



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS - CÂMPUS DE BOTUCATU  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ZOOLOGIA

**EFEITOS DAS ONDAS DE CALOR MARINHAS SOBRE O COMPORTAMENTO  
E FISIOLOGIA DE PRESAS-PREDADORES ESTUARINOS**

Dalila Junqueira Borges

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Tânia Marcia Costa

Co-Orientador: Dr. Murilo Zanetti Marochi

BOTUCATU – SP

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS - CÂMPUS DE BOTUCATU  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ZOOLOGIA

**EFEITOS DAS ONDAS DE CALOR MARINHAS SOBRE O COMPORTAMENTO  
E FISIOLOGIA DE PRESAS-PREDADORES ESTUARINOS**

Discente: Dalila Junqueira Borges

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Tânia Marcia Costa

Co-orientador: Dr. Murilo Zanetti Marochi

Dissertação de Mestrado  
apresentado à Universidade Estadual  
Paulista “Júlio de Mesquita Filho  
(Unesp), Instituto de Biociências,  
Câmpus de Botucatu, como parte  
dos requisitos para obtenção do  
título de Mestre em Ciências  
Biológicas (Zoologia)

BOTUCATU – SP

2024

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.  
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP

BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: MARIA CAROLINA A. CRUZ E SANTOS-CRB 8/10188

Borges, Dalila Junqueira.

Efeitos das ondas de calor marinhas sobre o comportamento e fisiologia de presas-predadores estuarinos / Dalila Junqueira Borges. - Botucatu, 2024

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu

Orientador: Tânia Marcia Costa

Coorientador: Murilo Zanetti Marochi

Capes: 20400004

1. Ostras. 2. Stress (Fisiologia). 3. Mudanças climáticas.  
4. Caranguejo. 5. Predadores e presas.

Palavras-chave: *Crassostrea brasiliana*; Estressores fisiológicos; Eventos extremos; Mudanças climáticas; *Panopeus austrobesus*.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE DALILA JUNQUEIRA BORGES, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (ZOOLOGIA), DO INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS - CÂMPUS DE BOTUCATU.**

Aos 01 dias do mês de março do ano de 2024, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de DALILA JUNQUEIRA BORGES, intitulada **Efeitos das ondas de calor marinhas sobre o comportamento e fisiologia de presas-predadores estuarinos**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. TÂNIA MARCIA COSTA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais / Instituto de Biociências - Câmpus do Litoral Paulista - UNESP, Profa. Dra. PRISCILA GRANADO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Zoologia / Universidade Metropolitana de Santos, Pós-doutorando IVAN RODRIGO ABRÃO LAURINO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Oceanografia Biológica / Instituto Oceanográfico - USP. Após a exposição pela mestranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Profa. Dra. TÂNIA MARCIA COSTA



Documento assinado digitalmente

TANIA MARCIA COSTA

Data: 04/03/2024 14:53:29-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que contribuíram de maneira significativa para o desenvolvimento e conclusão desta dissertação de mestrado. Primeiramente, quero agradecer à minha orientadora Tânia Marcia Costa e ao meu co-orientador Murilo Zanetti Marochi, pelo constante apoio e orientação para realização deste estudo. Agradeço aos membros da banca examinadora pelas suas valiosas sugestões para a melhoria deste trabalho. Estendo os agradecimentos aos membros do Laboratório de Ecologia e Comportamento Animal (LABECOM) da Universidade Estadual Paulista - Campus do Litoral Paulista e Campus Botucatu pelo apoio logístico, nas atividades de campo e laboratório, assim como discussões teóricas. À minha família e amigos, agradeço pelo intenso e constante apoio emocional, pois sem ele seria inviável realizar essa etapa da minha história. Por fim, expresso minha gratidão e respeito aos animais que foram objetos deste estudo e sua contribuição para o avanço em estudos de preservação da biodiversidade. A todos, meu sincero agradecimento.

Este trabalho foi financiado pela FAPESP- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo através de bolsas concedidas à MZ Marochi (2017/07406-3) e Auxílio à Pesquisa à TM Costa (2020/03171- 4).

## Sumário

1. Resumo.....	1
2. Abstracts.....	2
3. Introdução e Justificativa.....	3
4. Material e Métodos .....	6
4.1. Organismo modelo .....	6
4.2. Área de estudo .....	7
4.3. Manutenção dos organismos .....	8
4.4. Design experimental .....	9
4.5. Análises fisiológicas .....	10
4.6. Análise estatística .....	11
5. Resultados .....	12
6. Discussão .....	16
7. Referências .....	20

## 1. Resumo

As mudanças climáticas globais impactam ecossistemas costeiros. Ondas de calor marinhas (MHW) podem ser acompanhadas de consequências negativas aos organismos, como alterações no comportamento alimentar e no uso de energia. Os invertebrados estuarinos estão sujeitos aos efeitos do aquecimento das águas, causando mudanças fisiológicas devido ao estresse térmico, refletindo em suas interações ecológicas, incluindo as dinâmicas entre presa e predador, à medida que as ondas de calor se tornam mais frequentes e intensas. Este estudo investigou como esses eventos afetam a relação entre a ostra *Crassostrea brasiliana* e seu predador, o caranguejo *Panopeus austrobesus*. Para tal, foi realizado um experimento laboratorial que simulou MHW (31,2°C) em relação ao tratamento controle (27,3°C), tendo como variáveis respostas a latência, a taxa de alimentação do predador e a relação glicose na hemolinfa - glicogênio no hepatopâncreas, bem como as taxas de lactato na hemolinfa do predador. Machos e fêmeas do predador foram utilizados nos experimentos. Notamos que apenas em fêmeas o cenário de ondas de calor marinha reduziu a latência para o predador capturar a presa. A taxa de alimentação do predador não apresentou efeitos entre os tratamentos analisados em ambos sexos. Em fêmeas, dentre as análises fisiológicas realizadas, apenas a taxa de concentração de glicogênio estocada no hepatopâncreas foi menor em cenários de aquecimento, e os machos não apresentaram efeitos em nenhum parâmetro. Nossos resultados apontam que as ondas de calor não aumentam o consumo da presa pelo predador, mas que em fêmeas reduz o tempo de reação, levando os caranguejos a capturar a presa mais rapidamente, podendo ser associado a um menor estoque de glicogênio.

**Palavras-chaves:** *Crassostrea brasiliana*, Eventos extremos, Estressores fisiológicos, Mudanças climáticas, *Panopeus austrobesus*

## 2. Abstract

The global climate changes impact on coastal ecosystems. Marine heatwaves (MHWs) can be followed by negative consequences for organisms, such as changes in feeding behavior and energy use. Estuarine invertebrates are influenced to the effects of warming waters, causing physiological changes due to thermal stress, reflecting in their ecological interactions, including prey-predator dynamics, as heatwaves become more frequent and intense. This study investigated how these events affect the relationship between the Brazilian oyster *Crassostrea brasiliana* and its predator, the crab *Panopeus austrobesus*. To do so, a laboratory experiment was conducted simulating MHWs (31,2°C) compared to the control treatment (27,3°C), with response variables including latency, predator feeding rate, hemolymph glucose-glycogen ratio, and predator hemolymph lactate rates. Both male and female predators were used in the experiments. We observed that only in females did the marine heatwave scenario reduce latency for the predator to capture prey. The predator's feeding rate showed no effects between treatments in both sexes. In females, among the physiological analyses conducted, only the stored glycogen concentration rate in the hepatopancreas was lower under heating scenarios, with males showing no effects in any parameter. Our results indicate that heatwaves do not increase prey consumption by the predator, but in females, they reduce reaction time, leading crabs to capture prey more quickly, possibly associated with lower glycogen rate.

**Keywords:** Climate change, *Crassostrea brasiliana*, Extreme events, *Panopeus austrobesus*, Physiological stressors

### 3. Introdução e Justificativa

As atuais taxas de aumento da temperatura média global estão alterando as estruturas e funções das comunidades ecológicas, bem como das cadeias alimentares, e impactando todos os ecossistemas do planeta (Brasil, 2019; Wernberg *et al.*, 2016). Os estuários, zonas de transição entre áreas marinhas e dulcícolas, destacam-se por serem classificados entre os ambientes mais vulneráveis e afetados por tais mudanças ambientais (Leal Filho *et al.*, 2022). Estudos recentes indicam que o aumento na temperatura das águas costeiras está ocorrendo mais rapidamente que o previsto por modelos globais (Scanes *et al.*, 2020). Além do aumento médio na temperatura global, mudanças do clima tendem a aumentar a quantidade e a intensidade de eventos climáticos extremos, como as ondas de calor marinhas (Colombano *et al.*, 2021; Marochi *et al.*, 2022).

As ondas de calor marinhas, do inglês *marine heatwaves* (MHW), são definidas como períodos de pelo menos 5 dias consecutivos em que as temperaturas fiquem acima de 90% do percentil de registros históricos (Hobday *et al.*, 2016). No último século ocorreu um aumento global de mais de 50% nos dias com ondas de calor marinha (Oliver *et al.*, 2018). Esse fenômeno pode ter impactos devastadores nos ecossistemas, como morte em massa de invertebrados marinhos devido ao estresse térmico, branqueamento de corais, aumento na taxa alimentar de predadores e com o declínio na abundância e qualidade nutricional das presas (Cavole *et al.*, 2016; Garrabou *et al.*, 2009; Hughes *et al.*, 2017). Foi demonstrado que em invertebrados marinhos, o aumento da temperatura tem efeitos negativos na fisiologia, interferindo no consumo de oxigênio, em distúrbios metabólicos, na absorção de energia e no padrão de alimentação (Jiang *et al.*, 2019; Móron Lugo *et al.*, 2020; Wheeler, 2017). Portanto, as ondas de calor marinhas comumente estão associadas à mudança na estrutura e funcionamento dos ecossistemas, podendo, por exemplo, interferir nas relações entre presa e predador, alterando a estruturação e tamanho de populações naturais (Harvey *et al.*, 2021).

As taxas de predação tendem a se modificar em um cenário de aquecimento, podendo alterar as interações dentro da cadeia alimentar (Allan *et al.*, 2017; Hudson *et al.*, 2021). Um estudo que investigou as implicações do aumento da temperatura nas interações entre pequenos predadores crustáceos da ordem Mysida, destaca um cenário em que o aumento térmico se associa a uma elevação na taxa de consumo e à redução do tempo de manuseio da presa pelos predadores (Wasserman *et al.*, 2018). No entanto, outros estudos que simulam projeções de aquecimento global indicam resultados contraditórios, sugerindo uma diminuição na taxa alimentar de caranguejos em temperaturas mais elevadas, acompanhada de comportamentos mais letárgicos (da Silva *et al.*, 2020; Hudson, 2021). Essas discrepâncias se estendem ainda em pesquisas que observaram uma redução no tempo de captura de presas em resposta ao aumento de temperatura em espécies de Brachyura, como o caranguejo predador *Carcinus maenas* (Linnaeus, 1758), que se alimenta de mexilhões *Mytilus californianus* (Conrad, 1837) (Howard *et al.*, 2022). Outro estudo, mas envolvendo cefalópodes, indicam que tentativas das lulas *Sepioteuthis australis* (Quoy & Gaimard, 1832) para capturar o salmão *Arripis trutta* (Foster, 1801) foram mais rápidas em águas mais quentes (Peinado *et al.*, 2023). Diferentes estudos, por apresentarem diferentes resultados, sugerem que o efeito da temperatura pode ser espécie-dependente, sendo fundamental testar tais efeitos em espécies ainda não avaliadas.

Em relação aos ambientes estuarinos, fundamentais para serviços ecossistêmicos e alvo de crescentes preocupações com a conservação ambiental, a influência das ondas de calor marinhas permanece pouco explorada, evidenciando lacunas significativas de conhecimento (Rivera-Monroy *et al.*, 2017). Assim, sobretudo em ambientes estuarinos, os impactos das ondas de calor marinhas podem ser diversos, existindo uma urgência evidente em conduzir pesquisas para esclarecer essas complexidades, especialmente no que se refere a possíveis alterações na resposta fisiológica e na dinâmica entre interações presa-predador, pois o estresse térmico reflete na fisiologia ao longo da ontogenia, como fase larval, reprodução e crescimento de adultos, afetando

a estabilidade e continuidade de populações (Marochi *et al.*, 2022).

Os organismos que vivem em regiões de entremarés estão expostos a um grande estresse térmico, devido a grande amplitude térmica, dessecação e ação da maré (Falcai & Marchello, 2021; Somero, 2010). O impacto fisiológico do aumento da temperatura pode ser compreendido através de indicadores energéticos, como os índices de glicogênio e de glicose (Klymasz-Swartz, 2019). Em Decapoda, a glicose é transportada pela hemolinfa, sendo o glicogênio utilizado para manter a estabilidade da glicose circulante (Jobling, 2012; Zhang *et al.*, 2021). O aumento da temperatura pode influenciar o armazenamento do glicogênio no hepatopâncreas de crustáceos, resultando em condições hiperglicêmicas, o que, por sua vez, pode desencadear desordens metabólicas relacionadas ao armazenamento e utilização de ATP devido à maior demanda energética causada pelo estresse térmico (Ansari, 2019; Carreño-Mejía, 2009; Matozzo *et al.*, 2011; Nasri *et al.*, 2015; Qyli *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2004). A análise de parâmetros fisiológicos, como níveis de glicose na hemolinfa e o glicogênio armazenado no hepatopâncreas, emerge como uma ferramenta crucial para esclarecer os efeitos das ondas de calor na latência para início da alimentação e na taxa alimentar de predadores estuarinos. O lactato é considerado o principal produto final em condições de estresse, e crustáceos podem apresentar elevação nos níveis de lactato na hemolinfa como uma tentativa de restaurar a homeostase ocasionada pelo estresse, além de alterações no sistema metabólico aeróbio para anaeróbio (Monteiro *et al.*, 2023; Hill *et al.*, 1991; Wuertz *et al.*, 2023). Tais alterações fisiológicas têm potencial para impactar a dinâmica entre presas e predadores, influenciando nas densidades populacionais das espécies envolvidas, uma vez que altera diversas teias alimentares e relações ecológicas, reforçando a necessidade contínua de estudos nessa área (Baag & Mandal, 2022; Mukherjee, 2020).

Tendo em vista que as mudanças climáticas são fatores que alteram as relações ecológicas, e que o efeito de ondas de calor marinhas e suas respostas fisiológicas ainda são pouco conhecidas para a maioria das relações entre presa e predador, é essencial que hipóteses sobre esse tema sejam

testadas. Nossa hipótese é que o aumento da temperatura, ocasionado pelas ondas de calor marinhas, podem ter como resposta ao estresse térmico a redução na latência e o aumento na taxa de consumo da presa *Crassostrea brasiliana* (Lamarck, 1819) pelo predador *Panopeus austrobesus* (Williams, 1983) associado à redução do glicogênio estocado no hepatopâncreas e aumento da glicose e do lactato circulante na hemolinfa. Hipotetizamos também que predadores machos e fêmeas podem ter tais respostas diferentes à onda de calor marinha, apresentando consequências para a estruturação e tamanho populacional, e no equilíbrio ecológico presa-predador. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de ondas de calor na latência e taxa de consumo alimentar da presa, a ostra *Crassostrea brasiliana* pelo predador, o caranguejo *Panopeus austrobesus*, e quantificar os teores de glicogênio no hepatopâncreas e de glicose e lactato circulante na hemolinfa do predador. Adicionalmente será avaliado se existem diferenças no efeito entre machos e fêmeas. Desta forma será possível compreender o efeito comportamental e de utilização de energia de ondas de calor sob diversas relações ecológicas, como predação, protocooperação, competição e comensalismo.

#### **4. Material e Métodos**

##### **4.1. Organismos modelo**

Os caranguejos braquiúros da família Panopeidae habitam as águas rasas na zona do entremarés de manguezais e costões rochosos. Desempenham importante papel na cadeia alimentar como predadores de bivalves, cracas, esponjas e outros invertebrados (Duarte *et al.*, 2021; Guida, 1976; Melo, 1996; Santos, 2018). Dentre os caranguejos panopeídeos, a espécie *Panopeus austrobesus* destaca-se pela grande abundância em substratos consolidados e costões rochosos em áreas estuarinas (Camargo *et al.*, 2017). A espécie apresenta uma distribuição geográfica em estuários do estado do Rio de Janeiro, no Brasil, até o Uruguai (Peluffo, 2004).

As ostras do gênero *Crassostrea*, habitam a região do entremarés fixadas em raízes

adventícias de *Rhizophora mangle*, e outros substratos consolidados como costões rochosos, sendo popularmente conhecidas como “ostras do mangue” (Do Amaral & Simone, 2014; Nascimento, 1983). Dentre as ostras desse gênero, *C. brasiliiana* destaca-se por seu grande porte, rápida maturação sexual, grande capacidade de filtração, alta taxa de crescimento e valor econômico, sendo amplamente utilizada na ostreicultura nacional (Christo & Absher, 2006; FAO, 2020). A espécie possui uma distribuição geográfica em sistemas estuarinos do Rio Grande do Sul até o Pará (Melo *et al.*, 2010).

De modo geral, decápodes são predadores naturais da malacocultura, e um cenário de aumento na pressão de predação, ocasionado pelo aumento de temperatura, pode reduzir a produção em cultivos (Corrêa & Rosso, 2011; Macedo, 2012). Assim, a escolha desta relação presa-predador como modelo de estudo, baseia-se na complexidade do ecossistema das espécies e no potencial desequilíbrio ecológico provocado pelas alterações climáticas, especificamente ondas de calor marinhas. Esse fator não apenas transcende os limites ecológicos, mas também repercute em implicações socioeconômicas da malacocultura.

#### **4.2 Área de estudo**

Os caranguejos foram coletados em São Vicente, SP (23° 97' 73.7'' S; 46° 38' 93.0'' W), no costão rochoso do sistema estuarino do Mar Pequeno (Santos – São Vicente). A localidade apresenta uma comunidade de braquiúros bem estabelecida, como *Panopeus austrobesus*.

As ostras utilizadas durante os experimentos foram provenientes de um cultivo localizado na Reserva Extrativista do Mandira, na cidade de Cananéia (Litoral Sul do Estado de São Paulo), cultivadas em tabuleiros na zona do entremarés. Em 2002, a área de manguezal da região foi classificada como Reserva Extrativista com uso permitido para atividades de baixo impacto ambiental e uso sustentável dos recursos naturais, sendo o comércio de ostra a principal fonte de renda da comunidade (Brasil, 2000, 2002; Machado *et al.*, 2011). A espécie de ostra (presa)

também é encontrada nos arredores da área de coleta do predador (*P. austrobesus*), porém para padronizar o tamanho da presa e facilitar a utilização durante o experimento foi dada preferência por ostras provenientes do cultivo. Os caranguejos foram coletados em área diferente do cultivo, mas com uma população numerosa, para evitar a entrada na Reserva Extrativista.

### **4.3 Manutenção dos organismos**

Durante a maré baixa de sizígia, 72 fêmeas e 20 machos de *P. austrobesus* foram coletadas manualmente. Após a coleta, os organismos foram aclimatados individualmente durante 24 horas em recipientes plásticos transparente com capacidade de 750 ml contendo água marinha artificial (composta por água destilada e sal marinho artificial Hiker Ocean) com salinidade 30 (similar à do ambiente no momento da coleta), fotoperíodo de 12 horas claro /12 horas escuro, aeração constante e privados de alimento. A aclimatação de curto prazo é utilizada para simulações de ondas de calor marinhas e em experimentos com análises da hemolinfa, pois permite observações dos efeitos imediatos das mudanças ambientais e suas respostas adaptativas (Charmantier *et al.*, 2012; Xu *et al.*, 2021, 2022). A temperatura da água foi mantida a 27,3°C (temperatura média observada para o verão na região de estudo, com base nos dados disponíveis em <https://www.seatemperature.org/> acessado em 20/08/2023) em câmaras de germinação (Tecnal, TE 4020). A largura da carapaça dos caranguejos foi mensurada com um paquímetro digital (Digimess) para fins de padronização de tamanho ( $25,84 \pm 4,13$ mm) e os caranguejos, exceto os utilizados nas análises fisiológicas, foram devolvidos ao local de coleta após a realização do experimento.

No experimento piloto foi oferecido aos caranguejos, porções de ostras de tamanhos variados para definir um peso padrão a ser utilizado no experimento que fosse superior ao máximo que eles se alimentaram. Além disso, foi testado o tempo de manuseio da presa, sendo o valor máximo utilizado nos experimentos a fim de garantir que o tempo tenha sido suficiente para a alimentação. Com base no piloto, foi definido para o experimento fragmentos de ostra de peso aproximado de 3,50 gramas, os quais são compatíveis com a alimentação e com o tamanho do

recipiente dos caranguejos, e 480 segundos o tempo necessário para observação, considerando as variáveis respostas latência e taxa alimentar.

Para os experimentos, as ostras foram removidas das respectivas conchas e o tecido padronizado quanto ao peso. Durante o fracionamento, as amostras de tecido foram secas em papel absorvente de água, pesadas em balança de precisão (AT21 Comparator - Mettler Toledo) e armazenadas em geladeira para posterior fornecimento aos caranguejos (predadores). As ostras foram removidas de suas conchas para reduzir variáveis que alteram o padrão de alimentação, como habilidade adquirida pela experiência prévia do predador em abrir as conchas, tamanho, peso e espessura da concha (Blundon & Kenneedy, 1982; Dudas *et al.*, 2005; Rindone & Eggleston, 2011).

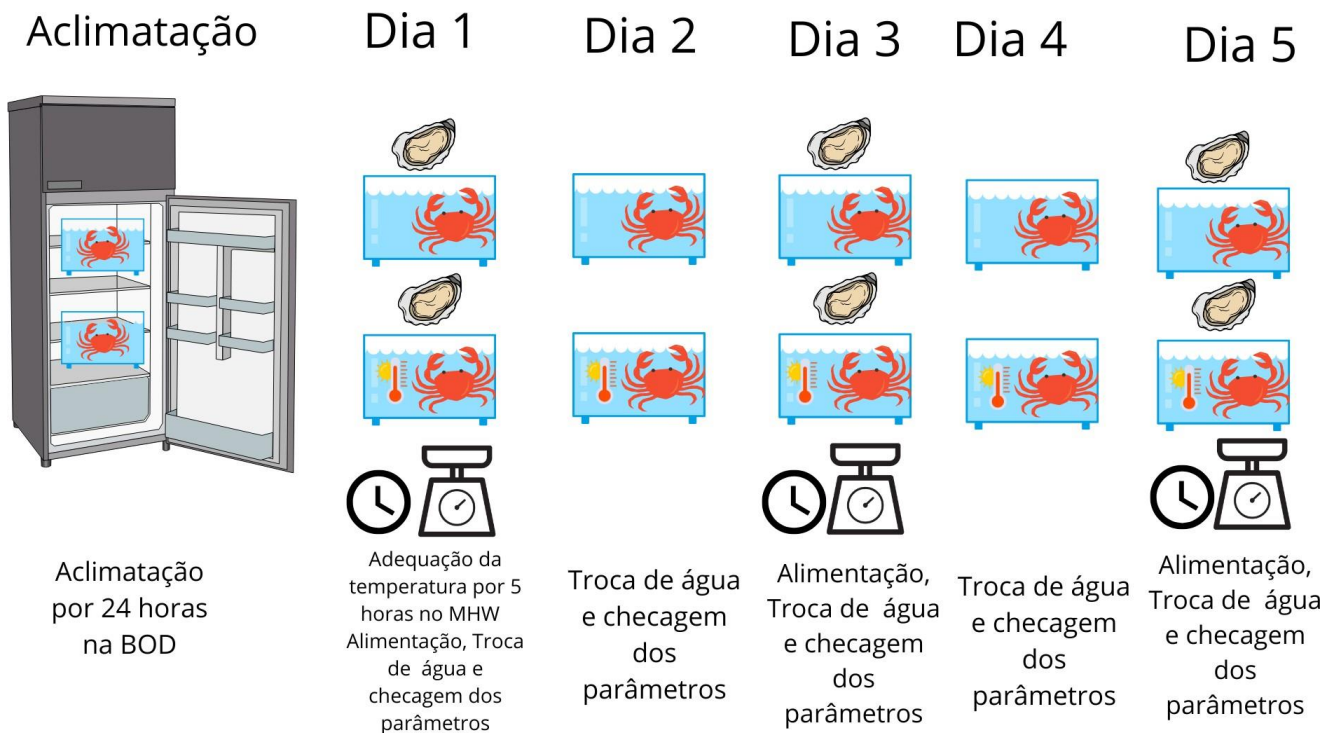
#### **4.4 Design experimental**

Para avaliar o efeito combinado de ondas de calor marinhas sobre a relação ecológica presa-predador entre *C. brasiliiana* e *P. austrobesus*, foram utilizados dois tratamentos experimentais: tratamento controle (C) com temperatura de 27,3°C e tratamento com aumento de temperatura (MHW) de 32,1°C simulando uma onda de calor marinha. A temperatura controle foi definida de acordo com a média de temperatura superficial oceânica do verão para a região de Santos/São Vicente/Praia Grande - SP (informações disponíveis em <https://www.seatemperature.org/>, acessado em 20/08/2023). A temperatura para o tratamento MHW foi definida a partir do histórico das temperaturas registradas durante o período de verão para a região de Santos/São Vicente durante eventos de *heatwave* entre 1982/2021 (Marochi *et al.*, 2022). Foram utilizadas 36 réplicas com fêmeas no tratamento controle, 36 réplicas com fêmeas no tratamento MHW, 10 réplicas com machos no tratamento controle e 10 réplicas com machos no tratamento MHW.

Após 24 horas de aclimação (dia 0) os caranguejos foram mantidos em câmaras de germinação com a temperatura adequada para cada tratamento, permanecendo individualizados ao longo do experimento. O experimento durou 5 dias, nos quais foram analisados a latência e a taxa

de consumo alimentar nos momentos 24h (dia 1), 72h (dia 3) e 120h (dia 5). O comportamento de latência pode ser medido como o tempo entre a oferta de um estímulo e a reação a tal estímulo (Teixeira *et al.*, 2018), sendo a oferta da presa considerada o estímulo e a captura pelo predador a reação. A taxa de consumo foi calculada como a diferença de peso da presa (ostra) antes e após o oferecimento ao predador (caranguejo) (Viana *et al.*, 2019).

Os caranguejos foram alimentados nos dias 1, 3 e 5 do experimento, conforme delineamento experimental (Figura 1). Nos dias 0, 2 e 4 os caranguejos não foram alimentados, sendo que nos dias 1, 2, 3, 4 e 5 toda a água do recipiente onde os caranguejos foram mantidos foi trocada por outra nas mesmas condições experimentais, obedecendo o intervalo de 24 horas por troca (Figura 1). Nos dias de alimentação (dia 1, 3 e 5) foi fornecido aos caranguejos uma porção de ostra com  $3,94 (\pm 2,12)$  gramas, pesada em balança de precisão (AT21 Comparator - Mettler Toledo) para a avaliação do período de latência e a taxa de consumo. O período de alimentação foi registrado por filmagem durante 480 segundos e cada organismo foi observado de forma individual (Altmann, 1974). Após esse tempo, a presa e o predador foram separados.



**Figura 1.** Delineamento experimental em que foi testado a latência e a taxa alimentar da presa *Crassostrea brasiliana* pelo predador *Panopeus austrobesus* sob ondas de calor marinhas.

#### **4.5 Análises fisiológicas**

As análises fisiológicas foram realizadas seguindo a mesma metodologia do item “3.4 Design experimental”, contudo ao final do experimento (quinto dia), 6 fêmeas e 10 machos de *P. austrobesus* por tratamento foram utilizados para análise de glicose, glicogênio e lactato. Assim, o hepatopâncreas e a hemolinfa foram retirados para avaliação do estoque de glicogênio no hepatopâncreas, glicose e lactato circulante na hemolinfa, seguindo os protocolos de Zhang *et al.*, (2021). Após os caranguejos serem anestesiados em gelo por 4 minutos, foi extraído 0,4 mL de hemolinfa da membrana entre o carpo e o mero utilizando uma seringa estéril de capacidade total de 1 mL contendo 0,1 mL do anticoagulante heparina e depositado em eppendorf individualizados. Em seguida, os eppendorfs contendo a hemolinfa foram centrifugados a 3.500 r/min durante 5 minutos (Biopet Technologies, modelo 8011154) para a coleta do soro e congelados para quantificação do lactato. As taxas de glicose foram mensuradas logo após o procedimento de centrifugação. Em seguida, os caranguejos foram congelados durante 15 minutos para eutanasiar e as amostras de hepatopâncreas foram então removidas dos animais para quantificar o armazenamento de glicogênio. Assim, cada hepatopâncreas foi homogeneizado junto à solução tampão em eppendorfs, em seguida foram centrifugados também a 3.500 r/min durante 5 minutos (Biopet Technologies, modelo 8011154). Em seguida, os valores de glicose, glicogênio e lactato na hemolinfa, bem como de glicose e glicogênio no hepatopâncreas foram determinados utilizando kits de ensaio de Glicose Enzimática e Lactato seguindo os protocolos do fabricante (In Vitro Diagnóstica) e os valores obtidos através de leitura no espectrofotômetro.

#### **4.6 Análise estatística**

Os dados de latência, taxa de alimentação, glicose, glicogênio e lactato foram testados

quanto à normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Bartlett-Test). Após conferir a esfericidade dos dados, foi realizada uma análise de variância de medidas repetidas de duas vias (ANOVA) para avaliar se as ondas de calor influenciam na latência, na taxa alimentar do predador, e nos níveis de glicose, glicogênio e lactato. Foram utilizadas como variáveis preditoras o fator fixo temperatura (2 tratamentos - C e MHW) e o tempo com três níveis (24h, 72h e 120h) em relação às duas variáveis respostas de interesse - latência e taxa alimentar para testar a interação entre os fatores. Para as análises fisiológicas, foram usadas a mesma variável preditora (temperatura) em relação às variáveis resposta de interesse - glicose, glicogênio e lactato. Os dados de machos e fêmeas foram analisados de forma separada para todas as análises e as diferenças entre os sexos também foram testadas. Por fim, foi analisada a interação entre tratamento e tempo nas análises de latência e taxa alimentar. Quando houve diferença estatística significativa, foi realizado teste a posteriori de Tukey. Todas as análises foram realizadas utilizando os pacotes afex, ggplot2, emmeans e gridExtra na linguagem R (R Development Core Team, 2023).

## 5 Resultados

Os caranguejos machos do controle levaram em média  $82,62 \pm 64,52$  (desvio padrão) segundos para capturar a presa ofertada, enquanto o tratamento MHW a média foi de  $101,93 \pm 88,66$  segundos (Figura 2A). A latência entre machos não diferiu entre os tratamentos analisados ( $df = 16$ ,  $F = 0,45$  e  $p = 0,50$ ), nem ao longo dos dias em que a presa foi ofertada ( $df = 32$ ,  $F = 1,69$  e  $p = 0,19$ ) e na interação entre os fatores ( $df = 32$ ,  $F = 0,42$  e  $p = 0,65$ ).

No tratamento controle, a taxa de consumo dos caranguejos machos foi em média de  $0,21 \pm 0,18$  g da presa ofertada, enquanto no MHW a média foi de  $0,18 \pm 0,18$  g (Figura 2C). A taxa de alimentação entre machos não diferiu entre os tratamentos analisados ( $df = 18$ ,  $F = 0,42$  e  $p = 0,52$ ), nem entre os dias em que a presa foi ofertada ( $df = 36$ ,  $F = 0,40$  e  $p = 0,67$ ) e na interação entre os fatores ( $df = 36$ ,  $F = 0,16$  e  $p = 0,85$ ).

A latência entre fêmeas diferiu entre os tratamentos analisados ( $df = 50$ ,  $F = 6,12$  e  $p = 0,01$ ), mas não diferiu entre os dias em que a presa foi ofertada ( $df = 100$ ,  $F = 0,87$  e  $p = 0,41$ ) e na interação entre os fatores ( $df = 100$ ,  $F = 2,59$  e  $p = 0,07$ ). O tratamento Controle apresentou maior latência quando comparado ao tratamento MHW (Figura 2B). A latência das fêmeas do tratamento Controle foi em média  $141,63 \pm 110,50$  segundos, enquanto no MHW  $105,41 \pm 79,81$  segundos (Figura 2B). A taxa de alimentação entre fêmeas diferiu entre os tratamentos dependendo do dia de oferta das presas ( $df = 138$ ,  $F = 0,16$  e  $p = 0,01$ ), mas não diferiu entre os tratamentos ( $df = 69$ ,  $F = 0,42$  e  $p = 0,41$ ) ou entre os dias em que a presa foi ofertada ( $df = 138$ ,  $F = 0,40$  e  $p = 0,66$ ). O teste de Tukey indicou diferença na taxa alimentar no momento de 120 horas ( $df = 69$ ,  $p = 0,020$ ). As fêmeas do controle alimentaram-se em média de  $0,48 \pm 0,53$  g da presa ofertada, enquanto no MHW a média foi de  $0,41 \pm 0,31$  gramas (Figura 2D).

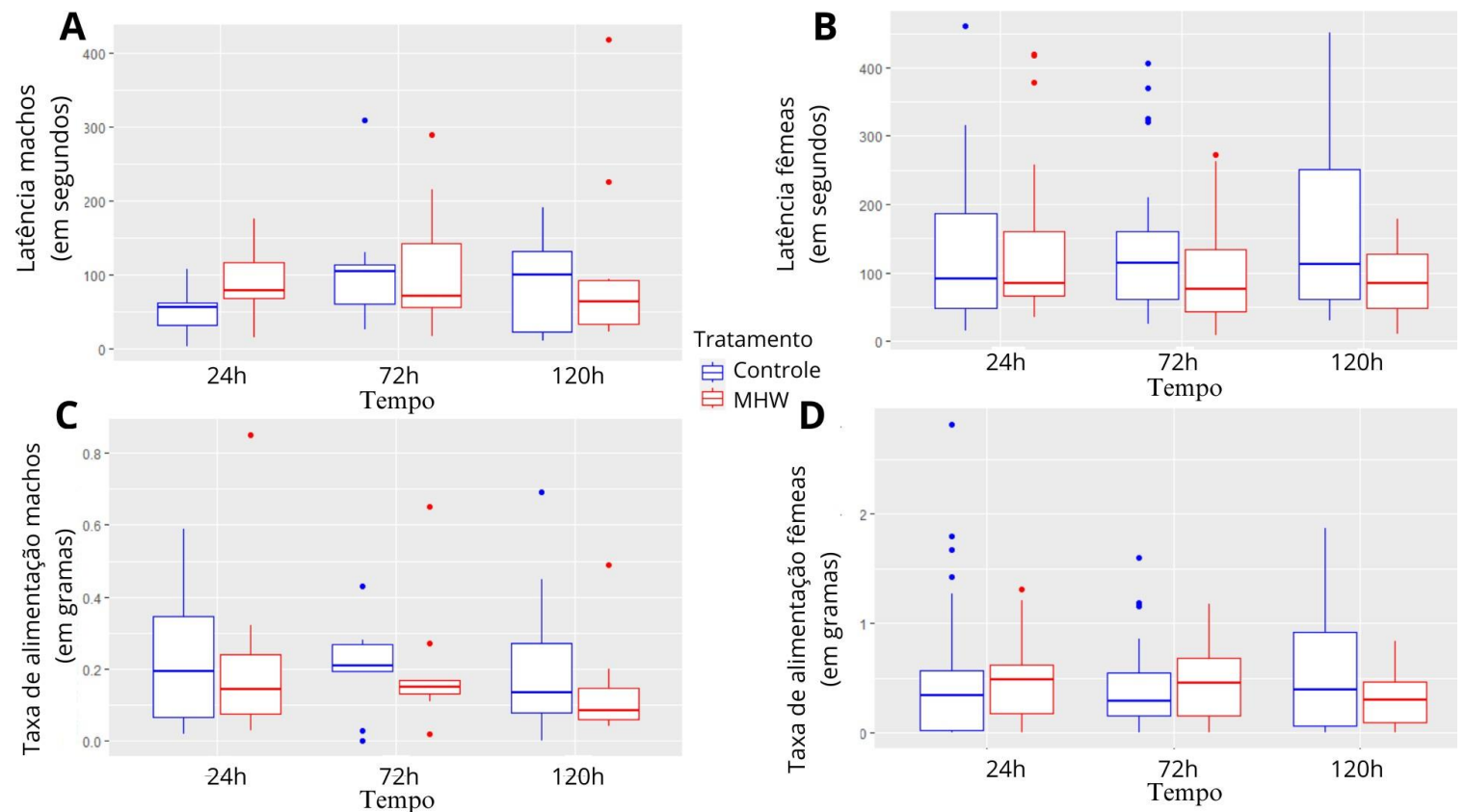
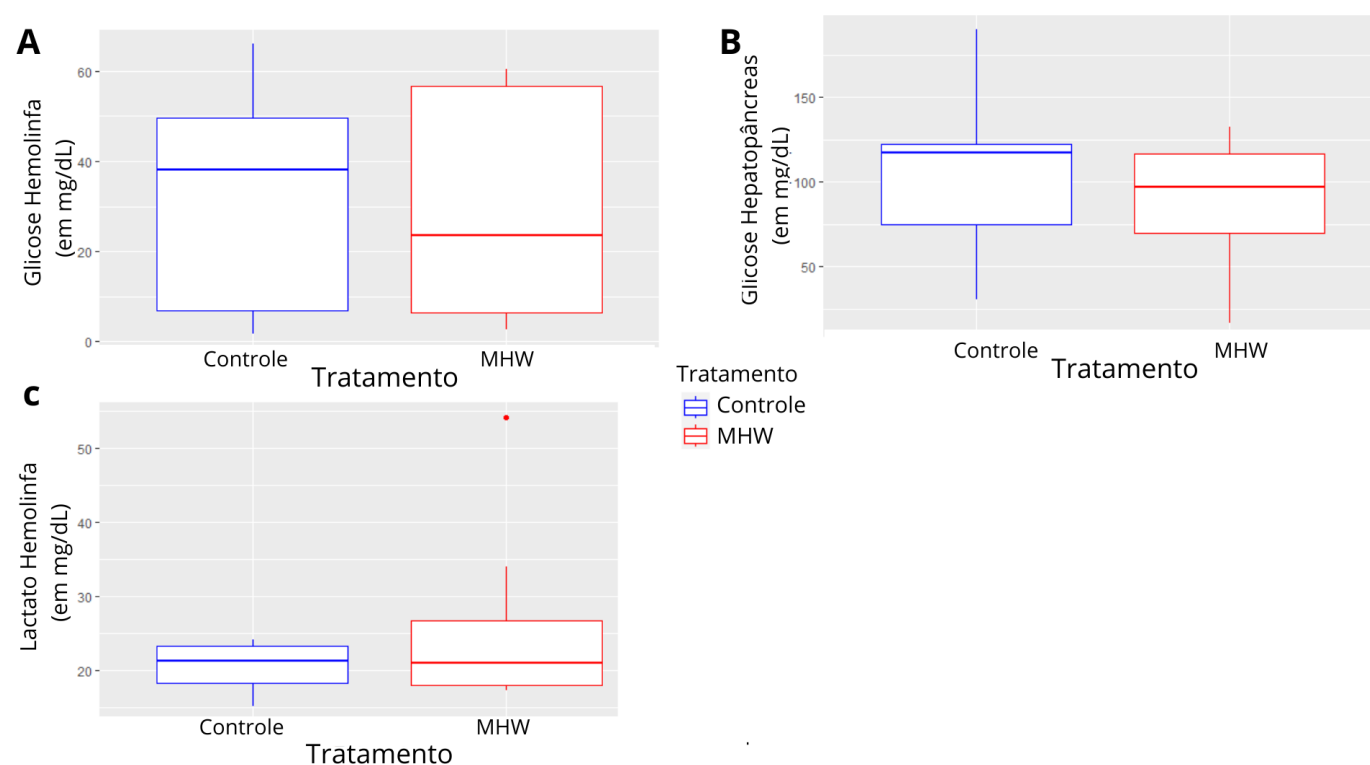


Figura 2: Latência de consumo (A e B) e taxa de alimentação (C e D) da presa *Crassostrea brasiliana* pelos predadores *Panopeus austrobesus* em temperatura controle (caixas azuis) e simulando uma onda de calor marinha (caixas vermelhas). Os boxplots representam o intervalo de dados (linhas verticais), o quartil

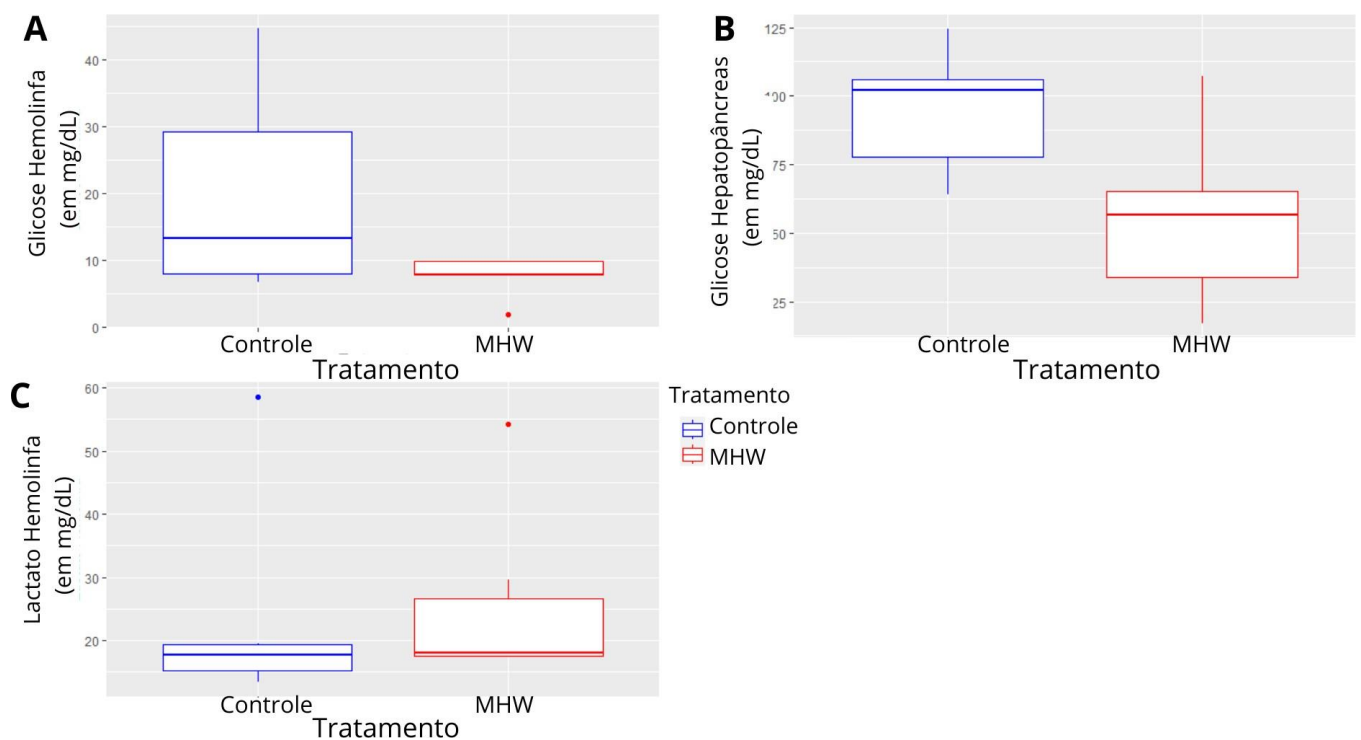
superior e o quartil inferior (limites superior e inferior da caixa, respectivamente) e o valor mediano (linha horizontal). **A:** Latência para o consumo de *C. brasiliensis* pelos predadores machos de *P. austrobesus*; **B:** Latência para o consumo de *C. brasiliensis* pelos predadores fêmeas de *P. austrobesus*; **C:** Taxa de alimentação de *C. brasiliensis* pelos predadores machos de *P. austrobesus*; **D:** Taxa de alimentação de *C. brasiliensis* pelos predadores fêmeas de *P. austrobesus*

Para machos, as análises fisiológicas para concentração de glicose e lactato na hemolinfa e glicogênio no hepatopâncreas (respectivamente:  $df = 1$   $F = 0,022$  e  $p = 0,88$ ;  $df = 1$ ,  $F = 1,532$  e  $p = 0,23$  e  $df = 1$ ,  $F = 0,589$  e  $p = 0,45$ ) não diferiu entre os tratamentos Controle e MHW. No tratamento controle a concentração média de glicose na hemolinfa foi de  $31,27 \pm 23,82$  mg/dL. no tratamento Controle e de MHW  $29,59 \pm 26,22$  mg/dL no MHW (Figura 3A), já o glicogênio no hepatopâncreas no tratamento Controle foi  $103,84 \pm 49,55$  mg/dL e no MHW  $88,41 \pm 39,84$  mg/dL (Figura 3B) e por fim, o lactato na hemolinfa no tratamento Controle foi de  $20,58 \pm 3,26$  mg/dL e no MHW de  $25,24 \pm 11,46$  mg/dL(Figura 3C).



**Figura 3.** Análises fisiológicas (A - Glicose Hemolinfa, B - Glicose Hepatopâncreas, C - Lactato Hemolinfa) de *Panopeus austrobesus* machos ao final de 120 horas em temperatura controle e simulando uma onda de calor marinha. Os boxplots representam o intervalo de dados (linhas verticais), o quartil superior e o quartil inferior (limites superior e inferior da caixa, respectivamente) e o valor mediano (linha horizontal). As caixas azuis representam o tratamento controle e as caixas vermelhas tratamento MHW.

Os valores de glicogênio presente no hepatopâncreas para fêmeas apresentaram diferença estatística entre os tratamentos Controle e MHW ( $df = 1$ ,  $F = 6,078$  e  $p = 0,03$ ), mas não apresentaram diferença nos níveis de glicose ( $df = 1$ ,  $F = 2,906$  e  $p = 0,12$ ) ou lactato na hemolinfa ( $df = 1$ ,  $F = 0,054$  e  $p = 0,82$ ). O tratamento Controle apresentou maior concentração de glicogênio no hepatopâncreas quando comparado ao tratamento MHW. A taxa de glicose na hemolinfa de fêmeas no controle foi de  $19,82 \pm 15,72$  mg/dL e no MHW de  $7,52 \pm 3,25$  mg/dL (Figura 4A). A concentração de glicogênio no hepatopâncreas das fêmeas do tratamento Controle foi de  $94,94 \pm 23,05$  mg/dL, enquanto que no MHW foi de  $55,30 \pm 31,93$  mg/dL (Figura 4B), já o lactato na hemolinfa do Controle foi de  $23,61 \pm 17,26$  mg/dL e no MHW  $25,76 \pm 14,70$  mg/dL (Figura 4C).



**Figura 4.** Análises fisiológicas (A - glicose, B - lactato, C- glicogênio) de *Panopeus austrobesus* fêmeas ao final de 120 horas em temperatura controle e simulando uma onda de calor marinha. Os boxplots representam o intervalo de dados (linhas verticais), o quartil superior e o quartil inferior (limites superior e inferior da caixa, respectivamente) e o valor mediano (linha horizontal). As caixas azuis representam o tratamento controle e as caixas vermelhas tratamento MHW.

A taxa de alimentação entre fêmeas diferiu entre machos e fêmeas ( $df = 89$ ,  $F = 9,78$  e  $p = 0,002$ ), de modo que os machos alimentaram-se em média de  $0,20 \pm 0,18$  g da presa ofertada e as fêmeas  $0,45 \pm 0,44$  g. O tempo de latência não apresentou diferença entre os sexos ( $df = 68$ ,  $F = 2,04$  e  $p = 0,15$ ). O lactato na hemolinfa, a glicose na hemolinfa e o glicogênio no hepatopâncreas, não apresentaram diferenças entre os sexos ( $df = 1$ ,  $F = 0,179$  e  $p = 0,67$ ;  $df = 1$ ,  $F = 2,327$  e  $p = 0,13$ ;  $df = 1$ ,  $F = 1,984$  e  $p = 0,169$  respectivamente).

## 6 Discussão

Testamos o efeito das ondas de calor marinhas sobre a relação ecológica presa-predador entre *C. brasiliiana* e *P. austrobesus*. Nossos resultados confirmam parcialmente nossa hipótese e indicaram que a latência para captura da presa reduziu no cenário de aquecimento, e ao final da simulação da onda de calor, a taxa de alimentação foi menor ao ser comparada com a temperatura controle do verão, sobretudo em relação às fêmeas dos caranguejos. A concentração de glicogênio estocado no hepatopâncreas dos predadores fêmeas reduziu no tratamento MHW. Além disso, ao comparar machos e fêmeas, não observamos diferença estatística na latências e nas avaliações da concentração de glicogênio no hepatopâncreas e de glicose e lactato na hemolinfa, mas a taxa de alimentação das fêmeas foi superior a dos machos. Esses resultados indicam que as respostas dos predadores podem variar em um cenário de aumento de temperatura.

Nossos resultados indicam uma menor latência, para a captura da presa pelas fêmeas predadoras no tratamento que simulou uma onda de calor marinha. Essa maior rapidez para capturar a presa em diferentes temperaturas também foi observada na relação entre *Macquaria novemaculeata* (Steindachner, 1866) e *Gambusia holbrooki* (Girard, 1859) (Grigaltchik *et al.*, 2012). Outro estudo realizado por Hudson *et al.* (2021) mostra um cenário oposto aos nossos resultados, indicando que apesar do metabolismo ter aumentado, temperaturas mais elevadas deixaram o caranguejo *Neostrengeria macropa* (H. Milne Edwards, 1853) com comportamento

mais letárgico e menos exploratório, o que segundo os autores pode trazer consequências negativas para as presas (aumentando a competição intraespecífica) e predadores e consequente mudanças na estrutura da comunidade. A menor latência para a captura do alimento encontrada em nosso trabalho pode ser justificada por alterações no metabolismo em situações de ondas de calor marinhas, como maior demanda de ATP sob estresse térmico (Madeira *et al.*, 2018; Monteiro *et al.*, 2023). A redução no estoque de glicogênio no hepatopâncreas dos caranguejos encontrada em nossos resultados pode ser uma das consequências da modificação do padrão metabólico.

A menor latência em fêmeas observada no tratamento MHW refletiu em um aumento da taxa alimentar dos predadores no último dia observado. As taxas de predação envolvendo grupos diversos, como peixes e crustáceos, tendem a aumentar em um cenário de aquecimento, podendo alterar as interações dentro da cadeia alimentar (Allan *et al.*, 2017; Hudson *et al.*, 2021). Essa relação já foi descrita entre caranguejos *Cancer productus* (Randall, 1840) e moluscos bivalves *Mytilus trossulus* (Gould, 1850) (Leighton & Tyler, 2021) e entre ouriço herbívoro *Tripneustes gratilla* (Linnaeus, 1758) e a alga *Ecklonia radiata* (J. Agardh, 1848) (Castro *et al.*, 2024). Contudo, o aumento da temperatura não apresentou nenhum efeito sobre a taxa de predação do caranguejo *Platypodiella picta* (A. Milne-Edwards, 1869) sobre sua presa, o cnidário *Palythoa caribaeorum*, não sendo apontado uma hipótese para esse resultado (López *et al.*, 2021). A resposta variada na taxa de alimentação dos predadores sugere que os efeitos das ondas de calor marinhas podem ser espécie-específica e também com diferença entre os sexos, influenciando em diversas dinâmicas ecológicas. Os modelos de alterações climáticas sugerem que a frequência e a intensidade das ondas de calor marinhas irão aumentar à medida que o aquecimento global continue sendo intensificado (Goodess, 2012; Rahmstorf & Coumou, 2011). Nossos resultados indicam que os efeitos analisados tendem a ser mais críticos em ondas de calor de maior duração. Nesse sentido, a redução na taxa alimentar observada no tempo máximo (120h) do nosso trabalho pode ser ainda mais intensa em ondas de calor marinhas de maior duração, uma vez que as

respostas de bioindicadores de estresse térmico no camarão *Rhynchocinetes durbanensis* (Gordon, 1936) e o caranguejo eremita *Calcinus laevimanus* (Randall, 1840) foram maiores ao final de sete dias da simulação desse evento extremo (Madeira *et al.*, 2018).

As análises metabólicas da taxa de glicogênio, glicose e lactato podem contribuir para uma compreensão mais profunda da relação entre a redução na latência com a resposta fisiológica aos estressores térmicos. Nossos resultados indicam que o tratamento representado pelas ondas de calor marinha apresentou menor glicogênio estocado no hepatopâncreas. Reduções nas taxas metabólicas basais do ouriço *Lytechinus variegatus* (Lamarck, 1816) alimentados com a alga *Thalassia testudinum* (K.D.Koenig, 1805) foram observadas em um experimento testando a aptidão alimentar em um contexto de aumento de temperatura (Lemoine & Burkepile, 2012; Smith *et al.*, 2023). Outros estudos com Decapoda simulando o aumento da temperatura marinha apontam que o aumento de taxas metabólicas está relacionado com a perda de componentes metabólicos e resposta protéica nas células do camarão peneídeo *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) (Zhou *et al.*, 2010) e também ao aumento da respiração e de síntese de ATP no hepatopâncreas de *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) (Jiang *et al.*, 2019). O aumento da rapidez de captura, necessitando de mais ATP para o comportamento, pode ser a causa da redução na quantidade de glicogênio encontrada nos nossos experimentos. Assim, ao observar que os predadores foram mais ativos e acrescidos ao resultado de menor estoque de glicogênio em um cenário de aumento de temperatura, é possível que o estresse térmico leve a uma redução na energia disponível no hepatopâncreas, acarretando desequilíbrios ambientais, pois a necessidade de mais energia para a locomoção na predação, pode limitar a energia disponível para outras funções, como reprodução e crescimento. Futuros estudos que avaliem se o aumento do gasto energético para predação prejudica o crescimento e a reprodução dos organismos marinhos estuarinos são de grande relevância para serem testadas.

Machos e fêmeas apresentam contrastes nas respostas às ondas de calor marinhas, sendo

que as fêmeas apresentaram no cenário de aquecimento uma menor latência e redução na concentração de glicogênio no hepatopâncreas. Os recursos destinados ao crescimento, manutenção e reprodução podem variar de acordo com as condições ambientais e sexo, alterando o metabolismo dos organismos, sobretudo em situações de estresse térmico (Barnes & Partridge, 2003; Foucreau *et al.*, 2014; Portner, 2002). Os machos alocam recursos energéticos com o glicogênio principalmente para aumentar as oportunidades de acasalamento, enquanto que as fêmeas para garantir o desenvolvimento dos embriões (Bert *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2010). Caranguejos machos e fêmeas que apresentam o período reprodutivo no verão tendem a reduzir a reserva energética durante esse período, sendo que os machos durante todo o ano possuem um menor estoque de glicogênio no hepatopâncreas quando comparado às fêmeas (Colpo & Lopez-Greco, 2018). Diferente dos demais estudos apresentados, *P. austrobesus* apresenta recrutamento para reprodução durante 11 meses do ano (Camargo *et al.*, 2017), o que pode interferir reduzir o armazenamento do glicogênio entre os sexos, sendo interessantes estudos que acompanhem os níveis desse polissacarídeo em machos e fêmeas durante o ano para auxiliar a compreensão de alocação de energia dessa espécie.

As ondas de calor marinhas têm efeito nas dinâmicas entre presas e predadores, e portanto compreender os fatores que são afetados nessas relações é crucial para prever os impactos de tal evento climático extremo cada vez mais intenso. Apesar de não resultar em um aumento no consumo da presa pelo predador em ambos sexos, as fêmeas em MHW apresentaram menor latência permitindo-lhes capturar a presa de forma mais rápida. Essa situação evidencia uma reduzida reserva de glicogênio no hepatopâncreas como uma reação ao estresse térmico desencadeado pela simulação de uma onda de calor marinha. Nossos resultados indicam que os efeitos do aumento da temperatura causado pelo evento climático extremo são diferentes em machos e fêmeas. Assim, tais diferenças observadas podem desequilibrar a dinâmica populacional entre presas e predadores afetando diferentes teias alimentares e interações ecológicas. Essa

dinâmica pode variar de acordo com o sexo do predador e ser espécie-dependente, de modo que futuros estudos devem ficar em outras espécies de presa e predadores, pois a resposta pode ser variável e possui demandas específicas para a preservação.

## 7 Referências

- ALLAN, B. J. *et al.* Warming has a greater effect than elevated CO<sub>2</sub> on predator–prey interactions in coral reef fish. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 284, n. 1857, p 20170784, 2017.
- ALTMANN, J. Observational study of behavior: sampling methods. **Behaviour**, v. 49, n. 3-4, p. 227-266, 1974.
- ANSARI, N. Biochemical estimation of glycogen levels in the haemocytes of freshwater crab *Barytelphusa cunicularis*. **World Journal of Pharmaceutical Research**, v.8, n. 12, p. 1154-1158, 2019.
- BAAG, S.; MANDAL, S. Combined effects of ocean warming and acidification on marine fish and shellfish: A molecule to ecosystem perspective. **Science of The Total Environment**, v. 802, p. 149807, 2022.
- BARNES, A. I.; PARTRIDGE, L. Costing reproduction. **Essays in Animal Behaviour: Celebrating**, v. 50, p. 135-146, 2005.
- BERT, T. M. *et al.* Factors influencing reproductive attributes of stone crabs (Menippe) in Tampa Bay, Florida. **Journal of Shellfish Research**, v. 35, n. 1, p. 241-257, 2016.
- BRASIL. Decreto Presidencial de 13 de dezembro de 2002. Cria a Reserva Extrativista do Mandira, no Município de Cananéia, no Estado de São Paulo.
- BRASIL. SNUC. Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC BRASIL. Sumário para Formuladores de Políticas. Governo do Brasil, 28p., 2019.

- BLUNDON, J. A.; KENNEDY, V. S. Mechanical and behavioral aspects of blue crab, *Callinectes sapidus* (Rathbun), predation on Chesapeake Bay bivalves. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 65, n. 1, p. 47-65, 1982.
- CAMARGO, F. V.; ALVES, D. G. F.; LIMA, D. J. M.; COBO, V. J. Population dynamics of the mud crab *Panopeus austrobesus* Williams, 1983 (Brachyura: Panopeidae) associated with a mussel farm at the southeastern Brazilian coast. **Nauplius**, v. 25, 2017.
- CARREÑO-MEJÍA, A. Influencia del estrés por hipertermia a corto plazo sobre índices fisiológicos, inmunológicos y celulares en camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. **Universidad Nacional Autónoma de México**, Tesis Maestra em Ciencias, 2009.
- CASTRO, L. C. *et al.* Effect of marine heatwaves and warming on kelp microbiota influence trophic interactions. **Molecular ecology**, p. e17267, 2024.
- CAVOLE, L. *et al.* Biological impacts of the 2013–2015 warm-water anomaly in the Northeast Pacific: winners, losers, and the future. **Oceanography**, v. 29, n. 2, p. 273-285, 2016.
- CHANG, E. S.; KELLER, R.; CHANG, S. A. Quantification of crustacean hyperglycemic hormone by ELISA in hemolymph of the lobster, *Homarus americanus*, following various stresses. **General and Comparative Endocrinology**, v. 111, n. 3, p. 359-366, 1998.
- CHARMANTIER, G.; GIMÉNEZ, L.; CHARMANTIER-DAURES, M.; ANGER, K. Ontogeny of osmoregulation, physiological plasticity and larval export strategy in the grapsid crab *Chasmagnathus granulata* (Crustacea, Decapoda). **Marine Ecology Progress Series**, v. 229, p. 185-194, 2002.
- CHRISTO, S. W.; ABSHER, T. M. Reproductive period of *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) and *Crassostrea brasiliana* (Lamarck, 1819) (Bivalvia: Ostreidae) in Guaratuba bay, Paraná, Brazil. **Journal of Coastal Research**, p. 1215-1218, 2006.
- COLPO, K. D.; LÓPEZ-GRECO, L. S. Dynamics of energy reserves and the cost of reproduction in female and male fiddler crabs. **Zoology**, v. 126, p. 11-19, 2018.

- COLOMBANO, D. D. *et al.* Climate change implications for tidal marshes and food web linkages to estuarine and coastal nekton. **Estuaries and Coasts**, v. 44, n. 6, p. 1637-1648, 2021.
- CORRÊA, P. F.; ROSSO, P. A interação entre *Cymatium parthenopeum* (Von Salis, 1793) e *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1795) em cultivo comercial, no Ribeirão da Ilha, Florianópolis, Santa Catarina. **Revista CEPSUL-Biodiversidade e Conservação Marinha**, v. 2, n. 1, p. 1-9, 2011.
- DA SILVA, B. V.; MIYAI C. A., AUGUSTO, A.; COSTA, T. M. Effects of temperature increase on the physiology and behavior of fiddler crabs. **Physiology & Behavior**, v. 215, p. 112765, 2020.
- DO AMARAL, V. S.; SIMONE, L. R. L. Revision of genus *Crassostrea* (Bivalvia: Ostreidae) of Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 94, n. 4, p. 811-836, 2014.
- DUARTE, R.; DIAS, G.; FLORES, A.; STEVENS, M. Different ontogenetic trajectories of body colour, pattern and crypsis in two sympatric intertidal crab species. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 132, n. 1, p. 17-31, 2021.
- DUDAS, S. E.; MCGAW, I. J.; DOWER, J. F. Selective crab predation on native and introduced bivalves in British Columbia. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 325, n. 1, p. 8-17, 2005.
- FALCAI, B. R.; MARCHELLO, A. E. Diferenças nas comunidades de entremarés de costões rochosos em Ubatuba, SP, Brasil. **Revista Biociências**, v. 27, n. 1, p. 29-41, 2021.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. **Sustainability in action**. Rome. p. 240, 2020.
- FOUCREAU, N. *et al.* Physiological and metabolic responses to rising temperature in *Gammarus pulex* (Crustacea) populations living under continental or Mediterranean climates. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative**

- Physiology**, v. 168, p. 69-75, 2014.
- GARRABOU, J. *et al.* Mass mortality in Northwestern Mediterranean rocky benthic communities: effects of the 2003 heat wave. **Global change biology**, v. 15, n. 5, p. 1090-1103, 2009.
- GRIGALTCHIK, V. S.; WARD, A. J. W; SEEBACHER, F. Thermal acclimation of interactions: differential responses to temperature change alter predator–prey relationship. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 279, n. 1744, p. 4058-4064, 2012.
- GOODESS, C. M. How is the frequency, location and severity of extreme events likely to change up to 2060?. **Environmental science & policy**, v. 27, p. S4-S14, 2013.
- GUIDA, V. Sponge predation in the oyster reef community as demonstrated with *Ciona celata* Grant. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. 25: 109–122, 1976
- HARLEY, C. D. G. Climate change, keystone predation, and biodiversity loss. **Science**, v. 334, n. 6059, p. 1124-1127, 2011.
- HARVEY, B. P.; MARSHALL, K. E.; HARLEY, C. D. G.; RUSSELL, B. D. Predicting responses to marine heatwaves using functional traits. **Trends in Ecology & Evolution**, 2021.
- HILL, A. D. *et al.* Physiological and metabolic responses of the shore crab *Carcinus maenas* (L.) during environmental anoxia and subsequent recovery. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v.150, p. 31-50, 1991.
- HOBDAY, A. J. *et al.* A hierarchical approach to defining marine heatwaves. **Progress in Oceanography**, v. 141, p. 227-238, 2016.
- HOWARD, B. R. *et al.* Effects of perceived competition and water temperature on the functional responses of invasive and native crabs. **Marine Ecology Progress Series**, v. 684, p. 69-78, 2022.
- HUDSON, D. M. Metabolic response to temperature stress in the Colombian freshwater crab *Neostrengeria macropa* (H. Milne Edwards, 1853) (Decapoda: Brachyura: Pseudothelphusidae). **The Journal of Crustacean Biology**, v. 41, n. 1, p. 002, 2021.

- HUGHES, T. P. *et al.* Global warming and recurrent mass bleaching of corals. **Nature**, v. 543, n. 7645, p. 373-377, 2017.
- JIANG, S. *et al.* Impact of temperature stress on oxygen and energy metabolism in the hepatopancreas of the black tiger shrimp, *Penaeus monodon* (Crustacea: Decapoda: Penaeidae). **Pakistan Journal of Zoology**, v. 51, p. 141-148, 2019.
- JOBLING, M. National Research Council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp. **Aquaculture International**, v. 20, p. 601-602, 2012.
- KLYMASZ-SWARTZ, A. K. *et al.* Impact of climate change on the American lobster (*Homarus americanus*): Physiological responses to combined exposure of elevated temperature and pCO<sub>2</sub>. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 235, p. 202-210, 2019.
- LEAL FILHO, W. *et al.* Influences of Climate Change and Variability on Estuarine Ecosystems: An Impact Study in Selected European, South American and Asian Countries. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 1, p. 585, 2022.
- LEIGHTON, L. R.; TYLER, C. L. Emergent effects of two rocky intertidal predators on prey: Interaction of crabs and sea-stars may reduce mussel mortality. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 539, p. 151542, 2021.
- LEMOINE, N. P.; BURKEPILE, D. E. Temperature-induced mismatches between consumption and metabolism reduce consumer fitness. **Ecology**, v. 93, n. 11, p. 2483-2489, 2012.
- LÓPEZ, C. *et al.* Effects of low pH and high temperature on two *Palythoa* spp. and predator-prey interactions in the subtropical eastern Atlantic. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 31, n. 4, p. 748-763, 2021.
- LU, Y.; WANG, F.; DONG, S. Energy response of swimming crab *Portunus trituberculatus* to thermal variation: implication for crab transport method. **Aquaculture**, v. 441, p. 64-71,

2015.

MACEDO, P.; MASUNARI, S.; CORBETTA, R. Crustáceos decápodos associados às cordas de cultivo do mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758) (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) na Enseada da Armação do Itapocoroy, Penha-SC. **Biota Neotropica**, v. 12, n. 2, p. 185-195, 2012.

MACHADO, I. C. *et al.* A integração da pesquisa ao conhecimento ecológico local no subsídio ao manejo: variações no estoque natural da ostra de mangue *Crassostrea* spp. na reserva extrativista do Mandira, Cananéia-SP, Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 14, n. 1, p. 1-22, 2011.

MADEIRA, Carolina *et al.* Thermal stress and energy metabolism in two circumtropical decapod crustaceans: responses to acute temperature events. **Marine environmental research**, v. 141, p. 148-158, 2018.

MAROCHI, M. Z. *et al.* Marine heatwave impacts on newly-hatched planktonic larvae of an estuarine crab. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 278, p. 108122, 2022.

MATOZZO, V.; GALLO, C.; MARIN, M. G. Effects of temperature on cellular and biochemical parameters in the crab *Carcinus aestuarii* (Crustacea, Decapoda). **Marine Environmental Research**, v. 71, n. 5, p. 351-356, 2011.

MELO, A. G. C. *et al.* Molecular identification, phylogeny and geographic distribution of Brazilian mangrove oysters (*Crassostrea*). **Genetics and Molecular Biology**, v. 33, n. 3, p. 564-572, 2010.

MELO, G. A. S. Manual de identificação dos Brachyura (caranguejos e siris) do litoral brasileiro. São Paulo, Editora Plêiade, 604, 1996.

MONTEIRO, M. *et al.* An emergent treat: Marine heatwaves-Implications for marine decapod crustacean species-An overview. **Environmental Research**, p. 116004, 2023.

MORÓN LUGO, S. C. *et al.* Warming and temperature variability determine the performance of

- two invertebrate predators. *Scientific reports*, v. 10, n. 1, p. 6780, 2020.
- MUKHERJEE, D. Role of fear in predator–prey system with intraspecific competition. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 177, p. 263-275, 2020.
- NASCIMENTO, I.A. Cultivo de ostras no Brasil: problemas e perspectivas. **Ciência e Cultura**, 35(7): 871-876, 1983.
- NASRI, R. *et al.* Ameliorating effects of goby fish protein hydrolysates on high-fat-high-fructose diet-induced hyperglycemia, oxidative stress and deterioration of kidney function in rats. **Chemico-Biological Interactions**, v. 242, p. 71-80, 2015.
- OLIVER, E. C. J. *et al.* Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2018.
- OLIVEIRA, G.; ROSSI, I.; KUCHARSKI, L.; SILVA, R. Hepatopancreas gluconeogenesis and glycogen content during fasting in crabs previously maintained on a high-protein or carbohydrate-rich diet. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 137, n. 2, p. 383-390, 2004.
- PEINADO, P. *et al.* Understanding species responses in a changing world by examining the predatory behaviour of southern calamari to changes in temperature. **Frontiers in Marine Science**, v. 10, p. 1113984, 2023.
- PELUFFO, E. *Panopeus austrobesus*, 1983 (Decapoda Brachyura), a first record of the Brazilian mud crab at Uruguayan Atlantic Coast. **Nauplius**, 12: 57–58, 2004.
- PÖRTNER, Hans-Otto. Climate variations and the physiological basis of temperature dependent biogeography: systemic to molecular hierarchy of thermal tolerance in animals. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 132, n. 4, p. 739-761, 2002.
- QYLI, M.; ALIKO, V.; FAGGIO, C. Physiological and biochemical responses of Mediterranean green crab, *Carcinus aestuarii*, to different environmental stressors: Evaluation of

- hemocyte toxicity and its possible effects on immune response. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 231, p. 108739, 2020.
- R Development Core Team R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022.
- RAHMSTORF, S.; COUMOU, D. Increase of extreme events in a warming world. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 44, p. 17905-17909, 2011.
- RINDONE, R.; EGGLESTON, D. B. Predator–prey dynamics between recently established stone crabs (*Menippe* spp.) and oyster prey (*Crassostrea virginica*). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 407, n. 2, p. 216-225, 2011.
- RIVERA-MONROY, V. H. *et al.* Advancing mangrove macroecology. **Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective: Structure, Function, and Services**, p. 347-381, 2017.
- SANTOS, F.; PESCHINELLI, R.; PANTALEÃO, J.; COSTA, R. Relative growth, morphological sexual maturity, heterochely, and handedness in *Panopeus occidentalis* (Brachyura, Panopeidae). **Invertebrate reproduction & development**, v. 62, n. 2, p. 74-81, 2018.
- SCANES, E.; SCANES, P.; ROSS, P. Climate change rapidly warms and acidifies Australian estuaries. **Nature communications**, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2020.
- SMITH, K. E. *et al.* Biological impacts of marine heatwaves. **Annual Review of Marine Science**, v. 15, p. 119-145, 2023.
- SOMERO, G. The physiology of climate change: how potentials for acclimatization and genetic adaptation will determine ‘winners’ and ‘losers’. **Journal of Experimental Biology**, v. 213, n. 6, p. 912-920, 2010.
- TEIXEIRA, C.; BARÇANTE, L.; DE AZEVEDO, C. Comportamento animal: uma introdução aos métodos e a ecologia comportamental. Appris Editora e Livraria Eireli-ME, 2018.

- VIANA, M. Preferência alimentar e o efeito de abrigos naturais no cultivo do caranguejo vermelho *Dilocarcinus pagei* Stimpson, 1861 (Dissertação de mestrado). **Universidade Federal do Amazonas**, 2019.
- WASSERMAN, R.; CUTHBERT, R.; ALEXANDER, M.; DALU, T. Shifting interaction strength between estuarine mysid species across a temperature gradient. **Marine environmental research**, v. 140, p. 390-393, 2018.
- WERNBERG, T. *et al.* Climate-driven regime shift of a temperate marine ecosystem. **Science**, 353, 169-172, 2016
- WHEELER, M. Temperature dependent feeding habits of *Strongylocentrotus droebachiensis*, the green sea urchin, on *Laminaria longicuris*. **Journal of Undergraduate Studies at Trent**, v. 5, n. 1, p. 2-5, 2017.
- World Sea Temperatures. Disponível em <https://www.seatemperature.org/>. Acesso em: 20/08/2022.
- WU, X. *et al.* Effects of dietary phospholipid and highly unsaturated fatty acid on the gonadal development, tissue proximate composition, lipid class and fatty acid composition of precocious Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*. **Aquaculture Nutrition**, v. 16, n. 1, p. 25-36, 2010.
- WUERTZ, S, *et al.* Welfare of Decapod Crustaceans with Special Emphasis on Stress Physiology. **Aquaculture Research**, v. 2023, 2023.
- XU, Y. *et al.* Impacts of marine heatwaves on pearl oysters are alleviated following repeated exposure. **Marine Pollution Bulletin**, v. 173, p. 112932, 2021.
- XU, Y. *et al.* Transcriptome analysis reveals acclimation responses of pearl oysters to marine heatwaves. **Science of The Total Environment**, v. 810, p. 151189, 2022.
- ZHANG, C. *et al.* Gamma-aminobutyric acid regulates glucose homeostasis and enhances the hepatopancreas health of juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) under fasting

stress. **General and Comparative Endocrinology**, v. 303, p. 113704, 2021.

ZHOU, J. *et al.* Effect of temperature on antioxidant enzyme gene expression and stress protein response in white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Journal of Thermal Biology**, v. 35, n. 6, p. 284-289, 2010.