



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE  
AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

EDILAINE CORRÊA LEITE

**Influência do tamanho do *habitat* e da cobertura de dossel sobre as teias  
tróficas da microbiota em fitotelmatas de *Quesnelia arvensis*  
(Bromeliaceae)**

Maringá  
2021

EDILAINE CORRÊA LEITE

**Influência do tamanho do *habitat* e da cobertura de dossel sobre as teias tróficas da microbiota em fitotelmatas de *Quesnelia arvensis* (Bromeliaceae)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Limnologia.  
Área de concentração: Ecologia e Limnologia.

Orientador: Dr. Luiz Felipe Machado Velho  
Coorientador: Dr. Pablo Augusto Poletto Antiqueira

Maringá  
2021

"Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)"  
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

- L533i Leite, Edilaine Corrêa, 1992-  
Influência do tamanho do *habitat* e da cobertura de dossel sobre as teias tróficas da microbiota em fitotelmatas de *Quesnelia arvensis* (Bromeliaceae) / Edilaine Corrêa Leite. -- Maringá, 2021.  
32 f. : il. (algumas color.)
- Dissertação (mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)--  
Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2021.  
Orientador: Dr. Luiz Felipe Machado Velho.  
Coorientador: Dr. Pablo Augusto Poletto Antiqueira.
1. Fitotelmatas - Microsistemas de água doce - Interações tróficas - Variáveis bióticas e abióticas - Parque Estadual da Ilha do Cardoso - São Paulo (Estado). 2. Microbiotas aquáticas de água doce - Comunidades, Ecologia de - Interações tróficas - Parque Estadual da Ilha do Cardoso - São Paulo (Estado). I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. – 579.41782098161

**EDILAINE CORRÊA LEITE**

**Influência do tamanho do *habitat* e da cobertura de dossel sobre as teias tróficas da microbiota em fitotelmatas de *Quesnelia arvensis* (Bromeliaceae)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Limnologia e aprovada pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

**COMISSÃO JULGADORA**

Dr. Luiz Felipe Machado Velho  
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Prof. Dr. Fábio Amôdeo Lansac-Tôha  
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Prof. Dr. Moacyr Serafim Junior  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)

Aprovada em: 29 de abril de 2021.

Local de defesa: Realizado em *home office*, via acesso remoto por videoconferência pelo aplicativo Google Meet, no endereço eletrônico [meet.google.com/zzq-pyir-gbr](https://meet.google.com/zzq-pyir-gbr), devido a situação do Covid-19.

*Aos meus avós João e Júlia, Marcelino e  
Sebastiana (in memoriam), que foram grandes  
exemplos de amor e cuidado.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a minha mãe Fatima, que além de me apoiar em tudo que eu faço e sonho, também é um exemplo em minha vida, mulher preta, linda, forte, batalhadora e extremamente amorosa, aquela que nunca duvidou do que eu seria capaz mesmo mediante as adversidades;

Ao meu Orientador, Dr. Luiz Felipe Machado Velho, pela orientação, amizade, acompanhamento e acolhimento, sendo mais que um orientador, um verdadeiro exemplo de que quando se tem paciência, carinho e bom humor, é possível alcançar seus objetivos.

Ao meu Coorientador Pablo Augusto Poletto Antiqueira, por me apresentar ao mundo das bromélias e por compartilhar seus ensinamentos sempre com humildade e alegria, agradeço muito por tudo e por ter te conhecido.

Ao Laboratório de Protozooplâncton que me acolheu de braços abertos e me ensinou que o trabalho em equipe é o mais valoroso, agradeço também por toda a formação prática que vocês me ensinaram;)

Ao programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA. E a CAPES pela concessão da bolsa.

Aos biólogos, Luzia C. Rodrigues, Claudia C. Bonecker, Evanilde Benedito, Fabio A. Lansac-Tôha, Liliana Rodrigues, Ângelo A. Agostinho, Sidnei M. Thomaz, Roger P. Mormul, Andrea Bialezki, Rosemara Fugi, Luiz Carlos Gomes, Erivelton Goulart, Karina Rodrigues.

Aos queridos funcionários do PEA e do Nupélia, Marlize, Silvia, Samuel, Rosemeire, Elisabete, Josemara, Norton, Susy, Ranulfo, Tato, Salete, João e todos os pescadores e funcionários da base de Porto Rico – Pr;

À minha querida amiga Cintia que nesses dois anos foi mais que uma amiga, foi uma mãe. Arrisco-me a dizer que sem o seu apoio mental, espiritual e emocional eu jamais conseguiria chegar até aqui tampouco pensar em ir além!

Ao meu marido, companheiro e amigo Vinicius que está sempre ao meu lado, me apoiando e incentivando todos os dias, te amo!

Aos meus queridos amigos que me acompanham todos os dias no laboratório, que me ensinaram a contar amostras e me aturam dentro das minhas teimosias. Vocês são realmente incríveis amo todos vocês Bianca, Felipe, Fernando, Melissa meu amorzinho acreano, Carol e Heloisa por todo o apoio emocional e sua amizade que é muito importante para mim, Loiani, Ollisangela, Matheus, minhas “crianças” favoritas;

Á Bianca Ramos de Meira (Bia/Beatriz), eu não tenho palavras para expressar o quanto você foi importante para mim em todo esse processo! De você tive apoio emocional, psicológico e didático. Você foi um grande presente que o mestrado me deu, pois não é somente uma amiga, é uma irmã. Obrigada por existir e fazer parte da minha vida!

Ao meu grande amigo Felipe, você é a própria definição de amigo! Você é um ser humano maravilhoso! Esse cara consegue ajudar e acolher a todos, simplesmente um dos maiores corações que eu já conheci! Obrigada meu amigo.

Ao meu amigo Fernando que compartilha de seus conhecimentos e experiências com todos ao seu redor, sua paciência para ensinar e ajudar é incrível! A ajuda que você me deu foi muito importante! Muito obrigada Nando, gênio da estatística toda.

Aos amigos que o mestrado me trouxe, Atsler, João Vitor, Danilo, João Otávio, Larissa, Hugo, Louise, Jonathan, Rejane, Driele e a minha turma de mestrado por compartilharmos de aprendizados e experiências. Sou muito grata por vocês.

Às minhas amigas Adriana, Aline, Gabi Laura, Bruna, Dani, Gabriela Magron e Yasmin, não consigo nem descrever o quanto vocês são importantes para mim, não consigo imaginar ter conseguido chegar até aqui sem vocês! Amo vocês!

Aos meus amigos de colégio, faculdade e de vida que com certeza me ajudaram chegar até aqui Marcos, Gisele, Julia, Sofia, Lilian, Rebecca, Gabriela Nalin, Michael, Scarlet e Gabriel Morello, vocês são muito importantes!

Aos professores que trago desde os primórdios da minha educação, minha primeira professora Verinha, aos professores que tive no colégio Olavo Bilac em Sarandi – Pr. Aos professores da graduação, Sandra, Daniel, Lilian, Marcela, Luciana, Maria Aparecida, Janete, Hivi Jean, Ligia, Rômulo e todos que contribuíram para a minha formação intelectual e de vida;

À minha Família e em especial o meu irmão Paulo Henrique, minha cunhada Helena, minhas primas Drika e Gi, meu afilhado Kauã, minhas tias Lídia e Ivanilde meu tio Ari, meu pai Adivaldo e minha sogra Jeanete que sempre me apoiaram e cuidaram de mim.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*Ninguém é igual a ninguém. Todo o ser humano é um  
estranho ímpar.*

**Carlos Drummond de Andrade**

# **Influência do tamanho do *habitat* e da cobertura de dossel sobre as teias tróficas da microbiota em fitotelmatas de *Quesnelia arvensis* (Bromeliaceae)**

## **RESUMO**

As comunidades aquáticas em fitotelmatas são estruturadas por vários fatores ambientais que atuam nas interações tróficas e não tróficas desses ambientes. Fitotelmatas são microecossistemas de água doce, ricos em biodiversidade e são considerados um excelente modelo de estudo. Foram utilizadas plantas da família Bromeliaceae da espécie *Quesnelia arvensis*, com o objetivo de investigar as relações entre as variáveis bióticas e abióticas e seus efeitos sobre as interações da microbiota desses ambientes. A hipótese testada foi de que o tamanho do *habitat* e os gradientes de cobertura de dossel determinariam a abundância das comunidades da microbiota e suas interações. Foram realizadas coletas em bromélias localizadas no Parque Estadual da Ilha do Cardoso – SP, Brasil, em diferentes gradientes de cobertura de dossel e tamanhos, a fim de investigar os efeitos do tamanho do *habitat*. Para verificar as interações entre as variáveis e pontuar as interações (positivas e negativas) foi utilizado o método *graphical lasso*, que exemplifica essas interações através de um gráfico de rede. Também, foi realizada uma análise de regressão simples a fim de determinar as correlações entre as variáveis bióticas e abióticas. Os resultados encontrados apontam que a cobertura de dossel e o tamanho do *habitat* foram as variáveis mais importantes nas interações em fitotelmatas. A cobertura de dossel apresentou a maior quantidade de conexões negativas, principalmente com os níveis de amônia, larvas de Culicídeos e algas em geral, com exceção dos fitoflagelados. Em contrapartida, o tamanho do *habitat* apresentou fortes conexões positivas com os rotíferos e os copépodes e não apresentou nenhuma conexão negativa com outras variáveis. Por fim, corroborando nossa hipótese, os resultados desse estudo demonstram que, dentre o conjunto de fatores analisados, a cobertura de dossel e o tamanho do *habitat* foram os mais representativos para a estruturação trófica das comunidades da microbiota assim como esperado.

**Palavras-chave:** *Graphical lasso*. Temperatura. Interações tróficas. Ecossistemas aquáticos. Predadores.

## **Influence of habitat size and canopy cover on trophic webs of microbiota in phytotelmata of *Quesnelia arvensis* (Bromeliaceae)**

### ***ABSTRACT***

The aquatic communities in phytotelmata are structured by several environmental factors, and they act in the trophic and non-trophic interactions of these environments. Phytotelmata are micro-ecosystems of fresh water, rich in species and are considered an excellent study model. Here, we use plants from the family Bromeliaceae of the species *Quesnelia arvensis*, to investigate the relationships between biotic and abiotic variables and their effects on interactions in phytotelmata. Our hypothesis was that habitat size and canopy cover gradients would determine the abundance of microbiota communities and their interactions. We carried out samples on bromeliads located in the state park of the Parque Estadual da Ilha do Cardoso - SP, Brazil, in different canopy cover gradients, in addition we selected plants of different sizes, to investigate the effects of habitat size. To check the interactions between the variables and score the interactions (positive and negative) we use the *lasso* graphical method, which exemplifies these interactions through a network graph. Also, we performed a simple regression analysis in to determine the correlations between biotic and abiotic variables. Our results indicate that the canopy cover and the size of the habitat (water volume) were the most important variables in interactions in phytotelmata. The canopy cover presented the greatest amount of negative connections, mainly with the levels of ammonia, Culicidae larvae and algae in general, with the exception of phyto-flagellates. In contrast, habitat size showed strong positive connections with rotifers and copepods and did not show any negative connection with other variables. Finally, our results demonstrate that among the set of factors analyzed, canopy cover and habitat size were in fact the most representative, as expected.

**Keywords:** Graphic *lasso*. Temperature. Trophic interactions. Aquatic ecosystems. Predators.

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *Freshwater Biology*. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/13652427/homepage/forauthors.html?>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Área e sistema de estudo .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Amostragem e análise laboratorial .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>24</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Alterações na estrutura do *habitat* (e.g. tamanho) podem afetar fortemente os padrões de diversidade de macro e microrganismos (Fahrig, 2003; Haddad et al., 2015; Antiqueira et al., 2018), sendo a perda e a fragmentação de *habitat* ameaças para a biodiversidade no planeta (Mortelliti et al., 2011), tanto em sistemas terrestres quanto aquáticos (Haddad et al., 2015). Estudos clássicos, como os de MacArthur & Wilson (1967), mostram que o número de espécies tende a aumentar com o aumento do tamanho do *habitat*, uma vez que, maiores áreas possuem maior potencial de nicho. Outros estudos têm demonstrado que a relação espécie-área tem influência direta nas mudanças ambientais de cunho global, em relação à perda de espécies (Thomas et al., 2004; Drakare, Lennon & Hillebrand, 2006), de representação regional como a perda direta de *habitat* (Ney-Nifle & Mangel, 2000; Petermann et al., 2015), o risco de decréscimo da biodiversidade (Rosenzweig, 2001), além da mudança na diversidade de predadores (Griffin et al., 2008).

Drakare (2006) aponta que espécies de maior porte, que vivem em oceanos, florestas ou latitudes mais baixas, são mais sensíveis à perda de *habitat*, essas reduções no tamanho do *habitat* podem sujeitar um maior número de espécies à extinção (Thomas et al., 2004). Entretanto, o conhecimento ainda é limitado para sistemas de água doce e para alguns grupos biológicos, como a microbiota e a microfauna, os quais apresentam um papel importante nos ecossistemas aquáticos (Laessle, 1961; Sherr & Sherr, 1988), sendo responsáveis pela ciclagem de nutrientes e na transferência de matéria e energia nas teias alimentares (Pomeroy & Wiebe, 1988), e são organismos altamente sensíveis a alterações ambientais (Segovia et al., 2016).

A cobertura de dossel é um importante fator em ambientes aquáticos florestais, atua como controle da entrada de luz nos ambientes (Rowland et al., 2016), está relacionado a mudanças de temperatura no meio aquático, níveis de sombreamento além de influenciar a configuração das teias alimentares desses ambientes (Hill, Mulholland & Marzolf, 2001). Isso porque as taxas de luminosidade e a quantidade de serapilheira que esses ambientes recebem são importantes fontes de energia nas teias alimentares (Calhoun, 2007; Richardson, 2008). Segundo estudos realizados por Silva & Oliveira Junior, (2018) as taxas de cobertura de dossel afetam significativamente a abundância e riqueza das comunidades aquáticas em ambientes de água doce próximos a vegetação ciliar. Variações nas taxas de cobertura de dossel como a redução ou aumento da porcentagem de cobertura determinam a presença e estabelecimento das comunidades aquáticas (Silva & Oliveira Junior, 2018).

Diversas plantas da família Bromeliaceae possuem características foliares capazes de armazenar água da chuva e serapilheira oriunda da cobertura de dossel (Busse et al., 2018; Mendes et al., 2020), formando tanques dispostos por toda a planta. Os tanques de bromélias podem ocorrer em altas densidades, com capacidade de armazenar até 50.000 L de água / hectare (Suhling, 2008). Esses tanques fornecem funções ecológicas insígnias (Busse, Schoreisz & Petermann, 2019) e comportam comunidades micro faunísticas, como por exemplo, algas, protistas (amebas, flagelados e ciliados), rotíferos e micro crustáceos (Busse et al., 2018). Além de ocasionalmente apresentar espécies endêmicas, aumentando assim a diversidade de espécies (Dunthorn et al., 2012). Segundo De Noronha et al., (2021) boa parte dos fitotelmatas são encontrados sob o dossel e sub-dossel nas florestas.

Fitotelmatas são modelos eficientes para responder questões ecológicas diversas, pois apresentam um rico *habitat* de água doce em regiões tropicais, servindo como fonte de recursos para microrganismos e alguns macroinvertebrados e como fontes de água para algumas espécies da macrofauna terrestre como anfíbios e alguns mamíferos e aves (Nadkarni & Matelson, 1989; Leibold et al., 2004; Céréghino et al., 2020). Os fitotelmatas também oferecem refúgio e nutrientes, o que resulta na formação de uma teia trófica complexa (Ngai & Srivastava, 2006). Os organismos presentes nesses microcosmos são nutridos em sua maioria pela matéria orgânica oriunda dos resíduos foliares (Moore et al., 2004; Rangel *et al.*, 2017), tanto de processos alóctones quanto de decomposição de matéria orgânica gerada pela microbiota (Graça, 2001). Por esses motivos, são utilizados para a realização de estudos de composição de espécies e de gradientes ambientais e espaciais (Busse et al., 2018). Outra vantagem é seu tamanho reduzido, que permite realizar medidas em sua totalidade (Richardson et al., 2000; Mendes et al., 2020).

Diversos organismos com uma elevada variedade de tamanhos habitam os fitotelmatas de Bromeliaceae (Louca et al., 2017), sendo categorizados, na maioria das vezes como macro e microbiota. Os metazoários assumem importante papel de predadores nesses ecossistemas, uma vez que consomem a microbiota ali presente (Srivastava et al., 2004; Kratina et al., 2017 bousi). Nestes ambientes, a alta riqueza de predadores pode acarretar em uma maior taxa de predação em virtude da maior complementaridade na partição de recursos, onde predadores diferentes consomem presas variadas e distintas (Griffin et al., 2008; Roy & Alam, 2020), sendo assim, esses organismos são componentes fundamentais na dinâmica das teias tróficas (Murphy, Lewis & Wimp, 2020).

As teias tróficas representam relações alimentares dentro de um ecossistema ou comunidade (Kitching, 2001; Award, 2015). Essas relações possibilitam a transferência de

matéria e energia através dos níveis tróficos (Tobias-Hünefeldt et al., 2021). A complexidade dessas cadeias também se estende aos seus diferentes tipos (Gripenberg & Roslin, 2007), como, por exemplo, a teia de detritívoria (*brown*) e a de herbívoria (*green*), que podem ser controladas pelos mecanismos *top-down* e *bottom-up* (Pace & Cole, 1994; Li et al., 2021).

A principal diferença entre os controles *top-down* e *bottom-up* é que o primeiro é baseado em consumo e o segundo é baseado nos recursos (Keley & Pereira, 2014). O controle *top-down* é regido pela influência dos organismos que estão no topo das cadeias alimentares (McCary et al., 2021), e a ocorrência desses organismos, que em sua maioria são predadores, promove a regulação do equilíbrio e o tamanho das populações dos níveis tróficos abaixo. Em contrapartida, o controle *bottom-up*, ocorre quando os produtores são os responsáveis pela regulação da cadeia alimentar de baixo para cima (McCary et al., 2021).

Com o intuito de entender as interações que ocorrem dentro de um ecossistema o número de estudos que abordam análises em teias tróficas vêm crescendo nos últimos anos (Gravel et al., 2019; Lansac-Tôha et al., 2021). Esses avanços têm auxiliado na compreensão de como as teias alimentares são estruturadas temporalmente e espacialmente (García-Girón et al., 2020; Gravel et al., 2019). Porém, estudos que abordam a influência das características ambientais sobre a estruturação e interação das comunidades ainda são incipientes, sobretudo no que diz respeito aos microecossistemas de bromélia, que possuem peculiaridades que permitem avaliar empiricamente processos ecológicos complexos (Romero et al., 2020).

Portanto, neste estudo buscou-se investigar as relações entre as variáveis bióticas e abióticas e seus efeitos sobre as interações tróficas e não tróficas em fitotelmata de bromeliáceas com diferentes tamanhos de *habitats*, sob diferentes gradientes de cobertura de dossel. A hipótese testada foi de que o tamanho do *habitat* e os gradientes de cobertura de dossel determinarão a abundância das comunidades da microbiota e suas interações. Dessa forma, espera-se que (i) fitotelmatas maiores irão abrigar uma maior quantidade de predadores de topo (larvas de Culicídeos) e, conseqüentemente, que ocorram diferenças na abundância da microbiota; (ii) considerando que locais com maior cobertura de dossel apresentam menores taxas de luminosidade e temperatura, é esperado menor abundância dos organismos autotróficos, que afetará a abundância da microbiota e a estrutura das teias tróficas; (iii) uma vez que, são esperados efeitos diretos e indiretos da cobertura do dossel e do tamanho do *habitat* sobre as variáveis abióticas e a abundância das distintas comunidades, essas duas variáveis serão os principais preditoras nas interações da teia trófica de fitotelmatas de bromélias.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área e sistema de estudo

As coletas foram realizadas no mês de setembro de 2013, no começo da estação chuvosa no Parque Estadual da ilha do Cardoso, situado no litoral sul do estado de São Paulo, Brasil ( $25^{\circ} 03' S$ ,  $48^{\circ}53' W$ ) (FIGURA 1). A ilha do Cardoso possui temperaturas médias anuais entre  $20$  e  $22^{\circ}C$  e média de precipitação de  $2250$  mm (Pessenda et al., 2012). No período em que o estudo foi realizado (primavera), a umidade relativa do ar esteve em torno de  $66\%$  (Gomes et al., 2007). O mês de setembro foi escolhido por apresentar níveis de precipitação satisfatórios para que os fitotelmatas estivessem com água acumulada e temperaturas medianas, ou seja, nem muito baixas ou muito altas.

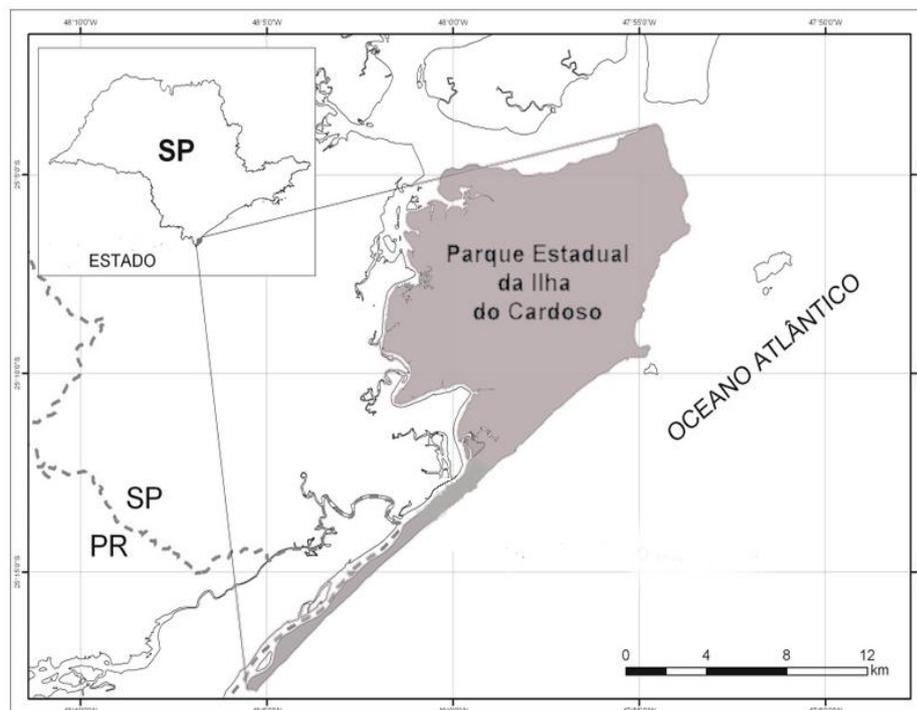


FIGURA 1 Mapa do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, estado de São Paulo, Brasil. Fonte: Modificado de Leão; Jacobi, 2016.

A área de amostragem está localizada ao norte da ilha em uma área cuja extensão é de  $4,5$  Km, esse local está situado em ambiente de restinga (Floresta aberta de Restinga e Restinga Arbustiva), um tipo de floresta tropical (Rizzini, 1997) (FIGURA 2A). Nessa ilha apresenta diferentes tipos de vegetação e de fatores abióticos ao longo de um gradiente de cobertura de dossel. A restinga aberta ou menos arborizada (FIGURA 3A), apresenta *habitats* mais expostos a luz solar, entretanto a restinga fechada ou mais arborizada proporciona *habitats* mais sombreados (FIGURA 3C) (Busse et al., 2018). Na restinga aberta a vegetação

arbustiva chega no máximo a 4 m de altura, em contra partida na restinga fechada as árvores chegam à 8 m de altura, com a cobertura de dossel continua, a restinga fechada apresentou maior densidade de bromélias (Busse et al., 2018). As florestas de restinga são denominadas Áreas de Preservação Permanente (APP), e pertencem ao bioma mata atlântica (Rollo et al., 2013), que é um importante *hotspot* de biodiversidade.

A família Bromeliaceae apresenta uma grande diversidade no que diz respeito à morfologia, fisiologia, hábito e relações com distintos tipos de animais e organismos (Benzing, 2000). Essa família é composta por plantas herbáceas, epífitas, rupícolas, terrestres e arbustivas (raramente) (Judd et al., 2009), suas folhas são alternadas e suas disposições formam rosetas com a capacidade de armazenar água. Essas plantas possuem tricomas que facilitam a captação de nutrientes, água e/ou vapor d'água atmosférica (Judd et al., 2009; De Oliveira, 2012).

As bromélias-tanque da espécie *Quesnelia arvensis* (Vell.) Mez) (FIGURA 2B) pertencem a família bromeliácea (De Oliveira & Tardivo, 2017), essa espécie é exclusivamente neotropical, essas plantas são terrestres ou epífitas, sua distribuição no Brasil está restrita aos estados de São Paulo e Rio de Janeiro (Martinelli et al., 2008), porém pode ser encontrada em diversos ecossistemas de mata atlântica, como os ambientes de restinga em áreas litorâneas (Carminatto et al., 2017).

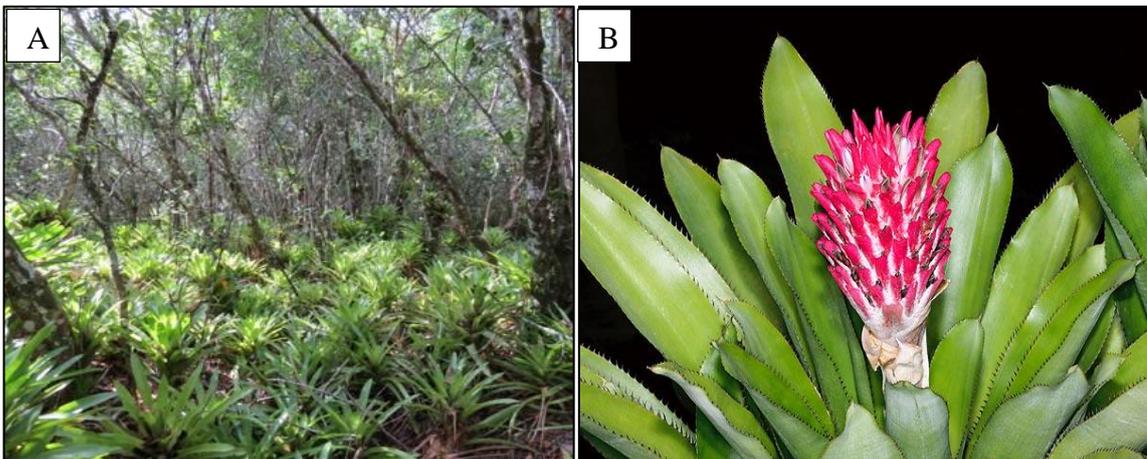


FIGURA 2 Imagem de um ambiente natural de Floresta de restinga com bromélias da espécie *Quesnelia arvensis* (A). Exemplar com haste floral de *Quesnelia arvensis* (B).

## 2.2 Amostragem e análise laboratorial

Foram realizadas amostragens aleatórias, abrangendo um gradiente de variações de exposição ao sol, incluindo restinga aberta (FIGURA 3A), intermediária (FIGURA 3B) e fechada (FIGURA 3C). Foram avaliadas 77 bromélias da espécie *Quesnelia arvensis* (Bromeliaceae), localizadas acima do nível do solo, o tamanho das plantas foi determinado

pelo seu volume total, que variou de 185 ml a 4825 ml (média  $\pm$  SD: 1386  $\pm$  928.22 mL). Durante a amostragem, os parâmetros ambientais abióticos e bióticos potencialmente importantes da composição da comunidade da microfauna foram medidos para cada bromélia, os parâmetros abióticos (temperatura e amônia), foram medidos com auxílio de sonda multiparâmetros portátil Cyberscan PD 650<sup>®</sup>, Oaklon1e ThermoChron<sup>®</sup> iButton<sup>®</sup> device—DS1921G, para análise da variação de temperatura.

A porcentagem de cobertura de dossel foi determinada para cada planta através de fotos do dossel analisadas com o programa ImageJ (Bourne, 2010).

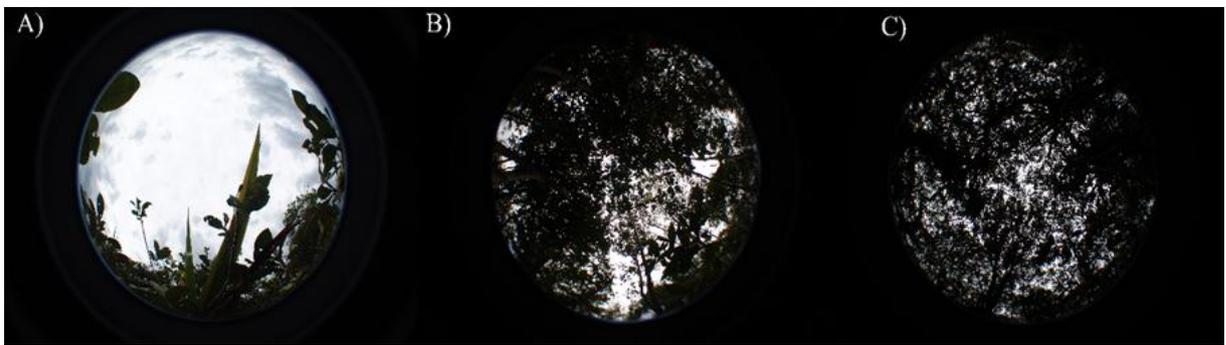


FIGURA 3 Diferentes tipos de restinga evidenciado pela cobertura de dossel, onde A) representa restinga aberta, B) restinga intermediária e C) restinga fechada. As fotografias foram captadas através de micro câmeras com dispositivo *Fish eye*.

Para a realização da análise da microbiota foi retirado uma amostra de 1 mL de água de cada bromélia em seu compartimento central e fixada com solução de Lugol acético 1%, o volume total dos tanques variou de acordo com o tamanho de cada planta.

A contagem das algas foi realizada seguindo o método de Utermöhl (Utermöhl, 1958) e Lund, Kipling & Le Cren, (1958). Foram considerados quatro grupos de algas baseados em características taxonômicas e ecológicas, sendo eles os fitoflagelados, as algas verdes e as cianobactérias. Esses grupos têm demonstrado sensibilidade à variabilidade ambiental e grande utilidade para o biomonitoramento das condições tróficas dos sistemas aquáticos de água doce. A caracterização taxonômica de espécies de algas em nível de grupo foi realizada segundo Hoffmann, Komárek & Kaštovský, (2005). O grupo dos protistas foram contado sob microscópio óptico (Olympus CX41). Os ciliados foram analisados *ex-vivo* fixados em lugol acético, a abundância foi estimada em câmara de sedimentação Sedgewick-Rafter e a identificação foi realizada de acordo com a literatura taxonômica proposta por Foissner, et al., (1999). As comunidades das amebas testáceas, rotíferos e copépodes, assim como os ciliados foram analisadas fixados e quantificadas em câmaras de sedimentação Sedgewick-Rafter, respeitando a literatura taxonômica, para as amebas foi adotado o guia de tecamebas

proposto por Souza, 2008. Os grupos pertencentes ao Zooplâncton foram identificados segundo Ruttner-Kolisko, (1977) para os rotíferos e Lawrence et al., (1987) para os copépodes em ambos os casos a abundância foi determinada em indivíduos/L.

Além da Microbiota a abundância de larvas de mosquito por planta foi contada em amostras que variaram de 17-100mL de água dependendo do volume disponível no, considerando indivíduos por litro. As larvas de mosquito foram coletadas manualmente, diretamente das plantas, esses organismos são filtradores aquáticos e, portanto, predadores de microrganismos.

A realização desse estudo não abrangeu espécies protegidas ou ameaçadas de extinção. As amostragens foram realizadas com autorização do ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) número de licença 23689-1.

### 2.3 Análise estatística

Com o intuito de testar as predições estipuladas e as interações que compõe as teias alimentares dos fitotelmatas foi realizado o método *graphical lasso*. Esse método calcula a correlação parcial em cada conexão ponderada, ou seja, ocorre uma quantificação do nível de força de cada interação para cada variável (Mazumder & Hastie, 2012). O gráfico de *lasso* foi gerado a partir do cálculo de variância - covariância, utilizando a abundância dos grupos biológicos e os dados brutos abióticos, ambos padronizados entre 0 e 1, utilizando o pacote *bootnet*. Nessas análises cada grupo interage com o outro ou com os fatores ambientais, a partir da variação dos atributos entre os 77 fitotelmatas analisados. O resultado dessa análise gera um gráfico de rede contendo os coeficientes de ponderação para os grupos e interações.

Ainda, a fim de verificar quais das interações são de fato significativas dentro da rede de interação, foi utilizado um método de seleção Bayesiano estendido também baseado em modelos de gráfico de *lasso*, de acordo com Foygel & Drton, 2010. Essa análise foi realizada utilizando a função “*ggmModSelect*” do pacote *qgraph*. Todas as análises foram realizadas no programa R (R Development Core Team, 2018).

## 3 RESULTADOS

Os valores da porcentagem de cobertura de dossel apresentaram um valor médio de 63%, com valores mínimos de 7,59% para locais de restinga aberta e máximos de 88,15% nas áreas de restinga fechada. O volume mínimo de água nos fitotelmatas foi de 5mL e o máximo foi de 300mL. A temperatura oscilou de 18,5°C a 35,10°C, com média de 23,28, um pouco

acima dos valores para o mês de setembro (AmbienteBrasil, 2021), ou seja, início da primavera, estação do ano em que as coletas foram realizadas. A quantidade de amônia por ambiente variou muito entre os ambientes, sendo os menores valores registrados em ambientes de menor cobertura de dossel (46,51 $\mu\text{g/L}$ ) (TABELA 1).

Os maiores valores de abundância dos grupos autotróficos foi para cianobactérias, com 418.587,00 cels.L<sup>-1</sup>, e para os grupos heterotróficos, o grupo dos rotíferos apresentou o maior valor de abundância, 24.833,33 ind.L<sup>-1</sup> (TABELA 1).

**TABELA 1 - Abundância média, valores mínimos e máximos e desvio padrão das comunidades da microbiota, larvas de Culicídeos e de variáveis abióticas.**

Variáveis	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
<b>Abióticas</b>				
Temperatura (°C)	23,28	18,50	35,10	2,63
Amônia ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	365,49	46,51	1379,00	271,60
Volume do tanque central (mL)	94,13	5,00	300,00	58,36
Cobertura de dossel (%)	63,54	7,59	88,15	17,20
<b>Bióticas</b>				
Algas verdes (cels.L <sup>-1</sup> )	3507,95	0,00	193898,00	5754,03
Cianobactérias (cels.L <sup>-1</sup> )	20391,60	0,00	418587,00	28937,68
Fitoflagelados (cels.L <sup>-1</sup> )	3368,03	0,00	47415,00	4352,77
Protistas (cels.L <sup>-1</sup> )	843,57	0,00	15166,67	997,21
Rotíferos (ind.L <sup>-1</sup> )	2711,47	0,00	24833,33	2908,62
Copépodes (ind.L <sup>-1</sup> )	805,63	0,00	11666,67	876,58
Larvas de insetos (ind.L <sup>-1</sup> )	92,92	0,00	362,50	82,55

Em relação aos fatores abióticos, a análise de rede pelo método *graphycal lasso* demonstrou que a cobertura de dossel desempenha um papel importante na caracterização e na estrutura da microbiota nos fitotelmatas, apresentando conexões negativas com os níveis de amônia, abundância de larvas de Culicídeos, algas verdes e cianobactérias, além de uma interação marginal positiva com abundância dos protistas. Outro fator abiótico importante, o tamanho do *habitat*, apresentou correlações positivas com a abundância de rotíferos e copépodes. Em relação às comunidades, o grupo dos rotíferos foi o que apresentou maior número de ligações, estando positivamente correlacionado com o volume de água, amônia, cianobactérias e protistas. Os protistas, por sua vez, apresentaram correlações positivas de menor intensidade com o volume e a temperatura. Os fitoflagelados foram o grupo que

apresentou o menor número de conexões, e suas correlações foram com menor intensidade (FIGURA 5).

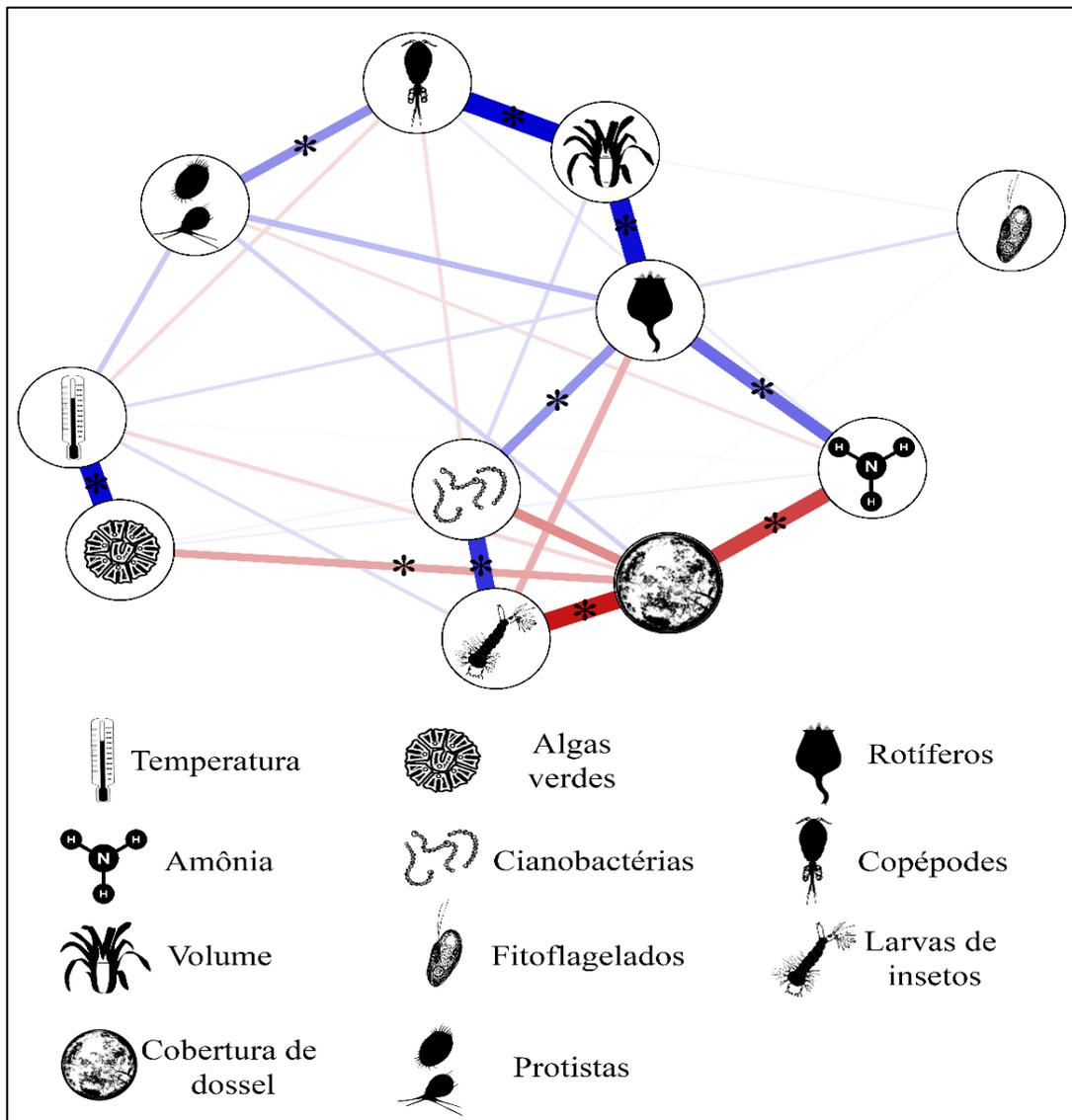


FIGURA 5 Redes de correlação utilizando gráfico de *lasso* demonstrando as relações da abundância das comunidades aquáticas e das variáveis ambientais. As cores indicam os coeficientes de correlação parcial, a cor azul representa as correlações positivas e as vermelhas as correlações negativas. Os círculos representam os nós ou *links*, com a representação ilustrativa de cada grupo. A largura do traço é proporcional a força da interação. Conexões em asterisco (\*) simbolizam interações significativas.

Em relação às conexões que foram significativas, podemos destacar cobertura de dossel com larvas, algas verdes e amônia; o volume com rotíferos e copépodes; o grupo dos rotíferos com volume, amônia e cianobactérias; o grupo dos copépodes com os protistas e volume; cianobactérias com larvas e rotíferos; amônia com rotíferos e cobertura de dossel; algas verdes com cobertura dossel e temperatura e por fim, temperatura com apenas uma ligação significativa com as algas verdes (FIGURA 5).

A variável que apresentou o maior número de conexões foi a temperatura (sete), seguida pela cobertura de dossel, níveis de amônia e cianobactérias, ambas com seis conexões (FIGURA 6-A). As conexões apresentadas pela temperatura foram em sua maioria positivas, em contrapartida as conexões da cobertura de dossel foram majoritariamente negativas (FIGURA 6 B). Os predadores de topo, representados pelas larvas de culicídeos, os grupos de rotíferos e copépodes apresentaram cinco conexões cada, sendo análogas em relação ao tipo de efeito (positiva e/ou negativa). Isso porque, a maioria das correlações dos rotíferos e copépodes foram positivas e os de larvas de culicídeos foram negativas (FIGURA 6). O grupo que demonstrou o menor número de conexões foi, novamente, o dos fitoflagelados (três), todas positivas (FIGURA 6-B).

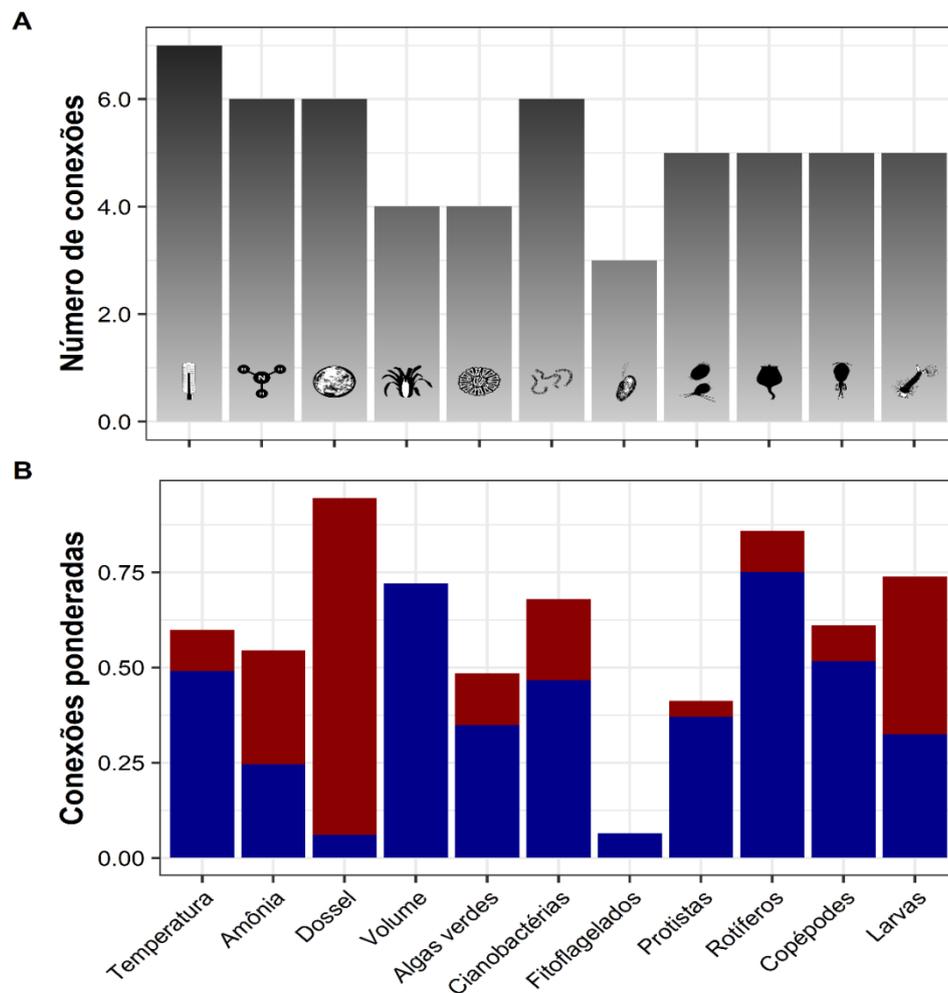


FIGURA 6 Quantidade de conexões por grupo (A); Propriedades das redes inferidas pelas variações na abundância e estrutura das comunidades dos grupos de organismos. A conexão ponderada é a soma total de todas as correlações parciais entre um nó e outro e os outros nós que estão diretamente conectados ao grupo. A cor azul indica quanto cada grupo e variável contribuiu positivamente nas interações através do número de conexões e a cor vermelha representa as conexões negativas (B).

## 4 DISCUSSÃO

Nesse estudo foi encontrado que a cobertura de dossel causa influência direta e indireta nos componentes da microbiota de bromélia da espécie *Quesnelia arvensis*. Resultados semelhantes também têm sido encontrados em outros estudos com bromeliáceas (e.g. Kratina et al., 2017). As taxas de cobertura de dossel influenciam diretamente na qualidade e quantidade de detritos e compostos orgânicos disponíveis nos *habitats* (Petermann et al., 2015), afetando a estruturação trófica das comunidades, uma vez que maiores quantidades de matéria orgânica favorecem a cadeia de detritivoria. A ausência de cobertura ou cobertura parcial de dossel facilita a entrada de luz nos fitotelmatas (Rowland et al., 2016).

As relações negativamente correlacionadas com a cobertura de dossel evidenciam a importância dessa variável sobre a estruturação trófica dos fitotelmatas. Menores taxas de cobertura de dossel, em regiões de restinga aberta, favoreceram tanto a abundância de algas verdes, quanto à de cianobactérias, isso porque, a presença de luz afeta diretamente a abundância desses organismos, que se favorecem com o aumento das taxas de luminosidade (Singh & Singh, 2015). A região de restinga aberta pode apresentar outros tipos de vegetação (Bernardi et al., 2005), porém, não o suficiente para o sombreamento das bromélias. Em contrapartida as regiões de restinga fechada podem determinar menores abundâncias das algas devido à diminuição da luminosidade (Brouard et al., 2012). Na restinga fechada, as chances de acúmulo de serapilheira são maiores dentro dos fitotelmatas, embora, fatores como tamanho do *habitat* também possam determinar a quantidade de material alóctone que consegue chegar aos mesmos (Brouard et al., 2012). Isso pode explicar porque as taxas de amônia foram negativamente associadas à cobertura de dossel. Era esperado que a quantidade de amônia fosse maior à medida que a quantidade de matéria orgânica oriunda do dossel chegasse aos fitotelmatas. Contudo, outros fatores como a sazonalidade e os níveis de precipitação também podem alterar as taxas de decomposição, visto que a quantidade de água determina a dinâmica do fitotelmata (Neves et al., 2019), podendo levar a baixos níveis de amônia em bromélias com maior cobertura de dossel.

Outras conexões negativas com as taxas de cobertura de dossel foram a temperatura e a abundância de larvas de culicídeos. Essas variáveis são amplamente relacionadas, uma vez que, a temperatura e a incidência de luz podem ocasionar secas periódicas, que comprometem as espécies cujo tempos de vida e/ou de desenvolvimento são mais longos (Marino et al., 2011; Romero et al., 2020). Assim, a temperatura da água age como importante filtro ambiental, que regula a composição de espécies (Kratina et al., 2017), especialmente de

predadores, que influenciam na abundância das demais comunidades dentro dos fitotelmatas (Breviglieri & Romero, 2017).

Os fitoflagelados obtiveram o menor número de conexões, sendo que todas elas foram inexpressivas. Assim, a ausência de luz oriunda de maiores coberturas de dossel não afetou significativamente esse grupo. Isso pode ser explicado pelo fato de que a maioria das espécies desse grupo são mixotróficas (Ward & Follows, 2016), o que sugere que mesmo em ambientes com maior cobertura de dossel, esses organismos conseguiram se adaptar a ausência de luz, provavelmente obtendo energia através da alimentação. Os fitoflagelados possuem ampla gama de habilidades que favorecem a aquisição de carbono, nitrogênio e fósforo, seja para a aquisição de energia ou para o crescimento celular. Por exemplo, para Stoecker et al. (2017), esses organismos possuem ampla distribuição nos ambientes aquáticos, independentemente das condições tróficas e/ou de luminosidade.

Outro fator abiótico importante para estruturação trófica nos fitotelmatas foi o tamanho do *habitat*, sendo essa variável um dos principais fatores que determina a abundância de espécies em diferentes ecossistemas (Fahrig, 2003; Haddad et al., 2015; Antikeira et al., 2018). Pesquisas apontam que o aumento no tamanho do *habitat* aumenta também o número de espécie assim como o de nichos (MacArthur & Wilson 1967). Em contrapartida, a redução de tamanho de *habitat* pode causar um decréscimo nas populações e conseqüentemente elevar as taxas de extinção (Thomas et al., 2004).

Assim, *habitats* maiores favorecem a presença dos predadores, que necessitam de áreas maiores de vida (Dobson *et al.*, 2006). Resultados similares foram observados por Petermann et al., (2015), que demonstram que predadores da ordem Odonata estavam restritos a bromélias com maior retenção de água. Apesar de não termos encontrado essa relação nesse estudo, uma vez que, os predadores de topo não apresentaram ligações com a variável tamanho do *habitat*, outros predadores intermediários como rotíferos e copépodes obtiveram conexões positiva e intensas com essa variável.

A abundância de rotíferos foi positivamente associada à abundância de protistas, assim como outros estudos (Carrias, Cussac & Corbara, 2001; Brouard et al., 2012), que também observaram que a abundância de protistas ciliados pode não ser afetada ou até mesmo possuir uma relação positiva com os rotíferos. Outro grupo pertencente ao Zooplâncton com ligações positivas na estruturação trófica nas bromélias foram os copépodes, cuja abundância foi altamente favorecida pelo tamanho do *habitat*, o que, novamente, sugere a necessidade de *habitats* maiores para predadores (Petermann et al., 2015), tendo em vista que os copépodes são importantes consumidores de protistas nas teias tróficas de água doce (Wiackowski &

Kocerba-Soroka, 2017). Os rotíferos e os copépodes ocupam uma posição intermediária nas teias tróficas aquáticas (Wiackowski; Kocerba-Soroka, 2017; Ricci; Balsamo, 2000) e são um importante elo na transferência de energia para níveis tróficos superiores. Por possuírem um elevado metabolismo esses organismos são importantes na regeneração de nutrientes (Alcaraz et al., 2003; Serafim-Júnior et al., 2010).

Embora a temperatura tenha apresentado o maior número de conexões na análise de rede, essa variável não apresentou interações expressivas entre os grupos bióticos e abióticos analisados, com exceção das algas verdes, que foi o grupo que melhor se beneficiou de temperaturas mais elevadas. A temperatura desempenha papéis importantes para as algas, especialmente relacionada a composição química celular, absorção de nutrientes, CO<sub>2</sub> e nas taxas líquidas de crescimento (Singh & Singh, 2015).

Por fim, os resultados desse estudo em ambientes de fitotelmatas de bromélias da espécie *Quesnelia arvensis* demonstram que dentre o conjunto de fatores analisados, a cobertura de dossel e o tamanho do *habitat* foram os mais representativos, assim como esperado. As interações apresentadas entre esses dois fatores e as algas, de um modo geral, sugerem uma grande contribuição do mecanismo *bottom-up* em fitotelmatas de bromélia.

## 5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, a primeira predição (i) de que fitotelmatas maiores iriam abrigar uma maior quantidade de predadores de topo (larvas de Culicídeos), foi rejeitada, uma vez que esse grupo não apresentou ligação com a variável tamanho do *habitat*, contudo outros predadores como rotíferos e copépodes apresentaram resultados favoráveis à necessidade de *habitats* maiores. Apesar de o tamanho de *habitat* ter se relacionado positivamente com esses predadores, não houve uma tendência ao mecanismo de controle *top-down* conforme esperado, uma vez que, tanto rotíferos quanto copépodes não apresentaram interações negativas com nenhum outro grupo. Pelo contrário, foram verificadas interações positivas desses dois grupos com os protistas, considerados um de seus principais recursos alimentares, assim como os rotíferos se relacionaram positivamente com as cianobactérias, também apontadas como uma importante fonte de energia desse grupo. Consequentemente, a predição relacionada às diferenças na abundância da microbiota foi parcialmente aceita, uma vez que foram observados maiores valores de abundância de predadores em bromélias de maior tamanho, mas esse aumento dos predadores não causou o declínio de seus principais recursos alimentares.

A cobertura de dossel exerceu um efeito negativo sobre os organismos autotróficos, especialmente algas verdes e cianobactérias, uma vez que, maiores valores de cobertura de dossel dificultam a entrada de luz nos fitotelmatas, reduzem a temperatura e conseqüentemente, reduzem as abundâncias dos grupos algais. Em contrapartida, maiores temperaturas influenciaram positivamente as algas verdes e em menor intensidade os fitoflagelados. Assim, a predição ii) que esperava menor abundância dos organismos autotróficos, com predomínio do mecanismo *bottom-up* em maior cobertura de dossel, foi aceita. Por fim, a predição iii) a qual afirmava que a cobertura do dossel e o tamanho do *habitat* seriam as principais preditoras nas interações da teia trófica de fitotelmatas de bromélias também foi aceita, visto que efeitos diretos e indiretos dessas variáveis sobre as interações tróficas e não tróficas de fitotelmatas de bromélias foram observados neste estudo.

Portanto, os resultados encontrados nesse trabalho proporcionam uma amplificação dos conhecimentos sobre as interações da microbiota em fitotelmatas. Compreender esses microecossistemas é essencial para responder questões ecológicas diversas, uma vez que são ótimos modelos de estudo e fonte de recursos para diversos animais e microrganismos. Nesse estudo foram respondidas questões importantes sobre as interações tróficas que ocorrem em fitotelmatas, porém ainda é necessária a realização de mais estudos que abordem as interações em escalas temporais e espaciais, pois desta maneira será possível ampliar o conhecimento sobre a organização das comunidades dentro desses ecossistemas e as interações com um maior número de variáveis.

## REFERÊNCIAS

- Alcaraz M., Saiz E., Calbet A., Trepal I. & Broglio E. (2003). Estimating zooplankton biomass through image analysis. *Marine Biology* **143**, 307–315. <https://doi.org/10.1007/s00227-003-1094-8>
- AmbienteBrasil (2021). Ilha de Cardoso – SP
- Antiqueira P.A.P., Petchey O.L., dos Santos V.P., de Oliveira V.M. & Romero G.Q. (2018). Environmental change and predator diversity drive alpha and beta diversity in freshwater macro and microorganisms. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.14314>
- Award J.M. (2015). “Cascading Trophic Interactions and Lake Productivity.” *Limnology and Oceanography Bulletin* **24**, 59–59. <https://doi.org/10.1002/lob.10015>
- Benzing D.H. & Bennett. B. (2000). Bromeliaceae: profile of an adaptive radiation. Cambridge University Press., United Kingdom.
- Bernardi J.V.E., Landim P.M.B., Barreto C.L. & Monteiro R.C. (2005). Estudo Espacial Do Gradiente De Vegetação Do Parque Estadual Da Ilha Do Cardoso, Sp, Brasil. *Holos Environment* **5**, 01. <https://doi.org/10.14295/holos.v5i1.333>
- Bourne R. (2010). ImageJ. *Fundamentals of Digital Imaging in Medicine* **9**, 185–188. [https://doi.org/10.1007/978-1-84882-087-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-84882-087-6_9)
- Breviglieri C.P.B. & Romero G.Q. (2017). Terrestrial vertebrate predators drive the structure and functioning of aquatic food webs. *Ecology* **98**, 2069–2080. <https://doi.org/10.1002/ecy.1881>
- Brouard O., Céréghino R., Corbara B., Leroy C., Pelozuelo L., Dejean A., *et al.* (2012). Understorey environments influence functional diversity in tank-bromeliad ecosystems. *Freshwater Biology* **57**, 815–823. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2012.02749.x>
- Busse A., Antiqueira P.A.P., Neutzling A.S., Wolf A.M., Romero G.Q. & Petermann J.S. (2018). Different in the dark: The effect of habitat characteristics on community composition and beta diversity in bromeliad microfauna. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191426>
- Busse A., Schoreisz J.J. & Petermann J.S. (2019). Predators and priority effects suggested as potential drivers of microfauna communities in a community transplantation experiment along an elevational gradient. *Oikos* **128**, 929–942. <https://doi.org/10.1111/oik.05894>
- Calhoun A.J.K. (2007). Science and Conservation of Vernal Pools in Northeastern North America: *Ecology and Conservation of Seasonal Wetlands in Northeastern North America (English Edition) 1ª Edição*.
- Carminatto A.A., Magenta M.A.G., Ramires M. & Barrella W. (2017). Relação entre a complexidade estrutural da bromélia *quesnelia arvensis* e a abundância de artrópodes em uma área de restinga. *Anais do encontro nacional de pós-graduação* **1**, 132–137
- Carrias J.F., Cussac M.E. & Corbara B. (2001). A preliminary study of freshwater protozoa in tank bromeliads. *Journal of Tropical Ecology* **17**, 611–617. <https://doi.org/10.1017/S0266467401001456>
- Céréghino R., Corbara B., Leroy C. & Carrias J.F. (2020). Ecological determinants of community structure across the trophic levels of freshwater food webs: a test using

- bromeliad phytotelmata. *Hydrobiologia* **847**, 391–402. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04100-4>
- Cestari C. & Pizo M.A. (2008). Utilization of epiphytes by birds in a Brazilian Atlantic forest. *Ornitologia Neotropical*
- Dobson A., Lodge D., Alder J., Cumming G.S., Keymer J., McGlade J., *et al.* (2006). Habitat loss, trophic collapse, and the decline of ecosystem services. *Ecology* **87**, 1915–1924. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[1915:HLTCAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[1915:HLTCAT]2.0.CO;2)
- Drakare S., Lennon J.J. & Hillebrand H. (2006). The imprint of the geographical, evolutionary and ecological context on species-area relationships. *Ecology Letters*
- Dunthorn M., Stoeck T., Wolf K., Breiner H.W. & Foissner W. (2012). Diversity and endemism of ciliates inhabiting Neotropical phytotelmata. *Systematics and Biodiversity*. <https://doi.org/10.1080/14772000.2012.685195>
- Fahrig L. (2003). Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*
- Foissner, W., Berger, H. and Schaumburg J. (1999). Identification and ecology of limnetic plankton ciliates. - *Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft*. Hardcover.
- Foygel R. & Drton M. (2010). Extended Bayesian information criteria for Gaussian graphical models. *Advances in Neural Information Processing Systems 23: 24th Annual Conference on Neural Information Processing Systems 2010, NIPS 2010*, 1–14
- García-Girón J., Heino J., García-Criado F., Fernández-Aláez C. & Alahuhta J. (2020). Biotic interactions hold the key to understanding metacommunity organisation. *Ecography* **43**, 1180–1190. <https://doi.org/10.1111/ecog.05032>
- Gomes F.H., Vidal-torrado P., Macías F., Gherardi B., Luiz X. & Perez O. (2007). Solos sob Vegetação de restinga na ilha do. 1563–1580
- Graça M.A.S. (2001). The role of invertebrates on leaf litter decomposition in streams - A review. *International Review of Hydrobiology* **86**, 383–393. [https://doi.org/10.1002/1522-2632\(200107\)86:4/5<383::AID-IROH383>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/1522-2632(200107)86:4/5<383::AID-IROH383>3.0.CO;2-D)
- Gravel D., Baiser B., Dunne J.A., Kopelke J.P., Martinez N.D., Nyman T., *et al.* (2019). Bringing Elton and Grinnell together: a quantitative framework to represent the biogeography of ecological interaction networks. *Ecography* **42**, 401–415. <https://doi.org/10.1111/ecog.04006>
- Griffin J.N., De La Haye K.L., Hawkins S.J., Thompson R.C. & Jenkins S.R. (2008). Predator diversity and ecosystem functioning: Density modifies the effect of resource partitioning. *Ecology*. <https://doi.org/10.1890/07-1220.1>
- Gripenberg S. & Roslin T. (2007). Up or down in space? Uniting the bottom-up versus top-down paradigm and spatial ecology. *Oikos* **116**, 181–188. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.15266.x>
- Haddad N.M., Brudvig L.A., Clobert J., Davies K.F., Gonzalez A., Holt R.D., *et al.* (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
- Hill W.R., Mulholland P.J. & Marzolf E.R. (2001). Stream ecosystem responses to forest leaf

- emergence in spring. *Ecology* **82**, 2306–2319. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2001\)082\[2306:SERTFL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[2306:SERTFL]2.0.CO;2)
- Hoffmann L., Komárek J. & Kaštovský J. (2005). System of cyanoprokaryotes (cyanobacteria) state in 2004. *Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes* **117**, 95–115. <https://doi.org/10.1127/1864-1318/2005/0117-0095>
- Judd W.S., Campbell C.S., Kellogg E.A., Stevens P.F. & Donoghue M.J. (2009). Sistemática Vegetal - Um Enfoque Filogenético. *Taxon* **49**, 632
- Keley F. & Pereira S. (2014). Avaliação experimental do efeito do controle Top-down e Bottom-up sobre a cadeia de detritos em ambiente aquático Avaliação experimental do efeito do controle Top-down e Bottom-up sobre a cadeia de detritos em ambiente aquático
- Kitching R.L. (2001). Food webs in phytotelmata : “ Bottom-Up ” for Community Structure
- Kratina P., Petermann J.S., Marino N.A.C., MacDonald A.A.M. & Srivastava D.S. (2017). Environmental control of the microfaunal community structure in tropical bromeliads. *Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1002/ece3.2797>
- Laessle A.M. (1961). A Micro-Limnological Study of Jamaican Bromeliads. *Ecology*. <https://doi.org/10.2307/1932236>
- Lansac-Tôha F.M., Quirino B.A., Souza Y.R., Lansac-Tôha F.A., Velho L.F.M. & Baumgartner M.T. (2021). The commonality of core biological groups across freshwater food webs. *Limnology and Oceanography*, 1–16. <https://doi.org/10.1002/lno.11697>
- Lawrence S.G., Malley D.F., Findlay W.J., MacIver M.A. & Delbaere I.L. (1987). Method for Estimating Dry Weight of Freshwater Planktonic Crustaceans from Measures of Length and Shape. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **44**, s264–s274. <https://doi.org/10.1139/f87-301>
- Leão R. de S. & Jacobi P.R. (2016). A contribuição de novas ferramentas para melhoria da gestão da água: uma análise da utilização da pegada hídrica pelo setor empresarial. In: *Conhecimento Interdisciplinar, Governança Ambiental e Sociedade*. (Ed. P.R. Jacobi), pp. 47–66. PROCAMPUP, São Paulo.
- Leibold M.A., Holyoak M., Mouquet N., Amarasekare P., Chase J.M., Hoopes M.F., *et al.* (2004). The metacommunity concept: A framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters*
- Li Y., Meng J., Zhang C., Ji S., Kong Q., Wang R., *et al.* (2021). Bottom-up and top-down effects on phytoplankton communities in two freshwater lakes. 1–10
- Louca S., Jacques S.M.S., Pires A.P.F., Leal J.S., Srivastava D.S., Parfrey L.W., *et al.* (2017). High taxonomic variability despite stable functional structure across microbial communities. *Nature Ecology & Evolution* **1**, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41559-016-0015>
- Lund J.W.G., Kipling C. & Le Cren E.D. (1958). The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia* **11**, 143–170. <https://doi.org/10.1007/BF00007865>
- MacArthur R. & Levins R. (1967). The Limiting Similarity, Convergence, and Divergence of Coexisting Species. *The American Naturalist*. <https://doi.org/10.1086/282505>

- Marino N.A.C., Guariento R.D., Dib V., Azevedo F.D. & Farjalla V.F. (2011). Habitat size determine algae biomass in tank-bromeliads. *Hydrobiologia* **678**, 191–199. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0848-4>
- Martinelli G., Vieira C.M., Gonzalez M., Leitman P., Piratininga A., Costa A.F. da, *et al.* (2008). bromeliaceae da mata atlântica brasileira: lista de espécies, distribuição e conservação. *Rodriguésia*. <https://doi.org/10.1590/2175-7860200859114>
- Mazumder R. & Hastie T. (2012). The graphical lasso: New insights and alternatives. *Electronic Journal of Statistics* **6**, 2125–2149. <https://doi.org/10.1214/12-EJS740>
- McCary M.A., Phillips J.S., Ramiadantsoa T., Nell L.A., McCormick A.R. & Botsch J.C. (2021). Transient top-down and bottom-up effects of resources pulsed to multiple trophic levels. *Ecology* **102**, 1–13. <https://doi.org/10.1002/ecy.3197>
- Mendes P.M.S., Lansac-Tôha F.M., Meira B.R., Oliveira F.R., Velho L.F.M. & Lansac-Tôha F.A. (2020). Heterotrophic flagellates (*Amorpha* and *Diaphoretiches*) in phytotelmata bromeliad (*Bromeliaceae*). *Brazilian Journal of Biology* **80**, 648–660. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.218742>
- Moore J.C., Berlow E.L., Coleman D.C., De Suiter P.C., Dong Q., Hastings A., *et al.* (2004). Detritus, trophic dynamics and biodiversity. *Ecology Letters* **7**, 584–600. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00606.x>
- Mortelliti A., Amori G., Capizzi D., Cervone C., Fagiani S., Pollini B., *et al.* (2011). Independent effects of habitat loss, habitat fragmentation and structural connectivity on the distribution of two arboreal rodents. *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01918.x>
- Murphy S.M., Lewis D. & Wimp G.M. (2020). Predator population size structure alters consumption of prey from epigeic and grazing food webs. *Oecologia* **192**, 791–799. <https://doi.org/10.1007/s00442-020-04619-7>
- Nadkarni N.M. & Matelson T.J. (1989). Bird Use of Epiphyte Resources in Neotropical Trees. *The Condor*. <https://doi.org/10.2307/1368074>
- Neves K.M.S. Das, Tavares A.R., Vercellino L.S. & Ferragut C. (2019). Biomass and abiotic variables change in phytotelmic environment in the tank-bromeliad *Nidularium longiflorum* Ule in tropical forest. *Acta Limnologica Brasiliensia* **31**, 1–9. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x4217>
- Ney-Nifle M. & Mangel M. (2000). Habitat loss and changes in the species-area relationship. *Conservation Biology*. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.98163.x>
- Ngai J.T. & Srivastava D.S. (2006). Predators Accelerate Nutrient Cycling in a Bromeliad Ecosystem. *Science* **314**, 963–963. <https://doi.org/10.1126/science.1132598>
- De Noronha J. da C., Prado C.P.A., Hero J.M., Castley G. & Rodrigues D. de J. (2021). Aspects of the reproductive ecology of *trachycephalus cunauaru* (Anura: Hylidae) in the southern amazon. *Acta Amazonica* **51**, 34–41. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202002361>
- De Oliveira F.M.C. (2012). O gênero *Quesnelia* Gaudich (*Bromeliaceae*-*Bromelioideae*) no Estado do Paraná, Brasil: Aspectos Taxonômicos e Anatômicos
- De Oliveira F.M.C. & Tardivo R.C. (2017). Genus *Quesnelia* (*Bromeliaceae*, *Bromelioideae*)

- of Paraná State, Brazil. *Rodriguesia* **68**, 195–207. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201768125>
- Pace M.L. & Cole J.J. (1994). Microbial ecology © 1994. 181–193
- Pessenda L.C.R., Vidotto E., De Oliveira P.E., Buso A.A., Cohen M.C.L., Rossetti D. de F., *et al.* (2012). Late Quaternary vegetation and coastal environmental changes at Ilha do Cardoso mangrove, southeastern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.08.014>
- Petermann J.S., Farjalla V.F., Jocque M., Kratina P., Macdonald A.A.M., Marino N.A.C., *et al.* (2015). Dominant predators mediate the impact of habitat size on trophic structure in bromeliad invertebrate communities. *Ecology*. <https://doi.org/10.1890/14-0304.1>
- Pomeroy L.R. & Wiebe W.J. (1988). Energetics of microbial food webs. *Hydrobiologia* **159**, 7–18. <https://doi.org/10.1007/BF00007363>
- R Development Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. *Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing*
- Rangel J. V., Araújo R.E.S., Casotti C.G., Costa L.C., Kiffer W.P. & Moretti M.S. (2017). Assessing the role of canopy cover on the colonization of phytotelmata by aquatic invertebrates: An experiment with the tank-bromeliad *Aechmea lingulata*. *Journal of Limnology* **76**, 230–239. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1526>
- Ricci C. & Balsamo M. (2000). The biology and ecology of lotic rotifers and gastrotrichs. *Freshwater Biology* **44**, 15–28. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2000.00584.x>
- Richardson B.A., Richardson M.J., Scatena F.N. & McDowell W.H. (2000). Effects of nutrient availability and other elevational changes on bromeliad populations and their invertebrate communities in a humid tropical forest in Puerto Rico. *Journal of Tropical Ecology*. <https://doi.org/10.1017/S0266467400001346>
- Richardson J.S. (2008). Aquatic arthropods and forestry: Effects of large-scale land use on aquatic systems in Nearctic temperate regions. *Canadian Entomologist* **140**, 495–509. <https://doi.org/10.4039/N07-Ls04>
- Rizzini C. (1997). *Tratado de Fitogeografia do Brasil*.
- Rollo T.C., Magenta M.A.G., Nakasato M.V., Giordano F. & Lapo C.A. (2013). Vegetação de Restinga em Ilha Comprida: Condições de Conservação e Estudo Comparativo com outras Áreas de Proteção Ambiental do Estado de São Paulo - Brasil. *BioScience* **2**, 52–65
- Romero G.Q., Marino N.A.C., MacDonald A.A.M., Céréghino R., Trzcinski M.K., Mercado D.A., *et al.* (2020). Extreme rainfall events alter the trophic structure in bromeliad tanks across the Neotropics. *Nature Communications* **11**, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17036-4>
- Rosenzweig M.L. (2001). Loss of speciation rate will impoverish future diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <https://doi.org/10.1073/pnas.101092798>
- Rowland F.E., Tuttle S.K., González M.J. & Vanni M.J. (2016). Canopy cover and anurans: Nutrients are the most important predictor of growth and development. *Canadian Journal of Zoology* **94**, 225–232. <https://doi.org/10.1139/cjz-2015-0022>

- Roy J. & Alam S. (2020). Study on autonomous and nonautonomous version of a food chain model with intraspecific competition in top predator. *Mathematical Methods in the Applied Sciences* **43**, 3167–3184. <https://doi.org/10.1002/mma.6109>
- Ruttner-Kolisko A. (1977). Suggestions for biomass calculation of plankton rotifers. *Hydrobiologia Beihefte* **21(1)**, 71–76
- Segovia B.T., Lansac-Toha F.M., de Meira B.R., Cabral A.F., Lansac-Tôha F.A. & Velho L.F.M. (2016). Anthropogenic disturbances influencing ciliate functional feeding groups in impacted tropical streams. *Environmental Science and Pollution Research* **23**, 20003–20016. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7185-0>
- Serafim-Júnior M., Perbiche-Neves G., Brito L. De, Ghidini A.R. & Casanova S.M.C. (2010). Variação espaço-temporal de Rotifera em um reservatório eutrofizado no sul do Brasil. *Iheringia. Série Zoologia* **100**, 233–241. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212010000300008>
- Sherr E. & Sherr B. (1988). Role of microbes in pelagic food webs: A revised concept. *Limnology and Oceanography*
- Silva D.D.C. & Oliveira Junior J.M.B. (2018). Efeito da cobertura de dossel sobre a comunidade de Odonata (insecta) em igarapés na região de Santarém-Belterra (PA). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* **9**, 88–97. <https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2018.006.0011>
- Singh S.P. & Singh P. (2015). Effect of temperature and light on the growth of algae species: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **50**, 431–444. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.024>
- Souza M.B.G. (2008). *Guia das tecamebas: bacia do rio Peruaçu, Minas Gerais: subsídio para conservação e monitoramento da bacia do Rio São Francisco*. UFMG, Belo Horizonte.
- Srivastava D.S., Kolasa J., Bengtsson J., Gonzalez A., Lawler S.P., Miller T.E., *et al.* (2004). Are natural microcosms useful model systems for ecology? *Trends in Ecology and Evolution* **19**, 379–384. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.04.010>
- Stoecker D.K., Hansen P.J., Caron D.A. & Mitra A. (2017). Mixotrophy in the Marine Plankton. *Annual Review of Marine Science* **9**, 311–335. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010816-060617>
- Thomas C.D., Cameron A., Green R.E., Bakkenes M., Beaumont L.J., Collingham Y.C., *et al.* (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature02121>
- Tobias-Hünefeldt S.P., Wenley J., Baltar F. & Morales S.E. (2021). Ecological drivers switch from bottom-up to top-down during model microbial community successions. *ISME Journal* **15**, 1085–1097. <https://doi.org/10.1038/s41396-020-00833-6>
- Utermöhl H. (1958). Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *SIL Communications, 1953-1996* **9**, 1–38. <https://doi.org/10.1080/05384680.1958.11904091>
- Ward B.A. & Follows M.J. (2016). Marine mixotrophy increases trophic transfer efficiency, mean organism size, and vertical carbon flux. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **113**, 2958–2963. <https://doi.org/10.1073/pnas.1517118113>

Wiackowski K. & Kocerba-Soroka W. (2017). Selective predation by a harpacticoid copepod on ciliates in phytotelmata: a laboratory experiment. *Hydrobiologia* **790**, 13–22.  
<https://doi.org/10.1007/s10750-016-2941-1>