

**Universidade de São Paulo
Campus Butantã
Instituto de Matemática e Estatística**

**UM TESTE DO ALGORITMO DE MODULARIDADE LOUVAIN
COMO UMA FERRAMENTA PARA DETECTAR ESPÉCIES-CHAVE
EM REDES DE INTERAÇÕES MULTICAMADA**

Aluno: Henrique Suzuki Requejo
Orientador: Prof. Dr. Marco A. R. Mello
Curso: Matemática Aplicada e Computacional
Habilitação: Ciências Biológicas

São Paulo, 2021

Um teste do algoritmo de modularidade Louvain como uma ferramenta para detectar espécies-chave em redes de interações multicamada

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
à Universidade de São Paulo, como requisito
necessário para obtenção do grau de Bacharel
em Matemática Aplicada e Computacional

São Paulo, 2021

Conteúdo

1 Resumo	1
2 Modularidade de Newman e Girvan	2
3 Método Louvain para otimização de modularidade	4
4 Modularidade multicamada	7
5 Parâmetros de acoplamento (ω) e resolução (γ) na prática	8
6 Variável G e G_{norm}	14
6.1 Variável G	14
6.2 Variável G_{norm}	15
7 Visão geral da rede Morcego-Planta	17
8 Resultados da rede Morcego-Planta	18
8.1 Distribuição de G_{norm}	18
8.2 Variação de \bar{G} por ω	19
8.3 Seleção das espécies com maior G_{norm}	23
9 Visão geral da rede Formiga-Planta	24
10 Resultados da rede Formiga-Planta	25
10.1 Distribuição de G_{norm}	25
10.2 Variação de \bar{G} por ω	26
10.3 Seleção das espécies com maior G_{norm}	30
11 Distribuição de G_{norm} para redes aleatórias	31
12 Comparação entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para a rede agregada	35
12.1 Comparação entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para a rede Morcego-Planta	36
12.2 Comparação G_{norm} e outras métricas de centralidade para a rede Formiga-Planta	41
12.3 Comparação entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para as redes aleatórias	45

13 Discussão	48
14 Referências	51
15 Anexo I - Tabela de referência entre códigos e nomes científicos das espécies da rede Morcego-Planta	54
16 Anexo II - Tabela de referência entre códigos e nomes científicos das espécies da rede Formiga-Planta	68

1 Resumo

Análises de modularidade e centralidade oriundas da ciência de redes têm sido usadas na Ecologia para operacionalizar conceitos como guilda, grupo funcional e papel funcional. Contudo, essas análises têm sido feitas apenas para redes monocamada, ou seja, que contém só um tipo de interação e, portanto, apenas uma classe de arestas. No caso do algoritmo de modularidade Louvain, uma das grandes diferenças entre a tradicional versão monocamada e a versão multicamada é a constante de acoplamento. Essa constante, implementada no algoritmo multicamada, torna possível que um mesmo nó pertença a dois módulos diferentes em camadas diferentes. Neste projeto, queremos identificar os nós que resistem ao aumento dessa força de acoplamento entre camadas, permanecendo em mais de um módulo em diferentes camadas ao aumentarmos essa força. Em redes de interações ecológicas, esses nós resistentes devem representar espécies que desempenham papéis funcionais importantes. Por exemplo, animais que são importantes tanto para a polinização, quanto para a dispersão de sementes de duas ou mais famílias de plantas. Para classificar as espécies com relação à sua importância, compararamos curvas da variação no número de módulos aos quais cada nó pertence em função da variação na constante de acoplamento e do parâmetro de resolução. Assim, selecionamos os nós que apresentam menor decaimento de módulos, ou seja, que permanecem em mais de um módulo mesmo que seja alta a força de acoplamento entre camadas, considerando diferentes cenários de resolução. Criamos uma nova métrica de centralidade chamada de G_{norm} para quantificar essa relação entre quantidade de módulos e força de acoplamento entre camadas. Para testar essa nova métrica, analisamos redes de interações multicamada baseadas em dados de campo: uma entre morcegos e plantas e outra entre formigas e plantas. Os nós com alto G_{norm} possuem uma boa intersecção com os nós mais centrais da rede, porém o seu ranking de importância diferiu. Alguns nós que não possuíam altos valores de centralidade monocamada apresentaram altos valores de G_{norm} , mostrando que pode haver ganho de informação na abordagem multicamada em comparação à monocamada. Isso pode ajudar a encontrar espécies que sejam mais importantes do que outras para manter funções e serviços ecossistêmicos vitais em sistemas naturais.

2 Modularidade de Newman e Girvan

A ciência de redes tem sido usada para investigar sistemas ecológicos desde o século XIX (Ings & Hawes, 2018). Dentre vários avanços, essa abordagem nos permitiu entender melhor como diferentes espécies afetam umas às outras por meio de interações diretas e indiretas (Guimarães et al., 2017). Esse entendimento levou a importantes *insights* sobre a estrutura, função e dinâmica de redes de interações (Pilosof et al., 2017).

Uma forma de obtermos estes *insights* é olharmos para a estrutura modular da rede, que pode revelar alguns padrões escondidos em meio ao emaranhado de nós e conexões. Estes módulos são compostos por nós mais conectados entre si do que com outros nós de fora do módulo. A capacidade de encontrar e analisar esses módulos pode ser muito útil para entendermos mais a fundo a estrutura e a dinâmica das redes complexas (Newman & Girvan, 2004), incluindo as redes de interações.

É relativamente fácil identificar módulos em redes pequenas e pouco conectadas, como a grande maioria das redes de interações estudadas até o momento (Dormann et al., 2017). Porém, essa tarefa se torna muito difícil quando analisamos redes mais complexas, com milhares, ou até mesmo milhões, de nós distribuídos em várias camadas. Então como podemos identificar módulos nessas redes maiores e mais complexas? Existem muitas formas, como por exemplo métodos aglomerativos, divisivos, baseados em cliques e de otimização da modularidade. Aqui focamos na otimização da modularidade.

Para otimizarmos a modularidade, precisamos de uma métrica que indique se uma dada divisão da rede em módulos é melhor do que outra, para então buscarmos qual seria a melhor divisão de módulos possível. Uma métrica para medir a qualidade da modularidade de redes foi definida pela primeira vez por Newman e Girvan (Newman & Girvan, 2004) como:

$$Q = \sum_{i=1}^k (e_{ii} - a_i^2) \quad (1)$$

Onde e_{ii} representa a fração das conexões observadas dentro do módulo i em relação ao total de conexões dentro da rede e a_i^2 representa a quantidade esperada de conexões no módulo i .

Essa equação tem servido de base para a maioria das métricas de modularidade desenvolvidas neste então (Fortunato & Hric, 2016). Para determinarmos a proporção de conexões dentro dos módulos, suponha que tenhamos uma possível divisão de módulos dentro da rede representada pela matriz de adjacência A_{ij} . Sendo C_i o módulo que o nó i está contido,

então a fração de conexões que conectam os vértices que estão dentro de um mesmo módulo é:

$$\frac{\sum_{ij} A_{ij} \delta(c_i, c_j)}{\sum_{ij} A_{ij}} = \frac{1}{2m} \sum_{ij} A_{ij} \delta(c_i, c_j) \quad (2)$$

Onde δ é o delta de Kronecker, que retorna o valor 1 caso $c_i = c_j$ e zero caso contrário; a variável m representa o número total de conexões da rede.

Falta agora definirmos uma forma de medir a quantidade esperada de nós dentro do módulo. Se conectarmos os vértices de forma aleatória, preservando os graus de cada nó, representados pela variável k , temos que a probabilidade de existir uma conexão entre os nós i e j é $k_i k_j / 2m$. Dessa forma, temos que a modularidade descrita acima pode ser rescrita de uma forma mais operacional (Blondel et al., 2008) como:

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{ij} (A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m}) \delta(c_i, c_j) \quad (3)$$

Os valores da modularidade descrita acima variam entre 0 (zero) e 1 (um).

3 Método Louvain para otimização de modularidade

Se dividirmos a rede em módulos e o valor de modularidade definido por Newman e Girvan for alto, temos que a divisão de módulos escolhida é boa. Dessa forma, basta dividirmos a rede em diferentes módulos visando maximizar o valor da modularidade Newman-Girvan. Porém, esta não é uma tarefa fácil, já que a otimização de modularidade é um problema NP-difícil (Brandes et al., 2008). Um problema NP-difícil (Non Deterministic Polynomial Time) é um problema que leva um tempo exponencial para ser resolvido, por exemplo $O(2^N)$. Um problema NP demora muito para serem computados, se pegarmos o caso que a complexidade seja exponencial $O(2^N)$ e N (tamanho da entrada) seja igual a 100, sob essas condições, o programa demoraria um tempo maior do que a idade do universo para ser resolvido. Um problema NP-difícil é um problema que é ao menos tão difícil quanto um problema NP-completo.

Esta dificuldade computacional em dividir redes em módulos significativos motivou a procura por métodos heurísticos para encontrar agrupamentos que apresentem um alto valor de modularidade com uma complexidade razoável. Este é o caso do método Louvain (Blondel et al., 2008), que parece funcionar em um tempo $O(M)$, onde M representa o número total de conexões da rede, ou seja, é resolvido em tempo polinomial, neste caso, linear com relação ao número de nós da rede. Essa complexidade computacional permite que redes de grande escala possam ser analisadas em tempo razoável, além de ser simples e de fácil implementação.

A implementação do algoritmo Louvain consiste em dois passos básicos (Blondel et al., 2008). O primeiro passo agrupa os nós em módulos de forma individual, favorecendo otimizações locais de modularidade. O segundo passo transforma a rede original em uma nova rede simplificada, cujo os novos nós são os módulos do passo anterior. As conexões entre estes novos nós correspondem à soma das conexões entre os módulos e cada nó agora tem um laço (conexão que liga um nó a si mesmo) cujo peso é a soma das conexões dentro do módulo correspondente. Esses dois passos são repetidos até que não exista mais aumento no valor da modularidade. A figura 1 ilustra o algoritmo.

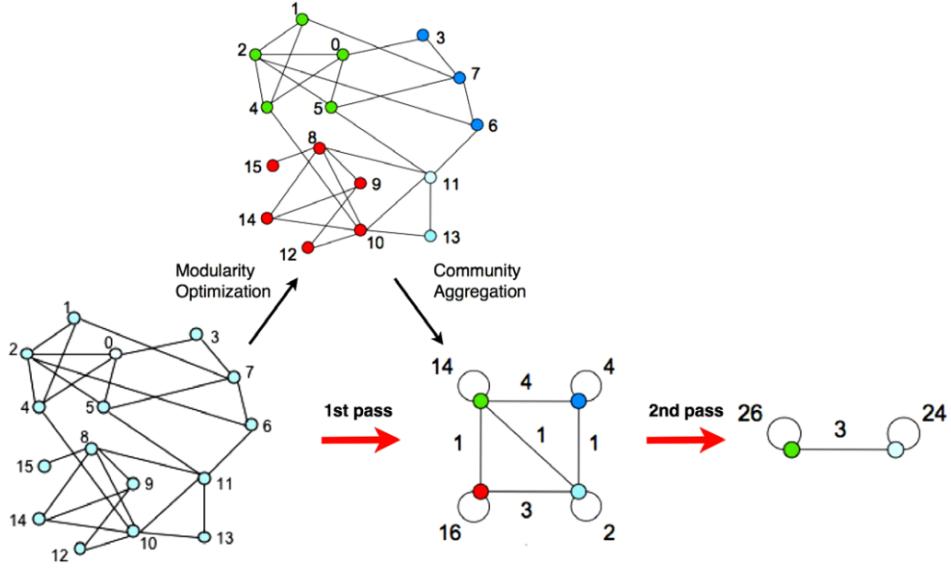


Figura 1: Extraído de Blondel et al. (2008). Visualização dos passos do algoritmo Louvain. Cada passo é feito em duas fases: uma onde a modularidade é otimizada permitindo somente mudanças locais de módulo e uma onde os módulos encontradas são agregadas e uma nova rede de módulos é construída.

Apesar de este ser um algoritmo ganancioso (*greedy*), ele apresenta boa detecção de módulos que possuem sentido quando aplicados em redes reais (Blondel et al., 2008; Meunier, 2009; Zhang et al., 2010) e é mais rápido que outros algoritmos similares, como mostrado na tabela 1 (extraída de Blondel et al. (2008)). Outra vantagem do método é que não precisamos saber previamente o número de módulos em que a rede deve ser dividida.

Tabela 1: Extraído de Blondel et al. (2008). Comparação entre os tempos computacionais dos algoritmos Clauset et al (CNM), Pons e Latapy (PL), Wakita e Tsurumi (WT) e Louvain (LV). Os resultados mostram a modularidade obtida e o tempo computacional para cada rede/método. Células em branco representam tempos computacionais maiores que 24 horas.

	Karate	Arxiv	Internet	Web nd.edu	Telefone	Web uk2005	WebBase 2001
Nós / Conexões	34/77	9k/24k	70k/351k	325k/1M	2.04M/5.4M	39M/783M	118M/1B
CNM	0.38/0s	0.772/3.6s	0.692/799s	0.927/5034s	-	-	-
PL	0.42/0s	0.752/3.3s	0.729/575s	0.895/6666s	-	-	-
WT	0.42/0s	0.761/0.7s	0.667/62s	0.898/248s	0.553/367s	-	-
LV	0.42/0s	0.813/0s	0.781/1s	0.935/3s	0.76/44s	0.935/3s	0.984/152min

Por outro lado, o método Louvain também apresenta limitações (Good et al., 2010). Dentre as mais expressivas estão o limite de resolução, o problema de degeneração e o fato de o algoritmo não ser determinístico. O problema de limite de resolução ocorre pois o algoritmo pode não parar nos módulos “intuitivos” devido a uma segunda passagem pela modificação dos módulos. Já o problema de degeneração ocorre pois podem existir muitas

soluções com valor de modularidade próximos do máximo global, nesses casos é muito difícil encontrar o máximo global e realmente afirmar se ele possui significância científica maior do que a dos máximos locais com valores de modularidade similares.

Uma característica interessante do método é que não é possível, pela própria natureza do algoritmo, que um mesmo nó esteja presente em diferentes módulos. Essa sobreposição de módulos é chamada dentro da área de modularidade de redes de *overlapping communities*. Porém, ao adaptarmos a forma de calcular a modularidade para multicamada (Mucha et al., 2010), existe a possibilidade de que um mesmo nó pertença a diferentes módulos em diferentes camadas ao ajustarmos um parâmetro de entrada. Esta diferença é interessante e será usada para tentar encontrar espécies-chave que são boas conectoras entre grupos diferentes em camadas diferentes.

4 Modularidade multicamada

Apesar do amplo estudo de redes para compreensão de sistemas e tomada de decisão, redes do mundo real são normalmente estudadas de forma desconexa de outras redes ou então agregando-se várias redes em uma única rede (Pilosof et al., 2017). Uma maneira de aumentarmos as informações usadas no estudo de redes é usar redes multicamada. Quando usadas para representar sistemas ecológicos, as redes multicamada podem ter suas camadas definidas através de interações de diferentes tipos, ou que acontecem em diferentes localidades ou estações do ano, por exemplo (Pilosof et al., 2017).

No presente estudo, focamos redes multicamada onde as camadas são definidas pelo tipo de interação, ou seja, onde todos os nós estão presentes em todas as camadas e apenas o tipo de conexão (interações) entre os nós é que muda entre camadas. Assim, nesse tipo de rede há duas classes maiores de arestas: intracamada, que conectam nós dentro de uma camada, e intercamada, que conectam um mesmo nó entre duas camadas. Este tipo de rede é chamada de *multiplex* (Mucha et al., 2010), que é uma subdivisão da grande categoria definida como redes multicamada.

Redes multiplex também podem ter sua modularidade analisada pelo método Louvain (Mucha et al., 2010). Essa adaptação consiste basicamente na mudança da forma como a função da modularidade é calculada, incluindo um parâmetro ω que controla o acoplamento entre as diferentes camadas da rede. Há também o parâmetro de resolução γ , que pode enviesar a tendência do algoritmo em encontrar módulos de escalas menores ou maiores. A generalização da equação de modularidade (Mucha et al., 2010) é dada por:

$$Q^M = \frac{1}{\mu} \sum_{ij\alpha\beta} \left[\left(A_{i\alpha,j\alpha} - \gamma_\alpha \frac{k_{i\alpha}k_{j\alpha}}{2m_\alpha} \right) \delta_{\alpha,\beta} + \omega A_{i\alpha,j\beta} \delta_{ij} \right] \delta(c_{i\alpha}, c_{j\beta}) \quad (4)$$

Onde δ é o delta de kronecker, que retorna o valor 1 caso $c_{i\alpha} = c_{j\beta}$ e zero caso contrário; a variável m representa a soma do grau de cada nó na camada α ; $A_{i\alpha,j\alpha}$ é a matriz de adjacência na camada α ; $A_{i\alpha,j\beta}$ é a matriz de adjacência entre camadas; $k_{i\alpha}$ representa o grau do nó i na camada α e $\mu = \sum_{i,j,\alpha} A_{i\alpha,j\alpha} + \omega \sum_{i,\alpha,\beta} A_{i\alpha,j\beta}$. Note que se utilizarmos $\omega = 0$ e $\gamma = 1$, a equação de modularidade generalizada (eq. 4) é proporcional à média da modularidade monocamada (Newman, 2004; Newman & Girvan, 2004) de cada camada. Isto também está descrito em Bianconi (2018), pg. 147-148:

$$Q^M = \frac{1}{\mu} \sum_{\alpha} \frac{1}{2m_\alpha} \sum_{ij} \left(A_{i\alpha,j\alpha} - \gamma_\alpha \frac{k_{i\alpha}k_{j\alpha}}{2m_\alpha} \right) \delta(c_{i\alpha}, c_{j\alpha}) \quad (5)$$

5 Parâmetros de acoplamento (ω) e resolução (γ) na prática

Como a escolha dos parâmetros de resolução e acoplamento é arbitrária, surgem as perguntas: qual seria o melhor valor para aplicar em uma dada rede? Existe apenas um único valor adequado ou o valor a ser escolhido depende da pergunta que se pretende responder? Quais são os efeitos na prática quando variamos γ e ω ? Com o objetivo de responder essas perguntas e auxiliar outros cientistas na escolha dos valores de γ e ω , analisamos essas questões em detalhes.

O parâmetro ω está contido no intervalo (0,1). Zero (0) representa o desacoplamento total das camadas (cada camada é tratada como uma rede independente) e a modularidade final é a média da modularidade de cada camada. Um (1) representa o acoplamento máximo, que faz com que a rede multiplex se comporte como uma rede monocamada. Na prática, isso significa que, quando aumentamos os valores da constante de acoplamento ω , aumentamos o peso das arestas intercamada (Mucha et al., 2010). Isso faz com que as camadas tenham maior influência umas sobre as outras, favorecendo a formação de módulos multicamada. Quando diminuímos ω , o contrário ocorre, o que favorece a formação de módulos monocamada.

O parâmetro de resolução foi introduzido por Reichardt & Bornholdt (2006) para avaliar redes monocamada e depois estendido para a modularidade generalizada multicamada (Mucha et al., 2010). De uma forma geral, se $\gamma_2 > \gamma_1$, os módulos encontrados com γ_2 possuem menos nós (módulos menores) e são mais numerosos (maior quantidade de módulos). Os módulos encontrados com γ_2 podem ser submódulos dos obtidos usando γ_1 , mas nem sempre é o caso (Reichardt & Bornholdt, 2006). Lembrando que $0 \leq \gamma \leq \infty$. Porém, não faz sentido aumentarmos γ para valores muito altos, já que existe um limite a partir do qual os módulos se tornam tão pequenos que cada módulo passa a ter como integrante apenas um nó.

Vamos usar uma rede multiplex clássica na literatura, Famílias de Florença (Kent, 1978), para ilustrar graficamente o que ocorre quando variamos os parâmetros ω e γ . Essa rede foi escolhida por ser pequena, o que facilita sua visualização. A figura 2 mostra a distribuição dos módulos sobre as duas camadas da rede para diferentes valores de ω e γ .

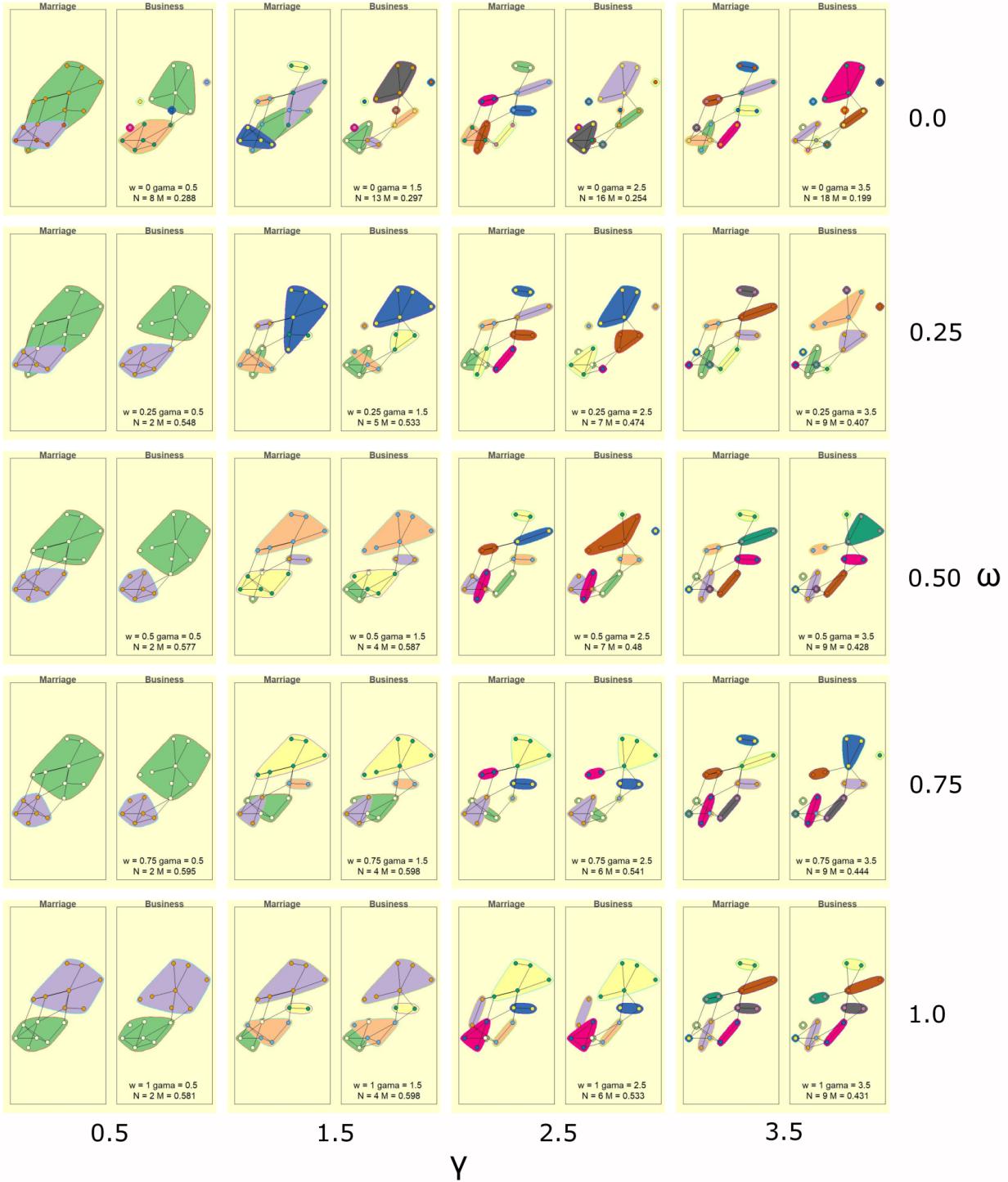


Figura 2: Módulos formados usando diferentes valores de acoplamento ω e resolução γ . Valores de ω variam no eixo y e valores de γ variam no eixo x.

Quanto maiores os valores de γ e menores os valores de ω , menores e mais numerosos são os módulos e vice-versa. A figura 3 mostra o número de módulos para a rede Famílias

de Florença, onde podemos ver que ocorre o previsto na teoria.

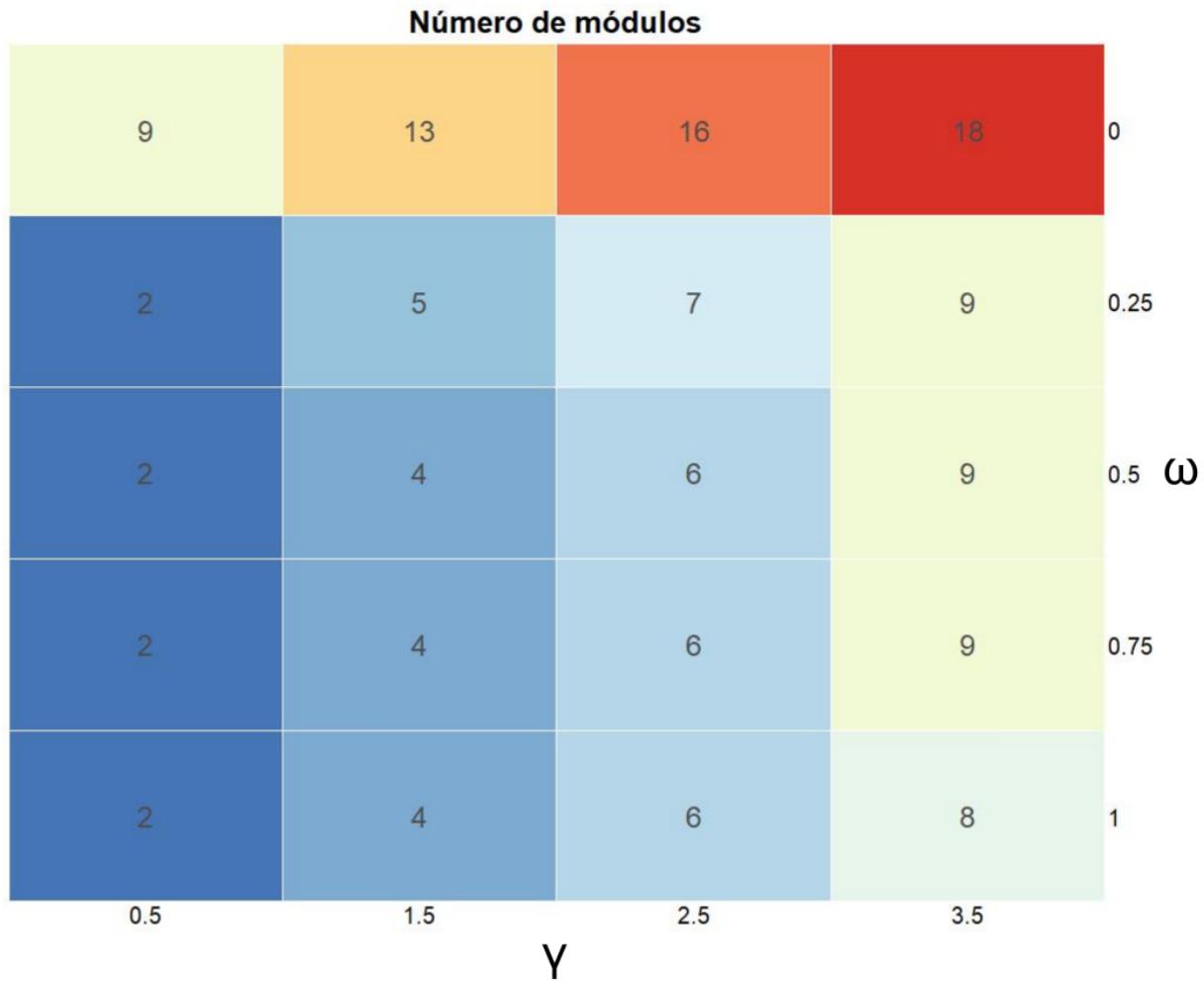


Figura 3: Número de módulos totais da rede para diferentes valores de acoplamento ω e resolução γ . Valores de ω variam no eixo y e valores de γ variam no eixo x.

Mas, afinal, quais valores deveriam ser escolhidos para esses dois parâmetros? A resposta mais correta é: depende. Depende de qual propriedade da rede queremos enfocar e qual pergunta queremos responder com esse enfoque. Por exemplo, se quisermos verificar quais são os “grandes módulos” da rede, devemos usar um valor de γ mais baixo, mas se quisermos olhar para os módulos menores (mais “íntimos”) ou submódulos dos “grandes módulos” obtidos com um γ mais baixo, um γ maior seria mais indicado.

Se quisermos que as conexões de uma camada influenciem mais a outra camada, devemos usar um ω mais alto, caso contrário, melhor seria usar um ω mais baixo. Vamos usar agora como exemplo uma rede de interações entre morcegos e plantas (“rede Morcego-Planta”, Mello et al. (2019)), onde existem duas camadas: uma de nectarivoria (consumo de néctar) e outra de frugivoria (consumo de frutos).

Se quisermos encontrar módulos onde existam morcegos com dietas mais similares entre si, um ω mais alto é recomendado, pois a frugivoria e a nectarivoria ficam com alta influência uma sobre a outra no cálculo dos módulos. Já se quisermos separar os morcegos com uma preferência maior por flores, por frutos ou que tenham uma dieta equilibrada, podemos usar um ω menor. Assim, aumenta a tendência de os módulos se formarem pesando mais as interações dentro de cada camada da rede. Isso faz com que os morcegos estejam em grupos que priorizam mais a nectarivoria ou a frugivoria ou até mesmo que possuem interações equilibradas entre camadas (estão em dois grupos em camadas diferentes).

Estudando a formação desses módulos de morcegos com diferentes dietas, podemos jogar luz sobre vários fenômenos ecológicos e evolutivos. Por exemplo, podemos dar mais um passo no entendimento sobre como a morfologia funcional do crânio de um morcego afeta a sua dieta (Rossoni et al., 2017) e, consequentemente, o papel funcional que ele desempenha em seu habitat (Mello et al., 2014). Até o momento, tem-se estudado papéis funcionais quase exclusivamente no contexto de um único tipo de interação (García-Callejas et al., 2017). Contudo, na natureza, observamos que as espécies de animais vivem entre mundos, alternando entre interações mutualistas e antagonistas em cada um deles. E a definição desses mundos em si depende muito da escala espaço-temporal estudada.

Outra rede do mundo real que usaremos aqui descreve interações entre formigas e plantas (“rede Formiga-Planta”, Costa et al. (2016)). Nessa outra rede multicamada, as formigas se relacionam com as plantas através de quatro tipos de consumo de recursos diferentes: néctar extrafloral, pólen/néctar, frutos e melado de trofobiontes. Além disso, também fazem visitas simples, sem consequências mensuráveis para a planta. Essas interações geram então cinco camadas na rede e têm diferentes consequências para a vida das plantas e sua aptidão

(Rico-Gray & Oliveira, 2007).

Como no caso dos morcegos, essa rede Formiga-Planta também representa um emaranhado de diferentes mundos, com diferentes pressões seletivas para as formigas. Para consumir os diferentes tipos de recursos que as plantas oferecem, elas precisam de adaptações morfológicas e fisiológicas específicas. Ter ou não ter uma ou mais dessas adaptações leva diferentes espécies de formigas a ocuparem diferentes módulos na rede (Costa et al., 2016). Uma análise de modularidade multicamada tem o potencial de entender melhor as relações entre esses módulos em diferentes escalas de organização da rede.

Independente da história natural do sistema de estudo, caso queiramos apenas obter uma distribuição de módulos confiável sem a necessidade de interpretação, podemos escolher um valor de ω e γ que maximiza a modularidade. Os valores de ω e γ que maximizam a modularidade diferem para cada rede. A figura 4 mostra os valores da modularidade para diferentes valores de ω e γ da rede exemplo Famílias de Florença.

Com a resolução do ensaio feito, os valores mais indicados para a rede Famílias de Florença seriam $\omega = 0.75$ e $\gamma = 1.5$. Para valores mais precisos, basta aumentar as partições de γ e ω ou refinar os valores de γ e ω em torno dos máximos obtidos no ensaio anterior.

Também existe a possibilidade de que os valores de modularidade fiquem muito próximos uns dos outros. Nesse caso, é comum que os módulos fiquem muito similares entre si, então, é possível escolher qualquer um dos valores de ω e γ . Caso os módulos fiquem muito diferentes entre si (um caso mais raro), uma interpretação de um especialista na área que a rede está retratando é fundamental.

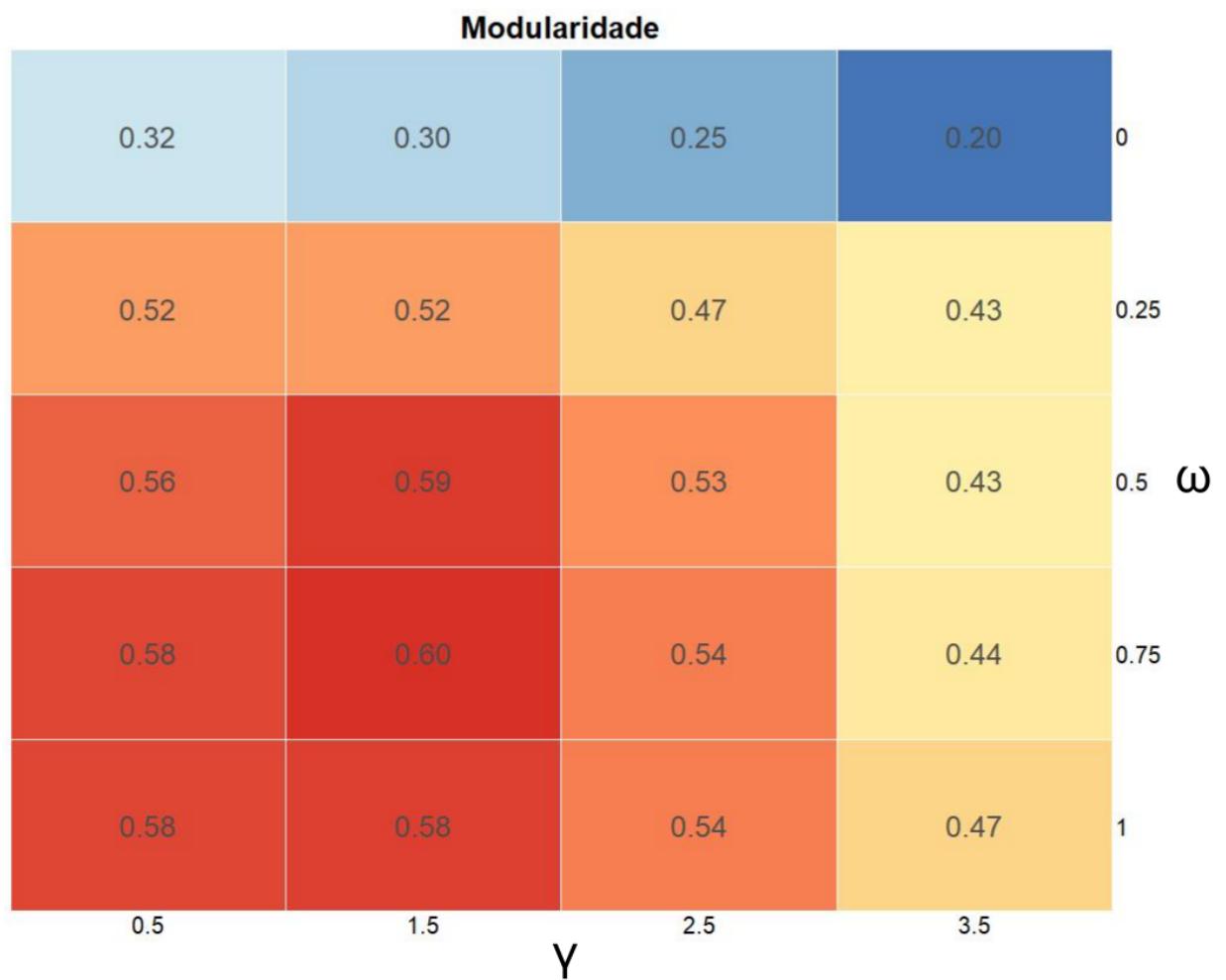


Figura 4: Valor da modularidade para diferentes valores de acoplamento ω e resolução γ . Valores de ω variam no eixo y e valores de γ variam no eixo x.

6 Variável G e G_{norm}

6.1 Variável G

A variável G representa o número de módulos a que um determinado nó pertence. Como o algoritmo Louvain não permite que um mesmo nó participe de mais de um módulo dentro de uma mesma camada, G é uma variável discreta inteira que possui o mínimo de 1 e o máximo igual ao número de camadas da rede estudada. G possui valores bem definidos nos extremos, se $\omega = 0 \Rightarrow G = 1$ e se $\omega = 0 \Rightarrow G =$ número total de camadas da rede. Entre estes valores de ω o comportamento de G é variado, mas tende a cair conforme a força de acoplamento ω aumenta. O comportamento do decaimento de G em relação a ω é diferente para cada nó da rede, alguns nós resistem e permanecem em mais de um módulo ao aumentarmos ω , já outros rapidamente passam a pertencer a apenas um módulo ao aumentarmos ω . A figura 5 ilustra o comportamento de diferentes nós ao aumentarmos ω . A figura 6 mostra um exemplo de curva de decaimento de G em relação a ω .

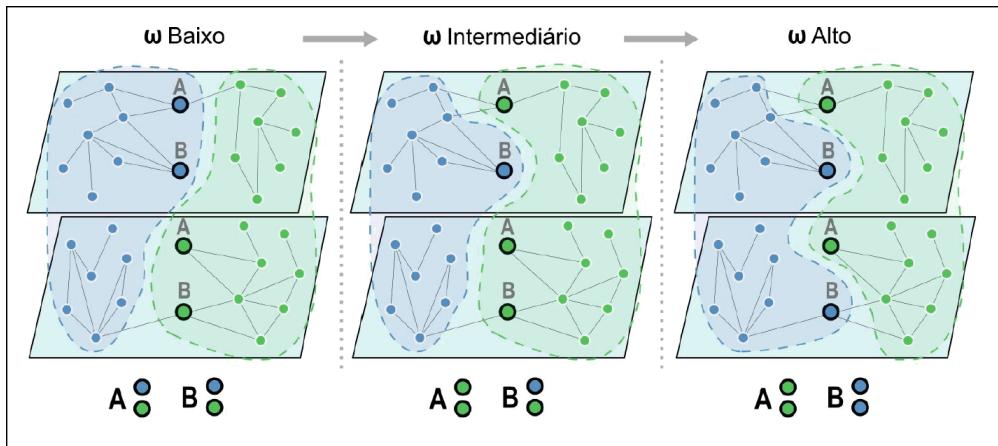


Figura 5: Esquema ilustrativo do que ocorre com alguns nós ao aumentarmos o parâmetro ω . Para valores de ω baixos, vemos que os nós A e B estão em módulos diferentes em camadas diferentes. Ao aumentarmos a força de acoplamento ω , o nó A passa a pertencer ao módulo verde tanto na camada superior como na camada inferior, já o nó B resiste e permanece no módulo azul na camada superior e no módulo verde na camada inferior. Se aumentarmos ainda mais a força de acoplamento ω , em algum momento o nó B acaba cedendo e passa a pertencer a apenas um módulo nas duas camadas.

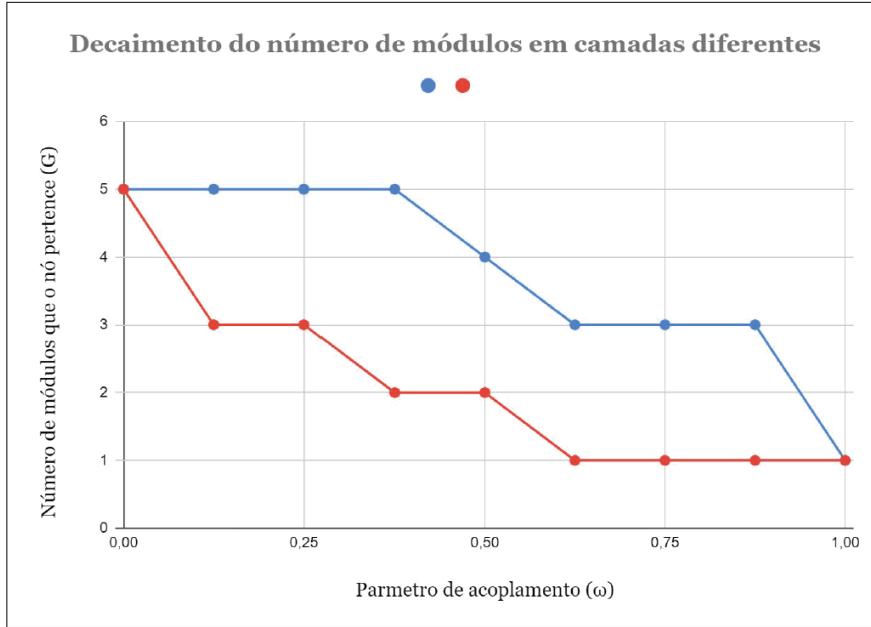


Figura 6: Exemplo hipotético de decaimentos de G (módulos que o nó pertence em diferentes camadas) em relação ao parâmetro ω (constante de acoplamento) esperados. O nó representado pela cor vermelha possui um decaimento rápido de G , portanto, representa uma espécie pouco conectiva do ponto de vista da rede multicamada como um todo. O contrário ocorre com a espécie representada pelo nó azul.

Como o algoritmo Louvain não é determinístico (pode retornar diferentes resultados a cada compilação) e a variável G é inteira e discreta, para termos uma maior confiabilidade precisamos repetir o processo várias vezes para cada valor de ω e extrair uma média de G para cada nó. Assim o valor médio de G é dado por:

$$\overline{G}_\omega = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I G_i \quad (6)$$

Onde I se refere ao número de iterações.

Repetindo isso para diferentes valores de ω , teremos uma curva de decaimento \overline{G} por ω .

Podemos agora repetir esse processo para diferentes valores de γ , assim vamos obter diferentes curvas \overline{G} por ω para cada valor de γ .

6.2 Variável G_{norm}

Para facilitar a classificação dos nós de acordo com sua curva \overline{G} por ω por γ , toda a família de curvas será resumida em uma única variável para cada nó, normalizada pela média.

Chamaremos essa variável de G_{norm} , definida na equação 7.

$$G_{norm} = \frac{\sum_{j=1}^{P_2} \sum_{i=1}^{P_1} \bar{G}_{i,j}}{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{P_2} \sum_{i=1}^{P_1} \bar{G}_{i,j,k}} \quad (7)$$

Onde P_1, P_2 são o número de partições de ω e γ ; N é o número de nós na rede; i, j são os índices de \bar{G} dentro de ω, γ ; e k é o índice do nó na rede (número de identificação do nó).

7 Visão geral da rede Morcego-Planta

A rede Morcego-Planta (Mello et al., 2019) possui 2 camadas (Nectarivoria e Frugivoria), 512 nós e 1248 conexões. A tabela 2 mostra o resumo das propriedades da rede. A figura 7 apresenta uma visão geral da rede.

Tabela 2: Propriedades da rede Morcego-Planta

Propriedade	Valor
Número de Camadas	2
Tipo de conexões	Nectarivoria e Frugivoria
Número de nós	512
Número de conexões	1248

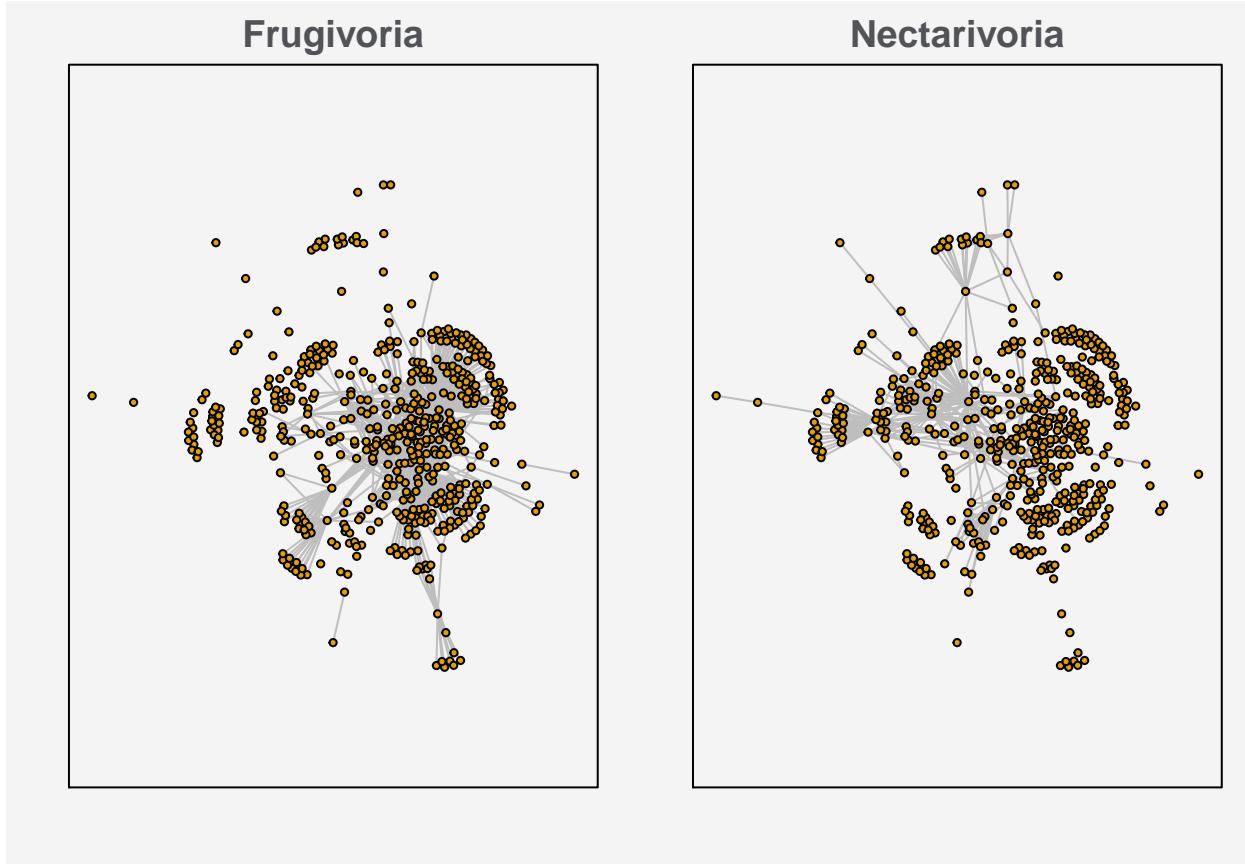


Figura 7: Visão geral da rede Morcego-Planta .

8 Resultados da rede Morcego-Planta

8.1 Distribuição de G_{norm}

A variável G foi calculada para 10 partições de ω , ou seja, o tamanho do passo dado dentro de ω foi de 0.1. O processo foi repetido para 16 partições de γ , com γ começando em 0.25, com passos de 0.25 até um γ máximo de 4. O cálculo de \bar{G} foi feito usando 100 iterações. A tabela 3 resume os parâmetros de execução do código e a figura 8 mostra a distribuição dos valores de G_{norm} obtidos.

Tabela 3: Parâmetros de execução

Parâmetro	Valor
Iterações	100
Partições de omega	10

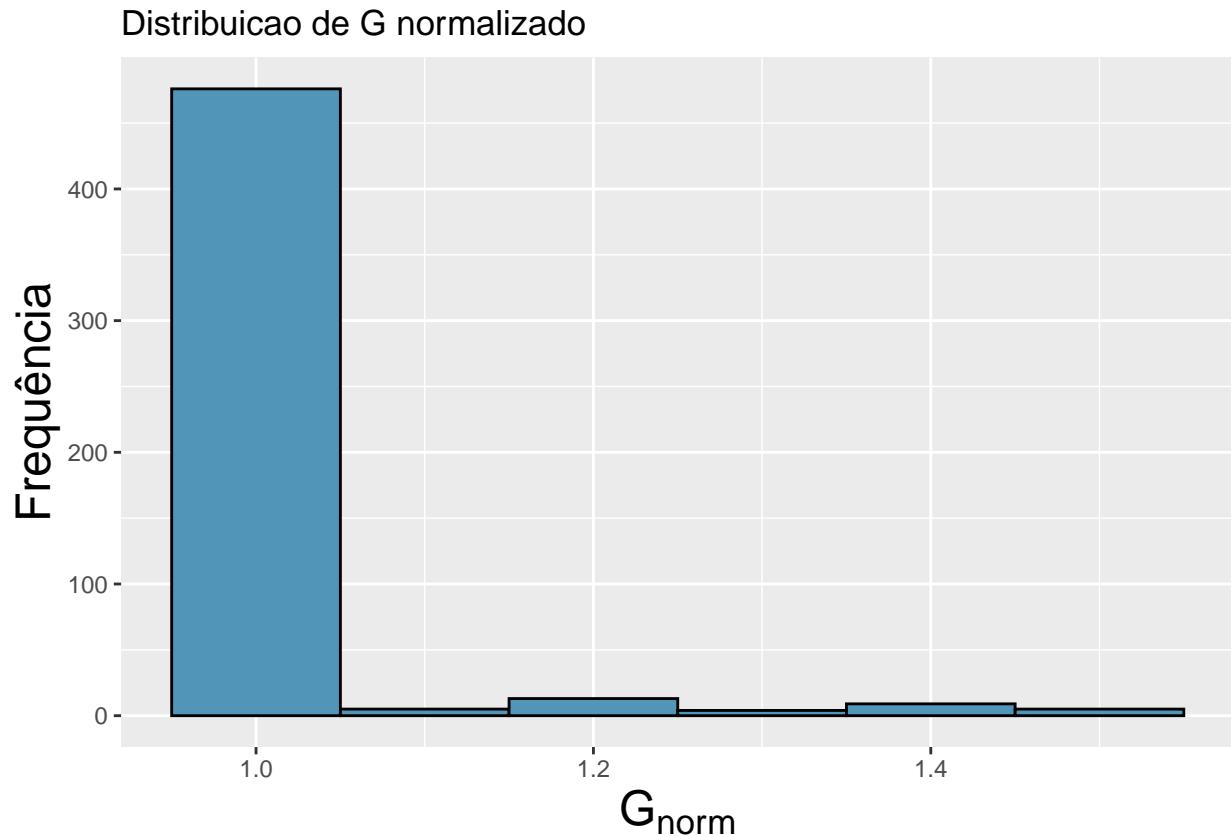


Figura 8: Distribuição de G_{norm} médio da rede Morcego-Planta .

8.2 Variação de \bar{G} por ω

Como temos dados em 3 dimensões (\bar{G} , ω , γ) temos diferentes possibilidades para apresentar os valores de \bar{G} em relação a ω e γ . A figura 9 mostra curvas de decaimento de \bar{G} por ω para diferentes nós com diferentes valores de G_{norm} e para diferentes valores de γ . A figura 10 mostra a superfície 3D formada por \bar{G} em relação a ω e γ . A figura 11 mostra a mesma superfície da figura 10 mas no formato de mapa de calor.

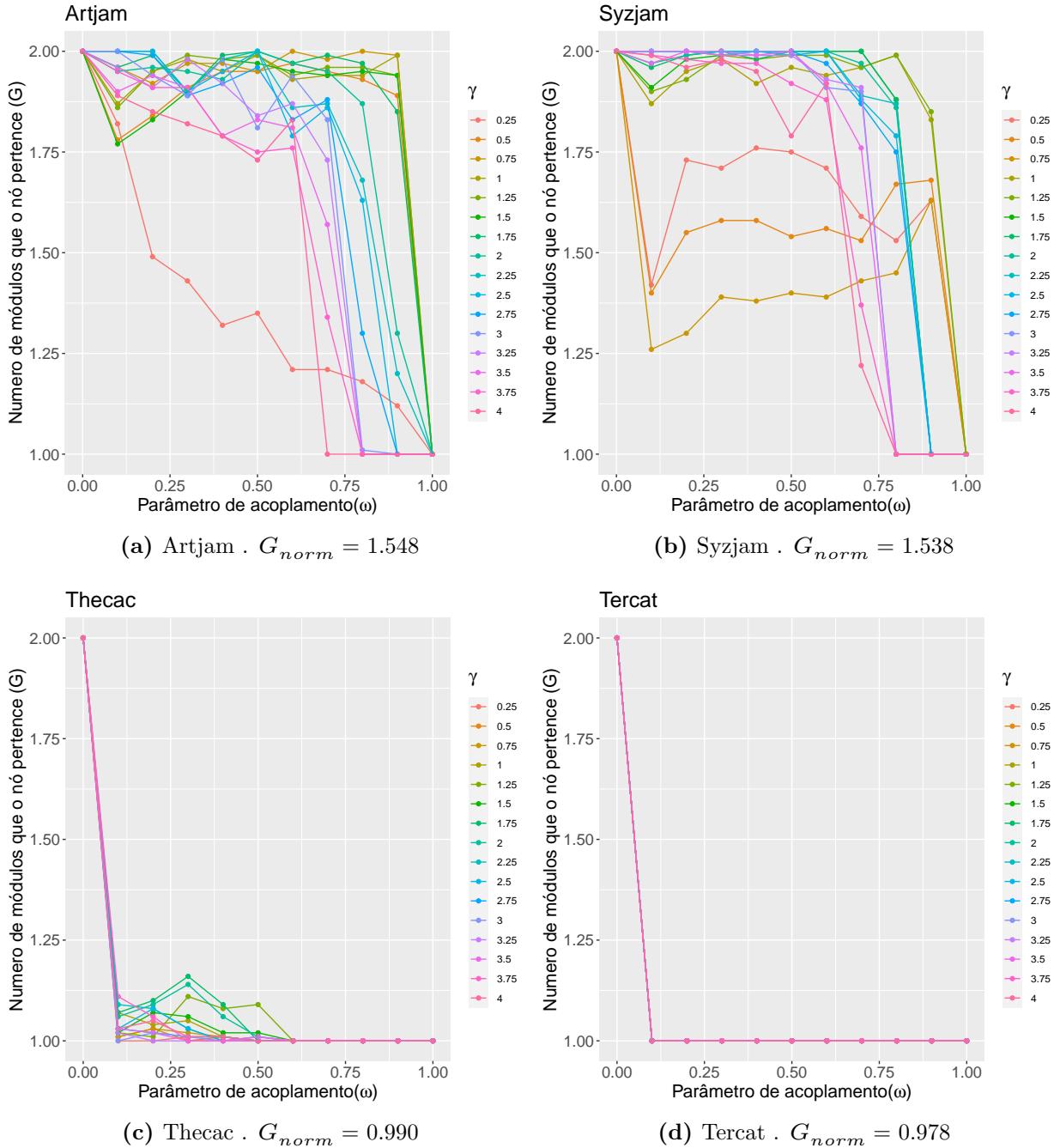
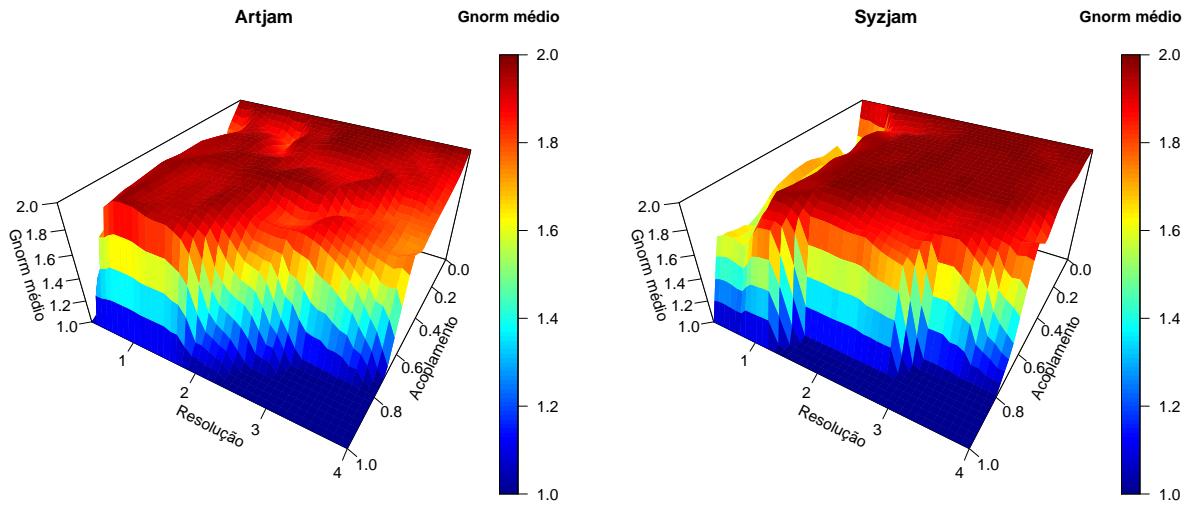
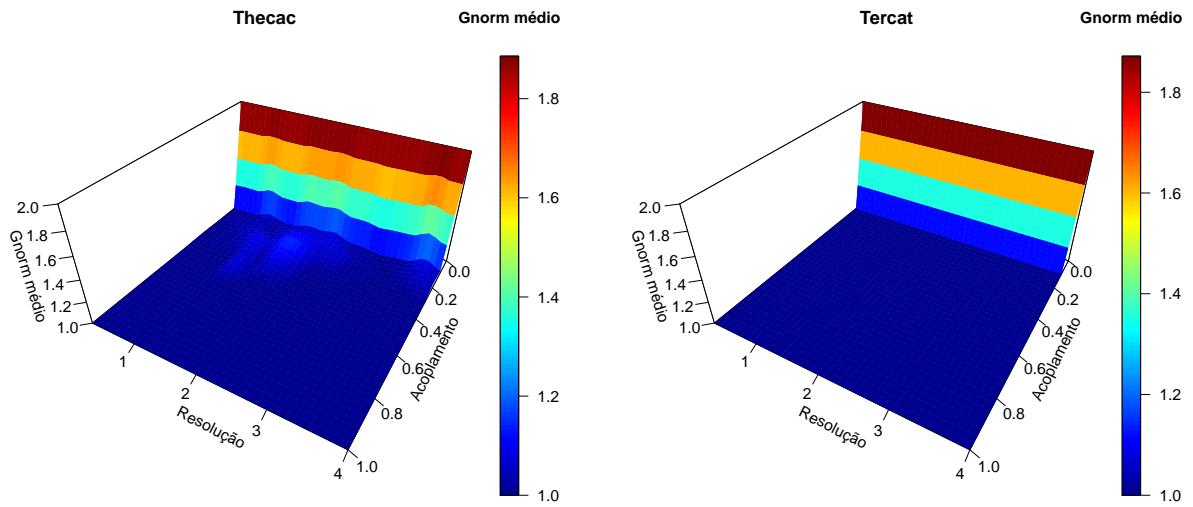


Figura 9: Exemplos de curvas do decaimento de \bar{G} em relação a ω e γ para diferentes valores de γ da rede Morcego-Planta . (a) Curvas de \bar{G} da especie com maior valor de G_{norm} da rede. (b) Segundo maior valor de G_{norm} . (c) Valor de G_{norm} mais proximo da média geral da rede. (d) Curvas de \bar{G} referente a uma espécie com valor de G_{norm} abaixo da média da rede.



(a) Artjam . $G_{norm} = 1.548$

(b) Syzjam . $G_{norm} = 1.538$



(c) Thecac . $G_{norm} = 0.990$

(d) Tercat . $G_{norm} = 0.978$

Figura 10: Exemplos de superfícies do decaimento de \bar{G} em relação a ω e γ para diferentes valores de γ da rede Morcego-Planta . (a) Superfície de \bar{G} da espécie com maior valor de G_{norm} da rede. (b) Segundo maior valor de G_{norm} . (c) Valor de G_{norm} mais próximo da média geral da rede. (d) Superfície de \bar{G} referente a uma espécie com valor de G_{norm} abaixo da média da rede.

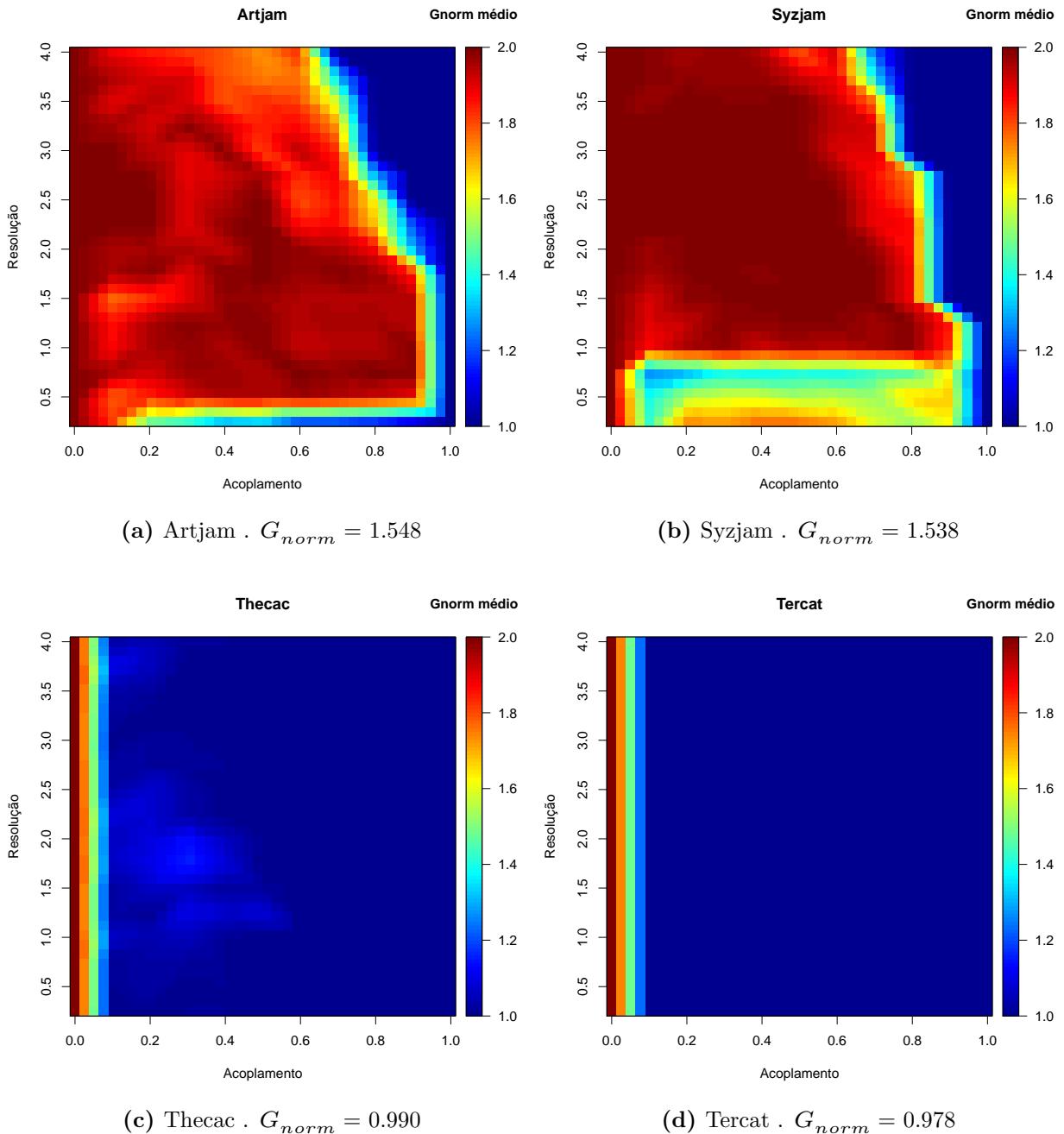


Figura 11: Exemplos de mapas de calor do decaimento de \bar{G} em relação a ω e γ para diferentes valores de γ da rede Morcego-Planta . (a) Mapa de calor de \bar{G} da especie com maior valor de G_{norm} da rede. (b) Segundo maior valor de G_{norm} . (c) Valor de G_{norm} mais proximo da média geral da rede. (d) Mapa de calor de \bar{G} referente a uma espécie com valor de G_{norm} abaixo da média da rede.

8.3 Seleção das espécies com maior G_{norm} .

A figura 12 e a tabela 4 mostram as espécies com valor de G_{norm} acima de 1.35, ou seja, aquelas com decaimento de G mais lento da rede Morcego-Planta. Os nomes das espécies de morcegos e plantas são apresentados em códigos e a relação entre o código e o nome científico pode ser consultado no Anexo I.

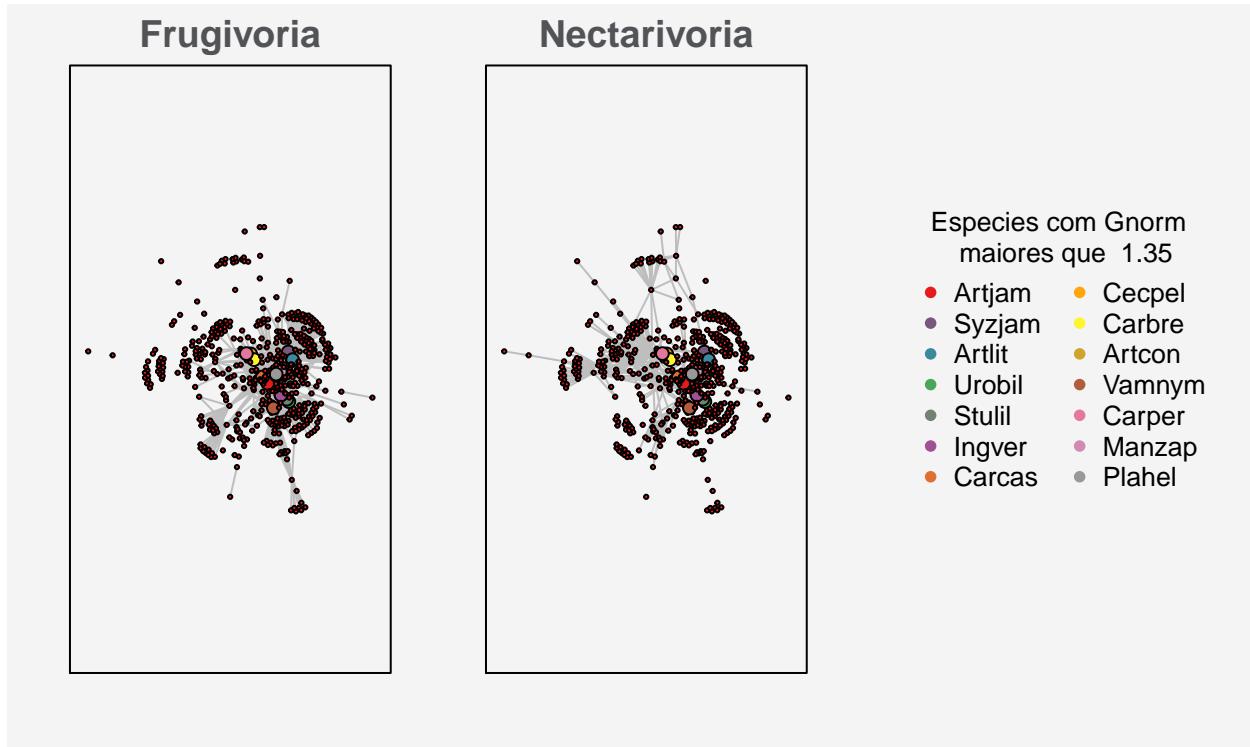


Figura 12: Espécies com G_{norm} maiores que 1.35 em destaque de tamanho e cor.

Tabela 4: Espécies com valores de G_{norm} maiores que 1.35.

Morcegos		Plantas	
Espécie	Gnorm	Espécie	Gnorm
Artjam	1.548	Syzjam	1.538
Artlit	1.509	Ingver	1.432
Urobil	1.488	Cecpel	1.401
Stulil	1.469	Manzap	1.360
Carcas	1.401		
Carbre	1.392		
Artcon	1.391		
Vamnym	1.365		
Carper	1.364		
Plahel	1.359		

9 Visão geral da rede Formiga-Planta

A rede Formiga-Planta (Costa et al., 2016) possui 5 camadas (Tropho , Flor , EFN , Fruta e Visita), 108 nós e 370 conexões. A tabela 5 mostra o resumo das propriedades da rede. A figura 13 apresenta uma visão geral da rede.

Tabela 5: Propriedades da rede Formiga-Planta

Propriedade	Valor
Número de Camadas	5
Tipo de conexões	Tropho , Flor , EFN , Fruta e Visita
Número de nós	108
Número de conexões	370

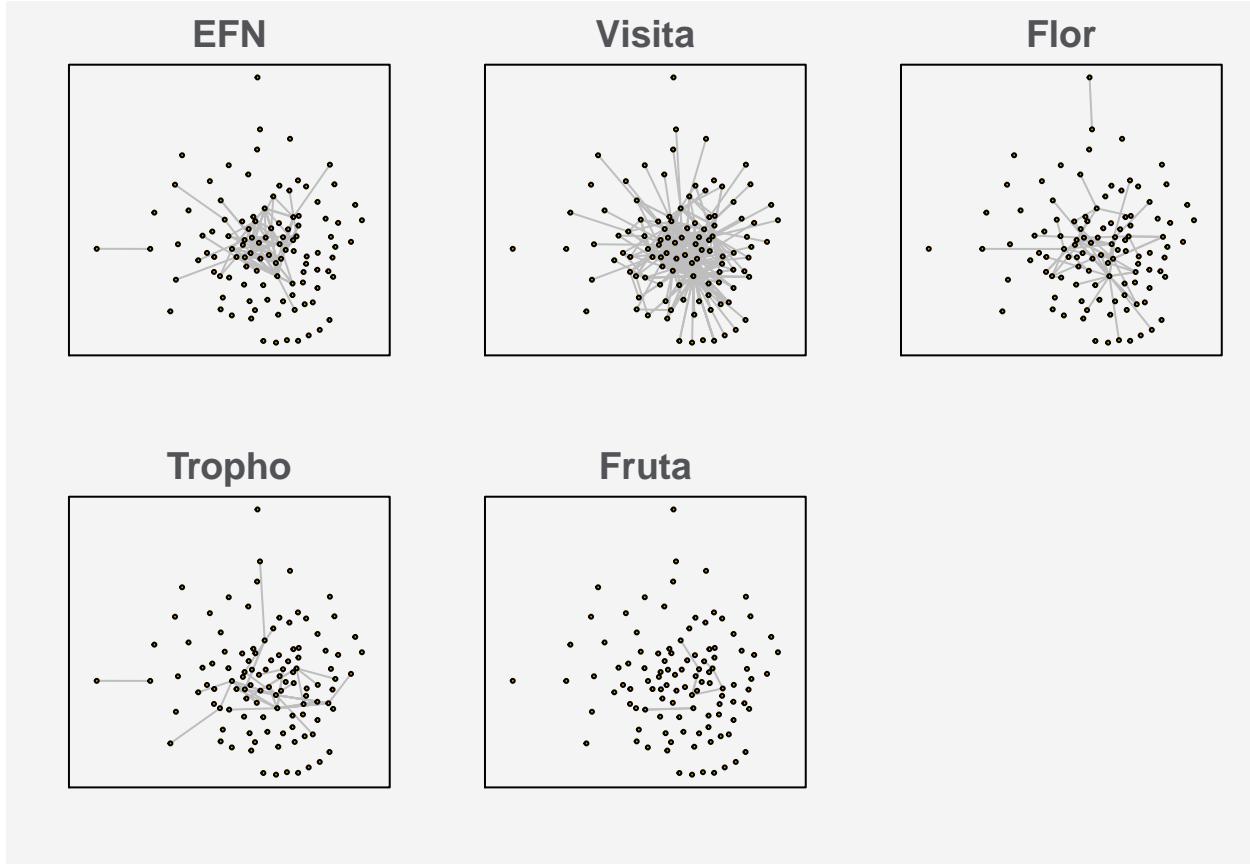


Figura 13: Visão geral da rede Formiga-Planta .

10 Resultados da rede Formiga-Planta

10.1 Distribuição de G_{norm}

A variável G foi calculada para 10 partições de ω , ou seja, o tamanho do passo dado dentro de ω foi de 0.1. O processo foi repetido para 16 partições de γ , com γ começando em 0.25, com passos de -0.25 até um γ máximo de 4. O cálculo de \bar{G} foi feito usando 100 iterações. A tabela 6 resume os parâmetros de execução do código e a figura 14 mostra a distribuição dos valores de G_{norm} médio obtidos.

Tabela 6: Parâmetros de execução

Parâmetro	Valor
Iterações	100
Partições de omega	10

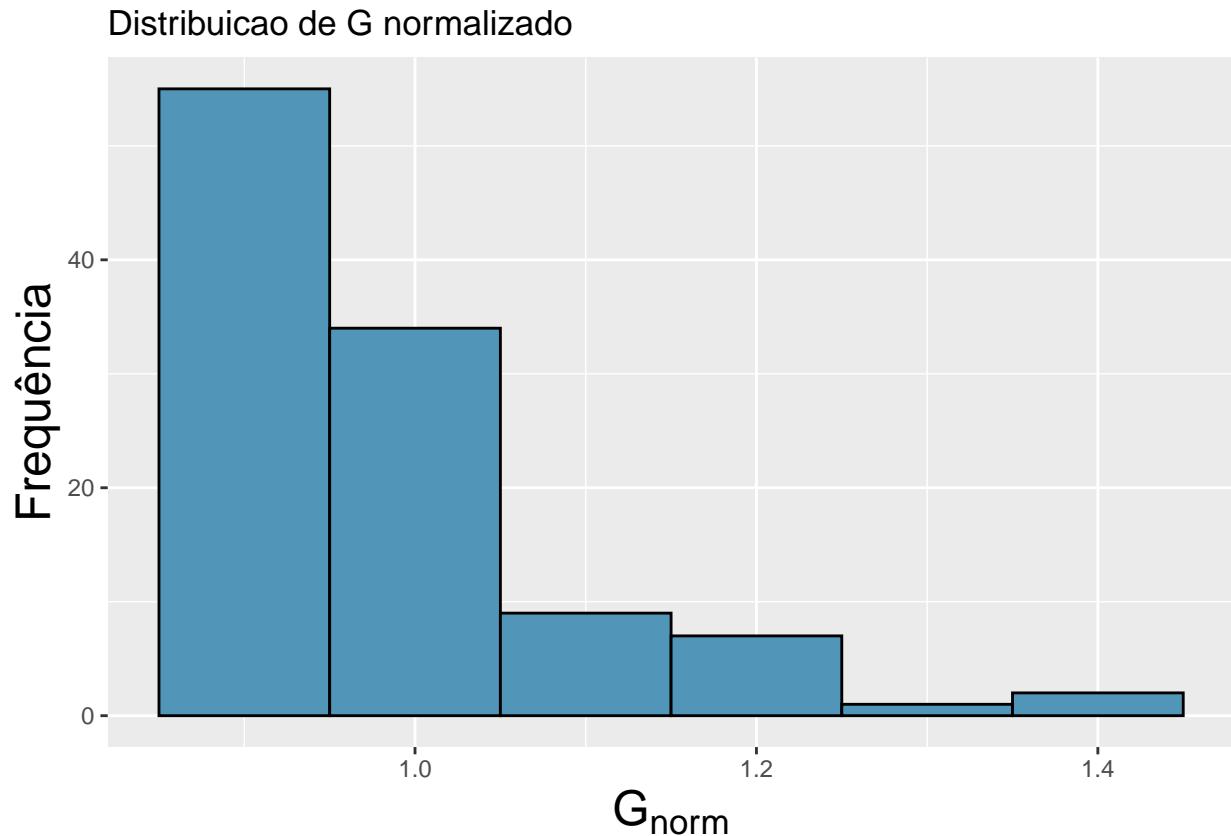


Figura 14: Distribuição de G_{norm} médio da rede Formiga-Planta .

10.2 Variação de \bar{G} por ω

Como temos dados em 3 dimensões (\bar{G}, ω, γ) temos algumas formas diferentes para apresentar os valores de \bar{G} em relação a ω e γ , não sei dizer se devemos usar uma delas, as três ou alguma outra. A figura 15 mostra curvas de decaimento de \bar{G} por ω para diferentes nós com diferentes valores de G_{norm} e para diferentes valores de γ . A figura 16 mostra a superfície 3D formada por \bar{G} em relação a ω e γ . A figura 17 mostra a mesma superfície da figura 16 mas no formato de mapa de calor.

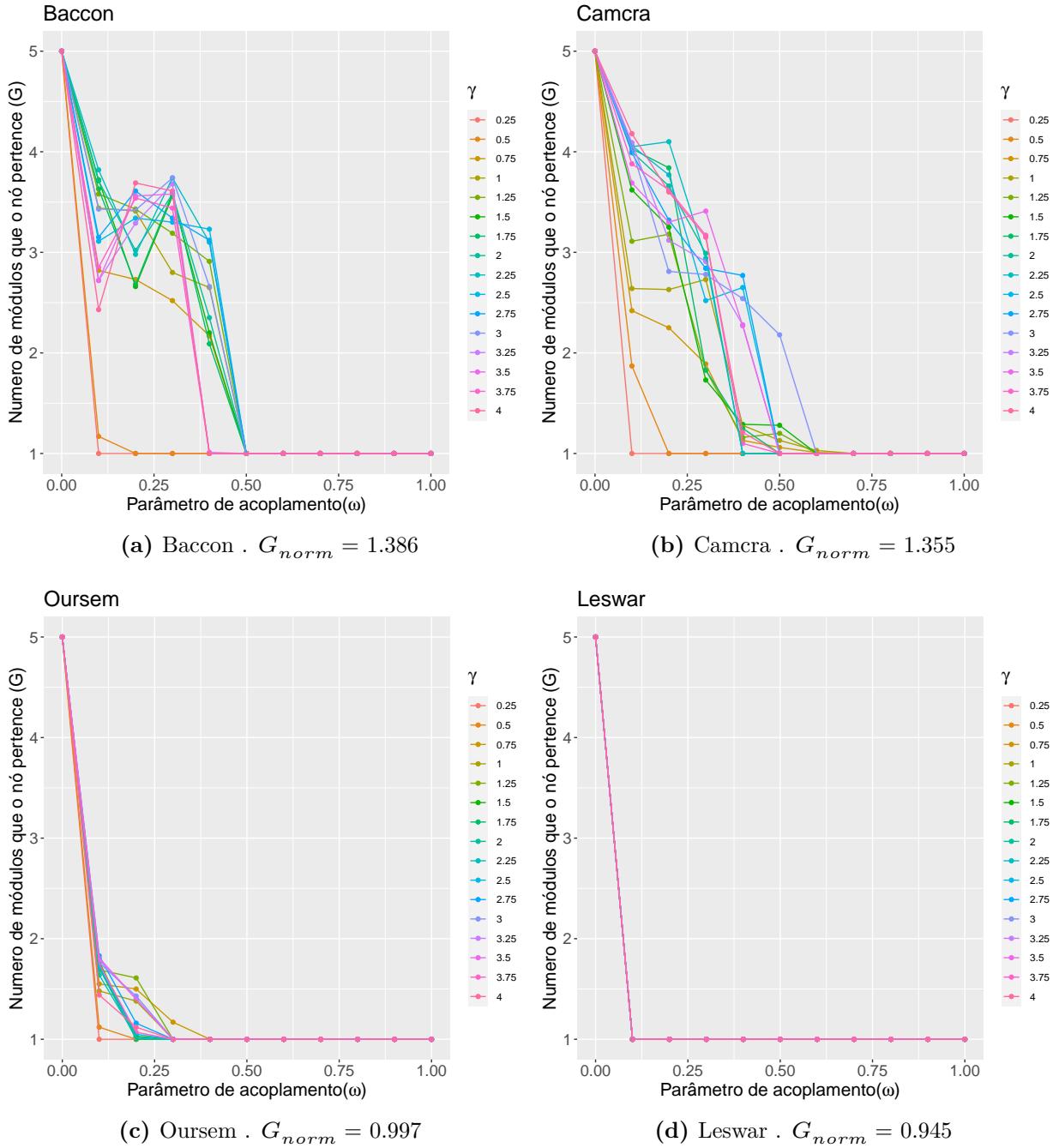
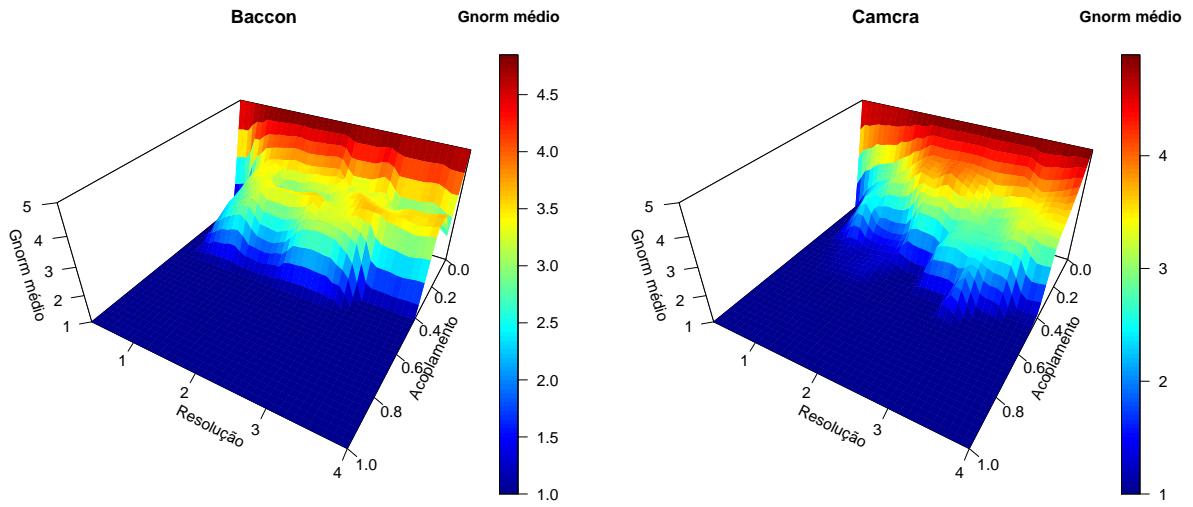
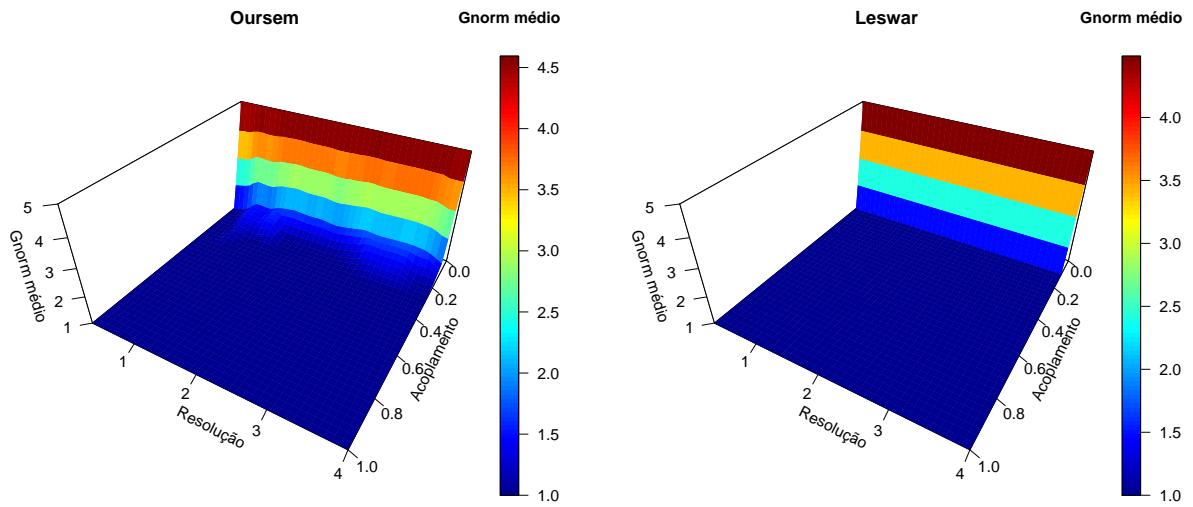


Figura 15: Exemplos de curvas do decaimento de \bar{G} em relação a ω e γ para diferentes valores de γ da rede Formiga-Planta . (a) Curvas de \bar{G} da espécie com maior valor de G_{norm} da rede. (b) Segundo maior valor de G_{norm} . (c) Valor de G_{norm} mais próximo da média geral da rede. (d) Curvas de \bar{G} referente a uma espécie com valor de G_{norm} abaixo da média da rede.



(a) Baccon . $G_{norm} = 1.386$

(b) Camcra . $G_{norm} = 1.355$



(c) Oursem . $G_{norm} = 0.997$

(d) Leswar . $G_{norm} = 0.945$

Figura 16: Exemplos de superfícies do decaimento de \bar{G} em relação a ω e γ para diferentes valores de γ da rede Formiga-Planta . (a) Superfície de \bar{G} da espécie com maior valor de G_{norm} da rede. (b) Segundo maior valor de G_{norm} . (c) Valor de G_{norm} mais próximo da média geral da rede. (d) Superfície de \bar{G} referente a uma espécie com valor de G_{norm} abaixo da média da rede.

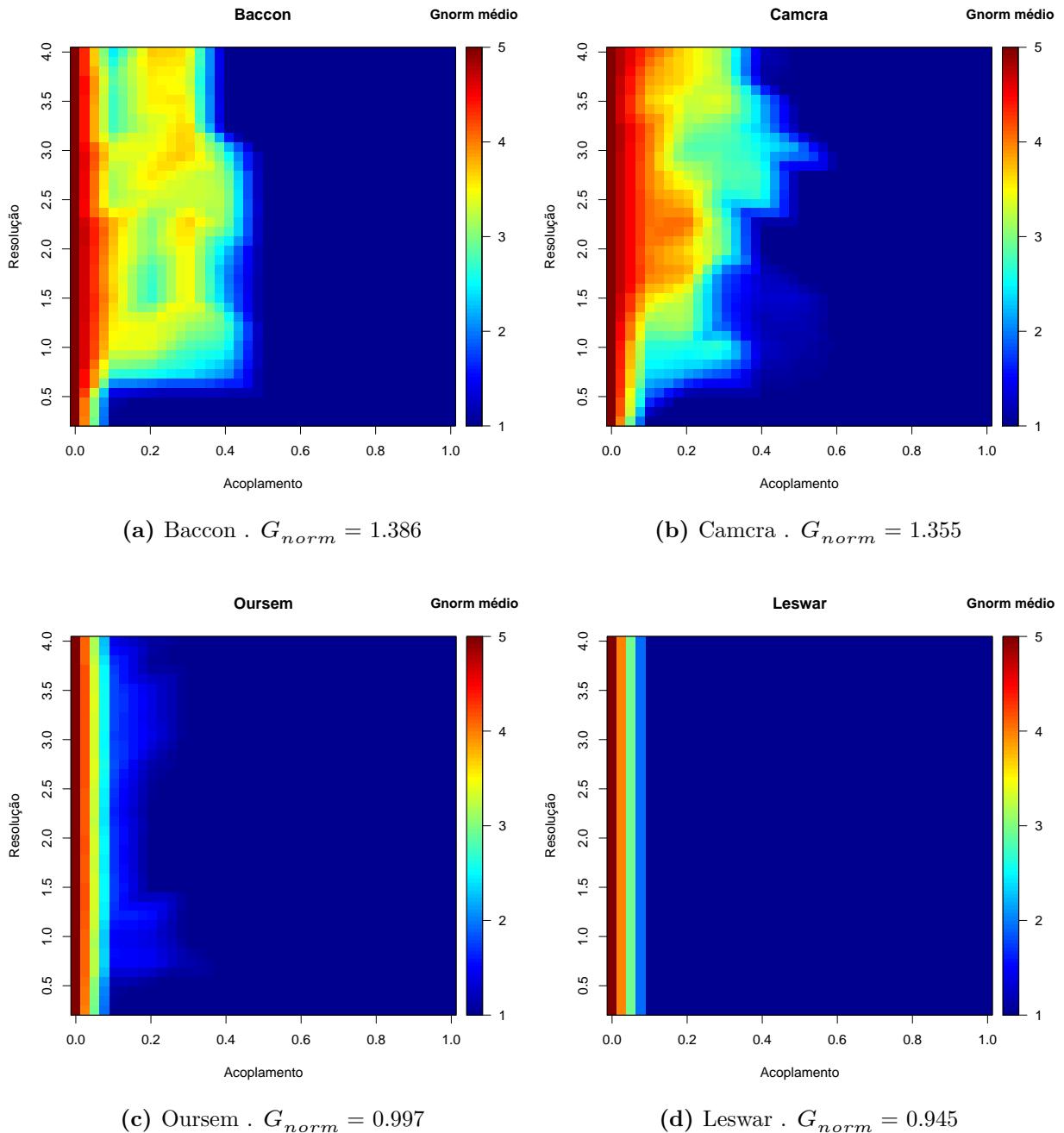


Figura 17: Exemplos de mapas de calor do decaimento de \bar{G} em relação a ω e γ para diferentes valores de γ da rede Formiga-Planta . (a) Mapa de calor de \bar{G} da especie com maior valor de G_{norm} da rede. (b) Segundo maior valor de G_{norm} . (c) Valor de G_{norm} mais proximo da média geral da rede. (d) Mapa de calor de \bar{G} referente a uma espécie com valor de G_{norm} abaixo da média da rede.

10.3 Seleção das espécies com maior G_{norm} .

A figura 18 e a tabela 7 mostram as espécies com valor de G_{norm} acima de 1.15, ou seja, aquelas com decaimento de G mais lento da rede Formiga-Planta. Os nomes das espécies de formigas e plantas são apresentados em códigos e a relação entre o código e o nome científico pode ser consultado no Anexo II.

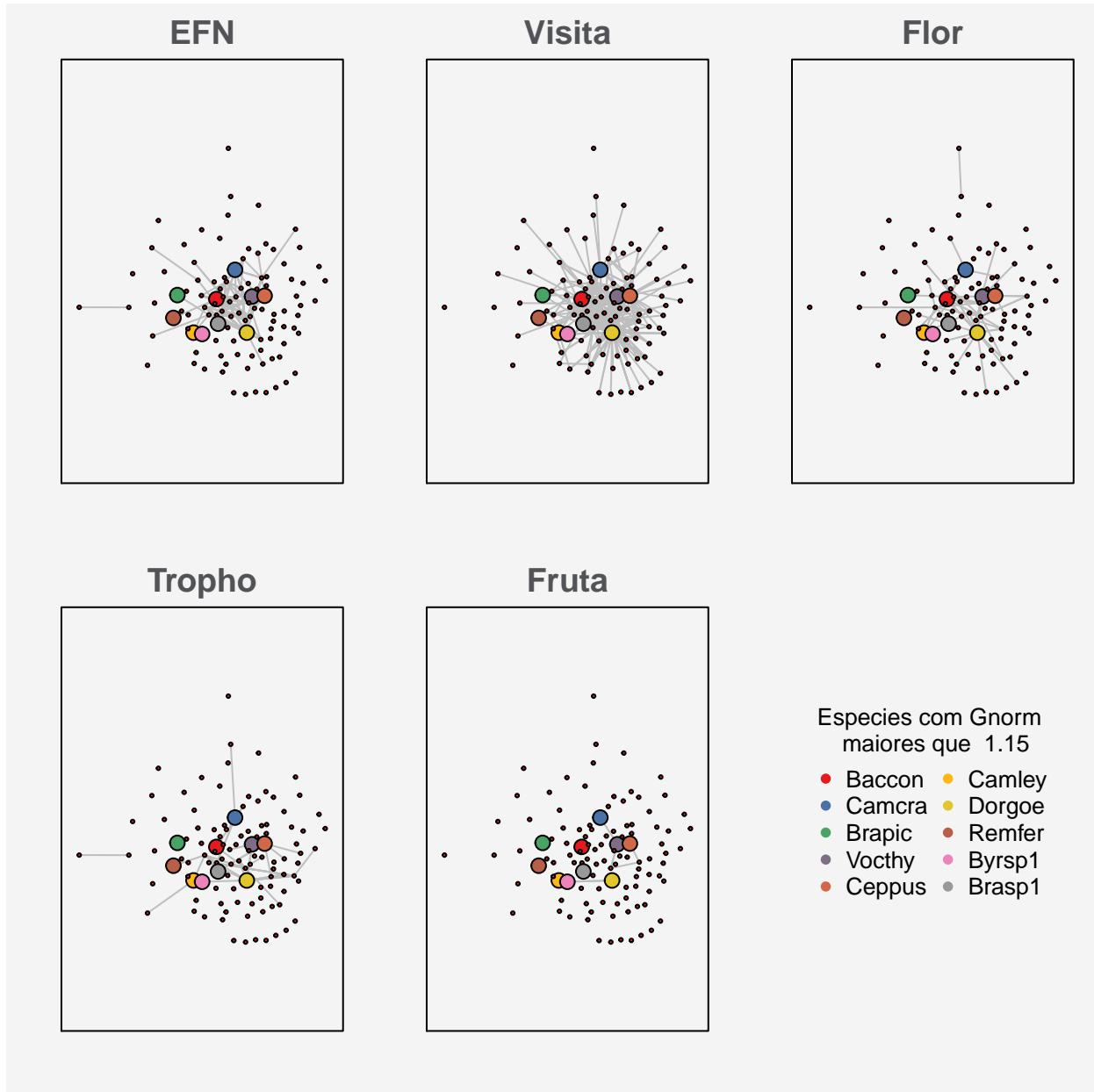


Figura 18: Espécies com G_{norm} maiores que 1.15 em destaque de tamanho e cor.

Tabela 7: Espécies com valores de G_{norm} maiores que 1.15.

Formiga		Planta	
Espécie	Gnorm	Espécie	Gnorm
Camcra	1.355	Baccon	1.386
Braptic	1.341	Vocthy	1.235
Ceppus	1.222	Remfer	1.189
Camley	1.200	Byrsp1	1.181
Dorgoe	1.192		
Brasp1	1.153		

11 Distribuição de G_{norm} para redes aleatórias

A distribuição dos valores de G_{norm} também foi testada para algumas redes binárias puramente aleatórias, variando o número de camadas, conexões totais e nós. O universo de redes analisadas é apresentado na tabela 8. Foram geradas 10 redes aleatórias para cada combinação de camadas, conexões e nós, um total de 180 redes aleatórias foram analisadas.

Tabela 8: Universo de redes aleatórias analisadas. Foram geradas e analisadas dez amostras de cada uma das combinações de camada, conexões e nós.

Camadas	Conexões	Nós
2	100	20 (20% das conexões)
2	100	30 (30% das conexões)
2	100	50 (50% das conexões)
2	250	50 (20% das conexões)
2	250	75 (30% das conexões)
2	250	125 (50% das conexões)
3	100	20 (20% das conexões)
3	100	30 (30% das conexões)
3	100	50 (50% das conexões)
3	250	50 (20% das conexões)
3	250	75 (30% das conexões)
3	250	125 (50% das conexões)
5	100	20 (20% das conexões)
5	100	30 (30% das conexões)
5	100	50 (50% das conexões)
5	250	50 (20% das conexões)
5	250	75 (30% das conexões)
5	250	125 (50% das conexões)

As figuras 19, 20 e 21 mostram as distribuições de Gnorm obtidas.

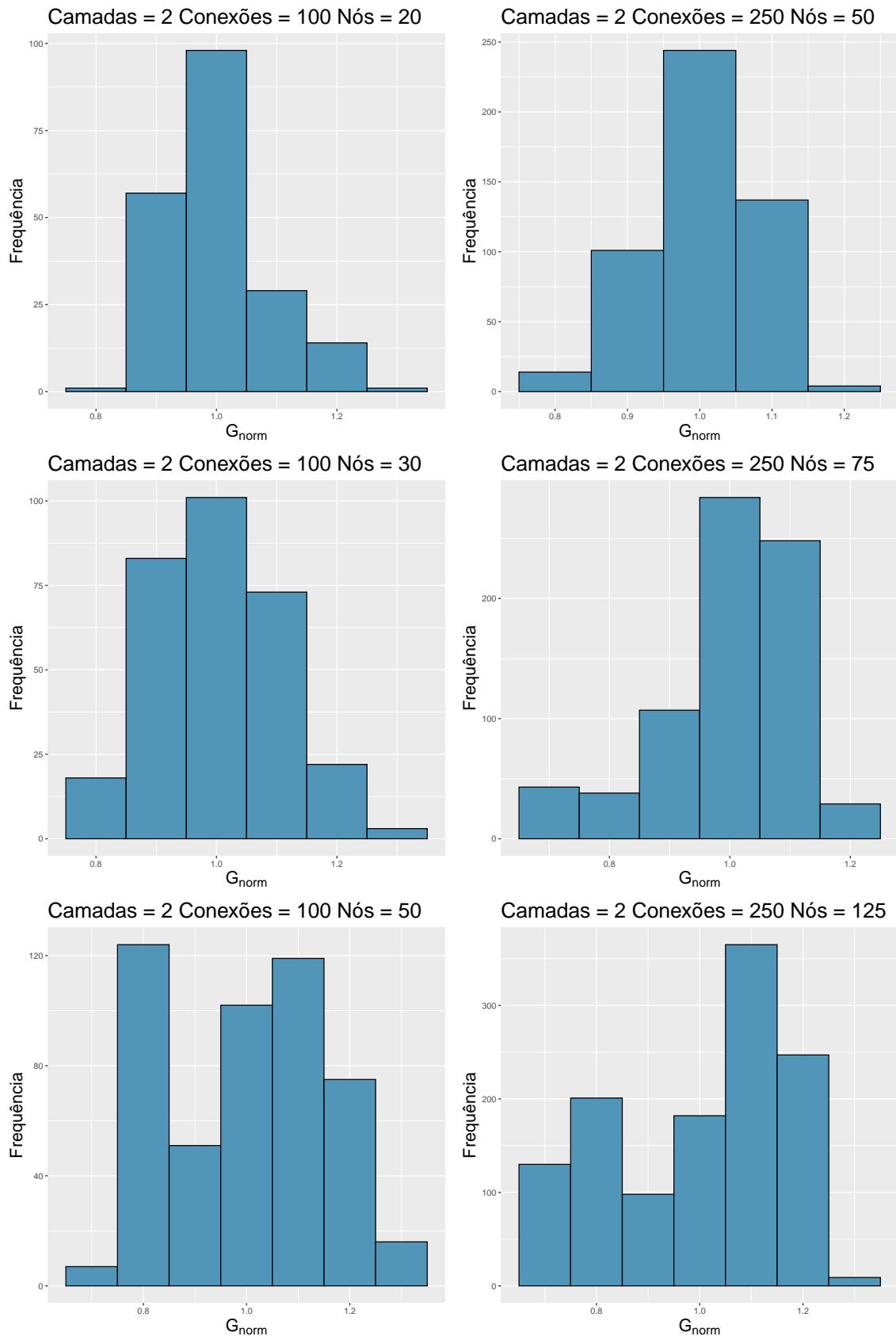


Figura 19: Distribuição de G_{norm} para o grupo de redes de duas camadas.

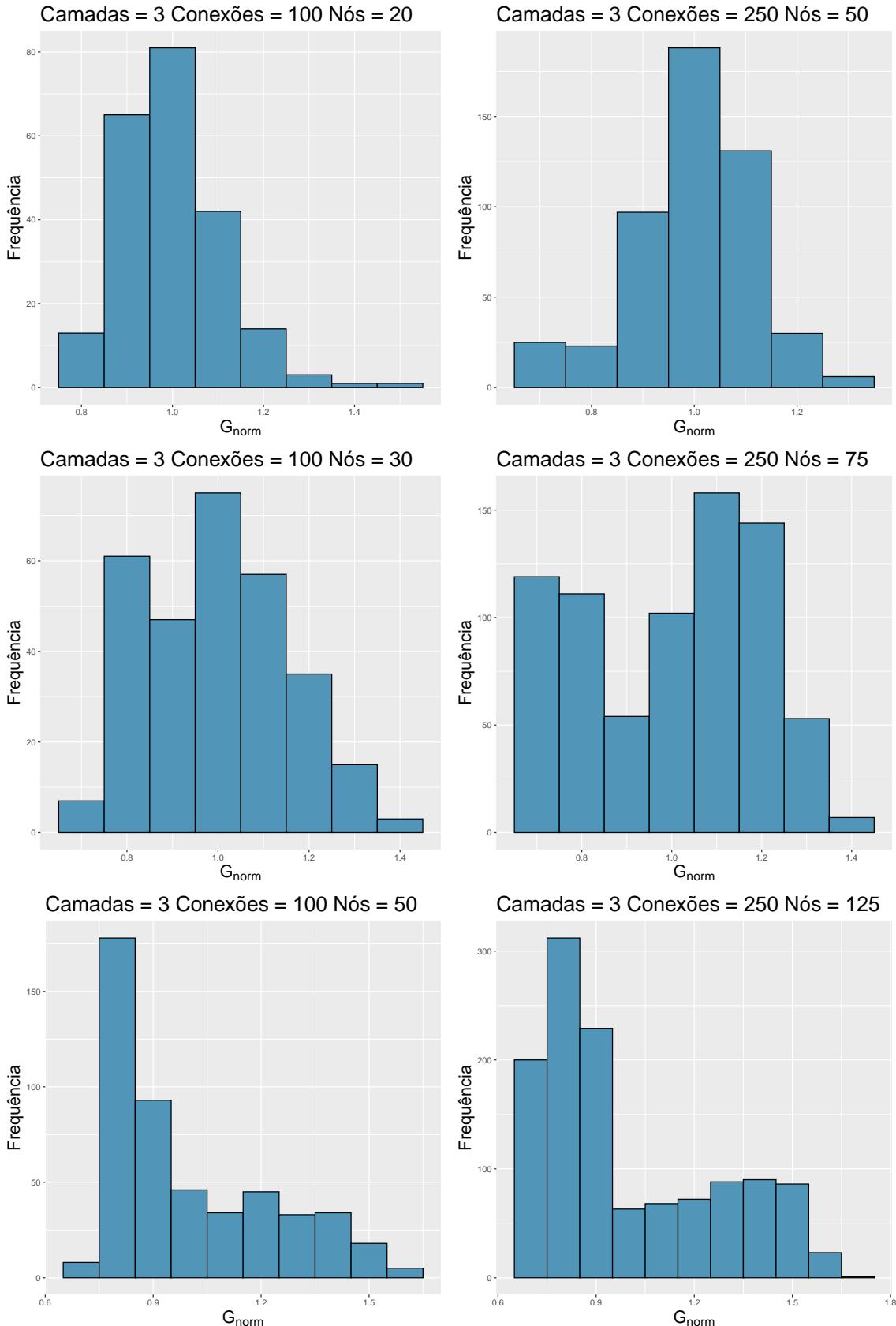


Figura 20: Distribuição de G_{norm} para o grupo de redes de três camadas.

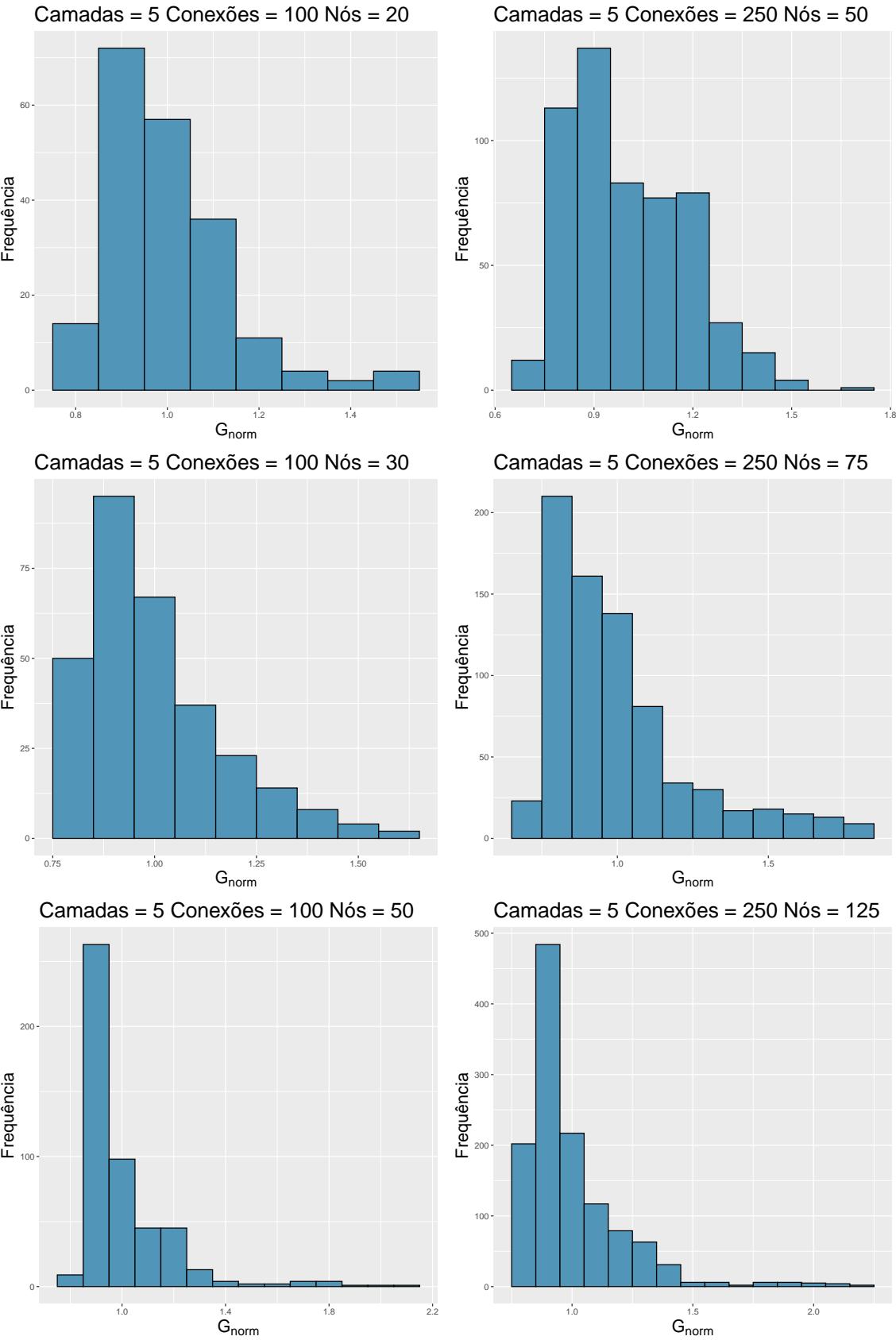


Figura 21: Distribuição de G_{norm} para o grupo de redes de cinco camadas.

12 Comparação entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para a rede agregada

Os nós que possuem maiores valores de G_{norm} parecem ser os mais importantes dentro da rede. Isso porque, o fato de permanecerem em diferentes módulos em diferentes camadas, mesmo após o aumento do acoplamento, indica que eles se relacionam de maneira mais equilibrada com diferentes camadas. Assim, pode-se dizer que eles tem alto potencial como conectores entre diferentes módulos em diferentes camadas.

Esses nós mais importantes podem ser considerados como centrais, podendo ser conectores ou hubs (Rodrigues, 2018). Se compararmos os nós mais centrais de uma rede, identificados por outras métricas, com os nós que apresentaram maiores valores de G_{norm} , podemos examinar a relação entre diferentes métricas de centralidade.

Existem vários tipos de centralidade, calculadas usando-se diferentes parâmetros como base. Neste trabalho vamos comparar quatro dessas centralidades com os nós que possuem alto G_{norm} . São elas: *Closeness* (Sabidussi, 1966), *Betweeness* (Freeman, 1977), *Eigen Vector* (Bonacich, 1972) e *Degree*. Estas centralidades são calculadas para a rede multicamada agregada.

Duas formas de comparação foram usadas. Uma se trata apenas de uma comparação binária, levando em conta apenas o número de nós em comum no topo dos rankings de G_{norm} e das quatro outras centralides. Outra leva em conta a distância entre os rankings dos nós mais centrais para cada métrica.

A similaridade binária é bastante trivial e seu índice pode ser calculado da seguinte forma:

$$Sim_{bin} = \frac{\sum_j^N \sum_i^N \delta(c_j, g_i)}{N} \quad (8)$$

Onde $\delta(c_j, g_i)$ é o delta de Kronecker; N é o ranking de corte escolhido (e.g $N = 5$ no caso de escolhermos avaliar os cinco nós melhores ranqueados de cada métrica); c_j e g_i são os vetores ordenadas por ranking dos nós mais centrais e com maiores valores de G_{norm} respectivamente. Os valores da similaridade variam entre 0 (nenhum nó em comum) e 1 (todos os nós em comum).

Além da comparação binária, podemos avaliar a similaridade levando em conta ranking do nó dentro do conjunto de corte escolhido. Para isso, adicionamos um fator de peso que é

proporcional ao inverso da distância entre nós dentro da equação 8.

$$Sim_{dist} = \frac{\sum_j^N \sum_i^N \frac{1}{1+|i-j|} \delta(c_j, g_i)}{N} \quad (9)$$

Onde o valor absoluto de $i - j$ é equivalente a distância entre os rankings dos nós g_i e c_j . Os valores de Sim_{dist} variam entre 0 e 1, onde 0 corresponde a nenhum nó em comum entre os métodos e 1 corresponde a todos os nós em comum e com o mesmo ranking.

Para comparar G_{norm} com as centralidades de forma mais ampla, vamos analisar também os correlogramas entre G_{norm} e das centralidades utilizando os métodos de Pearson e de Spearman.

12.1 Comparação entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para a rede Morcego-Planta

Comparando as 10 espécies de morcego mais bem ranqueadas pelas centralidades *Closeness*, *Betweeness*, *Eigen Vector* e *Degree* com as 10 mais bem ranqueadas segundo G_{norm} , vemos que existem 7 espécies que também estão presentes em ao menos uma das quatro outras centralidades avaliadas.

Três espécies que estão entre as 10 mais bem ranqueadas pelos valores de G_{norm} não estão presentes em nenhuma das centralidades avaliadas. A tabela 9 mostra as 10 espécies melhores ranqueadas pelas centralidades e pelos valores G_{norm} , destacando as espécies em comum (negrito) e únicas do G_{norm} (itálico).

Tabela 9: Nós ordenados de forma decrescente de acordo com seus valores de centralidade e G_{norm} para os morcegos da rede de Morcego-Planta. Em negrito as espécies que alto valor de G_{norm} e que também foram selecionadas por pelo menos uma métrica de centralidade. Em itálico as espécies que possuem alto valor de G_{norm} mas não foram selecionadas em nenhuma outra centralidade.

Closeness	Betweeness	Eigen Vector	Degree	Gnorm
Artjam 0.00082	Artjam 0.30347	Artjam 1.00000	Artjam 149	Artjam 1.54825
Carper 0.00079	Carper 0.26423	Carper 0.86257	Carper 138	Artlit 1.50918
Artlit 0.00076	Artlit 0.15230	Artlit 0.80165	Artlit 112	Urobil 1.48774
Glosor 0.00071	Glosor 0.14406	Stulil 0.39613	Stulil 72	Stulil 1.46916
Stulil 0.00070	Stulil 0.13341	Glosor 0.31185	Glosor 65	Carcas 1.40143
Phyhas 0.00067	Lepcur 0.08033	Carcas 0.27444	Carcas 44	Carbre 1.39168
Phydis 0.00066	Anocau 0.06970	Phyhas 0.25856	Lepcur 43	<i>Artcon</i> 1.39080
Lepcur 0.00065	Stulud 0.05518	Urobil 0.25543	Phyhas 40	<i>Vamnym</i> 1.36506
Glocom 0.00064	Monred 0.04970	Artptha 0.22331	Anocau 30	Carper 1.36363
Carcas 0.00064	Phyhas 0.04302	Carbre 0.19272	Carbre 29	<i>Plahel</i> 1.35870

Comparando as 10 espécies de plantas mais bem ranqueadas pelas centralidades *Closeness*, *Betweeness*, *Eigen Vector* e *Degree* com as 10 mais bem ranqueadas segundo G_{norm} , vemos que existem 5 espécies que também estão presentes em ao menos uma das quatro outras centralidades avaliadas.

Cinco espécies que estão entre as 10 mais bem ranqueadas pelos valores de G_{norm} não estão presentes em nenhuma das centralidades avaliadas. A tabela 10 mostra as 10 espécies melhores ranqueadas pelas centralidades e pelos valores G_{norm} , destacando as espécies em comum (negrito) e únicas do G_{norm} (itálico).

Tabela 10: Nós ordenados de forma decrescente de acordo com seus valores de centralidade e G_{norm} para as plantas da rede de Morcego-Planta. Em negrito as espécies que alto valor de G_{norm} e que também foram selecionadas por pelo menos uma métrica de centralidade. Em itálico as espécies que possuem alto valor de G_{norm} mas não foram selecionadas em nenhuma outra centralidade.

Closeness		Betweeness		Eigen Vector		Degree		Gnorm	
Cecobt	0.000787	Ceipen	0.0700	Cecpel	0.368	Cecobt	16	Syzjam	1.538
Cecpel	0.000767	Syzjam	0.0554	Cecobt	0.269	Ficins	15	<i>Ingver</i>	1.432
Mactin	0.000755	Cecobt	0.0412	Manzap	0.266	Solrug	14	Cecpel	1.400
Manind	0.000746	Manzap	0.0319	Ficins	0.260	Cecpel	13	Manzap	1.360
Manzap	0.000743	Cecpel	0.0303	Solrug	0.253	Cecusa	13	Dysvir	1.337
Piparb	0.000740	Pacweb	0.0220	Cecfic	0.237	Ceipen	13	Pacweb	1.292
Carpap	0.000737	Pipama	0.0189	Pipadu	0.229	Ficyop	13	<i>Stegri</i>	1.227
Pipama	0.000734	Dysvir	0.0174	Fictri	0.227	Manzap	13	<i>Neotet</i>	1.224
Cecgla	0.000729	Spomom	0.0169	Piparb	0.220	Cecfic	12	<i>Broali</i>	1.220
Muncal	0.000729	Mactin	0.0166	Ficobt	0.208	Fictri	12	<i>Cerrep</i>	1.190

A similaridade binária entre os 10 morcegos melhores ranqueados pelos valores de G_{norm} e os 10 morcegos melhores ranqueados pelas centralidades avaliadas ficou entre 40% e 70%, ficando menos similar à centralidade *Betweeness* e mais similar a centralidade *Eigen Vector* (tabela 11). Levando em conta a distância entre os rankings para calcular a similaridade tivemos menor similaridade entre G_{norm} e a centralidade *Betweeness*, e uma maior similaridade às centralidades *Eigen Vector* e *Degree*, mas a similaridade nesse caso caiu bastante, mostrando que o ranqueamento entre G_{norm} e as outras similaridades é diferente quando avaliamos os nós mais bem colocados (tabela 12).

A similaridade binária entre as 10 plantas melhores ranqueadas pelos valores de G_{norm} e as 10 melhores ranqueadas pelas centralidades avaliadas ficou entre bem abaixo da observada apenas para os morcegos, ficando, no caso das plantas, entre 20% (*Closeness*, *Eigen Vector* e *Degree*) e 70% (*Betweeness*)(tabela 13). Levando em conta a distância entre os rankings para calcular a similaridade tivemos uma diminuição dos valores, devido a diferença da ordem de ranqueamento, mas manteve a proporcionalidade da similaridade binária (tabela 14).

Usando os correlogramas de Spearman e Pearson apenas para os morcegos (figuras 22

Tabela 11: Similaridade binária entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para os morcegos da rede de Morcego-Planta.

Closeness	Betweenness	Eigen Vector	Degree
0.5	0.4	0.7	0.6

Tabela 12: Similaridade ponderada pela distância dos rankings entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para os morcegos da rede de Morcego-Planta.

Closeness	Betweenness	Eigen Vector	Degree
0.229	0.212	0.349	0.332

Tabela 13: Similaridade binária entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para as plantas da rede de Morcego-Planta.

Closeness	Betweenness	Eigen Vector	Degree
0.2	0.5	0.2	0.2

Tabela 14: Similaridade ponderada pela distância dos rankings entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para as plantas da rede de Morcego-Planta.

Closeness	Betweenness	Eigen Vector	Degree
0.100	0.308	0.083	0.0700

e 23) e para as plantas da rede (figuras 24 e 25), vemos que quando avaliamos apenas os morcegos, a correlação entre as centralidades e G_{norm} é média (entre 0.58 e 0.71) e homogênea entre as centralidades, ficando um pouco mais alta para o *eigen vector* (0.71) no caso do método de Pearson (figura 22). Já quando avaliamos as plantas, temos uma queda na correlação, com exceção da centralidade *Betweenness* para o método de Pearson, onde a correlação ficou com um valor de 0.5.

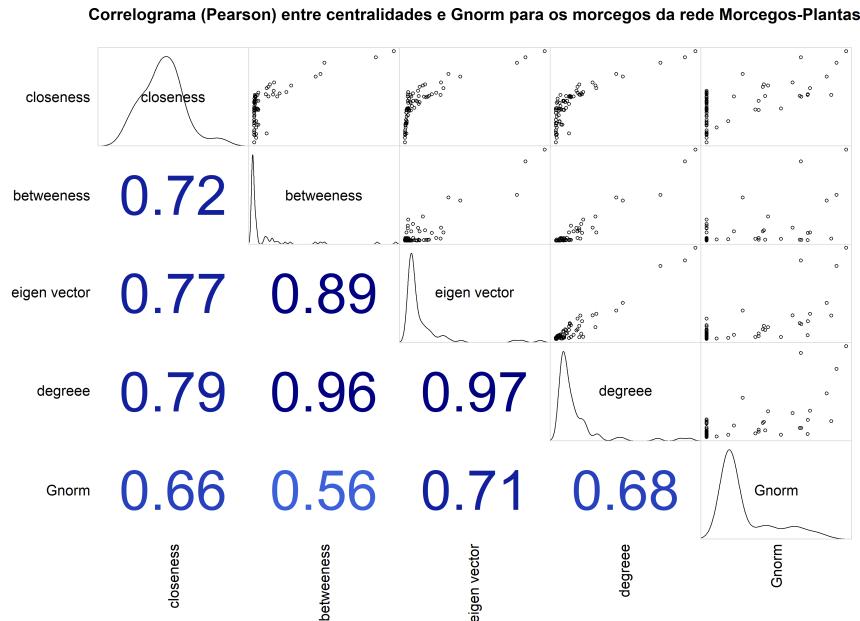


Figura 22: Correlograma comparando as centralidades com G_{norm} utilizando o método de Pearson para os morcegos da rede Morcego-Planta

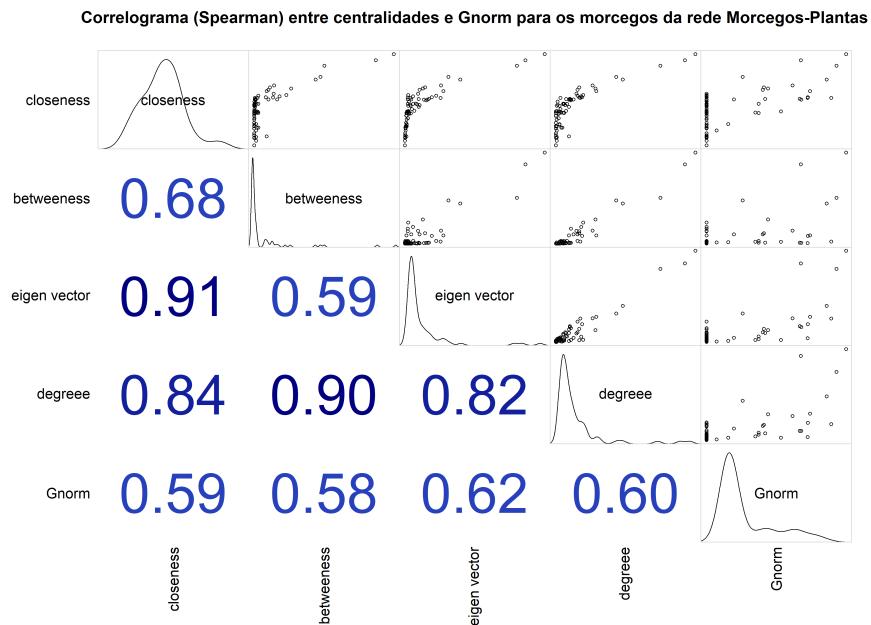


Figura 23: Correlograma comparando as centralidades com G_{norm} utilizando o método de Spearman para os morcegos da rede Morcego-Planta

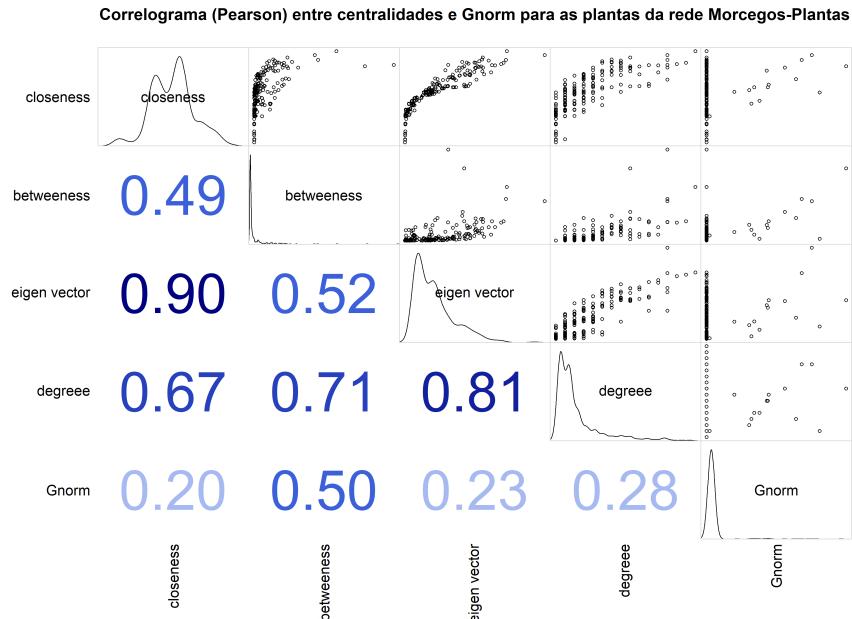


Figura 24: Correlograma comparando as centralidades com G_{norm} utilizando o método de Pearson para as plantas da rede Morcego-Planta

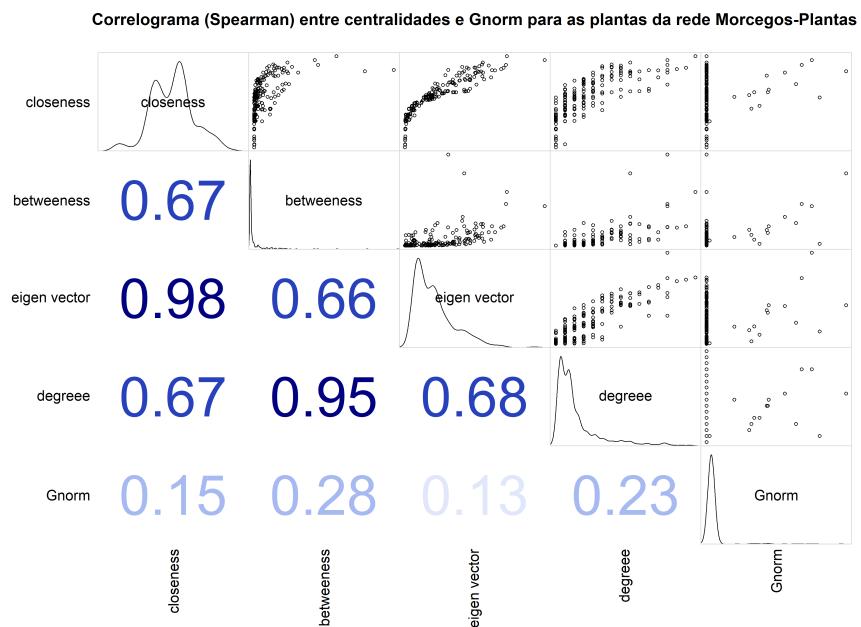


Figura 25: Correlograma comparando as centralidades com G_{norm} utilizando o método de Spearman para as plantas da rede Morcego-Planta

12.2 Comparação G_{norm} e outras métricas de centralidade para a rede Formiga-Planta

Comparando as 10 espécies de formigas mais bem ranqueadas pelas centralidades *Closeness*, *Betweeness*, *Eigen Vector* e *Degree* com as 10 mais bem ranqueadas por G_{norm} vemos que existem 8 espécies que também estão presentes em ao menos uma das centralidades avaliadas.

Duas espécies que estão entre as 10 melhores ranqueadas pelos valores de G_{norm} não estão presentes em nenhuma das centralidades avaliadas. A tabela 15 mostra as 10 espécies melhores ranqueadas pelas centralidades e pelos valores G_{norm} , destacando as espécies em comum (negrito) e únicas do G_{norm} (itálico).

Tabela 15: Nós ordenados de forma decrescente de acordo com seus valores de centralidade e G_{norm} para as formigas da rede de Formiga-Planta. Em negrito as espécies que alto valor de G_{norm} e que também foram selecionadas por pelo menos uma métrica de centralidade. Em itálico as espécies que possuem alto valor de G_{norm} mas não foram selecionadas em nenhuma outra centralidade.

	Closeness		Betweeness		Eigen Vector		Degree		Gnorm
Cepus	0.00520	Cepus	0.53495	Cepus	1.00000	Cepus	294	Camcra	1.35486
Camruf	0.00446	Bracor	0.12861	Bracor	0.31935	Bracor	94	Braptic	1.34081
Bracor	0.00423	Camcra	0.12211	Camruf	0.22994	Camruf	81	Cepus	1.22185
Camcra	0.00409	Braptic	0.08311	Camcra	0.22196	Camcra	80	Camley	1.20006
Braptic	0.00390	Camruf	0.07750	Braptic	0.14228	Braptic	45	<i>Dorgoe</i>	1.19244
Psepal	0.00387	Psepal	0.04944	Psepal	0.12515	Psepal	41	<i>Brasp1</i>	1.15256
Camtra	0.00378	Camtra	0.03318	Camtra	0.12494	Camtra	38	Phetri	1.13723
Camwes	0.00347	Cambla	0.01987	Camwes	0.10575	Camwes	23	Bracor	1.13674
Linmic	0.00344	Camley	0.01921	Phetri	0.05029	Phetri	15	Linmic	1.09468
Camley	0.00340	Ecttub	0.01908	Camley	0.04375	Camley	12	Psepal	1.08898

Comparando as 10 espécies de plantas mais bem ranqueadas pelas centralidades *Closeness*, *Betweeness*, *Eigen Vector* e *Degree* com as 10 mais bem ranqueadas segundo G_{norm} vemos que existem 5 espécies que também estão presentes em ao menos uma das centralidades avaliadas. As outras cinco espécies que estão entre as 10 melhores ranqueadas pelos valores de G_{norm} não estão presentes em nenhuma das centralidades avaliadas. A tabela 16 mostra as 10 espécies melhores ranqueadas pelas centralidades e pelos valores G_{norm} , destacando as espécies em comum (negrito) e únicas do G_{norm} (itálico).

A similaridade binária entre as 10 melhores plantas ranqueadas pelos valores de G_{norm} e as 10 melhores ranqueadas pelas centralidades avaliadas ficaram muito próximas para todas as centralidades estudadas, entre 30% e 40% (tabela 19).

Levando em conta a distância entre os rankings para calcular a similaridade, podemos

ver que houve uma diminuição dos valores e uma maior diferenciação das similaridades entre G_{norm} e as centralidades, com *Closeness* e *Degree* sendo os mais similares (tabela 20).

Tabela 16: Nós ordenados de forma decrescente de acordo com seus valores de centralidade e G_{norm} para as plantas da rede de Formiga-Planta. Em negrito as espécies que alto valor de G_{norm} e que também foram selecionadas por pelo menos uma métrica de centralidade. Em itálico as espécies que possuem alto valor de G_{norm} mas não foram selecionadas em nenhuma outra centralidade.

	Closeness		Betweenness		Eigen Vector		Degree		Gnorm
Baccon	0.004424	Symret	0.09794	Chapap	0.4557	Symret	60	Baccon	1.3861
Velniv	0.004424	Velniv	0.07733	Symret	0.4140	Chapap	58	<i>Vocthy</i>	1.2351
Barfla	0.004385	Chapap	0.07007	Barfla	0.3907	Baccon	47	<i>Remfer</i>	1.1890
Velcor	0.004385	Baccon	0.06570	Baccon	0.3341	Velniv	47	Byrsp1	1.1809
Symret	0.004347	Myrmon	0.06378	Myrmon	0.3053	Barfla	46	<i>Mikita</i>	1.1176
Chapap	0.004273	Barfla	0.06104	Byrsp1	0.2544	Myrmon	46	Aspjol	1.0908
Myrmon	0.004237	Velcor	0.05767	Velniv	0.2482	Velcor	33	Myrmon	1.0428
Byrsp1	0.004201	Tetmic	0.02613	Crosp1	0.2426	Byrsp1	31	<i>Dasret</i>	1.0371
Tetmic	0.004201	Crosp1	0.02532	Aspjol	0.2211	Crosp1	31	<i>Diporb</i>	1.0260
Lycram	0.004065	Peitom	0.02502	Velcor	0.2077	Tetmic	26	Tetmic	1.0250

Tabela 17: Similaridade binária entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para as formigas da rede de Formiga-Planta.

Closeness	Betweenness	Eigen Vector	Degree
0.7	0.6	0.7	0.7

Tabela 18: Similaridade ponderada pela distância dos rankings entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para as formigas da rede de Formiga-Planta.

Closeness	Betweenness	Eigen Vector	Degree
0.220	0.175	0.153	0.225

Tabela 19: Similaridade binária entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para as plantas da rede de Formiga-Planta.

Closeness	Betweenness	Eigen Vector	Degree
0.4	0.3	0.4	0.4

Tabela 20: Similaridade ponderada pela distância dos rankings entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para as plantas da rede de Formiga-Planta.

Closeness	Betweenness	Eigen Vector	Degree
0.270	0.091	0.116	0.203

Usando os correlogramas de Spearman e Pearson apenas para as formigas (figuras 26 e 27) e para as plantas da rede (figuras 28 e 29), vemos que quando avaliamos apenas as

formigas, a correlação entre as centralidades e G_{norm} é média (entre 0.48 e 0.66) quando usamos o método de Pearson, ficando um pouco mais alta e homogênea (entre 0.78 e 0.82) para o método de Spearman. Já quando avaliamos a rede como um todo (plantas e formigas), temos uma queda na correlação, ficando entre 0.43 e 0.48 no método de Pearson e entre 0.49 e 0.66 quando utilizamos o método de Spearman. Quando avaliamos apenas as plantas, a correlação cai um pouco, mas ainda continua próxima do observado apenas para as formigas.

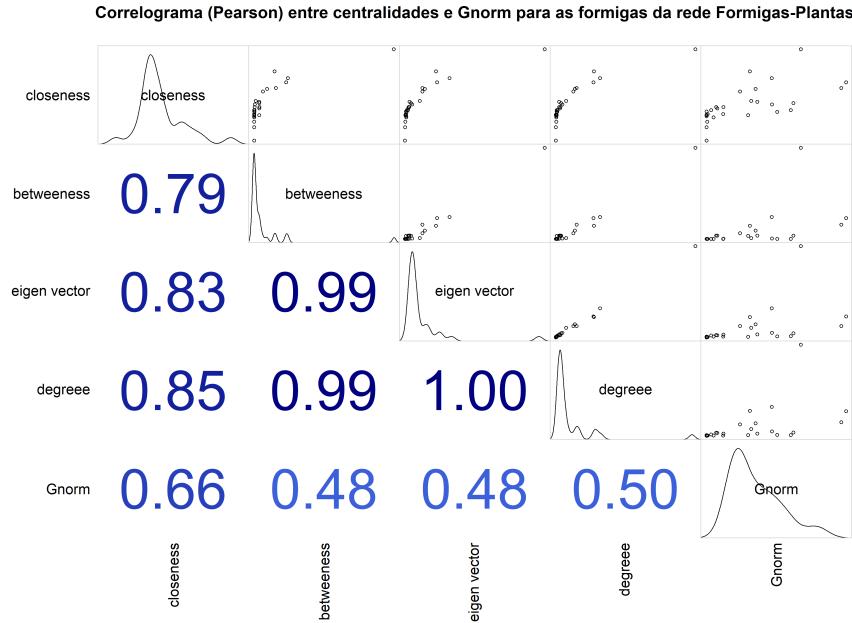


Figura 26: Correlograma comparando as centralidades com G_{norm} utilizando o método de Pearson para as formigas da rede Formiga-Planta

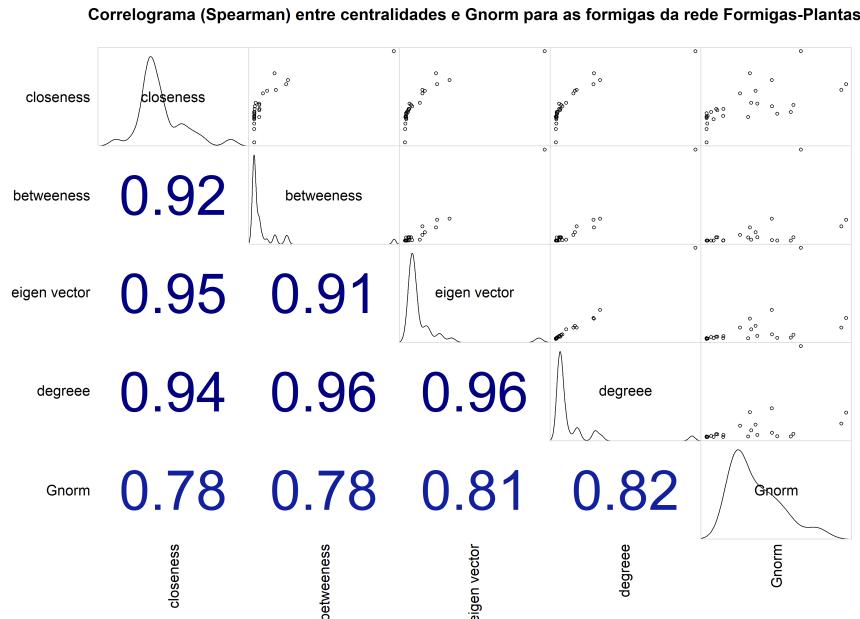


Figura 27: Correlograma comparando as centralidades com G_{norm} utilizando o método de Spearman para as formigas da rede Formiga-Planta

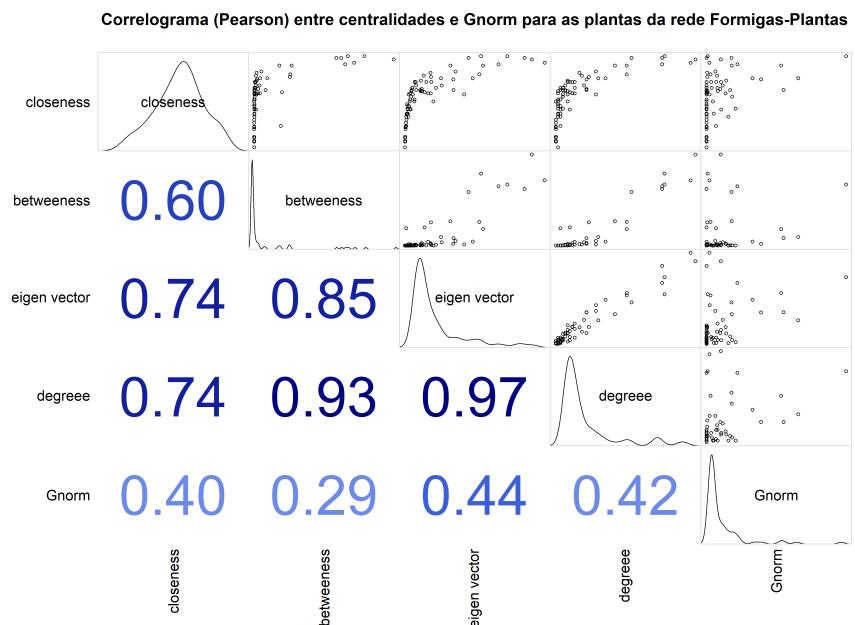


Figura 28: Correlograma comparando as centralidades com G_{norm} utilizando o método de Pearson para as plantas da rede Formiga-Planta

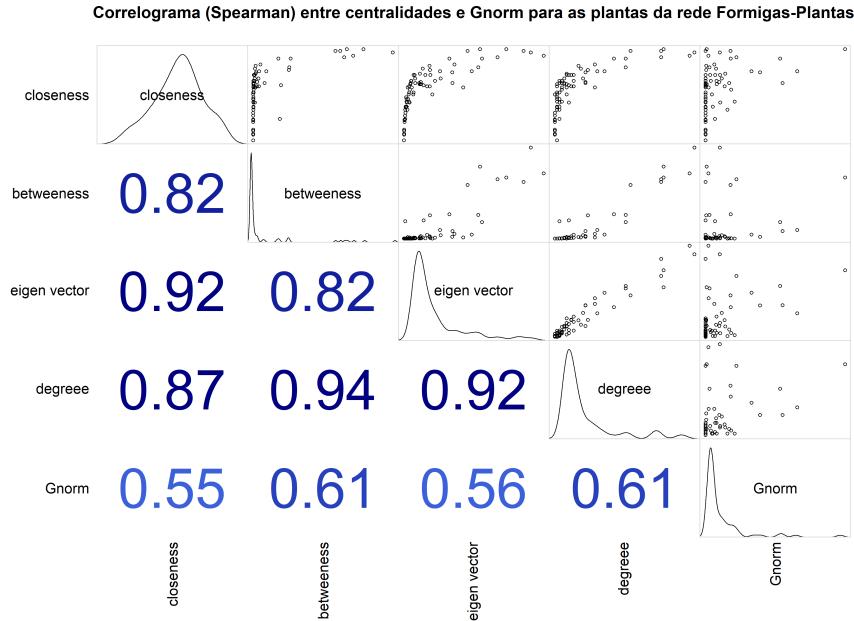


Figura 29: Correlograma comparando as centralidades com G_{norm} utilizando o método de Spearman para as plantas da rede Formiga-Planta

12.3 Comparação entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para as redes aleatórias

As tabelas 21 e 22 mostram a comparação de similaridade binária e de distância entre os nós centrais e com alto G_{norm} para todo o grupo de redes aleatórias estudadas (tabela 8), considerando os 10 nós mais bem ranqueados. As figuras 30 e 30 mostram os correogramas utilizando o método de Pearson e Spearman para as redes aleatórias.

Vemos que mesmo as redes sendo aleatórias, ainda existe uma certa similiaridade e correlação entre nós com alto G_{norm} e as centralidades, apesar de haver variação. As similaridades e correlações não ficaram na mesma ordem que as avaliadas nas redes de Morcego-Planta e Formiga-Planta, diminuindo de valor.

Tabela 21: Similaridade binária entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para as redes aleatórias, considerando os 10 mais bem colocados de cada métrica.

	Closeness	Betweenness	Eigen Vector	Degree
Média	0.327	0.327	0.290	0.309
sd	0.203	0.209	0.208	0.207

Tabela 22: Similaridade ponderada pela distância dos rankings entre G_{norm} e outras métricas de centralidade para as redes aleatórias, considerando os 10 mais bem colocados de cada métrica.

	Closeness	Betweenness	Eigen Vector	Degree
Média	0.109	0.110	0.104	0.108
sd	0.082	0.086	0.088	0.083

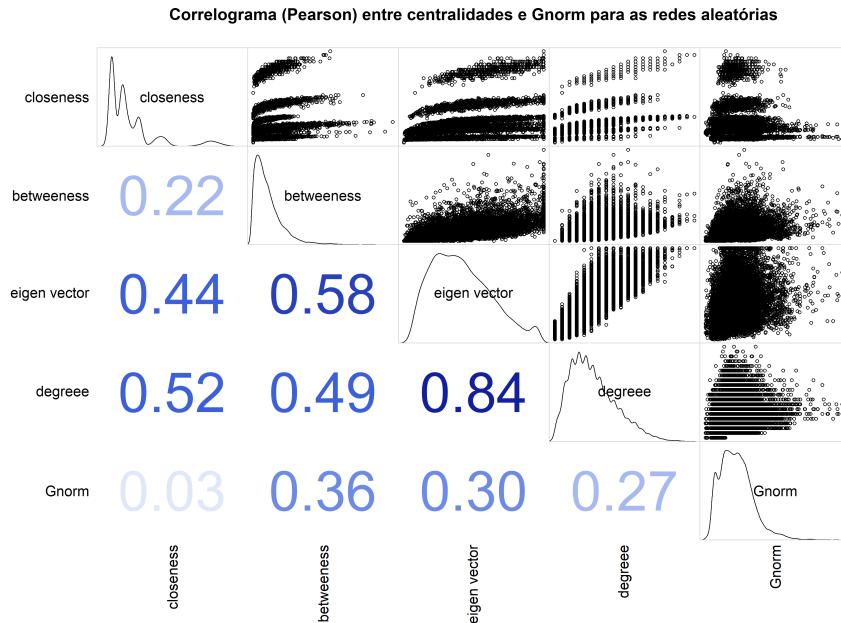


Figura 30: Correlograma comparando as centralidades com G_{norm} utilizando o método de Pearson para as redes aleatórias.

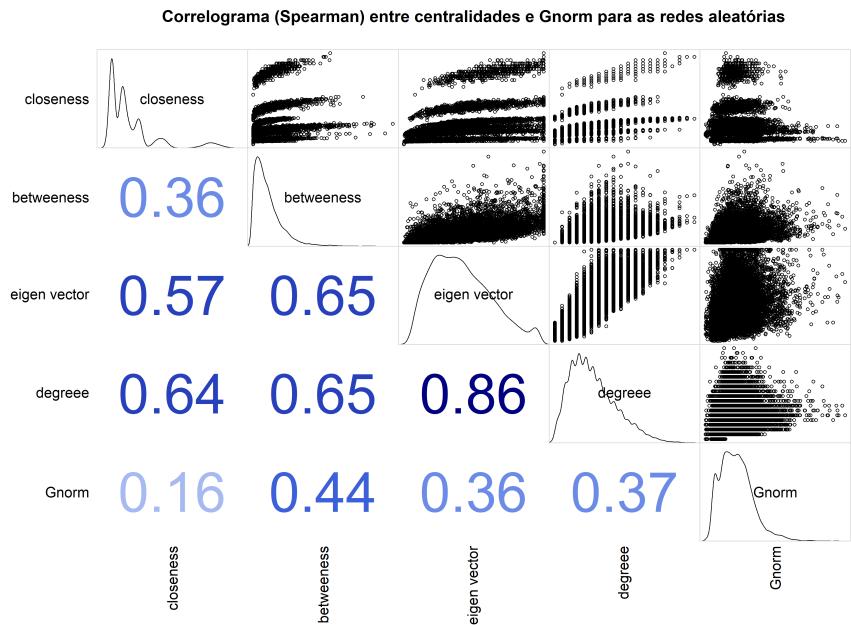


Figura 31: Correlograma comparando as centralidades com G_{norm} utilizando o método de Spearman para as redes aleatórias.

13 Discussão

Os parâmetros ω e γ usados para calcular a modularidade usando o método Louvain em redes *multiplex* abre novas possibilidades para o estudo de redes de interações. Isso porque, ao variarmos esses parâmetros, podemos identificar módulos diferentes, que variam de acordo com o quanto queremos que as camadas estejam acopladas e qual a resolução dos módulos queremos enfocar. Usando essas novas variáveis, podemos também identificar alguns nós especiais que permanecem em módulos diferentes em camadas diferentes, resistindo ao alto acoplamento entre as camadas. Neste estudo, criamos uma nova métrica que operacionaliza essa resistência: G_{norm} .

Nas duas redes reais estudadas, a distribuição dos valores de G_{norm} ficou de acordo com o usual para métricas de centralidade. Isto é, poucas espécies ficaram acima da média da rede e a maioria ficou próxima ou abaixo da média. Isso demonstra que são poucas as espécies que atingem alta centralidade G_{norm} . Além disso, o ranking das espécies com maior G_{norm} difere dos rankings observados para outras métricas de centralidade muito usadas na literatura.

Além dessa diferença entre rankings, G_{norm} apresentou outro comportamento peculiar. A distribuição de G_{norm} para redes aleatórias não apresentou a mesma forma observada para as redes Morcego-Planta e Formiga-Planta, especialmente no caso das redes com duas camadas. Já as redes aleatórias com de três a cinco camadas apresentaram uma distribuição de G_{norm} mais parecida com a observada entre as redes ecológicas. Isso pode ser atribuído ao fato de que, quanto mais camadas uma rede possuir, maior é o valor máximo possível de G_{norm} , mas os valores baixos não mudam muito, fazendo com que a cauda fique mais alongada para o lado direito.

Outra diferença digna de nota é entre os parâmetros usados para analisar a modularidade multicamada e calcular G_{norm} . A variação da resolução γ não parece influenciar G de forma tão intensa quanto a variação no acoplamento ω , mas ela também mostrou ter um efeito sobre essa nova métrica. Portanto, é robusto selecionar nós com alto G_{norm} como candidatos a hubs e conectores, considerando também a variação em γ . Assim, diminuimos a probabilidade de estarmos observando uma exceção dentro de um grande universo de parâmetros de resolução, além de identificar as espécies importantes de uma forma mais generalizada.

Nos casos em que porventura existir uma variação significativa de G_{norm} em relação a γ , podemos concluir que as espécies com alto G_{norm} podem ter sua importância aumentada ou diminuída, caso estejamos interessados em grupos maiores ou menores. Isto pode ocorrer, já que a importância do nó operacionalizada por G_{norm} se baseia na distribuição dos módulos.

Nesse caso, um especialista na área temática da rede estudada poderia interpretar qual a resolução deveria ser utilizada, com base nas propriedades do sistema.

Outro ponto em que o olhar de um especialista pode enxergar grande valor na métrica G_{norm} é o ranking de centralidade dos nós. Quando avaliamos as 10 espécies mais bem ranqueadas das redes ecológicas reais, vimos que as espécies com altos valores de G_{norm} possuem alguma sobreposição com as espécies tidas como centrais por outras métricas nas redes Formiga-Planta (60% - 70% dependendo da métrica) e Morcego-Planta (40% - 70% dependendo da métrica). Isso é interessante, já que o ranqueamento das espécies foi feito levando-se em conta a resistência de cada uma delas ao parâmetro de acoplamento entre camadas ω . Esse é um critério muito diferente dos adotados pelas outras métricas de centralidade avaliados. As correlações de Spearman e Pearson também retornaram valores positivos, porém não muito altos, reforçando que as outras métricas e G_{norm} se sobrepõe de diferentes formas, mas contam histórias diferentes. Já para as redes aleatórias, a correlação entre os rankings obtidos com G_{norm} e com as outras métricas de centralidade monocamada foi menor e variou ainda mais, como esperado.

Algo ainda mais interessante que a similaridade entre as espécies entre os rankings de centralidade, são as diferenças finas em termos de quais nós figuram nesses rankings. As espécies mais bem ranqueadas apenas pelos valores de G_{norm} e que não foram bem ranqueadas pelas outras centralidades estudadas talvez possuam uma importância diferenciada dentro da rede multicamada. Essa importância escapa à identificação por métricas monocamada, o que reforça o valor de estudarmos redes multicamadas usando análises que respeitem sua estrutura original, sem agregar as interações de diferentes tipos.

Por exemplo, no caso das interações entre morcegos e plantas, já foi apontado, com base em análises de redes monocamada (Mello et al., 2014) e também de redes multicamada (Mello et al., 2019), que espécies de morcegos como *Artibeus jamaicensis* (Artjam) e *Anoura caudifer* (Anocau) seriam hubs ou conectoras. Trata-se de morcegos que focam mais em frutos ou flores, respectivamente, mas que são capaz de consumir ambos os recursos. Por isso, além de atingirem altos valores de centralidade monocamada, elas também atingem altos valores de centralidade multicamada. Contudo, no presente estudo, vimos que, levando-se em conta o acoplamento e a resolução da estrutura modular da rede multicamada, outras espécies, como *Artibeus concolor* (Artcon) e *Platyrrhinus helleri* (Plahel) podem ser ainda mais importantes como pontes entre mundos diferentes, devido à sua alta resistência à variação no parâmetro de acoplamento, traduzida como permanência em módulos diferentes em camadas diferentes. O mesmo ocorre com formigas como *Dorymyrmex goeldii* (Dorgoe) e *Brachymyrmex* sp1 (Brasp1), que são identificadas como muito centrais apenas pela nova

métrica. Estudar essas espécies bem ranqueadas apenas por G_{norm} pode levar a novos insights sobre como o papel funcional de mutualistas e antagonistas é determinado por sua ecologia e evolução.

Essas peculiaridades nos levam a sugerir também que a nova métrica de centralidade G_{norm} poderia ser usada para identificar espécies-chave em redes de interações ecológicas. Espécies identificadas por essa métrica, mesmo que identificadas também por outras métricas multicamada, são muito importantes para a transferência de informação por vias diretas e indiretas em sistemas ecológicos. Essas vias unem diferentes grupos de plantas, de diferentes famílias e que produzem diferentes tipos de recursos essenciais para manter populações de animais.

14 Referências

Bianconi, G. (2018). *Multilayer networks: Structure and function*. Oxford University Press.

Blondel, V. D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(10), P10008. <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/10/p10008>

Bonacich, P. (1972). Factoring and weighting approaches to status scores and clique identification. *The Journal of Mathematical Sociology*, 2(1), 113–120. <https://doi.org/10.1080/0022250x.1972.9989806>

Brandes, U., Delling, D., Gaertler, M., Gorke, R., Hoefer, M., Nikoloski, Z., & Wagner, D. (2008). On modularity clustering. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 20(2), 172–188. <https://doi.org/10.1109/tkde.2007.190689>

Costa, F. V., Mello, M. A. R., Bronstein, J. L., Guerra, T. J., Muylaert, R. L., Leite, A. C., & Neves, F. S. (2016). Few ant species play a central role linking different plant resources in a network in rupestrian grasslands. *PLOS ONE*, 11(12), e0167161. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167161>

Dormann, C., Fründ, J., & Schaefer, H. (2017). Identifying causes of patterns in ecological networks: Opportunities and limitations. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48(1), 559–584. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022928>

Fortunato, S., & Hric, D. (2016). Community detection in networks: A user guide. *Physics Reports*, 659, 1–44. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2016.09.002>

Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 40(1), 35. <https://doi.org/10.2307/3033543>

García-Callejas, D., Molowny-Horas, R., & Araújo, M. (2017). Multiple interactions networks: Towards more realistic descriptions of the web of life. *Oikos*, 127(1), 5–22. <https://doi.org/10.1111/oik.04428>

Good, B. H., Montjoye, Y.-A. de, & Clauset, A. (2010). Performance of modularity maximization in practical contexts. *Physical Review E*, 81(4). <https://doi.org/10.1103/physreve.81.046106>

Guimarães, P., Pires, M., Jordano, P., Bascompte, J., & Thompson, J. (2017). Indirect effects drive coevolution in mutualistic networks. *Nature*, 550(7677), 511–514. <https://doi.org/10.1038/nature24259>

[org/10.1038/nature24273](https://doi.org/10.1038/nature24273)

Ings, T. C., & Hawes, J. E. (2018). The history of ecological networks. In *Ecological networks in the tropics* (pp. 15–28). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68228-0_2

Kent, D. V. (1978). *The rise of the medici : Faction in florence 1426-1434*. Oxford university press. <http://lib.ugent.be/catalog/rug01:000703415>

Mello, M. A. R., Felix, G. M., Pinheiro, R. B. P., Muylaert, R. L., Geiselman, C., Santana, S. E., Tschapka, M., Lotfi, N., Rodrigues, F. A., & Stevens, R. D. (2019). Insights into the assembly rules of a continent-wide multilayer network. *Nature Ecology & Evolution*, 3(11), 1525–1532. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1002-3>

Mello, M., Rodrigues, F., Costa, L., Kissling, W., Şekercioğlu, Ç., Marquitti, F., & Kalko, E. (2014). Keystone species in seed dispersal networks are mainly determined by dietary specialization. *Oikos*, 124(8), 1031–1039. <https://doi.org/10.1111/oik.01613>

Meunier, D. (2009). Hierarchical modularity in human brain functional networks. *Frontiers in Neuroinformatics*, 3. <https://doi.org/10.3389/neuro.11.037.2009>

Mucha, P. J., Richardson, T., Macon, K., Porter, M. A., & Onnela, J.-P. (2010). Community structure in time-dependent, multiscale, and multiplex networks. *Science*, 328(5980), 876–878. <https://doi.org/10.1126/science.1184819>

Newman, M. E. J. (2004). Analysis of weighted networks. *Physical Review E*, 70(5). <https://doi.org/10.1103/physreve.70.056131>

Newman, M. E. J., & Girvan, M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. *Physical Review E*, 69(2). <https://doi.org/10.1103/physreve.69.026113>

Pilosof, S., Porter, M. A., Pascual, M., & Kéfi, S. (2017). The multilayer nature of ecological networks. *Nature Ecology & Evolution*, 1(4). <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0101>

Reichardt, J., & Bornholdt, S. (2006). Statistical mechanics of community detection. *Physical Review E*, 74(1). <https://doi.org/10.1103/physreve.74.016110>

Rico-Gray, V., & Oliveira, P. (2007). *The ecology and evolution of ant-plant interactions*. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226713540.001.0001>

Rodrigues, F. A. (2018). Network centrality: An introduction. In *A mathematical modeling approach from nonlinear dynamics to complex systems* (pp. 177–196). Springer

International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78512-7_10

Rossoni, D., Assis, A., Giannini, N., & Marroig, G. (2017). Intense natural selection preceded the invasion of new adaptive zones during the radiation of new world leaf-nosed bats. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08989-6>

Sabidussi, G. (1966). The centrality index of a graph. *Psychometrika*, 31(4), 581–603. <https://doi.org/10.1007/bf02289527>

Zhang, L., Liu, X., Janssens, F., Liang, L., & Glänzel, W. (2010). Subject clustering analysis based on ISI category classification. *Journal of Informetrics*, 4(2), 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2009.11.005>

15 Anexo I - Tabela de referência entre códigos e nomes científicos das espécies da rede Morcego-Planta

Nome científico	Código	Taxon
<i>Anoura caudifer</i>	Anocau	Morcego
<i>Anoura fistulata</i>	Anofis	Morcego
<i>Anoura geoffroyi</i>	Anogeo	Morcego
<i>Ardops nichollsi</i>	Ardnic	Morcego
<i>Artibeus cinereus</i>	Artcin	Morcego
<i>Artibeus concolor</i>	Artcon	Morcego
<i>Artibeus fimbriatus</i>	Artfim	Morcego
<i>Artibeus flavescens</i>	Artfla	Morcego
<i>Artibeus gnomus</i>	Artgno	Morcego
<i>Artibeus hirsutus</i>	Arthir	Morcego
<i>Artibeus jamaicensis</i>	Artjam	Morcego
<i>Artibeus lituratus</i>	Artlit	Morcego
<i>Artibeus obscurus</i>	Artobs	Morcego
<i>Artibeus phaeotis</i>	Artpha	Morcego
<i>Artibeus planirostris</i>	Artpla	Morcego
<i>Artibeus toltecus</i>	Arttol	Morcego
<i>Artibeus watsoni</i>	Artwat	Morcego
<i>Brachyphylla cavernarum</i>	Bracav	Morcego
<i>Brachyphylla nana</i>	Branan	Morcego
<i>Carollia brevicauda</i>	Carbre	Morcego
<i>Carollia castanea</i>	Carcas	Morcego
<i>Carollia perspicillata</i>	Carper	Morcego
<i>Carollia sowelli</i>	Carsow	Morcego
<i>Carollia subrufa</i>	Carsub	Morcego
<i>Centurio senex</i>	Censen	Morcego
<i>Chiroderma doriae</i>	Chidor	Morcego
<i>Chiroderma salvini</i>	Chisal	Morcego
<i>Chiroderma trinitatum</i>	Chitri	Morcego
<i>Chiroderma villosum</i>	Chivil	Morcego
<i>Choeroniscus godmani</i>	Chogod	Morcego
<i>Choeronycteris mexicana</i>	Chomex	Morcego
<i>Ectophylla alba</i>	Ectalb	Morcego
<i>Enchisthenes hartii</i>	Enchar	Morcego
<i>Erophylla sezekorni</i>	Erosez	Morcego
<i>Glossophaga commissarisi</i>	Glocom	Morcego

Continua na próxima página

Continuação da página anterior

Nome científico	Código	Taxon
<i>Glossophaga leachii</i>	Golea	Morcego
<i>Glossophaga longirostris</i>	Glolon	Morcego
<i>Glossophaga soricina</i>	Glosor	Morcego
<i>Hylonycteris underwoodi</i>	Hylund	Morcego
<i>Lampronycteris brachyotis</i>	Lambra	Morcego
<i>Leptonycteris curasoae</i>	Lepcur	Morcego
<i>Leptonycteris nivalis</i>	Lepniv	Morcego
<i>Leptonycteris yerbabuenae</i>	Lepyer	Morcego
<i>Lichonycteris obscura</i>	Licobs	Morcego
<i>Lonchophylla bokermanni</i>	Lonbok	Morcego
<i>Lonchophylla mordax</i>	Lonmor	Morcego
<i>Lonchophylla robusta</i>	Lonrob	Morcego
<i>Macrotus waterhousii</i>	Macwat	Morcego
<i>Mesophylla macconelli</i>	Mesmac	Morcego
<i>Micronycteris hirsuta</i>	Michir	Morcego
<i>Micronycteris megalotis</i>	Micmeg	Morcego
<i>Monophyllus plethodon</i>	Monple	Morcego
<i>Monophyllus redmani</i>	Monred	Morcego
<i>Musonycteris harrisoni</i>	Mushar	Morcego
<i>Phyllonycteris poeyi</i>	Phypoe	Morcego
<i>Phyllostomus discolor</i>	Phydis	Morcego
<i>Phyllostomus elongatus</i>	Phyelo	Morcego
<i>Phyllostomus hastatus</i>	Phyhas	Morcego
<i>Platalina genovensium</i>	Plagen	Morcego
<i>Platyrrhinus brachycephalus</i>	Plabra	Morcego
<i>Platyrrhinus helleri</i>	Plahel	Morcego
<i>Platyrrhinus lineatus</i>	Plalin	Morcego
<i>Platyrrhinus recifinus</i>	Plarec	Morcego
<i>Pygoderma bilabiatum</i>	Pygbil	Morcego
<i>Rhinophylla pumilio</i>	Rhipum	Morcego
<i>Stenoderma rufum</i>	Steruf	Morcego
<i>Sturnira erythromos</i>	Stuery	Morcego
<i>Sturnira lilium</i>	Stulil	Morcego
<i>Sturnira ludovici</i>	Stulud	Morcego
<i>Sturnira oporophilum</i>	Stuopo	Morcego
<i>Sturnira tildae</i>	Stutil	Morcego
<i>Uroderma bilobatum</i>	Urobil	Morcego
<i>Uroderma magnirostrum</i>	Uromag	Morcego
<i>Vampyressa nymphaea</i>	Vamnym	Morcego

Continua na próxima página

Continuação da página anterior

Nome científico	Código	Taxon
<i>Vampyressa pusilla</i>	Vampus	Morcego
<i>Vampyrodes caraccioli</i>	Vamcar	Morcego
<i>Vampyrops helleri</i>	Vamhel	Morcego
<i>Abutilon regnelli</i>	Abureg	Planta
<i>Acacia collinsii</i>	Acacol	Planta
<i>Acacia farnesiana</i>	Acafar	Planta
<i>Acnistus arborescens</i>	Acnarb	Planta
<i>Acrocomia aculeata</i>	Acracu	Planta
<i>Adenocalymna dichilum</i>	Adedic	Planta
<i>Aechmea tillandsioides</i>	Aectil	Planta
<i>Agave angustifolia</i>	Agaang	Planta
<i>Agave colimana</i>	Agacol	Planta
<i>Agave desmettiana</i>	Agades	Planta
<i>Agave grisea</i>	Agagri	Planta
<i>Agave macroacantha</i>	Agamac	Planta
<i>Agave palmeri</i>	Agapal	Planta
<i>Agave schottii</i>	Agasch	Planta
<i>Agave subsimplex</i>	Agasub	Planta
<i>Albizia occidentalis</i>	Albocc	Planta
<i>Alexa grandiflora</i>	Alegra	Planta
<i>Alnus jorulensis</i>	Alnjor	Planta
<i>Anacardium excelsum</i>	Anaexc	Planta
<i>Andira inermis</i>	Andine	Planta
<i>Annona exsucca</i>	Annexs	Planta
<i>Annona montana</i>	Annmon	Planta
<i>Annona muricata</i>	Annmur	Planta
<i>Annona squamosa</i>	Annsqu	Planta
<i>Artocarpus integrifolia</i>	Artint	Planta
<i>Asplundia vagans</i>	Aspvag	Planta
<i>Bauhinia multinervia</i>	Baumul	Planta
<i>Bauhinia pauletia</i>	Baupau	Planta
<i>Bauhinia rufa</i>	Bauruf	Planta
<i>Bauhinia unguulata</i>	Bauung	Planta
<i>Berrya cubensis</i>	Bercub	Planta
<i>Bignonia diversifolia</i>	Bigdiv	Planta
<i>Bocoa prouacensis</i>	Bocpro	Planta
<i>Bombacopsis squamigera</i>	Bomsqu	Planta
<i>Brosimum alicastrum</i>	Broali	Planta
<i>Burmeistera borjensis</i>	Burbor	Planta

Continua na próxima página

Continuação da página anterior

Nome científico	Código	Taxon
<i>Burmeistera ceratocarpa</i>	Burcer	Planta
<i>Burmeistera cyclostigmata</i>	Burcyc	Planta
<i>Burmeistera cylindrocarpa</i>	Burcyl	Planta
<i>Burmeistera lutescens</i>	Burlut	Planta
<i>Burmeistera multiflora</i>	Burmul	Planta
<i>Burmeistera smaragdina</i>	Bursma	Planta
<i>Burmeistera sodiroana</i>	Bursod	Planta
<i>Burmeistera succulenta</i>	Bursuc	Planta
<i>Burmeistera truncata</i>	Burtru	Planta
<i>Byrsonima spicata</i>	Byrspi	Planta
<i>Caesalpinia vesicaria</i>	Caeves	Planta
<i>Calliandra laxa</i>	Callax	Planta
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Calbra	Planta
<i>Calophyllum longifolium</i>	Callon	Planta
<i>Calycolpus warszewiczianus</i>	Calwar	Planta
<i>Calyptanthes chytraculia</i>	Calchy	Planta
<i>Calyptogyne ghiesbreghtiana</i>	Calghi	Planta
<i>Campomanesia mediterranea</i>	Cammed	Planta
<i>Carica papaya</i>	Carpap	Planta
<i>Carludovica palmata</i>	Carpal	Planta
<i>Carnegiea gigantea</i>	Cargig	Planta
<i>Caryocar Brasiliense</i>	CarBra	Planta
<i>Caryocar glabrum</i>	Cargla	Planta
<i>Casimiroa edulis</i>	Casedu	Planta
<i>Cecropia angustifolia</i>	Cecang	Planta
<i>Cecropia concolor</i>	Ceccon	Planta
<i>Cecropia distachya</i>	Cecdis	Planta
<i>Cecropia ficifolia</i>	Cecfic	Planta
<i>Cecropia glaziovii</i>	Cecgla	Planta
<i>Cecropia hololeuca</i>	Cechol	Planta
<i>Cecropia insignis</i>	Cecins	Planta
<i>Cecropia membranacea</i>	Cecmem	Planta
<i>Cecropia obtusa</i>	Cecobt	Planta
<i>Cecropia obtusifolia</i>	Cecobt	Planta
<i>Cecropia pachystachya</i>	Cecpac	Planta
<i>Cecropia Palmata</i>	CecPal	Planta
<i>Cecropia peltata</i>	Cecpel	Planta
<i>Cecropia schreberiana</i>	Cecschi	Planta
<i>Cecropia sciadophylla</i>	Cecsci	Planta

Continua na próxima página

Continuação da página anterior

Nome científico	Código	Taxon
<i>Ceiba aesculifolia</i>	Ceiaes	Planta
<i>Ceiba pentandra</i>	Ceipen	Planta
<i>Celtis iguanaea</i>	Celigu	Planta
<i>Centropogon nigricans</i>	Cennig	Planta
<i>Cephalocereus column-trajani</i>	Cepcol	Planta
<i>Cereus hexagonus</i>	Cerhex	Planta
<i>Cereus repandus</i>	Cerrep	Planta
<i>Chelonanthus alatus</i>	Cheala	Planta
<i>Chrysobalanus icaco</i>	Chraca	Planta
<i>Chrysophyllum cainito</i>	Chrcai	Planta
<i>Citrus aurantium</i>	Citaur	Planta
<i>Clarisia mexicana</i>	Clamex	Planta
<i>Cleome spinosa</i>	Clespi	Planta
<i>Clidemia octona</i>	Clioct	Planta
<i>Clusia flava</i>	Clufla	Planta
<i>Cobaea aschersoniana</i>	Cobasc	Planta
<i>Coccocloba uvifera</i>	Cocuvi	Planta
<i>Cocos nucifera</i>	Cocnuc	Planta
<i>Coffea arabica</i>	Cofara	Planta
<i>Conostegia icosandra</i>	Conico	Planta
<i>Conostegia volcanalis</i>	Convol	Planta
<i>Conostegia xalapensis</i>	Conxal	Planta
<i>Cordia alliodora</i>	Corall	Planta
<i>Cordia bicolor</i>	Corbic	Planta
<i>Cordia collococca</i>	Corcol	Planta
<i>Cordia dentata</i>	Corden	Planta
<i>Cordia dodecandra</i>	Cordod	Planta
<i>Cordia gerascanthus</i>	Corger	Planta
<i>Couma utilis</i>	Couuti	Planta
<i>Coussapoa villosa</i>	Couvil	Planta
<i>Crataeva palmeri</i>	Crapal	Planta
<i>Crescentia alata</i>	Creala	Planta
<i>Crescentia cujete</i>	Crecuj	Planta
<i>Cucurbita argyrosperma</i>	Cucarg	Planta
<i>Cyathula prostrata</i>	Cyapro	Planta
<i>Cynometra retusa</i>	Cynret	Planta
<i>Dendrocereus nudiflorus</i>	Dennud	Planta
<i>Dendropanax arboreus</i>	Denarb	Planta
<i>Dichrostachys cinerea</i>	Diccin	Planta

Continua na próxima página

Continuação da página anterior

Nome científico	Código	Taxon
<i>Diospyros ebenaster</i>	Dioebe	Planta
<i>Diospyros kaki</i>	Diokak	Planta
<i>Diospyros mabolo</i>	Diomab	Planta
<i>Diospyros nigra</i>	Dionig	Planta
<i>Dipteryx odorata</i>	Dipodo	Planta
<i>Dipteryx oleifera</i>	Dipole	Planta
<i>Dipteryx panamensis</i>	Dippan	Planta
<i>Drymonia rubra</i>	Dryrub	Planta
<i>Dypsis lutescens</i>	Dyplut	Planta
<i>Dyssochroma viridiflora</i>	Dysvir	Planta
<i>Emmotum nitens</i>	Emmnit	Planta
<i>Encholirium glaziovii</i>	Encgra	Planta
<i>Eperua falcata</i>	Epefal	Planta
<i>Epiphyllum hookeri</i>	Epihoo	Planta
<i>Eriobotrya japonica</i>	Erijap	Planta
<i>Eriolarynx lorentzii</i>	Erilor	Planta
<i>Eugenia acapulcensis</i>	Eugaca	Planta
<i>Eugenia nesiotica</i>	Eugnes	Planta
<i>Eugenia uniflora</i>	Euguni	Planta
<i>Euterpe edulis</i>	Eutedu	Planta
<i>Ficus altissima</i>	Ficalt	Planta
<i>Ficus aurea</i>	Ficaur	Planta
<i>Ficus benjamina</i>	Ficben	Planta
<i>Ficus cahuitensis</i>	Ficcah	Planta
<i>Ficus citrifolia</i>	Ficcit	Planta
<i>Ficus colubrinae</i>	Ficcol	Planta
<i>Ficus costaricana</i>	Ficcos	Planta
<i>Ficus cotinifolia</i>	Ficcot	Planta
<i>Ficus crassinervia</i>	Ficdra	Planta
<i>Ficus crocata</i>	Ficcro	Planta
<i>Ficus eximia</i>	Ficexi	Planta
<i>Ficus hartwegii</i>	Fichar	Planta
<i>Ficus insipida</i>	Ficins	Planta
<i>Ficus luschnatiana</i>	Ficlus	Planta
<i>Ficus matiziana</i>	Ficmat	Planta
<i>Ficus maxima</i>	Ficmax	Planta
<i>Ficus nymphaefolia</i>	Ficnym	Planta
<i>Ficus obtusifolia</i>	Ficobt	Planta
<i>Ficus paraensis</i>	Ficpar	Planta

Continua na próxima página

Continuação da página anterior

Nome científico	Código	Taxon
<i>Ficus pertusa</i>	Ficper	Planta
<i>Ficus popenoei</i>	Ficpop	Planta
<i>Ficus religiosa</i>	Ficrel	Planta
<i>Ficus retusa</i>	Ficret	Planta
<i>Ficus skytinodermis</i>	Ficsky	Planta
<i>Ficus tonduzii</i>	Ficton	Planta
<i>Ficus trigonata</i>	Fictri	Planta
<i>Ficus yoponensis</i>	Ficyop	Planta
<i>Flacourtie indica</i>	Flaind	Planta
<i>Garcinia intermedia</i>	Garint	Planta
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guaulm	Planta
<i>Guettarda foliacea</i>	Guefol	Planta
<i>Gurania acuminata</i>	Guracu	Planta
<i>Gurania lobata</i>	Gurlob	Planta
<i>Gustavia superba</i>	Gussup	Planta
<i>Harpochilus neesianus</i>	Harnee	Planta
<i>Hawkesiophyton ulei</i>	Hawule	Planta
<i>Helicteris baruensis</i>	Helbar	Planta
<i>Hernandia didymantha</i>	Herdid	Planta
<i>Hibiscus elatus</i>	Hibela	Planta
<i>Hillia illustris</i>	Hilill	Planta
<i>Hohenbergia penduliflora</i>	Hohpen	Planta
<i>Hura polyandra</i>	Hurpol	Planta
<i>Hylocereus lemairei</i>	Hyllem	Planta
<i>Hylocereus undatus</i>	Hylund	Planta
<i>Hymenaea courbaril</i>	Hymcou	Planta
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	Hymsti	Planta
<i>Inga eriocarpa</i>	Ingeri	Planta
<i>Inga vera</i>	Ingver	Planta
<i>Ipomea ampullacea</i>	Ipoamp	Planta
<i>Karwinskia calderonii</i>	Karcal	Planta
<i>Kigelia africana</i>	Kigafr	Planta
<i>Lafoensia glyptocarpa</i>	Lafgly	Planta
<i>Lafoensia pacari</i>	Lafpac	Planta
<i>Lafoensia vandelliana</i>	Lafvan	Planta
<i>Lecythis zabucajo</i>	Leczab	Planta
<i>Leptocereus arboreus</i>	Leparb	Planta
<i>Leptocereus santamarinae</i>	Lepsan	Planta
<i>Leptocereus wrightii</i>	Lepwri	Planta

Continua na próxima página

Continuação da página anterior

Nome científico	Código	Taxon
<i>Licania arborea</i>	Licarb	Planta
<i>Livistona chinensis</i>	Livchi	Planta
<i>Lycianthes glandulosa</i>	Lycgla	Planta
<i>Lycianthes multiflora</i>	Lycmul	Planta
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	Lyslat	Planta
<i>Mabea occidentalis</i>	Mabocc	Planta
<i>Maclura tinctoria</i>	Mactin	Planta
<i>Malpighia glabra</i>	Malgla	Planta
<i>Mammea americana</i>	Mamame	Planta
<i>Manfreda scabra</i>	Mansca	Planta
<i>Mangifera indica</i>	Manind	Planta
<i>Manilkara bidentata</i>	Manbid	Planta
<i>Manilkara zapota</i>	Manzap	Planta
<i>Marcgravia coriacea</i>	Marcor	Planta
<i>Marcgravia mexicana</i>	Marmex	Planta
<i>Marcgravia nepenthoides</i>	Marnep	Planta
<i>Marcgravia nervosa</i>	Marner	Planta
<i>Marcgravia pittieri</i>	Marpit	Planta
<i>Marcgravia polyantha</i>	Marpol	Planta
<i>Marcgravia serra</i>	Marser	Planta
<i>Marcgravia trinitatis</i>	Martri	Planta
<i>Markea neurantha</i>	Marneu	Planta
<i>Matisia bracteolosa</i>	Matbra	Planta
<i>Matisia cordata</i>	Matcor	Planta
<i>Matisia ochrocalyx</i>	Matoch	Planta
<i>Melicoccus bijugatus</i>	Melbij	Planta
<i>Meriania pichinchensis</i>	Merpic	Planta
<i>Merinthopodium neuranthum</i>	Merneu	Planta
<i>Mimosa lewisi</i>	Mimlew	Planta
<i>Mimusops elengi</i>	Mimele	Planta
<i>Morinda royoc</i>	Morroy	Planta
<i>Morus nigra</i>	Mornig	Planta
<i>Mucuna holtonii</i>	Muchol	Planta
<i>Mucuna urens</i>	Mucure	Planta
<i>Muntingia calabura</i>	Muncal	Planta
<i>Musa acuminata</i>	Musacu	Planta
<i>Musa paradisiaca</i>	Muspar	Planta
<i>Myrcia paivae</i>	Myrpai	Planta
<i>Myrciaria jaboticaba</i>	Myrjab	Planta

Continua na próxima página

Continuação da página anterior

Nome científico	Código	Taxon
<i>Nectandra ambigens</i>	Necamb	Planta
<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	Neotet	Planta
<i>Ochroma pyramidalis</i>	Ochpyr	Planta
<i>Oenocarpus distichus</i>	Oendis	Planta
<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i>	Pacpec	Planta
<i>Pachycereus pringlei</i>	Pacpri	Planta
<i>Pachycereus weberi</i>	Pacweb	Planta
<i>Parkia cachimboensis</i>	Parcac	Planta
<i>Parkia igneiflora</i>	Parign	Planta
<i>Parkia nitida</i>	Parnit	Planta
<i>Parkia pendula</i>	Parpen	Planta
<i>Parkia platycephala</i>	Parpla	Planta
<i>Parmentiera aculeata</i>	Paracu	Planta
<i>Passiflora amethystina</i>	Pasame	Planta
<i>Passiflora mucronata</i>	Pasmuc	Planta
<i>Passiflora penduliflora</i>	Paspen	Planta
<i>Passiflora punctata</i>	Paspun	Planta
<i>Passiflora quadrangularis</i>	Pasqua	Planta
<i>Passiflora unipetala</i>	Pasuni	Planta
<i>Peltophorum adnatum</i>	Peladn	Planta
<i>Persea americana</i>	Perame	Planta
<i>Phenakospermum guyannense</i>	Pheguy	Planta
<i>Philodendron appendiculatum</i>	Phiapp	Planta
<i>Philodendron cuneatum</i>	Phicun	Planta
<i>Phoenix dactylifera</i>	Phodac	Planta
<i>Phytolacca rivinoides</i>	Phyriv	Planta
<i>Pilocarpus pinnatus</i>	Pilpin	Planta
<i>Pilosocereus chrysacanthus</i>	Pilchr	Planta
<i>Pilosocereus lanuginosus</i>	Pillan	Planta
<i>Pilosocereus moritzianus</i>	Pilmor	Planta
<i>Pilosocereus tillianus</i>	Piltil	Planta
<i>Pilosocereus tuberculatus</i>	Piltub	Planta
<i>Pimenta racemosa</i>	Pimrac	Planta
<i>Piper aduncum</i>	Pipadu	Planta
<i>Piper aequale</i>	Pipaeq	Planta
<i>Piper amalago</i>	Pipama	Planta
<i>Piper arboreum</i>	Piparb	Planta
<i>Piper augustum</i>	Pipaug	Planta
<i>Piper auritum</i>	Pipaur	Planta

Continua na próxima página

Continuação da página anterior

Nome científico	Código	Taxon
<i>Piper bisasperatum</i>	Pipbis	Planta
<i>Piper carrilloanum</i>	Pipcar	Planta
<i>Piper cenocladum</i>	Pipcen	Planta
<i>Piper colonense</i>	Pipcol	Planta
<i>Piper cordulatum</i>	Pipcor	Planta
<i>Piper crassinervium</i>	Pipcra	Planta
<i>Piper cyrtopodon</i>	Pipcyr	Planta
<i>Piper darienense</i>	Pipdar	Planta
<i>Piper dilatatum</i>	Pipdil	Planta
<i>Piper divaricatum</i>	Pipdiv	Planta
<i>Piper dotanum</i>	Pipdot	Planta
<i>Piper epigynium</i>	Pipepi	Planta
<i>Piper friedrichsthali</i> <i>i</i>	Pipfri	Planta
<i>Piper gaudichaudianum</i>	Pipgau	Planta
<i>Piper geniculatum</i>	Pipgen	Planta
<i>Piper gibbosum</i>	Pipgib	Planta
<i>Piper glabrescens</i>	Pipgla	Planta
<i>Piper glabrum</i>	Pipgla	Planta
<i>Piper grande</i>	Pipgra	Planta
<i>Piper hieronymi</i>	Piphie	Planta
<i>Piper hispidum</i>	Piphis	Planta
<i>Piper hostmannianum</i>	Piphos	Planta
<i>Piper jacquemontianum</i>	Pipjac	Planta
<i>Piper lanceifolium</i>	Piplan	Planta
<i>Piper lapathifolium</i>	Piplap	Planta
<i>Piper marginatum</i>	Pipmar	Planta
<i>Piper mollicarium</i>	Pipmol	Planta
<i>Piper multiplinervium</i>	Pipmul	Planta
<i>Piper obliquum</i>	Pipobl	Planta
<i>Piper peltatum</i>	Pippel	Planta
<i>Piper phytolaccifolium</i>	Pipphy	Planta
<i>Piper reticulatum</i>	Pipret	Planta
<i>Piper sanctum</i>	Pipsan	Planta
<i>Piper secundum</i>	Pipsec	Planta
<i>Piper trigonum</i>	Piptri	Planta
<i>Piper tuberculatum</i>	Piptub	Planta
<i>Piper tucumanum</i>	Piptuc	Planta
<i>Piper umbellatum</i>	Pipumb	Planta
<i>Pitcairnia brongniartiana</i>	Pitbro	Planta

Continua na próxima página

Continuação da página anterior

Nome científico	Código	Taxon
<i>Plinia pinnata</i>	Plipin	Planta
<i>Poraqueiba sericea</i>	Porser	Planta
<i>Poulsenia armata</i>	Pouarm	Planta
<i>Pouteria caimito</i>	Poucai	Planta
<i>Pouteria campechiana</i>	Poucam	Planta
<i>Pouteria multiflora</i>	Poumul	Planta
<i>Pouteria reticulata</i>	Pouret	Planta
<i>Pouteria sapota</i>	Pousap	Planta
<i>Prestoea acuminata</i>	Preacu	Planta
<i>Protium araguense</i>	Proara	Planta
<i>Prunus persica</i>	Pruper	Planta
<i>Pseudanamomis umbellulifera</i>	Pseumb	Planta
<i>Pseudobombax ellipticum</i>	Psell	Planta
<i>Pseudobombax grandiflorum</i>	Psegra	Planta
<i>Pseudobombax septenatum</i>	Psesep	Planta
<i>Pseudolmedia glabrata</i>	Psegla	Planta
<i>Psidium guajava</i>	Psigua	Planta
<i>Psidium guianense</i>	Psigui	Planta
<i>Psychotria carthagrenensis</i>	Psycar	Planta
<i>Putranjiva roxburghii</i>	Putrox	Planta
<i>Quararibea asterolepis</i>	Quaast	Planta
<i>Quararibea funebris</i>	Quafun	Planta
<i>Quararibea parvifolia</i>	Quapar	Planta
<i>Randia armata</i>	Ranarm	Planta
<i>Rhizophora mangle</i>	Rhiman	Planta
<i>Rollinia mucosa</i>	Rolmuc	Planta
<i>Roystonea oleracea</i>	Royole	Planta
<i>Roystonea regia</i>	Royreg	Planta
<i>Rubus brasiliensis</i>	Rubbra	Planta
<i>Sabal palmetto</i>	Sabpal	Planta
<i>Sacoglottis guianensis</i>	Sacgui	Planta
<i>Sapindus saponaria</i>	Sapsap	Planta
<i>Saurauia montana</i>	Saumon	Planta
<i>Schlotesianthus venosus</i>	Schven	Planta
<i>Senna bacillaris</i>	Senbac	Planta
<i>Senna fructicosa</i>	Senfru	Planta
<i>Senna undulata</i>	Senund	Planta
<i>Sideroxylon capiri</i>	Sidcap	Planta
<i>Sideroxylon foetidissimum</i>	Sidfoe	Planta

Continua na próxima página

Continuação da página anterior

Nome científico	Código	Taxon
<i>Siphocampylus sulfureus</i>	Sipsul	Planta
<i>Socratea exorrhiza</i>	Socexo	Planta
<i>Solanum aligerum</i>	Solali	Planta
<i>Solanum aphyodendron</i>	Solaph	Planta
<i>Solanum arboreum</i>	Solarb	Planta
<i>Solanum argenteum</i>	Solarg	Planta
<i>Solanum asperolanatum</i>	Solasp	Planta
<i>Solanum asperum</i>	Solasp	Planta
<i>Solanum caavurana</i>	Solcaa	Planta
<i>Solanum cinnamomeum</i>	Solcin	Planta
<i>Solanum confusum</i>	Solcon	Planta
<i>Solanum donianum</i>	Soldon	Planta
<i>Solanum erianthum</i>	Soleri	Planta
<i>Solanum grandiflorum</i>	Solgra	Planta
<i>Solanum granuloso-leprosum</i>	Solgra	Planta
<i>Solanum hayesii</i>	Solhay	Planta
<i>Solanum hazenii</i>	Solhaz	Planta
<i>Solanum hirtum</i>	Solhir	Planta
<i>Solanum jamaicense</i>	Soljam	Planta
<i>Solanum lanceolatum</i>	Sollan	Planta
<i>Solanum leucocarpon</i>	Solleu	Planta
<i>Solanum megalochiton</i>	Solmeg	Planta
<i>Solanum nigricans</i>	Solnig	Planta
<i>Solanum paniculatum</i>	Solpan	Planta
<i>Solanum paranense</i>	Solpar	Planta
<i>Solanum pseudocapsicum</i>	Solpse	Planta
<i>Solanum pseudoquina</i>	Solpse	Planta
<i>Solanum riparium</i>	Solrip	Planta
<i>Solanum rovirosanum</i>	Solrov	Planta
<i>Solanum rudepannum</i>	Solrud	Planta
<i>Solanum rufescens</i>	Solruf	Planta
<i>Solanum rugosum</i>	Solrug	Planta
<i>Solanum sanctaecathariniae</i>	Solsan	Planta
<i>Solanum scuticum</i>	Solscu	Planta
<i>Solanum subinerme</i>	Solsub	Planta
<i>Solanum subsylvestre</i>	Solsub	Planta
<i>Solanum swartzianum</i>	Solswa	Planta
<i>Solanum symmetricum</i>	Solsym	Planta
<i>Solanum tenuispinum</i>	Solten	Planta

Continua na próxima página

Continuação da página anterior

Nome científico	Código	Taxon
<i>Solanum trichoneuron</i>	Soltri	Planta
<i>Solanum umbellatum</i>	Solumb	Planta
<i>Solanum variabile</i>	Solvar	Planta
<i>Souroubea guianensis</i>	Sougui	Planta
<i>Spondias dulcis</i>	Spodul	Planta
<i>Spondias mombin</i>	Spomom	Planta
<i>Spondias purpurea</i>	Spopur	Planta
<i>Spondias radlkoferi</i>	Sporad	Planta
<i>Stenocereus griseus</i>	Stegri	Planta
<i>Stenocereus queretaroensis</i>	Steque	Planta
<i>Stenocereus stellatus</i>	Steste	Planta
<i>Stenocereus thurberi</i>	Stethu	Planta
<i>Subpilocereus horrispinus</i>	Subhor	Planta
<i>Swartzia panacoco</i>	Swapan	Planta
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	Syarom	Planta
<i>Symphonia globulifera</i>	Symglo	Planta
<i>Syzygium cumini</i>	Syzcum	Planta
<i>Syzygium jambos</i>	Syzjam	Planta
<i>Syzygium lineatum</i>	Syzlin	Planta
<i>Syzygium malaccense</i>	Syzmal	Planta
<i>Talipariti elatum</i>	Talela	Planta
<i>Terminalia catappa</i>	Tercat	Planta
<i>Tetrastylis ovalis</i>	Tetova	Planta
<i>Theobroma cacao</i>	Thecac	Planta
<i>Thoracocarpus bissectus</i>	Thobis	Planta
<i>Thunbergia grandiflora</i>	Thugra	Planta
<i>Thyrsodium guianense</i>	Thygui	Planta
<i>Thyrsodium spruceanum</i>	Thyspr	Planta
<i>Trema micrantha</i>	Tremic	Planta
<i>Trichanthera gigantea</i>	Trigig	Planta
<i>Turpinia occidentalis</i>	Turocc	Planta
<i>Vassobia breviflora</i>	Vasbre	Planta
<i>Vismia baccifera</i>	Visbac	Planta
<i>Vismia cayennensis</i>	Viscay	Planta
<i>Vismia duckei</i>	Visduc	Planta
<i>Vismia glabra</i>	Visgla	Planta
<i>Vismia guianensis</i>	Visgui	Planta
<i>Vismia latifolia</i>	Vislat	Planta
<i>Vismia lauriformis</i>	Vislau	Planta

Continua na próxima página

Continuação da página anterior

Nome científico	Código	Taxon
<i>Vismia macrophylla</i>	Vismac	Planta
<i>Vismia panamensis</i>	Vispan	Planta
<i>Vismia sessilifolia</i>	Visses	Planta
<i>Vismia tormentosa</i>	Vistor	Planta
<i>Vitis vinifera</i>	Vitvin	Planta
<i>Vriesea bituminosa</i>	Vribit	Planta
<i>Vriesea imperialis</i>	Vriimp	Planta
<i>Vriesea longiscapa</i>	Vrilon	Planta
<i>Vriesea moehringiana</i>	Vrimoe	Planta
<i>Vriesea sazimae</i>	Vrisaz	Planta
<i>Weberbauerocereus weberbaueri</i>	Webweb	Planta
<i>Weberocereus biolleyi</i>	Webbio	Planta
<i>Weberocereus trichophorus</i>	Webtri	Planta
<i>Weberocereus tunilla</i>	Webtun	Planta
<i>Werauhia gladioliflora</i>	Wergla	Planta
<i>Xanthosoma microrhiza</i>	Xanmic	Planta
<i>Zapoteca formosa</i>	Zapfor	Planta

Final

16 Anexo II - Tabela de referência entre códigos e nomes científicos das espécies da rede Formiga-Planta

Nome científico	Código	Taxon
<i>Atta Attae</i>	Attiae	Formiga
<i>Brachymyrmex Bracor</i>	Bracor	Formiga
<i>Brachymyrmex Brapic</i>	Brapic	Formiga
<i>Brachymyrmex Braspi</i>	Brasp1	Formiga
<i>Camponotus Cambla</i>	Cambla	Formiga
<i>Camponotus Camcra</i>	Camcra	Formiga
<i>Camponotus Camley</i>	Camley	Formiga
<i>Camponotus Camruf</i>	Camruf	Formiga
<i>Camponotus Camtra</i>	Camtra	Formiga
<i>Camponotus Camvit</i>	Camvit	Formiga
<i>Camponotus Camwes</i>	Camwes	Formiga
<i>Cephalotes Cepedu</i>	Cepedu	Formiga
<i>Cephalotes Ceppus</i>	Ceppus	Formiga
<i>Crematogaster Creci</i>	Creci	Formiga
<i>Crematogaster Creere</i>	Creere	Formiga
<i>Dorymyrmex Dorgoe</i>	Dorgoe	Formiga
<i>Dorymyrmex Dorisp1</i>	Dorisp1	Formiga
<i>Dorymyrmex Dorisp2</i>	Dorisp2	Formiga
<i>Ectatomma Ectede</i>	Ectede	Formiga
<i>Ectatomma Ecttub</i>	Ecttub	Formiga
<i>Linepithema Linmic</i>	Linmic	Formiga
<i>Linepithema Linsp1</i>	Linsp1	Formiga
<i>Nesomyrmex Nessp1</i>	Nessp1	Formiga
<i>Nesomyrmex Nesspi</i>	Nesspi	Formiga
<i>Pheidole Pheoxy</i>	Pheoxy	Formiga
<i>Pheidole Phetri</i>	Phetri	Formiga
<i>Pseudomyrmex Psegra</i>	Psegra	Formiga
<i>Pseudomyrmex Psepal</i>	Psepal	Formiga
<i>Pseudomyrmex Pseler</i>	Pseler	Formiga
<i>Wasmannia Wasaur</i>	Wasaur	Formiga
<i>Aspilia Aspjol</i>	Aspjol	Planta
<i>Baccharis Baccon</i>	Baccon	Planta
<i>Banisteriopsis Banang</i>	Banang	Planta
<i>Banisteriopsis Bancam</i>	Bancam	Planta

Continua na próxima página

Continuação da página anterior

Nome científico	Código	Taxon
<i>Barbacenia Barfla</i>	Barfla	Planta
<i>Bernardia Bersim</i>	Bersim	Planta
<i>Bonia Biocor</i>	Biocor	Planta
<i>Byrsonima Byrsp1</i>	Byrsp1	Planta
<i>Byrsonima Byrvar</i>	Byrvar	Planta
<i>Camptosema Camcor</i>	Camcor	Planta
<i>Chamaecrista Chacip</i>	Chacip	Planta
<i>Chamaecrista Chades</i>	Chades	Planta
<i>Chamaecrista Chapap</i>	Chapap	Planta
<i>Chamaecrista Charam</i>	Charam	Planta
<i>Chromolaena Chrsp1</i>	Chrsp1	Planta
<i>Coccoloba Cocacr</i>	Cocacr	Planta
<i>Coccoloba Coccer</i>	Coccer	Planta
<i>Croton Crosp1</i>	Crosp1	Planta
<i>Cuphea Cuperi</i>	Cuperi	Planta
<i>Dalbergia Dalmis</i>	Dalmis	Planta
<i>Dasyphyllum Dasret</i>	Dasret	Planta
<i>Davila Davell</i>	Davell	Planta
<i>Declieuxia Decdel</i>	Decdel	Planta
<i>Diodia Diomel</i>	Diomel	Planta
<i>Diplosodon Diporb</i>	Diporb	Planta
<i>Echinocoryne Echsch</i>	Echsch	Planta
<i>Eriope Erihyp</i>	Erihyp	Planta
<i>Erythroxylum Erycam</i>	Erycam	Planta
<i>Gaylussacia Gaymon</i>	Gaymon	Planta
<i>Guapira Guanox</i>	Guanox	Planta
<i>Hyptis Hypsp1</i>	Hypsp1	Planta
<i>Kielmeyera Kiepet</i>	Kiepet	Planta
<i>Kielmeyera Kiereg</i>	Kiereg	Planta
<i>Lamiaceae Lamsp1</i>	Lamsp1	Planta
<i>Lavoisiera Lavcon</i>	Lavcon	Planta
<i>Lavoisiera Lavcor</i>	Lavcor	Planta
<i>Lavoisiera Lavsp1</i>	Lavsp1	Planta
<i>Lessingianthus Leswar</i>	Leswar	Planta
<i>Lippia Lipflo</i>	Lipflo	Planta
<i>Lippia Lipsp1</i>	Lipsp1	Planta
<i>Luxemburgia Luxsch</i>	Luxsch	Planta
<i>Lychnophora Lycram</i>	Lycram	Planta
<i>Lychnophora Lycrup</i>	Lycrup	Planta

Continua na próxima página

Continuação da página anterior

Nome científico	Código	Taxon
<i>Melastomataceae Melsp1</i>	Melsp1	Planta
<i>Miconia Micfer</i>	Micfer	Planta
<i>Microlicia Micful</i>	Micful	Planta
<i>Mikania Mikita</i>	Mikita	Planta
<i>Mikania Mikneu</i>	Mikneu	Planta
<i>Myrsine Myrmon</i>	Myrmon	Planta
<i>Myrcia Myrsp1</i>	Myrsp1	Planta
<i>Neea Neethe</i>	Neethe	Planta
<i>Ouratea Oursem</i>	Oursem	Planta
<i>Paepalanthus Paevel</i>	Paevel	Planta
<i>Palicourea Palrig</i>	Palrig	Planta
<i>Peixotoa Peitom</i>	Peitom	Planta
<i>Philodendron Phicip</i>	Phicip	Planta
<i>Pilosocereus Pilcip</i>	Pilcip	Planta
<i>Pseudobrickellia Pseang</i>	Pseang	Planta
<i>Qualea Quacor</i>	Quacor	Planta
<i>Remijia Remfer</i>	Remfer	Planta
<i>Roupala Roumon</i>	Roumon	Planta
<i>Ruellia Ruevil</i>	Ruevil	Planta
<i>Sabiceae Sabbra</i>	Sabbra	Planta
<i>Sapium Sapbla</i>	Sapbla	Planta
<i>sp1 sp1</i>	sp1	Planta
<i>Spigelia Spisel</i>	Spisel	Planta
<i>Syagrus Syagla</i>	Syagla	Planta
<i>Symphyopappus Symret</i>	Symret	Planta
<i>Tetrapiterys Tetcic</i>	Tetcic	Planta
<i>Tibouchina Tibcar</i>	Tibcar	Planta
<i>Trembleya Trelan</i>	Trelan	Planta
<i>Trigonia Tricip</i>	Tricip	Planta
<i>Vellozia Velala</i>	Velala	Planta
<i>Vellozia Velalo</i>	Velalo	Planta
<i>Vellozia Velcor</i>	Velcor	Planta
<i>Vellozia Velnan</i>	Velnan	Planta
<i>Vellozia Velniv</i>	Velniv	Planta
<i>Vochysia Vocthy</i>	Vocthy	Planta

Final
