



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS - RIO CLARO



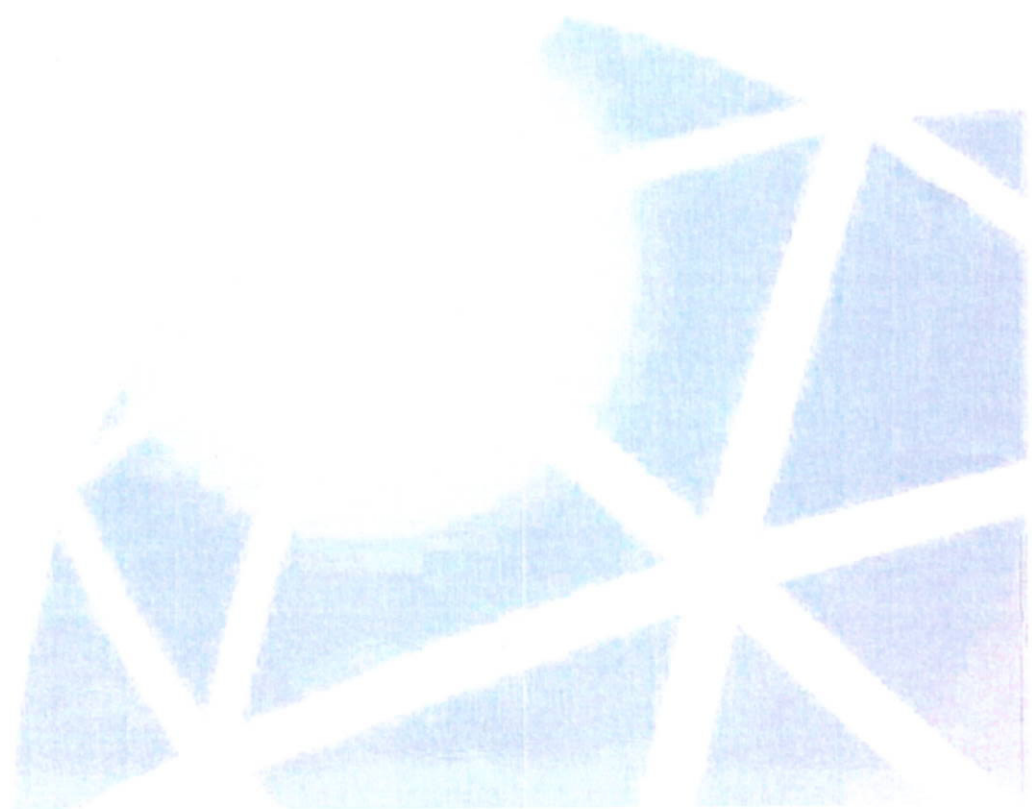
---

CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

---

**Miyuki Oye**

**Respostas de *Daphnia magna* a mudanças  
estruturais em meta-redes tróficas**



Miyuki Oye

Respostas de *Daphnia magna* a mudanças estruturais em meta-redes tróficas

Orientador: PROF. DR. TADEU DE SIQUEIRA BARROS



Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Câmpus de Rio Claro, para obtenção do grau de Bacharela em Ciências Biológicas.

Rio Claro  
2020

SU8

Class	( _____ _____ _____)
Tombo	_____

O98r

Oye, Miyuki

Respostas de *Daphnia magna* a mudanças estruturais em meta-redes tróficas / Miyuki Oye. -- Rio Claro, 2020  
20 f. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro

Orientador: Tadeu de Siqueira Barros

1. Biologia. 2. Ecologia. 3. Cadeias alimentares. 4. Zooplâncton. 5. Natureza Influência do homem. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, por me darem todos os recursos e condições necessárias para eu poder fazer uma faculdade pública em um curso que eu escolhi por amor.

Agradeço ao meu orientador, por ter ministrado a disciplina de ecologia de comunidades de uma forma tão gostosa que me fez querer aprender mais sobre essa área. Agradeço também por ter me mostrado que todos “acordam” pra faculdade cedo ou tarde, e que tudo bem também. Por ter apoiado minha ideia e ter lido meus textos de divulgação científica, mesmo não sendo sua especialidade. E, finalmente, por ter sido o melhor orientador que eu poderia ter tido, sendo sempre respeitoso, didático, compreensível e humano. Fazer o TCC não foi tão assustador quanto meus medos me diziam e um dos motivos foi por ter sido orientada por você.

Agradeço ao meu namorado, por ter estado ao meu lado, seja desfrutando dos bons momentos ou sofrendo pelos maus. Por me apoiar em questões profissionais e pessoais principalmente neste ano tão difícil. Não sei o que teria sido de mim sem sua ajuda, então obrigada mesmo. E, principalmente, por ser você e por me permitir estar ao seu lado também.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS - IB, RIO CLARO - SP  
DEPARTAMENTO DE BIODIVERSIDADE

**Projeto - Trabalho de Conclusão de Curso**

Respostas de *Daphnia magna* a mudanças estruturais em meta-redes tróficas

**Aluna:** Miyuki Oye (Bacharelado em Ciências Biológicas)

**Orientador:** Prof. Dr. Tadeu de Siqueira Barros (Depto. de Biodiversidade, Instituto de Biociências de Rio Claro, SP)

**RESUMO**

Os impactos ecológicos causados pelas mudanças ambientais tendem a se intensificar conforme a exploração humana do ambiente aumenta. A base das redes tróficas sofre com a homogeneização do ambiente através da introdução de espécies invasoras, urbanização e agricultura. Por outro lado, os organismos do topo das redes tróficas são coletados com maior preferência para o consumo humano. Em redes tróficas aquáticas, os microcrustáceos zooplantônicos possuem um importante papel de manter a estabilidade de ecossistemas aquáticos, atuando como mediadores entre a produtividade primária de algas planctônicas e predadores vertebrados. O objetivo do trabalho foi investigar o regime reprodutivo de *Daphnia magna* sob condição de homogeneização dos recursos basais e extinção do predador de topo. O modelo linear de análise de variância indicou que a variância da abundância de *Daphnia magna* foi mais significativa nos tratamentos sem heterogeneidade de recursos basais, devido ao baixo valor nutricional de detritos orgânicos. Além disso, apesar de a associação entre produção de ovos e tratamentos ter sido marginalmente significativa ( $p = 0,054$ ), nossos dados indicam que a presença de predadores combinada com ausência de heterogeneidade de recursos basais tende a estimular maior produção ovos de resistência por *Daphnia magna*.

## SUMÁRIO

1. <u>INTRODUÇÃO</u> .....	5
2. <u>MATERIAIS E MÉTODOS</u> .....	8
<u>2.1 Delineamento experimental</u> .....	8
<u>2.2 Amostragem</u> .....	11
<u>2.3 Análise de dados</u> .....	11
3. <u>RESULTADOS</u> .....	13
4. <u>DISCUSSÃO</u> .....	17
5. <u>REFERÊNCIAS</u> .....	20

## 1. INTRODUÇÃO

Os impactos ecológicos sobre os ecossistemas tendem a se intensificar conforme a exploração humana do ambiente aumenta (TYLIANAKIS et al. 2008). Por exemplo, a base das redes tróficas sofre com a homogeneização do ambiente através da introdução de espécies invasoras, urbanização e agricultura (MCCANN, 2007). Por outro lado, os organismos dos níveis mais altos das redes tróficas, como grandes peixes predadores, são coletados com maior preferência para consumo humano (MCCANN, 2007). Sendo assim, mudanças ambientais tendem a impactar os extremos das redes tróficas, sua base e seu topo, e isso pode ter consequências pouco compreendidas para a dinâmica de comunidades e ecossistemas.

De acordo com McCann et al. (1998), interações fracas entre consumidores e recursos promovem a persistência de redes tróficas através de pelo menos dois mecanismos: (1) a competição aparente ocorre quando um consumidor troca a preferência de um recurso para outro; isso reduz a eficiência com que o consumidor ataca o primeiro recurso e (2) o mecanismo de cascata trófica ocorre quando um predador se alimenta do consumidor, controlando sua população e reduzindo a taxa de ataque deste sobre os recursos. Os dois mecanismos citados evidenciam a importância da disponibilidade de recursos variados (em 1) e da presença de um predador para controlar as populações de consumidores (em 2).

O papel de predadores em redes tróficas não se limita apenas em controlar as populações dos consumidores, eles também acoplam recursos e habitats ao longo do espaço (MCCANN et al., 2005). Em ambientes extensos com redes tróficas grandes e complexas, o maior tamanho e mobilidade dos predadores permitem que esses organismos forrageiem diferentes habitats, reduzindo a pressão *top-down* quando se movimentam. No mesmo trabalho, McCann et al. (2005) explicam que a onivoria é o principal fator estabilizador em redes tróficas espacialmente comprimidas, pois também reduz a pressão *top-down* amplificada pela redução do espaço.

Em redes tróficas aquáticas, o zooplâncton exerce papel fundamental para manutenção da estabilidade de ecossistemas aquáticos (MANCA & RUGGIU, 1998), pois atuam como mediadores entre a produtividade primária de algas planctônicas com os predadores vertebrados, fazendo assim o controle das quantidades de algas e detritos e servindo de

alimento para predadores de níveis tróficos superiores. Neste caso, define-se estabilidade como qualquer métrica contínua que tente medir a probabilidade de persistência de um conjunto de espécies interativas (ROONEY & MCCANN, 2012). Por exemplo, Manca e Ruggiu (1998) perceberam mudanças na comunidade de peixes do Lago Maggiore, localizado na Itália, com a redução considerável de peixes planctívoros, e um aumento na abundância de fitoplâncton depois do quase desaparecimento do zooplâncton *Daphnia*.

Populações de zooplâncton têm grande flutuação temporal e são afetadas por diversos fatores bióticos (qualidade e quantidade de alimento, competição intra e interespecíficas) e abióticos (temperatura, pH, distribuição de oxigênio) (GYLLSTROM & HANSSON, 2004). Para lidar com todas essas interferências, os microcrustáceos do gênero *Daphnia* adquiriram a capacidade de iniciar uma população a partir de um único indivíduo, através de partenogênese cíclica (KLEIVEN et al., 1992), e de resistir a eventos catastróficos, através de diapausa (GYLLSTROM & HANSSON, 2004). Partenogênese cíclica é um modo de reprodução que envolve a alternância entre as fases assexuada e sexuada, sendo que a primeira fase ocorre quando o ambiente está em condições adequadas e há produção exclusiva de fêmeas clonais e na segunda fase, quando há um estresse ambiental, acontece a produção de machos para fertilização dos ovos de resistência que posteriormente entram em diapausa (HEBERT, 1978). Na fase sexual, ovos de resistência são envolvidos por membranas protetoras chamadas ephippium, que os torna resistentes a dessecação, congelamento e enzimas digestivas (HEBERT, 1978), permitindo-os suportar condições desfavoráveis como o inverno, por exemplo, em que as chances de sobrevivência são menores.

Os estímulos que levam a produção de proles masculinas e de ovos de resistência são diferentes, indicando que esses eventos sejam independentes (HOBÆK & LARSSON, 1990). O ajuste da proporção sexual deve ser feito a partir de uma população inteiramente feminina para um nível ótimo, ou seja, metade masculina e metade feminina para garantir o maior número de fertilizações possível. Estudos demonstraram que os principais fatores que levam à liberação de machos e produção de ovos de resistência é a mudança do fotoperíodo, um efeito químico de aglomeração e quantidades limitadas de alimento (HOBÆK & LARSSON, 1990; KLEIVEN et al., 1992). A quantidade de alimento ingerido também afeta a quantidade de ovos que a futura mãe *Daphnia* vai produzir. De acordo com Hebert (1978), o excesso de energia não utilizada para manutenção metabólica básica do animal é todo

convertido em produção de ovos, mas não há produção de ovos se a quantidade de alimento atende apenas aos requisitos de sobrevivência.

Durante a ocorrência de eventos catastróficos, toda a população ativa de *Daphnia* pode ser extinta, permanecendo apenas os ovos de resistência (GYLLSTROM & HANSSON, 2004). Por isso a percepção correta de pistas ambientais é de extrema importância para a manutenção desse zooplâncton. As ações humanas que causam a homogeneização do ambiente e perda de predadores podem afetar indiretamente a percepção do ambiente por esses organismos: a falta de predadores pode causar um aumento populacional em *Daphnia* e levar a uma situação de adensamento que, juntamente com uma subsequente inanição provocada pela baixa oferta de recursos, pode estimular a produção de ovos de resistência pela população. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi investigar o regime reprodutivo de *Daphnia magna* sob condição de homogeneização dos recursos basais e extinção do predador de topo. Esperávamos que (1) o aumento populacional causado pela extinção do predador seja acompanhado de um aumento do número de ovos de resistência (Figura 1A). Em relação à presença do predador, esperávamos (2) um aumento na abundância de *Daphnia* com tamanho corpóreo menor devido a maior pressão de predação que, por sua vez, controlaria as populações de consumidores mantendo a concentração de alga em níveis seguros em conjuntos de redes com recursos homogêneos. Em conjuntos de redes com recursos heterogêneos, esperávamos (3) uma maior abundância de *Daphnia* com tamanho corpóreo maior devido a uma menor pressão de predação causada pela onivoria, mantendo o sistema mais estável ao longo do tempo em escala regional (Figura 1B).

O trabalho foi feito a partir da análise de amostras obtidas em um experimento manipulativo em que simulamos redes tróficas em mesocosmos aquáticos onde a presença e ausência de predador foi controlada, assim como a heterogeneidade de recursos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Delineamento experimental

Os mesocosmos aquáticos foram construídos de maneira a simular os efeitos da

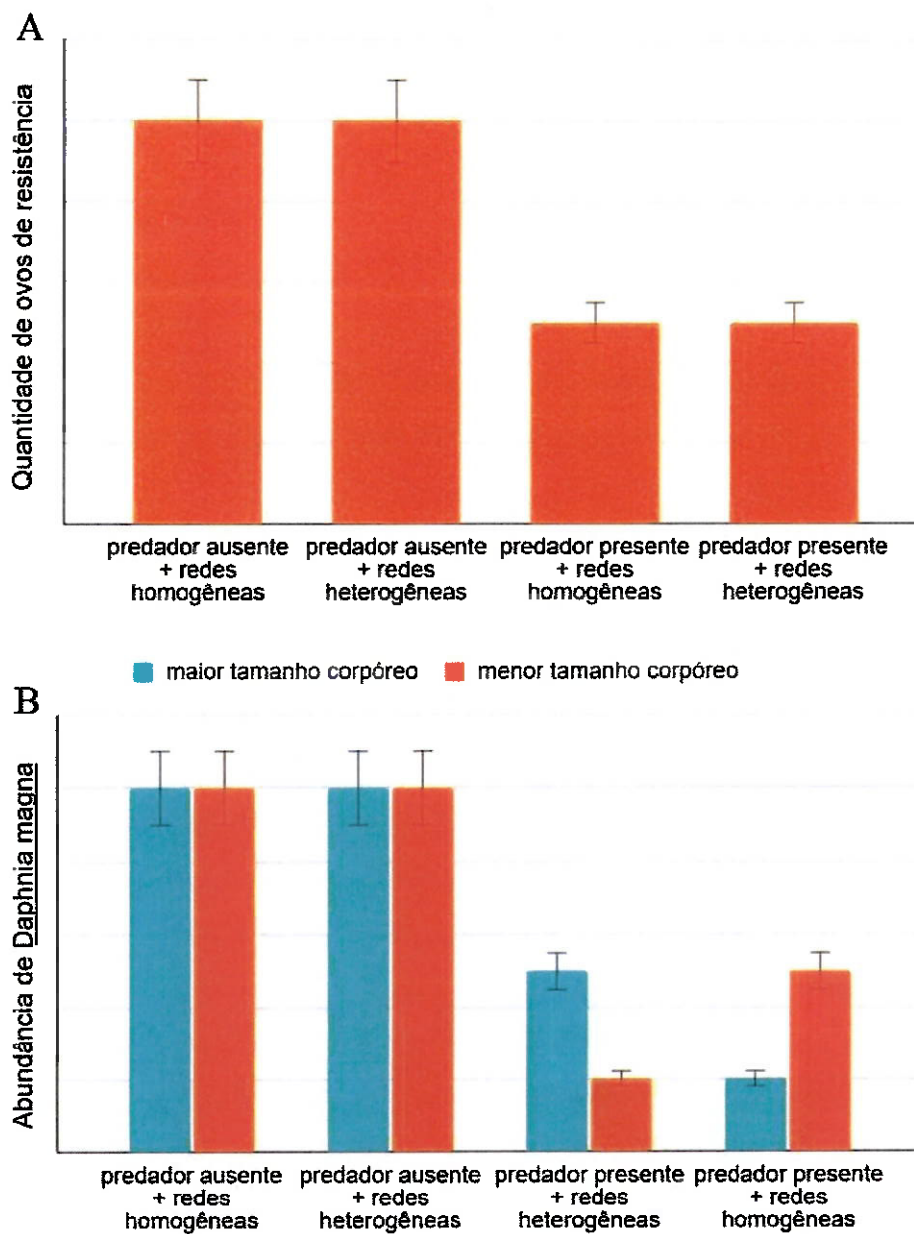


Figura 1: Gráficos conceituais relacionados às previsões. A) Predição 1. B) Predições 2 e 3

interação entre a perda do predador e a perda de heterogeneidade ambiental em ecossistemas naturais. As meta-redes tróficas, isto é, conjunto de mesocosmos conectados, eram compostas por quatro caixas plásticas de 60L de capacidade, simulando redes locais, interligadas por canos de PVC de 100mm de diâmetro. Cada meta-rede tinha dois ou três níveis tróficos, recurso-consumidor-predador, o último podendo estar presente ou ausente. Os quatro mesocosmos eram todos iguais ou de dois tipos, com os recursos sendo baseados em produtividade primária ou em detritos (Figura 2). Os mesocosmos de produção primária foram constituídos de uma espécie de fitoplâncton (*Raphidocelis subcapitata*) e uma espécie de zooplâncton (*Daphnia magna*), e as redes detritívoras de *litter-bags* de folhas de uma espécie de gramínea (*Brachiaria sp*) e de uma espécie de crustáceo detritívoro (*Hyaella meinerti*). Quando presente, o predador utilizado foi *Poecilia reticulata*, uma espécie de peixe generalista e resistente, que consome diferentes recursos alimentares e vive em ambientes com diferentes características físico-químicas.

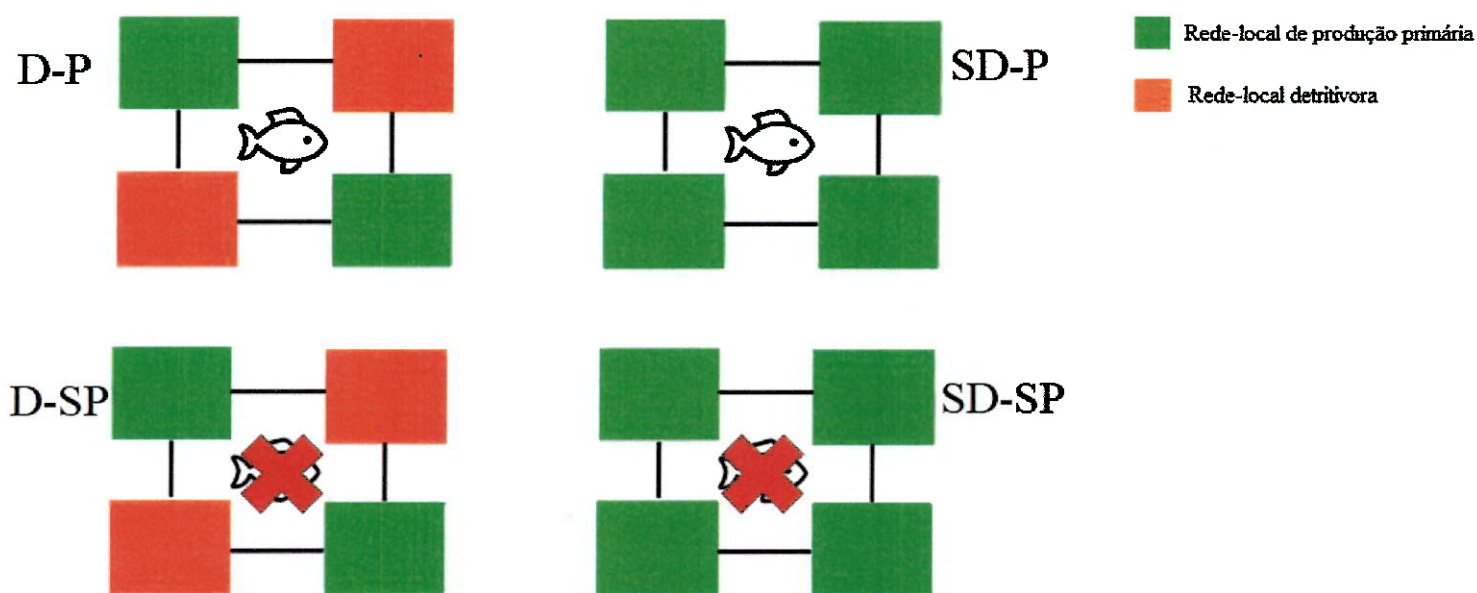


Figura 2: Meta-redes com seus respectivos mesocosmos baseados em produtividade primária (quadrados verdes) ou detritívora (quadrados laranjas), apresentando também a presença ou ausência do predador no sistema.

A combinação de todos os fatores resultou em quatro tratamentos nas meta-redes tróficas sendo: (I) predador presente e redes detritívoras (duas) e de produção primária (duas) alternadas na meta-rede; (II) predador presente e todas as redes locais do tipo de produção primária (quatro); (III) predador ausente e redes detritívoras (duas) e de produção primária

(duas) alternadas na meta-rede; (IV) predador ausente e todas as redes de produção primária (quatro). Cada meta-rede foi replicada quatro vezes, totalizando 16 mesocosmos. Os mesocosmos foram construídos no Centro Nacional de Pesquisa e Conservação da Biodiversidade Aquática Continental (CEPTA), centro especializado do ICMBio responsável por pesquisas científicas e ações de manejo para conservação e recuperação de espécies de peixes ameaçados e de monitoramento da biodiversidade das bacias hidrográficas brasileiras, localizado na cidade de Pirassununga no estado de São Paulo.

Para evitar qualquer contaminação prévia, cada mesocosmo recebeu 50L de água da rede de tratamento tratadas com cloro, anti-cloro e filtrada com filtro de luz UV. A biomassa inicial de todos os organismos foi definida antes da introdução nos mesocosmos e foi baseada na razão de biomassa predador-presa (HATTON et al., 2015). A partir da estimativa da biomassa inicial de *R. subcaptata*, determinamos a biomassa de *D. magna* e, a partir da biomassa inicial de *D. magna*, determinamos a biomassa de *P. reticulata*. No dia 03/05/2019, foram inseridos 350ml de meio de cultura CHU (20mL/L) e, nos mesocosmos baseados em produção primária, um inóculo inicial de fitoplâncton (dois litros proveniente de uma cultura pré-estabelecida em laboratório com densidade aproximada de  $3,42 \times 10^7$  cel/mL. Dez dias após a introdução dos recursos basais (13/05/2019), inserimos os consumidores em cada uma das redes locais sendo a média de indivíduos por mesocosmo de  $510 \pm 80$ , valor próximo ao calculado pela razão predador-presa utilizando a concentração de *R. subcaptata* como referência. Três dias depois (16/05/2019), 21 litter-bags foram introduzidos em cada um dos mesocosmos de detrito com biomassa média de  $0,627 \pm 0,051$ g. Ao longo do experimento, introduzimos mais cinco litter-bags para simular o aporte de detritos as meta-redes (datas 29/05, 12/06, 16/06, 30/06 e 20/07). No mesmo dia, realizamos a introdução de 90 indivíduos de *H. meinerti* em cada um dos mesocosmos de detrito, foi priorizada a seleção de casais adultos em amplexo. No dia 22/05/2019, introduzimos os predadores machos adultos (um por meta-rede com predação) e alevinos (quatro por meta-rede com predação). Optamos por introduzir adultos e alevinos para que todos os consumidores dos mesocosmos estivessem suscetíveis a predadores. Os machos adultos tiveram biomassa média de  $333 \pm 32,7$  mg, próxima à calculada a partir da razão predador-presa com a biomassa de *D. magna* como referência. Os alevinos apresentaram as menores massas possíveis para potencializar a predação sobre os consumidores pequenos e, ainda, foram substituídos após a conclusão de

dez das 21 amostragens previstas (21/06/2019), por terem apresentado crescimento considerável nesse período.

## 2.2. Amostragens

Amostras de *Daphnia* foram coletadas duas vezes por semana (segunda-feira e quinta-feira) em cada rede local para estimativas de biomassa durante 10 semanas. Foi coletado um litro de água de cada mesocosmo, com um pote plástico após a homogeneização das caixas, de maneira a ser uma amostra integrada. Para que as amostragens não afetassem as biomassas nos mesocosmos e interferissem nas amostragens subsequentes, os consumidores foram contados e devolvidos aos mesmos mesocosmos, e uma quantia de alga concentrada (um litro com uma densidade aproximada de 103 cel/mL) e de *litter-bags* (três, ou seja, mesmo número coletado) foram repostos no seu respectivo mesocosmo. A coleta dos ovos de resistência foi feita indiretamente com o mesmo litro de água para coleta de *Daphnia*. A biomassa do zooplâncton foi estimada a partir da quantificação e posterior análise do comprimento do corpo de 25 indivíduos de cada classe de tamanho (Figura 3).

## 2.3 Análise de dados

A análise de dados foi feita no R usando um modelo linear de análise de variância. As variáveis respostas foram a quantidade de ovos de resistência e a abundância de diferentes classes de tamanho de *Daphnia magna*. As variáveis preditoras foram os tratamentos sendo eles: presença de predador + recursos heterogêneos (D-P), presença do predador + recursos homogêneos (SD-P), ausência do predador + recursos heterogêneos (D-SP), ausência do predador + recursos homogêneos (SD-SP) (Figura 1). Na detecção de algum efeito do tratamento, foram feitas comparações par a par entre as diferentes classes de tamanho via teste de Tukey.

Devido à tendência dos predadores preferirem se alimentar de presas maiores, os dados populacionais foram divididos em classes de tamanho sendo elas: C1, C2, C3, C4 e C5. Os números de indivíduos da categoria C5 eram muito escassos, então não foram considerados para as análises estatísticas. Foram calculadas estatísticas descritivas de todas as classes de tamanho dentro de cada tratamento, considerando apenas o tempo final. Para testar

a relação entre a abundância de *Daphnia magna* e os níveis do tratamento, foram comparados os dados populacionais de diferentes classes de tamanho dentro de um mesmo tratamento

		<b>MÉDIA</b>	<b>DESVIO</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
<b>CLASSE 1</b>	<b>Comprimento</b>	1,149	0,117	0,902	1,329
	<b>Largura</b>	0,635	0,08	0,484	0,788
	<b>Razão</b>	1,821	0,186	1,545	2,161
<b>CLASSE 2</b>	<b>Comprimento</b>	1,484	0,088	1,356	1,682
	<b>Largura</b>	0,838	0,081	0,707	1,027
	<b>Razão</b>	1,78	0,133	1,486	2,01
<b>CLASSE 3</b>	<b>Comprimento</b>	2,226	0,196	1,74	2,432
	<b>Largura</b>	1,292	0,157	1,035	1,57
	<b>Razão</b>	1,733	0,144	1,485	2,043
<b>CLASSE 4</b>	<b>Comprimento</b>	2,839	0,161	2,526	3,056
	<b>Largura</b>	1,696	0,184	1,434	2,12
	<b>Razão</b>	1,686	0,137	1,442	1,952
<b>CLASSE 5</b>	<b>Comprimento</b>	3,474	0,311	3,11	4,062
	<b>Largura</b>	2,159	0,233	1,798	2,644
	<b>Razão</b>	1,614	0,084	1,451	1,759

Figura 3: Média, desvio, e valores mínimos e máximos das cinco classes de tamanho, obtidas através da medição de 25 indivíduos de *Daphnia magna* para cada classe.

Os dados de ovos de resistência foram contabilizados individualmente até atingir a marca de 30 ovos e, para os casos em que havia mais ovos, registramos como >30. Sendo assim, classificamos em duas categorias: produção de ovos “elevada”, quando a rede-local apresentava 30 ovos ou mais em pelo menos um dos tempos de coleta, e “normal” quando a rede-local apresentava 29 ou menos ovos em pelo menos um dos tempos. Para testar a associação entre as variáveis categóricas “tratamento” e “produção de ovos de resistência”, utilizou-se um teste de qui-quadrado.

### 3. RESULTADOS

Houve uma clara inversão no número de indivíduos por classe de tamanho entre início e fim do experimento havendo, no início, maior abundância das classes menores (C1 e C2) e, no final, maior abundância das classes maiores (C3 e C4). Essa relação se manteve em todos os tratamentos, tanto para as redes locais (Figura 4) quanto para as meta-redes (Figura 5). É possível observar, no tempo final, que a presença/ausência de predadores no sistema não teve grande influência na abundância de *Daphnia*, mas sim a presença/ausência de heterogeneidade dos recursos basais (Figuras 4 e 5).

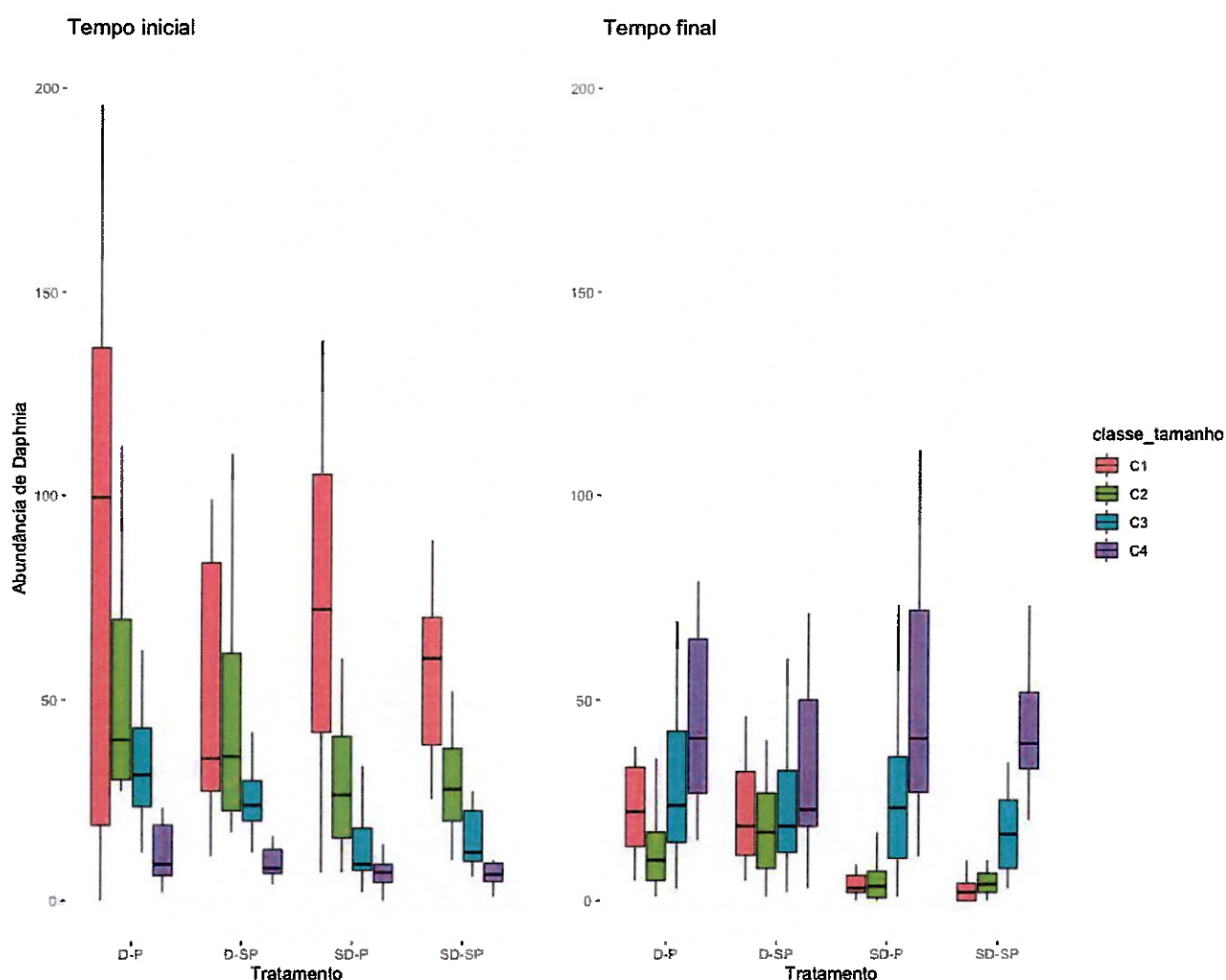


Figura 4: Abundância de *Daphnia magna* em redes locais nos diferentes tratamentos e classes de tamanhos, comparação entre tempo inicial e final. D-P: estimativa = 4,46; erro-padrão = 0,03; valor  $z = 117,94$ ;  $p < 0,05$ ; D-SP: estimativa = 0,03; erro-padrão = 0,05; valor  $z = 0,61$ ;  $p = 0,54$ ; SD-P: estimativa = -0,20; erro-padrão = 0,04; valor  $z = -4,18$ ;  $p < 0,05$ ; SD-SP: estimativa = -0,17; erro-padrão = 0,04; valor  $z = -3,67$ ;  $p < 0,05$ .

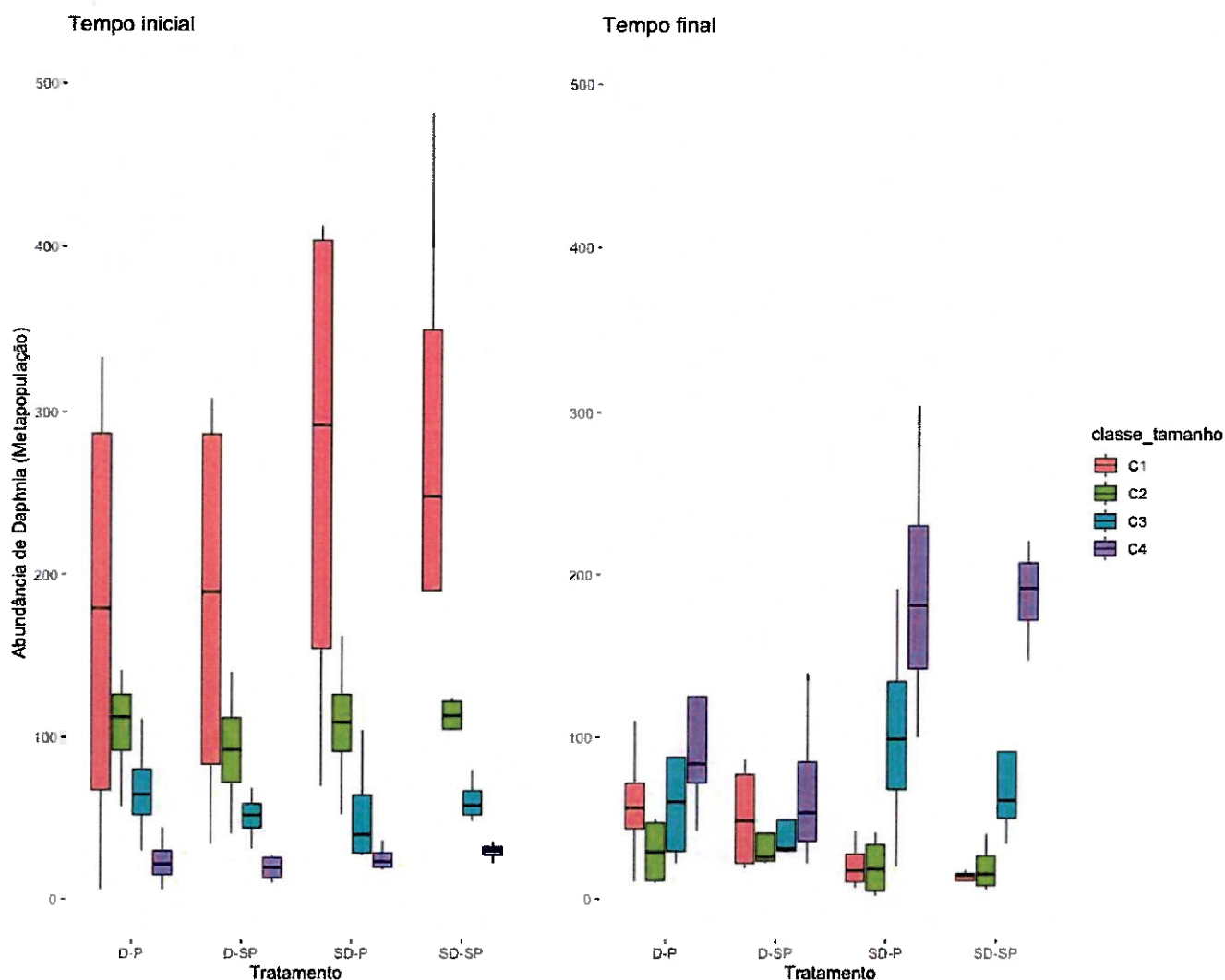


Figura 5: Abundância de *Daphnia magna* em meta-redes ao longo dos tratamentos e diferentes classes de tamanho, comparação entre tempo inicial e final. D-P: estimativa = 5,16; erro-padrão = 0,03; valor z = 136,24;  $p < 0,05$ ; D-SP: estimativa = 0,03; erro-padrão = 0,05; valor z = 0,61;  $p = 0,54$ ; SD-P: estimativa = 0,42; erro-padrão = 0,04; valor z = 8,72;  $p < 0,05$ ; SD-SP: estimativa = 0,51; erro-padrão = 0,04; valor z = 10,80;  $p < 0,05$ .

Considerando apenas o tempo final, ou seja, o final do experimento, o tratamento que teve menor efeito sobre a abundância de *Daphnia magna* foi D-SP, em que as únicas comparações significativas ocorreram entre C1 e C4 (estimativa = 0,38; erro-padrão = 0,09; valor z = 4,16;  $p = 0,003$ ) e entre C3 e C4 (estimativa = 0,32; erro-padrão = 0,09; valor z = 3,43;  $p = 0,04$ ). Já no tratamento D-P, as únicas comparações significativas foram aquelas que envolveram C2 com as outras classes de tamanho (com C1: estimativa = 0,68, erro-padrão = 0,11, valor z = 6,08; com C3: estimativa = -0,66, erro-padrão = 0,11, valor z = -5,86; com C4:

estimativa = -0,68, erro-padrão = 0,10, valor  $z = -6,57$ ;  $p < 0,0001$  para todas as classes). Os tratamentos sem heterogeneidade de recursos basais foram os que apresentaram maior efeito sobre a abundância de *Daphnia magna*, em que comparações entre as duas classes menores e as duas classes maiores foram as únicas não significativas: C1-C2 e C3-C4 apresentaram  $p = 1$  no tratamento SD-P e, no tratamento SD-SP, as mesmas duplas apresentaram  $p = 0,63$  e  $p = 0,10$  respectivamente. Por outro lado, comparações entre classes menores e classes maiores (C1-C3, C1-C4, C2-C3 e C2-C4) apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,0001$ ) na abundância do zooplâncton entre SD-P e SD-SP. Essas relações se mantêm nas análises locais e de meta-rede.

Em relação aos dados de ovos de resistência, o tratamento que apresentou a maior quantidade de ovos produzidos ao longo de todo o experimento foi SD-P (543 ovos), seguido de SD-SP (480 ovos), enquanto o tratamento D-SP foi o que apresentou a menor quantidade (98 ovos). Todos os tratamentos apresentaram produção elevada de ovos em pelo menos quatro coletas, sendo a única exceção o tratamento D-SP que não produziu o mínimo de 30 ovos em nenhum momento (Figura 6). Destaque para o tratamento SD-P que produziu uma quantidade elevada de ovos com a maior frequência (8 vezes). A análise qui-quadrado da associação entre produção de ovos e os tratamentos resultou no valor de  $p = 0,054$ .

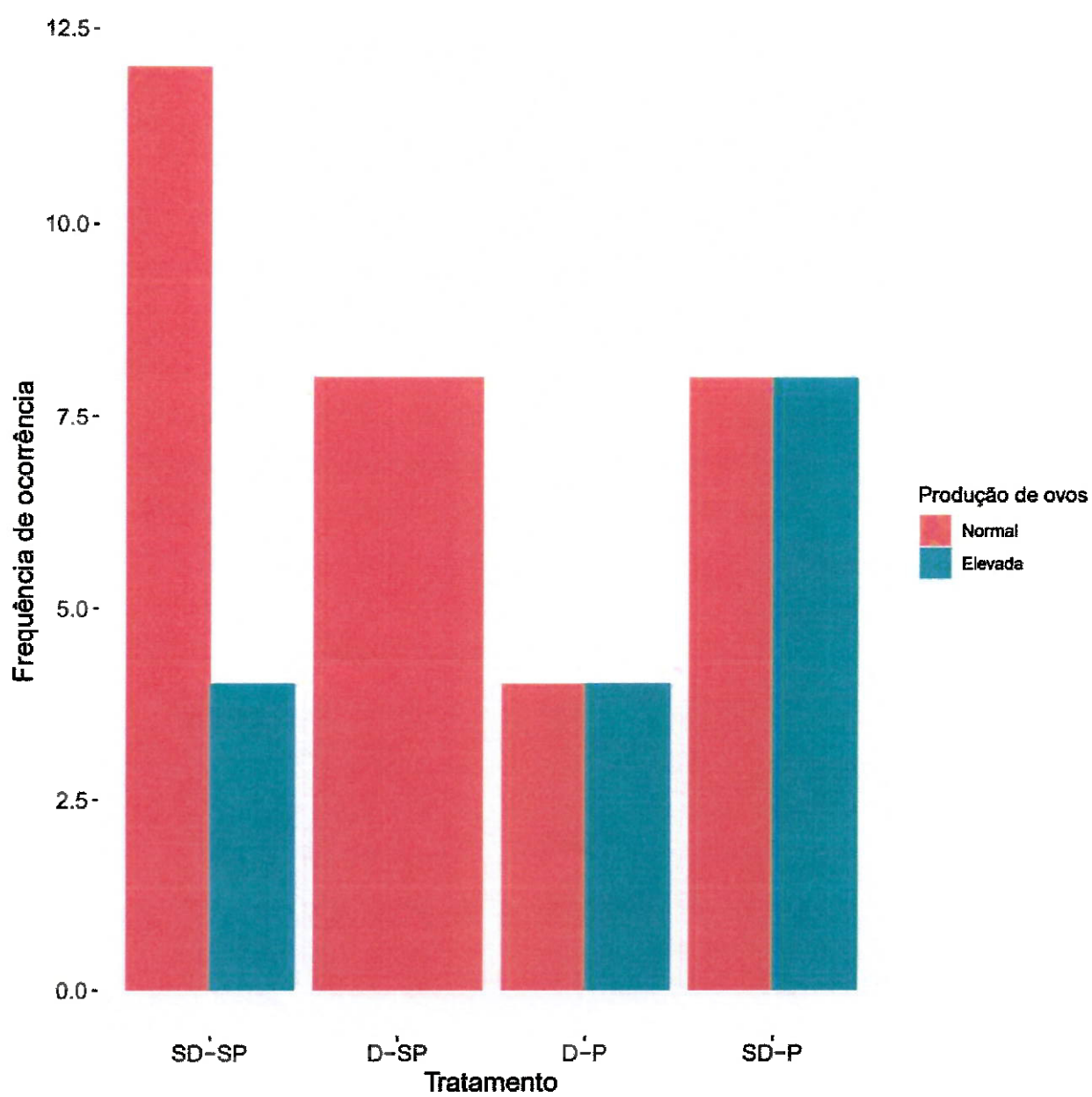


Figura 6: Frequência de produção elevada e normal de ovos de resistência ao longo dos tratamentos em redes locais.

#### 4. DISCUSSÃO

Nossos resultados mostraram que a ausência de um predador de topo numa meta-rede trófica simplificada com três níveis tróficos não teve grande influência sobre a abundância de *Daphnia magna*, mas a perda de heterogeneidade de recursos basais levou a uma queda acentuada das classes de tamanho menores e um aumento das classes de tamanho maiores. Wenzel et al. (2020) forneceram à *Daphnia galeata* diferentes concentrações de carbono orgânico terrestre (t-OC) em uma mistura com *Plagioselmis lacustris*, uma alga criptofita. Os autores observaram que o material orgânico é uma fonte de alimento pouco nutritiva e que reduz as performances de sobrevivência, reprodução e crescimento somático de *Daphnia galeata*. A presença de detritos no sistema, devido ao seu baixo valor nutritivo, impede que a *Daphnia* cresça em todo seu potencial e faz com que os indivíduos das classes menores (C1 e C2) sejam mais abundantes nesses tratamentos. Por outro lado, no tratamento sem detritos, observa-se um aumento na abundância das classes maiores (C3 e C4), devido a um maior crescimento somático com uma dieta mais nutritiva, acompanhada de uma redução drástica na abundância das classes menores.

Além de reduzir o crescimento corpóreo do zooplâncton, o baixo valor nutritivo dos detritos também influencia a quantidade de ovos de resistência produzidos por eles. Os tratamentos com heterogeneidade de recursos basais foram os que apresentaram a menor produção de ovos de resistência ao longo de todo o experimento (tratamento com diversidade e com predador com 202 ovos e o tratamento com diversidade e sem predador com 98 ovos). Apesar da frequência de produção elevada de ovos do tratamento sem heterogeneidade de recursos basais e sem predador ter sido a mesma que o tratamento com heterogeneidade de recursos basais e com predador (4 vezes), a quantidade de ovos produzidos foi significativamente maior (389 e 159 respectivamente). É interessante notar que, com a ausência de heterogeneidade de recursos basais, há um aumento tanto na produção elevada quanto normal de ovos em relação ao tratamento sem heterogeneidade de recursos basais e com predador. Isso é indicativo de que, com fornecimento de uma alimentação mais nutritiva, as *Daphnia* apresentam maior produção de ovos de resistência de modo geral. Nossos resultados corroboram os achados de Wenzel et al. (2020), em que perceberam uma redução na quantidade de filhotes e ovos de resistência conforme a concentração de material orgânico no sistema aumentava.

Apesar de a associação entre produção de ovos e tratamentos ter sido marginalmente significativa ( $p = 0,054$ ), nossos dados indicam que a presença de predadores combinada com ausência de heterogeneidade de recursos basais tende a estimular maior produção de ovos de resistência por *Daphnia magna*. Isso parece estar associado ao mecanismo de competição aparente no qual, com a onivoria impossibilitada devido à ausência de heterogeneidade de recursos basais, o predador ataca apenas as *Daphnia*, aumentando a pressão de predação sobre esse consumidor. Além disso, os dados populacionais também mostram a importância da heterogeneidade dos recursos basais para reprodução e crescimento de *Daphnia magna*.

Outro fator que influencia a quantidade de ovos de resistência produzidos pelas fêmeas é a pressão de predação no sistema. Segundo Slusarczyk (1999), o predador pode induzir o processo de diapausa de *Daphnia magna* através da presença simultânea de duas pistas químicas. A primeira delas sendo a kairomones, liberada pelo predador, e a segunda seria uma pista de alarme liberada pela *Daphnia* ao ser predada. Nos nossos dados, a baixa frequência de produção de ovos no tratamento com heterogeneidade de recursos basais e com predador de topo pode ser explicada pelo processo de onivoria, que permite que o predador escolha outras presas além de *Daphnia* para sua alimentação e, assim, reduz a quantidade de pistas de alarme liberadas no ambiente. A diferença é perceptível quando se observa o aumento na produção de ovos no tratamento sem heterogeneidade de recursos basais e com predador. Já para os tratamentos sem predador, a contribuição da qualidade do alimento fica clara ao se comparar com o tratamento com heterogeneidade de recursos basais e sem predador que, apesar de possuir maior disponibilidade de alimento de forma quantitativa, foi incapaz de produzir quantidades elevadas de ovos ao longo de todo o experimento.

Os resultados deste trabalho confirmaram nossas previsões apenas em parte. Apenas o tratamento sem heterogeneidade de recursos basais e sem predador apresentou um aumento na produção de ovos de resistência, enquanto o tratamento com heterogeneidade de recursos basais e sem predador não exibiu uma produção elevada de ovos em nenhum momento. As outras previsões não foram confirmadas devido à maior participação dos detritos no crescimento corporal e abundância de *Daphnia*. Além disso, a heterogeneidade de recursos basais sempre esteve associada com a presença de um segundo consumidor no sistema, então é difícil separar os efeitos da onivoria e do baixo valor nutricional dos detritos.

A natureza é um equilíbrio entre forças *bottom-up* (causadas pela heterogeneidade do ambiente) e *top-down* (causadas pelos predadores) (MCCANN, 2007) e, entre o topo e a base de redes tróficas, os consumidores e suas interações atuam de forma a manter a estabilidade de sistemas naturais. Este trabalho mostra como mudanças ambientais causadas pelo homem, através da homogeneização de recursos basais e extinção de predadores de topo, ameaça a estabilidade especificamente de redes tróficas aquáticas. Os dados apontam que esses impactos antrópicos influenciam no regime reprodutivo de *Daphnia magna*, microcrustáceo do zooplâncton que media as interações entre a produção primária de algas e predadores vertebrados, e cujo desaparecimento causou mudanças em comunidades de peixes em lagos eutrofizados (MANCA & RUGGIU, 1998).

**REFERÊNCIAS**

- Gyllström, M., & Hansson, L.-A. (2004). **Dormancy in freshwater zooplankton: Induction, termination and the importance of benthic-pelagic coupling.** *Aquatic Sciences*, 66(3), 274–295. <https://doi.org/10.1007/s00027-004-0712-y>
- Hatton, I. A., McCann, K. S., Fryxell, J. M., Davies, T. J., Smerlak, M., Sinclair, A. R. E., & Loreau, M. (2015). **The predator-prey power law: Biomass scaling across terrestrial and aquatic biomes.** *Science*, 349(6252). <https://doi.org/10.1126/science.aac6284>
- Hebert, P. D. N. (1978). **The Population Biology of *Daphnia* (Crustacea, Daphnidae).** *Biological Reviews*, 53(3), 387–426. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1978.tb00860.x>
- Hobæk, A., & Larsson, P. (1990). **Sex Determination in *Daphnia Magna*.** *Ecology*, 71(6), 2255–2268. <https://doi.org/10.2307/1938637>
- Kleiven, O. T., Larsson, P., & Hobæk, A. (1992). **Sexual Reproduction in *Daphnia magna* Requires Three Stimuli.** *Oikos*, 65(2), 197–206. <https://doi.org/10.2307/3545010>
- Manca, M., & Ruggiu, D. (1998). **Consequences of pelagic food-web changes during a long-term lake oligotrophication process.** *Limnology and Oceanography*, 43(6), 1368–1373. <https://doi.org/10.4319/lo.1998.43.6.1368>
- McCann, K., Hastings, A., & Huxel, G. R. (1998). **Weak trophic interactions and the balance of nature.** *Nature*, 395, 794–798. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2007.03.003>
- McCann, K. ., Rasmussen, J. B., & Umbanhowar, J. (2005). **The dynamics of spatially coupled food webs.** *Ecology Letters*, 8(5), 513–523. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00742.x>

McCann, K. (2007). **Protecting biostructure.** *Nature*, 446(7131), 29. <https://doi.org/10.1038/446029a>

Rooney, N., & McCann, K. (2012). **Integrating food web diversity, structure and stability.** *Trends in Ecology and Evolution*, 27(1), 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.09.001>

Ślusarczyk, M. (1999). **Predator-induced diapause in *Daphnia magna* may require two chemical cues.** *Oecologia*, 119(2), 159–165. <https://doi.org/10.1007/s004420050772>

Tilman, D., Hill, J., & Lehman, C. (2006). **Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass.** *Science*, 314(5805), 1598–1600. <https://doi.org/10.1126/science.1133306>

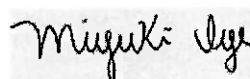
Tylianakis, J. M., Didham, R. K., Bascompte, J., & Wardle, D. A. (2008). **Global change and species interactions in terrestrial ecosystems.** *Ecology Letters*, 11(12), 1351–1363. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01250.x>

Wenzel, A., Vrede, T., Jansson, M., & Bergström, A. K. (2020). ***Daphnia* performance on diets containing different combinations of high-quality algae, heterotrophic bacteria, and allochthonous particulate organic matter.** *Freshwater Biology*, (January), 1–12. <https://doi.org/10.1111/fwb.13626>

Rio Claro, 2020.



Prof. Dr. Tadeu de Siqueira Barros  
Orientador



Miyuki Oye  
Graduanda