocorre em mais de uma canga, polinizada por abelhas, espécie bandeira para o ecossistema de canga.	Espécie produtora de grande quantidade de sementes dispersas pelo vento e com flores intensamente visitadas por insetos. Pode ser utilizada na recuperação de diferentes ambientes abertos. As sementes perdem a viabilidade em pouco tempo após armazenamento. Requer semeadura rápida em menos de 10 meses de armazenamento.
<i>Lippia origonoides</i> *	Arbusto, possível para ser usada como facilitadora, ocorre em mais de uma canga, polinizada por abelhas, dispersão zoocórica, uso potencial pela população local, espécie bandeira para o ecossistema de canga.	Não consta
<i>Melochia splendens</i> *	Não consta	Polinizada por abelhas, auxilia na manutenção de redes interativas locais. Sua contribuição para a recuperação da biodiversidade das áreas em fase de recuperação ambiental depende de metodologias para a propagação e reintrodução em campo. Produz grande quantidade de sementes mas requer mais estudos de propagação.
<i>Mimosa acutistipula</i> *	Arbusto ou árvore, possível para ser usada como facilitadora, capacidade de reprodução por	Espécie abundante em áreas abertas, tanto na canga como em áreas revegetadas, muito

Espécie	Giannini et al. 2017	Zappi et al. in press
	semente, endêmica de Carajás [#] , ocorre em mais de uma canga, ocorre em canga e floresta, polinizadas por animais, uso potencial pela população local, espécie bandeira para o ecossistema de canga.	procurada por abelhas, seu plantio auxilia na manutenção de redes de interação locais. Espécie hiperacumuladora de metais, tolerante à seca, com alta produção de sementes viáveis. Com potencial de fixação biológica de nitrogênio atmosférico, pode ser utilizada em ambientes impactados.
<i>Mitracarpus carajasensis</i> *	Herbácea, endêmica de Carajás [#] , rara ou ameaçada, ocorre em mais de uma canga, polinizadas por animais, espécie bandeira para o ecossistema de canga.	Não consta
<i>Peixotoa reticulata</i>	Não consta	Não consta
<i>Periandra mediterrânea</i> *	Arbusto, possível para ser usada como facilitadora, ocorre em mais de uma canga, polinizada por abelhas, uso potencial pela população local, espécie bandeira para o ecossistema de canga.	Leguminosa arbustiva com potencial para fixação de nitrogênio atmosférico e produção de sementes com boa germinação. Pode ser reintroduzida em todos os ambientes minerados.
<i>Riencourtia pedunculosa</i> *	Não consta	Não consta
<i>Serjania caracasana</i> *	Não consta	Não consta
<i>Turnera coerulea</i> *	Não consta	Não consta
<i>Turnera melochioides</i>	Não consta	Não consta

[#] A espécie foi considerada endêmica no trabalho citado, mas revisões posteriores indicaram sua presença em outras serras; ou seja, a espécie não é mais considerada endêmica.

Fonte: do autor

5 CONCLUSÃO

Nenhum índice de estrutura das redes variou entre os corpos de canga, indicando que não há relação entre o tamanho das áreas e nem seu isolamento. As redes de interação de cada área são especializadas e aninhadas, indicando que as espécies interagem com poucos parceiros, o que aumenta a dependência entre eles. Isso indica que o serviço de polinização na vegetação de canga é sensível às perturbações, que podem afetar as interações entre abelhas e plantas. É recomendada uma atenção especial para as plantas generalistas nos projetos de RAD, pois estas sustentam muitos dos visitantes florais em cada área. Em especial, as plantas centrais e que florescem por longo período e/ou em época seca devem ser priorizadas, pois são importantes para a manutenção das populações de abelhas na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, C. M. L., GAGLIANONE, M. C. Nesting biology of *Centris (Centris) aenea* Lepeletier (Hymenoptera, Apidae, Centridini). **Revista brasileira de Zoologia**, v 20, p 601-606, 2003.

- AIZEN M., SABATINO M., TYLIANAKIS, J. M. Specialization and Rarity Predict Nonrandom Loss of Interactions from Mutualist Networks. **Science**, v. 335, p. 1486 – 1489, 2012
- ALMEIDA-NETO, M. et al. Vertebrate dispersal syndromes along the Atlantic forest: broad-scale patterns and macroecological correlates. **Glob. Ecol. Biol.**, v. 17, p. 503–513, 2008.
- ALVES DOS SANTOS, I.; MACHADO, I. C.; GAGLIANONE, M. C. História Natural das abelhas coletoras de óleo. **Oecologia Brasiliensis**, v 11, p 544-557, 2007
- BASCOMPTE, J., JORDANO, P. Plant-animal mutualistic networks the architecture of biodiversity. **Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, v. 38, p. 567–593, 2007.
- BASCOMPTE, J., JORDANO, P., MELIÁN, C.J., OLESEN, J.M. The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. **PNAS**, v. 100, p. 9383–9387, 2003.
- BLÜTHGEN, N.; MENZEL, F.; BLÜTHGEN, N. Measuring specialization in species interaction networks. **BMC Ecol.** v 6, p 9, 2006.
- BUTTS, C.T. Social Network Analysis with sna. **Journal of Statistical Software**, v. 24, p. 1-51, 2008.
- CLEWELL, A.F., ARONSON, J. **Ecological restoration: principles, values and structure of an emerging profession**, Second edition. Island Press, Washington, D.C. 2013
- COSTANZA, R., et al. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v 26: p. 152-158. 2014
- de NOOY, W., MRVAR, A., BATAGELJ, V. Exploratory Social Network Analysis with Pajek. Cambridge University Press, New York, 2005.
- DÍAZ, S., et al. Functional traits, the phylogeny of function, and ecosystem service vulnerability. **Ecol. Evol.** v. 3, p. 2958–2975, 2013.
- DORMANN, C.F.; GRUBER, B.; FRÜND, J. **The Bipartite Package Version, 0.73**. R Project for Statistical Computing, Leipzig. 146 p. 2008.
- ESTRADA, E., BODIN, Ö. Using network centrality measures to manage landscape connectivity. A short path for assessing habitat patch importance. **Ecol. Appl**, v. 18, p. 1810–1825, 2008.
- FREEMAN, L.C. Centrality in social networks, conceptual clarification. **Soc. Networks**, v. 1, p. 215–239. 1979
- GAGLIANONE, M.C. Nesting biology, seasonality, and flower hosts of *Epicharis nigrita* (Fries, 1910) (Hymenoptera, Apidae, Centridini), with a comparative analysis for the genus. **Studies on neotropical fauna and environment**, v. 40, p. 191 – 200, 2005
- GARIBALDI, L.A., REQUIER, F., ROLLIN, O., ANDERSSON, G.K. Towards an integrated species and habitat management of crop pollination. *Current Opinion in Insect Science* v. 21, p. 105-114, 2017.
- GIANNINI, T. C. et al. Selecting plant species for practical restoration of degraded lands using a multiple-trait approach. **Austral Ecology**, v 42, p. 510–521, 2017.
- GOLDSTEIN, P.Z. Functional ecosystems and biodiversity buzzwords. **Conservation Biology** v. 13, p.247–255, 1999.

- HOOPER, D. U. et al. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. **Ecological Monographs** v. 75, p.3–35, 2005
- JAX, K. Function and “functioning” in ecology: what does it mean? **Oikos** v. 111, p. 641–648, 2005.
- JEONG, H., et al. The large-scale organization of metabolic networks. **Nature**, v. 407, p. 651-654, 2000.
- JORDÁN, F., LIU, W., DAVIS, A.D., Topological keystone species: measures of positional importance in food webs. **Oikos**, v. 112, p. 535–546, 2006
- JORDANO, P.; BASCOMPTE, J.; OLESEN, J. M. Invariant properties in coevolutionary networks of plant-animal interactions. **Ecology Letters**, v. 6, p. 69–81, 2003.
- JUNQUEIRA, C. N.; HOGENDOORN, K.; AUGUSTO, S. C. The use of trap nests to manage carpenter bees (HYMENOPTERA: Apidae: Xylocopini), pollinators of passion fruit Passifloraceae (*Passiflora edulis f. flavicarpa*). **Annals of the Entomological Society of America**, 105, 884-889. 2012.
- KAISER-BUNBURY, C.N., et al. Ecosystem restoration strengthens pollination network resilience and function. **Nature**, v. 542, p. 223–27, 2017.
- KOLASA, J., Complexity, system integration, and susceptibility to change: biodiversity connection. **Ecol. Complex.**, v. 2, p. 431–442, 2005
- LAMONT, B. B. Testing the effect of ecosystem composition structure on its functioning. **Oikos** 74:283–295. 1995
- MARTÍN GONZÁLEZ, A.M., DALSGAARD, B., OLESEN, J. Centrality measures and the importance of generalist species in pollination networks. **Ecol Complex**, v. 7, p. 36–43, 2010.
- MCCANN, K. Protecting biostructure. **Nature** v. 446, p. 29, 2007.
- MELLO, M.A.R., BEZERRA, E.L.S., MACHADO, I.C. Functional roles of Centridini oil bees and Malpighiaceae oil flowers in Biome-wide pollinations networks. **Biotropica**, v. 45, p. 45 – 53, 2013
- MELLO, M.A.R., et al. Keystone species in seed dispersal networks are mainly determined by dietary specialization. **OIKOS**, v. 124, p. 1031–1039, 2015.
- MEMMOTT, J.; WASER, N. M.; PRICE, M. V. Tolerance of pollination networks to species extinctions. **Proc. R. Soc. Lond. B**, v. 271, p. 2605–2611, 2004.
- NAMBA, T., TANABE, K., MAEDA, N., Omnivory and stability of food webs. **Ecol. Complex.**, v. 3, p. 73–85, 2008.
- NEWMAN, M. J. E. The structure and function of complex networks. **SIAM**, v. 45, p.167–256, 2003.
- NOGUEIRA-NETO, P. **Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão**. São Paulo: Tecnapis, 1997.
- OLLERTON, J., WINFREE, R., TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals? **Oikos**, v. 120, p. 321–326. 2011
- PALMER, M.A., AMBROSE, R.F., POFF, N.L. Ecological theory and community restoration ecology. **Restor. Ecol.**, 5, 291–300. 1997

R Development Core Team. **R: a Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0. <http://www.R-project.org>. 2008.

RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil – Aspectos sociológicos e florísticos. Vol. II.** São Paulo, Hucitec & Edusp, 1979.

SAZIMA, C., GUIMARAES, P.R., REIS, S.F., SAZIMA, I. What makes a species central in a cleaning mutualism network? **Oikos**, v. 119, p. 1319-1325, 2010

SCHLEUNING, M., FRÜND, J., GARCÍA, D. Predicting ecosystem functions from biodiversity and mutualistic networks: an extension of trait-based concepts to plant–animal interactions. **Ecography** v. 38, p. 380–392, 2015.

SCHLEUNING, M. et al. Specialization of mutualistic interaction networks decreases toward tropical latitudes. **Current Biology** 22: 1925 – 1931, 2012.

SILVA, F.O., VIANA, B. F., NEVES, E. L. Biologia e arquitetura de ninhos de *Centris (Hemisiella) tarsata* Smith (Hymenoptera: Apidae: Centridini). **Neotropical Entomology**, v 30, p 541-545, 2001.

SOUZA-FILHO, P.WM., et al. Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. **J. Environ. Manage.**, v.167, p. 175–84, 2016.

STROGATZ, S.H. Exploring complex networks. **Nature**, v. 410, p. 268–276. 2001

VENTURIERI G. C. **Criação de Abelhas Indígenas Sem Ferrão.** 2nd ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008.

VIANA, P.L., et al. Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: história, área de estudos e metodologia. **Rodriguesia** 67, 2016. doi: 10.1590/2175-7860201667557.

WASSERMAN, S., FAUST, K. **Social Network Analysis: Methods and Applications.** Cambridge University Press, New York, 1994.

ZAPPI, D. C. et al. **Plantas nativas para recuperação de áreas de mineração em Carajás.** Belém: ITVDS. (in press)