



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E ZOOLOGIA  
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Pétterson Batista Pereira da Silva

**IMPACTOS DE CONCENTRAÇÕES SUBLETAIS DE CINZAS DE INCÊNDIOS  
SOBRE O COMPORTAMENTO DE CRUSTÁCEOS EGLÍDEOS (Decapoda:  
Aeglidae)**

Florianópolis  
2023

Péterson Batista Pereira da Silva

**IMPACTOS DE CONCENTRAÇÕES SUBLETAIS DE CINZAS DE INCÊNDIOS  
SOBRE O COMPORTAMENTO DE CRUSTÁCEOS EGLÍDEOS (Decapoda:  
Aeglidae)**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Ciências Biológicas do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas

Orientador: Prof. Bruno Renaly Souza Figueiredo, Dr.

Coorientador: Prof. Sandro Santos, Dr.

Florianópolis

2023

Silva, Péttersen Batista Pereira da  
IMPACTOS DE CONCENTRAÇÕES SUBLETAIS DE CINZAS DE INCÊNDIOS  
SOBRE O COMPORTAMENTO DE CRUSTÁCEOS EGLÍDEOS (Decapoda:  
Aeglidae) / Péttersen Batista Pereira da Silva ; orientador,  
Bruno Renaly Souza Figueiredo, coorientador, Sandro Santos,  
2023.  
36 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade  
Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas,  
Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. Ecotoxicologia. I. Figueiredo,  
Bruno Renaly Souza. II. Santos, Sandro. III. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. IV.  
Título.

Pétterson Batista Pereira da Silva

**IMPACTOS DE CONCENTRAÇÕES SUBLETAIS DE CINZAS DE INCÊNDIOS  
SOBRE O COMPORTAMENTO DE CRUSTÁCEOS EGLÍDEOS (Decapoda:  
Aeglidae)**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Licenciado e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciências Biológicas.

Florianópolis, 04 de dezembro de 2023

Coordenação do Curso

**Banca examinadora**

Prof.(a) Bruno Renaly Souza Figueiredo, Dr.(a)  
Orientador(a)

Prof.(a) Ana Marta Schafaschek, Dr.(a)  
Universidade Federal do Paraná

Prof.(a) Michele Cristina Heck, Dr.(a)  
Universidade Estadual de Maringá

Florianópolis, 2023.

Ao meu avô, Bruno Mariano da Silva (*in memoriam*), por me inspirar, desde a infância, a ser um pesquisador.

Aos meu pais, João Batista (*in memoriam*) e Rosa Luiza por possibilitarem a realização deste sonho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a minha família, principalmente aos meus pais, por me darem o suporte necessário para a realização deste sonho. Pai e mãe, obrigado pelo amor, carinho e apoio que sempre me foi entregue. Obrigado por serem presentes e que, mesmo nas dificuldades da vida, sempre prezaram pela minha educação e pela educação dos meus irmãos. Tenho muito orgulho das pessoas que vocês são e espero que um dia eu possa retribuir um pouco do que me foi dado. Sem vocês, eu não teria chegado até aqui. Pai, não conseguirei retribuir tudo o que você fez por mim. Queria você presente neste momento. Sentirei para sempre a sua falta. Obrigado por tudo!

Agradeço aos meus amigos Marco, Ana Julia, Luísa, Thomas, João, Renata, Eneli, Victoria, Cindy, Duda e Lara por serem o meu refúgio e minha família em Florianópolis. A caminhada até aqui foi muito mais fácil com a companhia de vocês, crescemos juntos nesses últimos anos e certamente lembrarei para sempre das experiências e dos momentos que vivenciamos. Cris, Gustavo, Cátia, Zeka, Jão, Marília, Ruiz, Rafa, Fabi, Samu, Felipe e Lele, agradeço vocês por terem sido minha rede de apoio durante o período pandêmico.

Aos meus queridos “Labiaquers” Marco, Gustavo, Ketyllen, Amanda, Bethânia, Felipe, João, Larissa e Ronnilda: Obrigado pelas boas risadas, cafés, confraternizações e convivência durante este último ano. Diogo, obrigado por ser quem é, ser meu companheiro e me ajudar nas etapas da vida e da pesquisa.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Bruno Figueiredo, que há 4 anos me auxilia a trilhar o caminho da ciência e, com seus conhecimentos, me mostrou o universo incrível da limnologia. Obrigado por não desistir de mim, tenho muito orgulho do laboratório que você construiu! Agradeço ao meu coorientador Prof. Dr. Sandro Santos, por me auxiliar durante a realização deste trabalho e sempre demonstrar disponibilidade.

Agradeço ao pessoal do Parque Nacional de São Joaquim, especialmente aos brigadistas, pelo apoio e auxílio durante a coleta da biomassa vegetal e amostragem dos organismos-teste.

Agradeço ao Laboratório de Ecologia de Águas Continentais (LIMNOS) e ao Laboratório de Imunologia Aplicada à Aquicultura (LIAA), por disponibilizarem seus equipamentos durante as etapas desta pesquisa. Agradeço também às técnicas do ECZ, Karla e Mitie, por sempre se mostrarem presentes.

Por último, gostaria de agradecer à Fundação de Amparo a Pesquisa de Santa Catarina, FAPESC, pelo fomento (Protocolo nº: PJP2021321000109).

## RESUMO

O aumento de secas prolongadas e climas mais quentes, resultado das mudanças climáticas globais, estão diretamente ligados ao aumento no número de focos de incêndios. O fogo produz resíduos tóxicos, como as cinzas, que representam uma ameaça para a biodiversidade nos ecossistemas terrestres e aquáticos. Cinzas de incêndios podem ser transportadas para o ambiente aquático por ação de chuvas e do vento. Entretanto, os efeitos tóxicos subletais das cinzas solubilizadas na água para a biodiversidade em ambientes aquáticos continentais, ainda são pouco explorados. O presente estudo buscou testar experimentalmente os efeitos de diferentes concentrações de cinzas sobre a biologia de crustáceos eglídeos (*Aegla jaraí*), importantes bioindicadores das águas continentais sul-americanas. Para tanto, cinzas foram produzidas, em condições controladas, após combustão de vegetação típica dos campos de altitude da Serra Geral. Nessa região, a ocorrência de fogo é um distúrbio relativamente frequente, que tem se tornado cada vez mais recorrente. Os organismos-teste foram coletados nos corpos aquáticos da mesma região. Os eglídeos foram expostos às cinzas por 48 horas, em três tratamentos de cinzas: 0g/L (controle); 0,75g/L e 1,5g/L, combinados com dois tratamentos de tipo de extrato aquoso: extratos aquosos de cinzas filtrados (i.e., sem sólidos suspensos) e não-filtrado (i.e., com suspensão de cinzas). Ao final do período de exposição, foram avaliados: (1) o tempo padrão de deslocamento dos crustáceos a três estímulos comportamentais (comportamento agonístico; busca por refúgio; busca por alimento), e (2) a taxa de consumo de alimento. O estudo buscou comparar, também, os efeitos dos diferentes protocolos na produção das soluções de cinzas (filtrada e não-filtrada). Com base nos resultados obtidos foi possível constatar que, no geral, as cinzas oriundas de incêndios nos campos de altitude da Serra Geral não alteram o comportamento dos crustáceos, exceto quanto ao comportamento de busca por alimento, que apresentou diferenças significativas quando em exposição ao extrato aquoso de cinzas sem sólidos em suspensão.

**Palavras-chave:** Ecologia do fogo, ecotoxicologia aquática, conservação da biodiversidade

## ABSTRACT

The increase in prolonged droughts and warmer climates resulting from global climate changes, is directly related to the rise in wildfires. Fire produces toxic residues, such as ashes, potentially threatening biodiversity in terrestrial and aquatic ecosystems. Wildfire ashes can be transported to the aquatic environment through rain and wind. However, the sublethal toxic effects of solubilized ashes in water on biodiversity in continental aquatic environments are still underexplored. This study aimed to experimentally test the effects of different ash concentrations on the biology of the crustacean *Aegla jarai*, an important bioindicator of South American continental waters. For this purpose, ashes were produced under controlled conditions after the combustion of typical vegetation from Southern Brazilian Highland Grasslands. In this region, fire occurrence is a relatively frequent disturbance that has become increasingly recurrent. Test organisms were sampled from streams of the same area as the vegetation. The aeglids were exposed to ashes for 48 hours in three ash concentration treatments: 0g/L (control), 0.75g/L, and 1.5g/L, combined with two types of aqueous extract treatments: filtered ash aqueous extracts (i.e., without suspended solids) and non-filtered (i.e., with suspended solids). After the exposure time, the following were evaluated: (1) standard displacement time of *A. jarai* for three behavioral stimuli (agonistic behavior, refuge-seeking, and food-seeking) and (2) food consumption rate. The study also compared the effects of different production of ash solutions (filtered and non-filtered) based on the results obtained. It was observed that, at the concentrations used, the ashes from the burning of vegetation from the Southern Brazilian Highland Grasslands did not alter the behavior of the organisms, except for the behavior of food-seeking that presented significant differences when in exposure at aqueous extract of ashes without suspended solids.

**Keywords:** Fire ecology, aquatic ecotoxicology, biodiversity conservation

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>13</b>
3.1	COLETA DE BIOMASSA VEGETAL E PRODUÇÃO DAS CINZAS .....	14
3.2	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS CINZAS.....	15
3.3	PREPARAÇÃO DOS EXTRATOS AQUOSOS DE CINZAS.....	15
3.4	AMOSTRAGEM E ACLIMATAÇÃO DOS ORGANISMOS .....	16
3.5	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	17
3.6	OBTENÇÃO DE DADOS .....	19
<b>3.6.1</b>	<b>PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA</b> .....	<b>19</b>
<b>3.6.2</b>	<b>PARÂMETROS COMPORTAMENTAIS</b> .....	<b>19</b>
3.7	ANÁLISE DE DADOS .....	20
<b>3.7.1</b>	<b>PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA</b> .....	<b>20</b>
<b>3.7.2</b>	<b>PARÂMETROS COMPORTAMENTAIS</b> .....	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>21</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS CINZAS.....	21
<b>4.1.1</b>	<b>COMPOSIÇÃO INORGÂNICA</b> .....	<b>21</b>
<b>4.1.2</b>	<b>HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS</b> .....	<b>22</b>
4.2	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA .....	23
4.3	TEMPO DE DESLOCAMENTO PADRÃO DOS ORGANISMOS-TESTE ...	24
<b>4.3.1</b>	<b>EXTRATO AQUOSO FILTRADO</b> .....	<b>25</b>
<b>4.3.2</b>	<b>EXTRATO AQUOSO NÃO-FILTRADO</b> .....	<b>25</b>
4.4	CONSUMO DE ALIMENTO .....	26
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>31</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As alterações climáticas globais são consideradas uma das cinco maiores ameaças para a conservação da biodiversidade (IPBES, 2019), na qual impactam a regularidade das chuvas concentrando-as em curtos períodos de tempo, resultando em secas prolongadas e climas mais quentes (IPCC, 2021). Estas condições climáticas refletem no aumento do número e da severidade de focos de incêndios em vegetações (Liu; Stanturf; Goodrick, 2010), como observado recentemente em diversas regiões do globo, como na África do Sul (Kganyago *et al.*, 2021), Austrália (Haque *et al.*, 2023; Ward *et al.*, 2022), Brasil (Caumo *et al.*, 2022; Cobelo *et al.*, 2023), Canadá (Tymstra *et al.*, 2020), EUA (Berlin Rubin; Wong-Parodi, 2022) e Portugal (Asfaw; McGee; Correia, 2022; Figueiredo; Paupério; Romão, 2021). A combustão da biomassa vegetal gera resíduos com diferentes propriedades químicas e físicas, como cinzas (Bodí *et al.*, 2014). León *et al.* (2013) definem as cinzas como “uma mistura de materiais orgânicos e minerais que cobrem o solo após o fogo”, na qual podem ter em sua composição diferentes componentes tóxicos como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), metais e metalóides (Enell *et al.*, 2008; Oo *et al.*, 2021), que possuem potencial cancerígeno ao serem inaladas ou ingeridas (Caumo *et al.*, 2022). As substâncias que compõem as cinzas não são homogêneas, e são alteradas conforme a biomassa vegetal de origem (Carvalho *et al.*, 2019) e severidade da combustão (Bodí *et al.*, 2014).

Os incêndios e seus resíduos afetam não somente a saúde dos organismos terrestres, mas impactam também os organismos aquáticos, pois as cinzas geradas pela queima da vegetação podem ser transportadas para os sistemas aquáticos através das chuvas e dos ventos (Cerdà; Doerr, 2008), fator que é facilitado pela característica hidrofóbica de solos queimados (Gomez Isaza; Cramp; Franklin, 2022). Ao ser solubilizada, as cinzas são responsáveis por alterar diversos parâmetros físico-químicos da água: há aumento nos níveis de pH, condutividade elétrica e turbidez, enquanto que os níveis de oxigênio dissolvido tendem a diminuir (Brito *et al.*, 2021; Morales *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2016). As mudanças no ambiente pelas cinzas podem ocasionar a mortalidade de espécies nativas, geralmente mais sensíveis à poluentes, facilitando a invasão de espécies exóticas (Gonino *et al.*, 2019). Além disso, as cinzas carregam nutrientes (por exemplo, fósforo, nitrogênio, cálcio e potássio) para a água, que em grandes quantidades, resultam na

proliferação desequilibrada de algas, ocasionando a eutrofização dos corpos aquáticos (Brito *et al.*, 2021; Sánchez-García *et al.*, 2023; Tang *et al.*, 2021)

Os campos de altitude da Serra Geral são um ecossistema relictual (Behling, 2002), presente na região subtropical da América do Sul. É caracterizado como um campo de altitude, a qual possui vegetação herbácea que resseca periodicamente e é dependente de distúrbios, como o fogo e o pastejo, para sua manutenção (Overbeck *et al.*, 2007; Pillar; Vélez, 2010). No entanto, nos últimos anos, políticas públicas de ‘fogo-zero’ para o manejo deste ecossistema têm sido adotadas, contribuindo para o acúmulo de biomassa vegetal seca, que resulta na formação de incêndios de grandes proporções (Sühs *et al.*, 2021), ameaçando áreas de Floresta Ombrófila Mista, uma fitofisionomia da Mata Atlântica sensível ao fogo (Myers, 2006; ICMBIO, 2017). Estudos analisando o papel das cinzas oriundas da queima da vegetação destes campos de altitude são escassos, e seu potencial tóxico aos organismos não está definido.

Estudos recentes têm demonstrado o papel das cinzas originadas a partir de incêndios em vegetações em diferentes organismos aquáticos, tais como algas (Campos *et al.*, 2012), macrófitas (Mesquita *et al.*, 2022), anfíbios (Santos *et al.*, 2023), peixes (Gonino *et al.*, 2019; Nunes *et al.*, 2017), insetos aquáticos (Muñiz González *et al.*, 2023) e zooplâncton (Ré *et al.*, 2021). No entanto, estudos avaliando o efeito negativo das cinzas sobre macrocrustáceos ainda são incipientes, sendo este o primeiro trabalho a preencher esta lacuna do conhecimento utilizando *Aegla jarai* como organismo-modelo.

Eglídeos são crustáceos decápodes que habitam as águas continentais subtropicais e temperadas da América do Sul (Bond-Buckup & Buckup, 1994), sendo *Aegla* o único táxon anomuro a ter seu ciclo de vida exclusivamente dulcícola (Bueno *et al.*, 2016). Além disso, estes crustáceos são organismos sensíveis quanto à perda do habitat e às alterações no ecossistema em que vivem (Santos *et al.*, 2017). Eglídeos podem servir como bioindicadores das águas continentais subtropicais da América do Sul (Correa-Araneda; Contreras; De Los Ríos, 2010), região que tem sofrido com constantes queimadas em áreas de vegetação nativa (INPE, 2023). Recentemente, estudos ecotoxicológicos têm sido realizados utilizando eglídeos (Cerezer *et al.*, 2020; Goldoni; Pacheco; Da Silva, 2023; Rosa; Martinez, 2021) como modelos biológicos alternativos em relação aos organismos tradicionalmente utilizados para testar o efeito de pesticidas e metais.

Neste estudo, realizamos um experimento de toxicidade aguda expondo *Aegla jaraí* a diferentes concentrações de cinzas oriundas da combustão da vegetação típica dos campos de altitude da Serra Geral, avaliando diferentes respostas biológicas desses macrocrustáceos para testar a hipótese de que quanto maior a concentração de cinzas, maior será o impacto sobre sua biologia. Especificamente, procuramos demonstrar que (1) o padrão de tempo de deslocamento, dos três estímulos comportamentais testados (i.e., comportamento agonístico; busca por refúgio; busca por alimento) aumentam proporcionalmente ao aumento na concentração de cinzas, enquanto que (2) a taxa de consumo de alimento diminui conforme a concentração de cinzas aumenta.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar os efeitos subletais da exposição aguda (48h) de *Aegla jaraí* à diferentes concentrações de cinzas oriundas da queima da biomassa vegetal típica dos campos de altitude da Serra Geral, para seu tempo de deslocamento referente à três estímulos comportamentais (agonístico, refúgio e alimentar) e para sua taxa de consumo de alimento.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar a composição química das cinzas oriundas da queima de biomassa vegetal dos campos de altitude da Serra Geral;
- Avaliar a influência da exposição às cinzas sobre o padrão de tempo de deslocamento dos crustáceos;
- Analisar os efeitos tóxicos da exposição aguda às cinzas sobre o consumo de alimento dos organismos-teste;
- Testar se a suspensão de cinzas confere a ela maior toxicidade comparado a extrato aquoso de cinzas sem suspensão de sólidos.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### 3.1 COLETA DE BIOMASSA VEGETAL E PRODUÇÃO DAS CINZAS

As cinzas utilizadas no ensaio ecotoxicológico foram produzidas através da queima da biomassa vegetal coletada nos campos de altitude do Parque Nacional de São Joaquim, em Urubici, Santa Catarina (28°06'56"S; 49°24'50"O) (Figura 1a). Para isso, uma parcela da vegetação foi aparada e armazenada em sacos plásticos e transportada ao laboratório. Após o transporte, a vegetação foi disposta ao ar livre e em exposição ao sol para a secagem do material e, em seguida, submetida à queima intencional, em condições controladas (Figura 1b). As cinzas produzidas foram armazenadas em frascos plásticos envolvidos por sacos plásticos de cor preta e mantidas no refrigerador sem a presença de luz (Figura 1c), para reduzir a possibilidade de alterações na composição química e de atividade biológica. Os métodos de conservação das cinzas foram adaptados de Santos *et al.* (2023).

Figura 1 – Produção das cinzas



- a) coleta da biomassa vegetal; b) queima da biomassa vegetal, previamente seca; c) armazenamento das cinzas produzidas.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS CINZAS

Três análises químicas foram realizadas com o intuito de identificar os componentes das cinzas produzidas através da queima da biomassa vegetal típica dos campos de altitude da Serra Geral. Para identificar e quantificar os elementos inorgânicos, duas técnicas de determinação foram aplicadas: 1) utilizando a técnica de espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) (Perkin Elmer SCIEX, modelo Elan 6000), seguindo protocolo estabelecido por Santín *et al.* (2015) e 2) por meio de espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) (Thermo Scientific, modelo iCAP 6500). Para qualificar e quantificar as concentrações de HPAs, nas suas concentrações totais e ao serem solubilizadas em água, foi utilizada a técnica de cromatografia gasosa-espectrometria de massa (GC/MS) (Thermo mod DSQ II, Thermo Electron Corporation), mediante adaptações dos trabalhos de Braga *et al.* (2018); Dal Pont *et al.*, (2019); Ortega Fernández *et al.* (2022).

### 3.3 PREPARAÇÃO DOS EXTRATOS AQUOSOS DE CINZAS

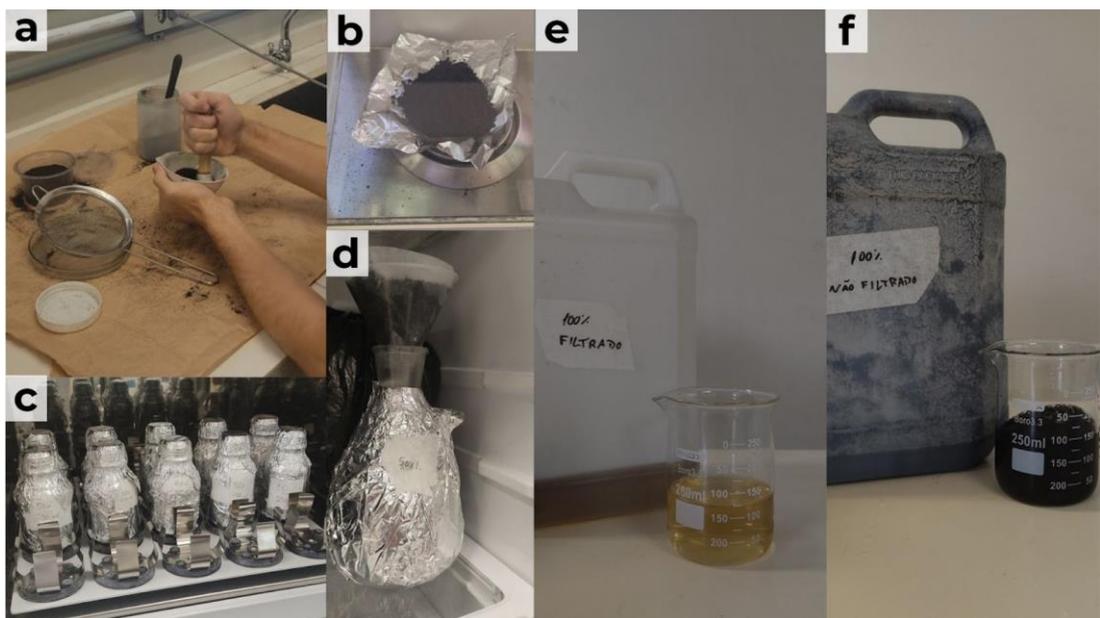
As cinzas produzidas e refrigeradas foram maceradas com o auxílio de um pistilo e almofariz e, posteriormente, peneiradas (0,1mm) para seu refinamento (Figura 2a). Após esse processo, uma balança analítica de precisão foi utilizada para determinar a quantidade de cinzas a serem empregadas no bioensaio, que, ao serem diluídas nos aquários contendo 5L de água desclorificada, chegariam nas concentrações de 0,75g/L e 1,5g/L (Figura 2b). Para a experimentação, dois protocolos distintos de preparação dos extratos aquosos de cinzas foram realizados: extrato aquoso de cinzas filtrado e extrato aquoso de cinzas não-filtrado. Estes dois métodos simulam as diferentes formas que as cinzas podem chegar aos corpos aquáticos.

Para a produção do extrato aquoso de cinzas filtrado (Figura 2e) (i.e. sem sólidos suspensos), cinzas e água desclorificada foram adicionadas em frascos de vidro de 250mL envoltos por papel alumínio, evitando que a luz tivesse efeitos sobre a amostra. Para a mistura da solução, os frascos de vidro foram distribuídos em um agitador orbital, que permaneceu ligado por 2h a 110 rpm, em temperatura ambiente (Figura 2c). Após esse período, as soluções das vidrarias foram retiradas e

transferidas para galões de polietileno de 5L e, finalmente, a parte sólida das cinzas foi separada do líquido com auxílio de filtros de papel de cozinha (Figura 2d). Os métodos deste protocolo foram adaptados de Silva *et al.* (2016).

Para a produção do extrato aquoso não-filtrado (i.e. com suspensão de cinzas), cinzas e água desclorificada foram adicionadas em galões de polietileno e a solução foi manualmente misturada para sua homogeneização (Figura 2f). Os métodos deste protocolo foram adaptados de Santos *et al.* (2023).

Figura 2 – Produção dos extratos aquosos de cinzas



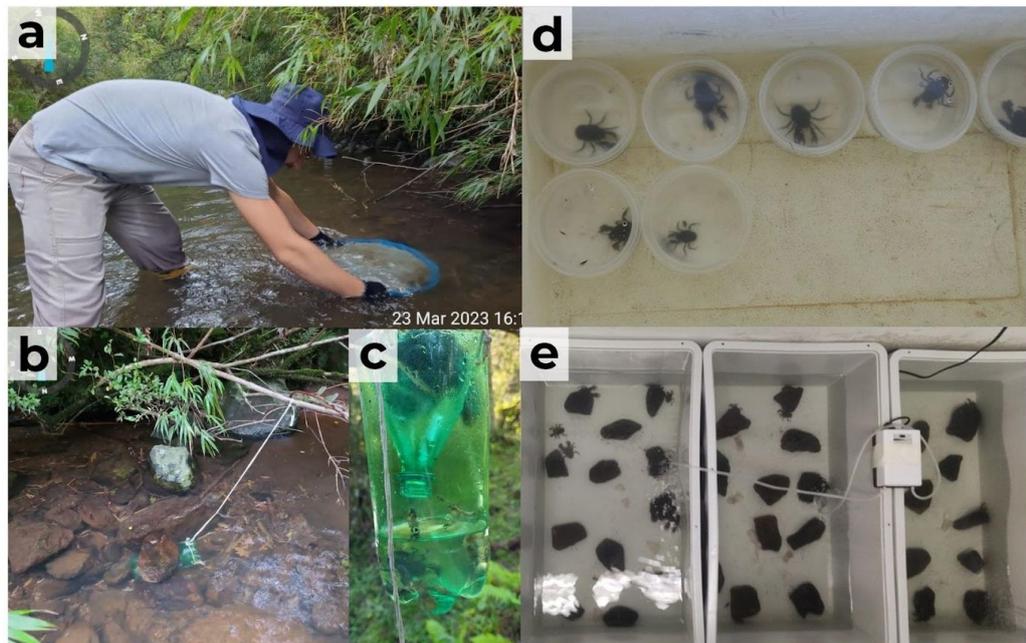
a) maceração das cinzas; b) pesagem das cinzas; c) solução de cinzas no agitador orbital; d) filtragem da solução; e) extrato aquoso de cinzas filtrado; f) extrato aquoso de cinzas não-filtrado

### 3.4 AMOSTRAGEM E ACLIMATAÇÃO DOS ORGANISMOS

Os eglídeos foram coletados no entorno do Parque Nacional de São Joaquim, em Urubici, Santa Catarina (28°06'56"S; 49°24'50"O). As coletas ocorreram em março de 2023, tanto de forma ativa, com peneiras e rede em D (Figura 3a), como de forma passiva, utilizando armadilhas do tipo covão confeccionadas em polietileno tereftalato (PET) (Figura 3c). As armadilhas continham fígado bovino como isca e foram instaladas em pontos aleatórios do riacho ao entardecer e verificadas na manhã seguinte (Figura 3b). Os métodos de coleta foram adaptados de Copatti *et al.* (2016).

Após a coleta e seleção dos organismos adultos, os foram individualizados em recipientes de plástico de 250mL, alocados em caixas térmicas (Figura 3d), transportados ao laboratório e posteriormente aclimatados em caixas plásticas de 70 litros (Figura 3e). As caixas continham água desclorificada e rochas dos riachos em que os animais foram amostrados, com aeração constante e fotoperíodo claro/escuro de 12:12. Os animais foram alimentados a cada 24 horas com filé de peixe, sendo o alimento disposto à noite e as sobras retiradas na manhã seguinte. Os métodos de aclimação foram adaptados de Rosa; Martinez (2021).

Figura 3 – Amostragem e aclimação dos organismos



a) amostragem por meio de peneira; b) armadilha de funil; c) destaque para os organismos amostrados; d) organismos alocados em caixa térmica; e) aclimação dos organismos

### 3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

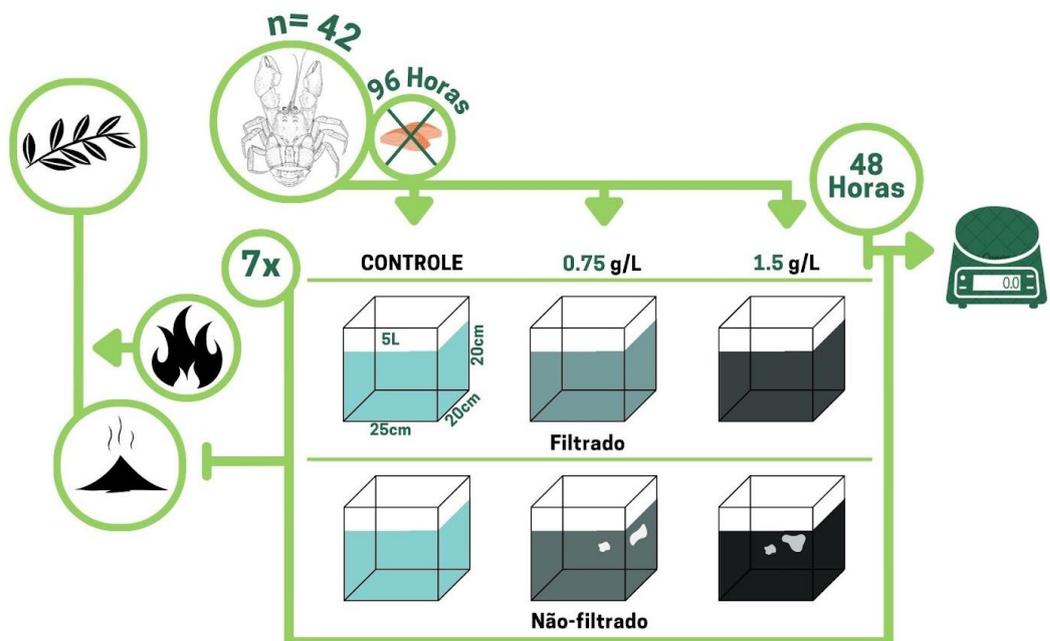
O experimento foi separado em dois blocos e foi realizado utilizando aquários retangulares de vidro com capacidade de 10 litros (25 cm X 20 cm X 20 cm; comprimento X largura X altura). Em ambos os blocos, os aquários foram preenchidos com 5 litros de água desclorificada e os eglídeos individualizados 48 horas antes do início das experimentações. Durante este período, a alimentação dos

eglídeos individualizados foi cessada para padronizar o tempo de jejum, totalizando 96 horas sem alimentação ao término do bioensaio (Figura 4).

No primeiro bloco, os eglídeos foram expostos à diferentes concentrações do extrato aquoso de cinzas filtrado (i.e., sem sólidos suspensos) por um período de 48 horas, a qual três tratamentos distintos foram aplicados: 'água sem adição de cinzas' (controle), '0,75g/L' e '1,5g/L'. A escolha das concentrações se deu baseado em Gonino *et al.* (2019), que estudando cinzas de cana-de-açúcar, encontrou dosagens letais para peixes em torno de 2g/L. Cada tratamento contou com sete replicatas, consistindo em um indivíduo de *Aegla jarai* por aquário (n=21), totalizando 21 espécimes no primeiro bloco do ensaio ecotoxicológico.

O segundo bloco seguiu o mesmo delineamento do primeiro, com três concentrações de cinzas, mas utilizamos o extrato aquoso não-filtrado (i.e., com sólidos suspensos de cinzas) para o ensaio ecotoxicológico, totalizando 42 organismos-teste ao final dos dois blocos experimentais.

Figura 4 – Esquema do delineamento experimental dessa pesquisa, que visou testar o impacto de exposições aguda de cinzas sobre o comportamento de *Aegla jarai*.



Fonte: Elaborado por Diogo Ramos Pacheco

## 3.6 OBTENÇÃO DE DADOS

### 3.6.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA

Durante o ensaio ecotoxicológico, parâmetros físico-químicos da água foram aferidos. Com auxílio de uma sonda multiparâmetros, foi possível mensurar os níveis de pH, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica da água. As medições foram realizadas tanto antes quanto após a adição dos extratos aquosos de cinzas, de ambos os protocolos utilizados na experimentação (ou seja, extrato aquoso de cinzas filtrado e não-filtrado).

### 3.6.2 PARÂMETROS COMPORTAMENTAIS

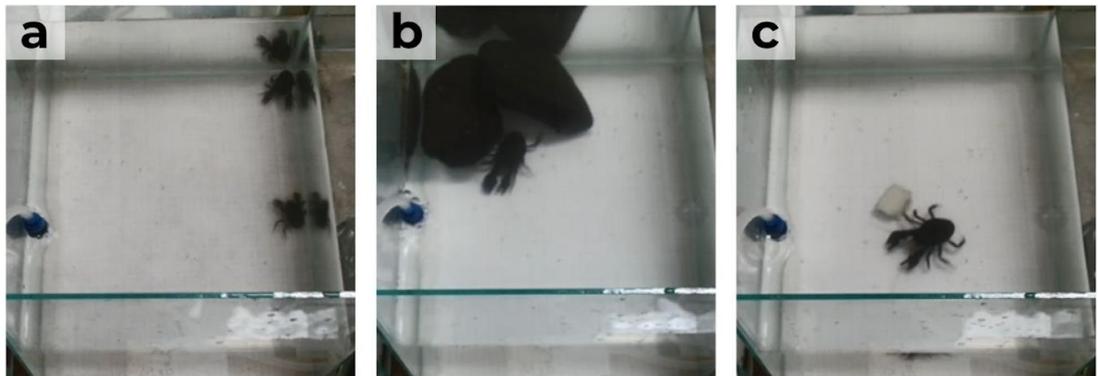
Foram realizados três testes comportamentais durante a experimentação. Os comportamentos testados foram (1) deslocamento em condições agonísticas, (2) deslocamento pelo refúgio e (3) deslocamento por alimento (Figura 5). No primeiro teste, um oponente, da mesma espécie, foi adicionado ao centro do aquário. O sexo e o tamanho dos organismos não foram considerados. No segundo teste, busca por refúgio, adicionamos duas rochas ao lado oposto do aquário em que o indivíduo-teste estava localizado. As rochas foram colocadas de forma a ficarem sobrepostas. No terceiro teste comportamental, busca por alimento, adicionamos uma porção de filé de peixe ao centro do aquário. Todos os testes comportamentais foram realizados em dois períodos diferentes: antes da adição de cinzas na água e após a exposição aguda de 48 horas. Os comportamentos foram registrados por meio de uma câmera e gravados com o auxílio do software OBS Studio e os dados posteriormente coletados utilizando o software Kinovea. Cada estímulo comportamental teve um limite de tempo de 5 minutos, seguindo Damasceno et al. (2021). O estímulo foi retirado do aquário no momento em que o organismo o concluía, ou seja, (1) entrar em confronto ou fugir do oponente, (2) se refugiar, por pelo menos um segundo, sob as rochas sobrepostas e (3) encontrar o alimento.

Após os testes comportamentais, quantificamos a taxa de consumo de alimento. Para isso, dispomos no centro de cada aquário uma porção de filé de peixe com seu peso previamente mensurado ( $2,51 \pm 0,32$  g). Após uma hora, o

alimento foi retirado e seu peso foi novamente medido, seguindo Abreu et al. (2018).

Ao final do experimento, os animais remanescentes foram anestesiados e eutanasiados em um refrigerador, seu peso foi verificado com auxílio de uma balança semi-analítica, enquanto seu tamanho foi determinado com auxílio de um paquímetro digital. Posteriormente, os organismos foram fixados em álcool 70%.

Figura 5 – Estímulos comportamentais



a) estímulo agonístico; b) busca por refúgio; c) busca por alimento.

### 3.7 ANÁLISE DE DADOS

#### 3.7.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA

Para mensurar as variações de pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura, realizamos uma análise de variância de dois-fatores (ANOVA *two-way*), afim de relacionar as alterações entre os tratamentos utilizados e entre os distintos protocolos de produção de extrato aquoso de cinzas.

#### 3.7.2 PARÂMETROS COMPORTAMENTAIS

Para avaliar as variações no padrão de tempo de deslocamento total (%), relacionadas aos comportamentos (1) agonístico, (2) busca por refúgio e (3) busca por alimento, conduzimos análises de Teste-*t* pareado. Estas análises compararam os mesmos indivíduos, antes e após a adição do extrato aquoso de cinzas, de ambos os protocolos (i.e., extrato aquoso de cinzas filtrado e extrato aquoso de cinzas não-filtrado).

Para avaliar as variações no consumo de alimento dos organismos após a exposição aguda de 48 horas, realizamos uma análise de variância de dois fatores (ANOVA *two-way*), usando como variável resposta a diferença entre o peso do alimento ofertado antes da inserção nas unidades experimentais e após o tempo disponível para alimentação. As concentrações de cinzas e os protocolos de produção de extrato aquoso foram incluídas na ANOVA como variáveis preditoras.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS CINZAS

#### 4.1.1 COMPOSIÇÃO INORGÂNICA

As duas metodologias empregadas para a determinação dos elementos inorgânicos que compõem as cinzas utilizadas na experimentação obtiveram algumas divergências entre si. Ambos detectaram a presença de 11 analitos, no entanto, a técnica de ICP-MS detectou a presença de potássio (K), Rubídio (Rb) Silício (Si) e Titânio (Ti), que não foram detectados na técnica de ICP-OES. Todavia, a técnica de ICP-OES detectou a presença de Cobre (Cu), Fósforo (P), Enxofre (S) e Zinco (Zn), não detectados por ICP-MS. Na totalidade, foram identificados 15 elementos inorgânicos presentes nas cinzas oriundas da queima da biomassa vegetal dos campos de altitude da Serra Geral (Tabela 1).

Tabela 1 – Elementos inorgânicos detectados

<b>Analitos</b>	<b>ICP-MS (mg/Kg)</b>	<b>ICP-OES (µg/L)</b>
Al	9446	396,118
B	52621	249,773
Ca	1843	393,366
Cu	NA	324,754
Fe	6698	259,940

K	91123	NA
Mg	25387	279,553
Mn	2651	257,610
Na	4070	588,995
P	NA	213,618
Rb	202	NA
S	NA	180,731
Si	2295	NA
Ti	654	NA
Zn	NA	213,856

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.2 HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS

Cerca de 8 HPAs foram extraídos das cinzas utilizadas na experimentação. No entanto, foi possível quantificar os compostos apenas quando a extração era realizada de forma direta, em cinzas volantes, não sendo viável a quantificação quando a extração foi conduzida nas cinzas solubilizadas em água (Tabela 2).

Tabela 2 – HPAs extraídos das cinzas

HPAs	Extrato aquoso de cinzas ( $\mu\text{g/L}$ )	Cinzas ( $\text{ng/g}$ )
Naftaleno	< 0,15	877
Acenaftileno	< 0,15	< 33
Acenafteno	< 0,15	< 33

Fluoreno	< 0,15	463
Fenantreno	< 0,15	2144
Antraceno	< 0,15	371
Fluoranteno	< 0,15	653
Pireno	< 0,15	1863
Criseno	< 0,15	305
Benzo[a]antraceno	< 0,15	142
Benzo[b]fluoranteno	< 0,15	< 76
Benzo[k]fluoranteno	< 0,15	< 76
Benzo[a]pireno	< 0,15	< 76
Indeno[1,2,3-cd]pireno	< 0,15	< 76
Dibenz[a,h]antraceno	< 0,15	< 76
Benzo[ghi]perileno	< 0,15	< 76

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA

Passados 48 horas da adição das cinzas na água, de ambos os protocolos (i.e., extrato aquoso de cinzas filtrado; sem sólidos suspensos e extrato aquoso de cinzas não-filtrado; com suspensão de cinzas), os parâmetros físico-químicos da água foram aferidos.

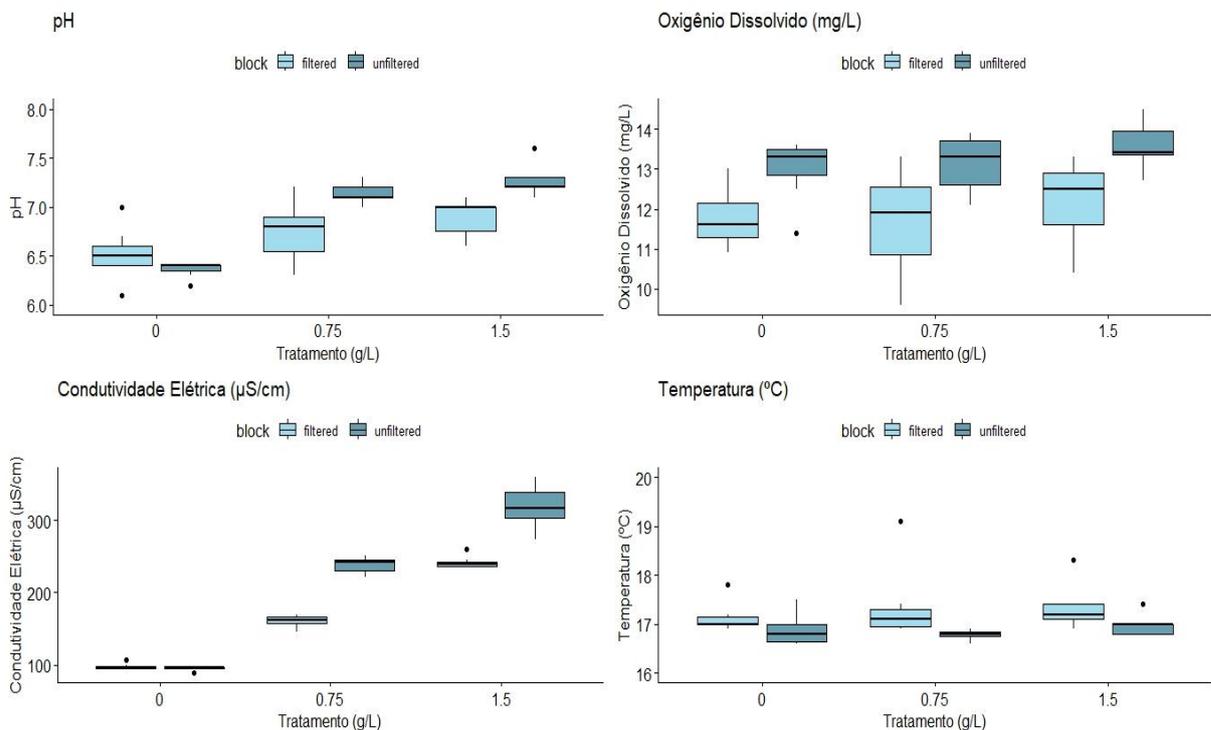
Os níveis de pH dos tratamentos com cinzas subiram em relação ao tratamento sem cinzas. A análise de variância de dois fatores (ANOVA *two-way*) revelou significância entre os tratamentos ( $f = 37,998$ ;  $p < 0,001$ ) e entre os blocos ( $f = 10,897$ ;  $p = 0,002$ ). A interação entre estes dois fatores também foi estatisticamente significativa, com um valor de  $f = 8,347$  e  $p = 0,001$  (Figura 6).

Os valores de oxigênio dissolvido aumentaram entre os diferentes blocos ( $f = 23,52$ ;  $p < 0,001$ ), mas não entre os tratamentos utilizados, sugerindo que a diferença está relacionada com a temporalidade do ensaio ecotoxicológico, visto que os diferentes blocos da experimentação foram realizados em dias distintos.

A condutividade elétrica da água aumentou significativamente entre os diferentes tratamentos ( $f = 613,27$ ;  $p < 0,001$ ) e entre os blocos ( $f = 136,84$ ;  $p < 0,001$ ). Consequentemente, a interação entre esses dois fatores também apresentou significância ( $f = 38,87$ ;  $p < 0,001$ ).

A temperatura durante o ensaio ecotoxicológico foi controlada, e não houve variações significativas entre os diferentes tratamentos. No entanto, houve significância entre os diferentes blocos ( $f = 9,616$ ;  $p = 0,004$ ), ocorrido pela variação do clima entre os diferentes dias de experimentação.

Figura 6 – Parâmetros físico-químicos da água



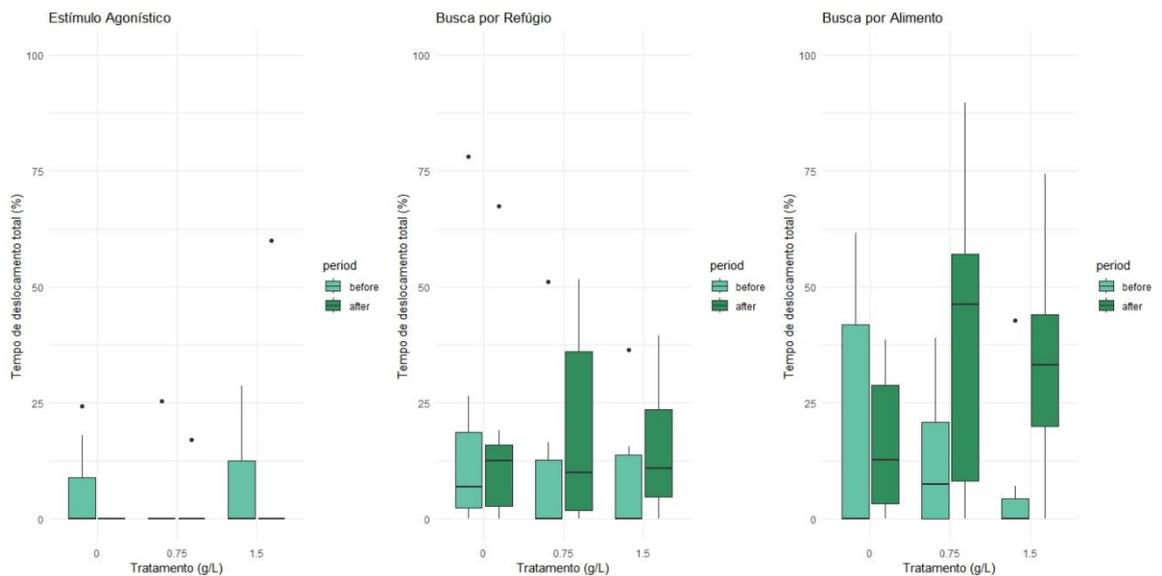
Alterações nos níveis dos parâmetros físico-químicos da água, entre os diferentes tratamentos e protocolos empregados.

#### 4.3 TEMPO DE DESLOCAMENTO PADRÃO DOS ORGANISMOS-TESTE

### 4.3.1 EXTRATO AQUOSO FILTRADO

O tempo de deslocamento dos organismos, em resposta ao estímulo agonístico, não variou significativamente ( $t = 0,528$ ;  $df = 20$ ;  $p = 0,602$ ) entre os tratamentos testados, antes e após a exposição aguda de 48 horas. Da mesma forma, o comportamento de 'Busca por Refúgio' não apresentou variações significativas ( $t = -1,028$ ;  $df = 20$ ;  $p = 0,315$ ). No entanto, observamos significância para o comportamento denominado 'Busca por Alimento' ( $t = -2,184$ ;  $df = 20$ ;  $p = 0,041$ ), destacando o aumento do tempo de deslocamento após a exposição de 48 horas à 1,5 g/L de cinzas (Figura 7).

Figura 7 – Tempo de deslocamento total (extrato aquoso de cinzas filtrado)

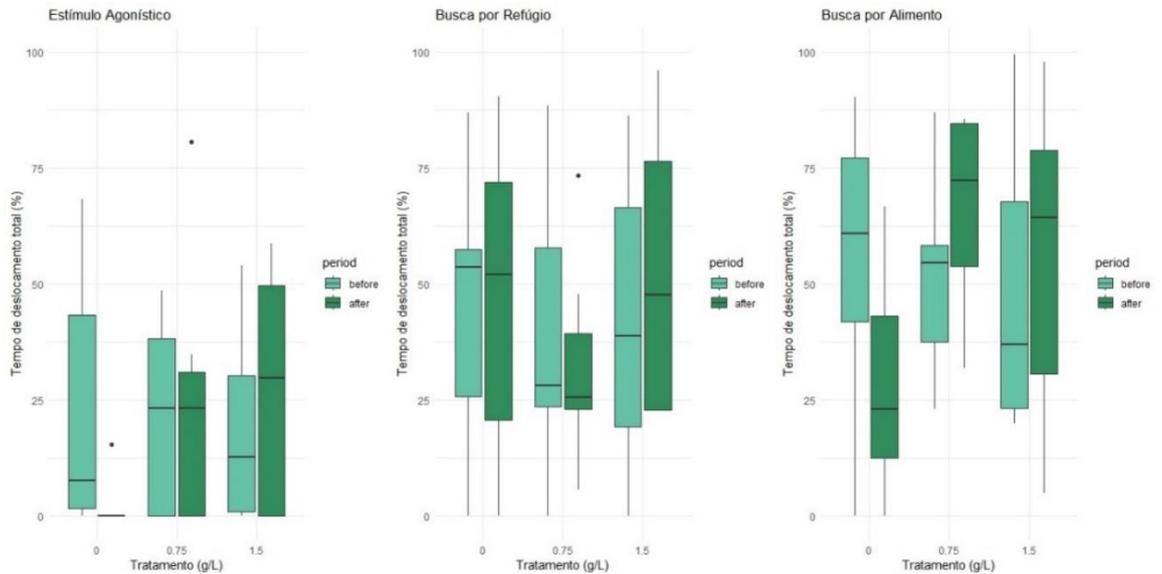


Variações comportamentais antes e após a exposição ao extrato aquoso de cinzas filtrado.

### 4.3.2 EXTRATO AQUOSO NÃO-FILTRADO

Os resultados dos três estímulos comportamentais testados, referente ao bloco não-filtrado do ensaio ecotoxicológico, não diferiram significativamente nos distintos períodos da experimentação (i.e., antes e após a exposição aguda de 48 horas). Especificamente, para o estímulo agonístico, obteve-se um valor de  $t = 0,294$ ;  $df = 19$ ;  $p = 0,771$ ; para o comportamento de 'Busca por Refúgio',  $t = -0,246$ ;  $df = 19$ ;  $p = 0,808$ ; e para o comportamento de 'Busca por Alimento',  $t = 0,001$ ;  $df = 19$ ;  $p = 0,998$  (Figura 8).

Figura 8 – Tempo de deslocamento total (Extrato aquoso de cinzas não-filtrado)

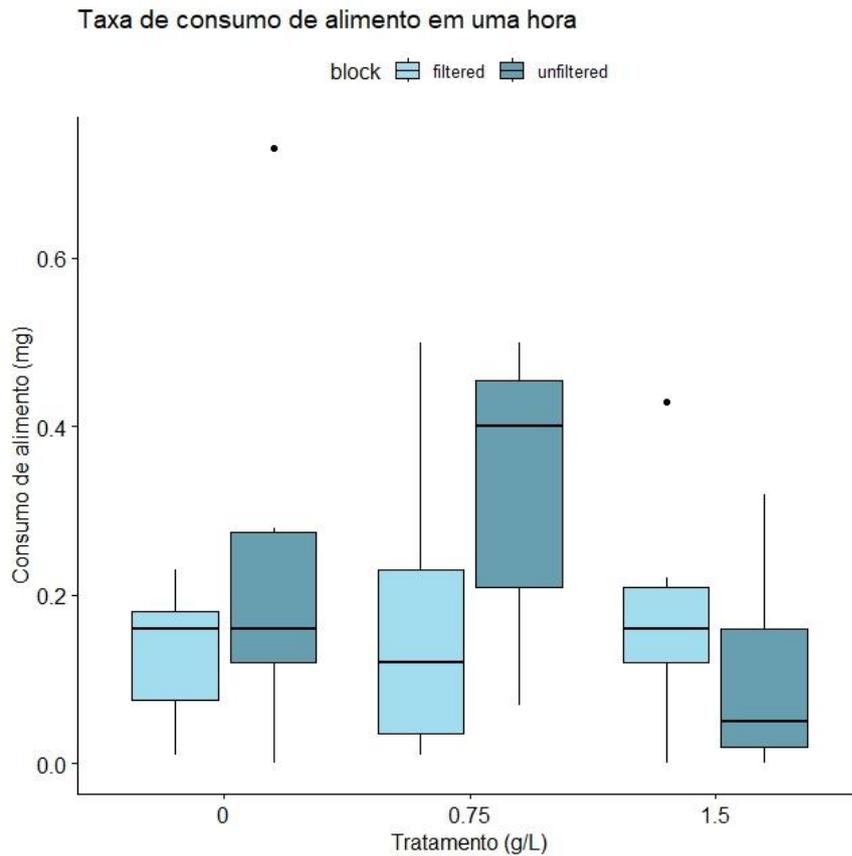


Variações comportamentais antes e após a exposição ao extrato aquoso de cinzas não-filtrado.

#### 4.4 CONSUMO DE ALIMENTO

Após o período de exposição às cinzas, inserimos uma porção de filé de peixe ( $2,51 \pm 0,32$  g) no centro de cada aquário. Após uma hora, o alimento foi retirado e pesado. Os resultados indicaram que não houve diferença significativa na taxa de consumo de alimento entre os tratamentos ( $f = 1,514$ ;  $p = 0,234$ ) nem entre os protocolos de produção de extrato aquoso utilizados ( $f = 1,762$ ;  $p = 0,193$ ). Da mesma forma, a interação entre os diferentes tratamentos e blocos não apresentou significância estatística ( $f = 2,078$ ;  $p = 0,140$ ) (Figura 9).

Figura 9 – Taxa de consumo de alimento



Varição do consumo de alimento (1h) entre os diferentes blocos e tratamentos

## 5 DISCUSSÃO

Este estudo buscou simular, em condições controladas, a chegada de cinzas na água provenientes de incêndios dos campos de altitude da Serra Geral, e avaliar seu potencial tóxico subletal em organismos aquáticos. Mais especificamente, investigou o papel das cinzas na biologia de *Aegla jaraí*, um importante crustáceo fragmentador da região. Os resultados indicaram que, nas concentrações utilizadas, as cinzas influenciaram, significativamente, apenas no padrão de tempo de deslocamento do organismo quando estimulado por alimento, ocorrendo apenas quando o extrato aquoso não continha sólidos em suspensão. Para uma melhor averiguação dos resultados, realizamos a caracterização química das cinzas produzidas, e observamos as alterações dos parâmetros físico-químicos da água.

As cinzas produzidas, resultantes da queima da biomassa vegetal típica dos campos de altitude da Serra Geral (majoritariamente, plantas do gênero *Andropogon* e, em menor quantidade, plantas do gênero *Baccharis*) (Bond-Buckup, 2010),

possuem, em sua composição, elementos em comum com cinzas de outras origens, como cinzas originadas a partir da biomassa queimada de *Pinus* e eucalipto (Pereira; Úbeda; Martin, 2012; Santos *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2015, p. 201) e vegetação típica do Cerrado brasileiro (Brito *et al.*, 2017). Com base nos elementos inorgânicos detectados, é possível observar a presença de alguns metais, como alumínio (Al), cobre (Cu) e zinco (Zn). Estes metais, em grandes quantidades, são potencialmente tóxicos à crustáceos de água doce (Castelhana Gebara *et al.*, 2021; Shuhaimi-Othman *et al.*, 2011), com dados na literatura referente à toxicidade do cobre para crustáceos do gênero *Aegla* (Rosa; Martinez, 2021). Além disso, elementos como potássio (K), magnésio (Mg) e fósforo (P) podem contribuir para o processo de eutrofização dos corpos aquáticos caso estejam em concentrações elevadas (Piranti; Wibowo; Rahayu, 2021). A presença de 8 HPAs na composição das cinzas também indicam seu potencial tóxico para os organismos aquáticos. Os HPAs são moléculas orgânicas resistentes à degradação, que podem persistir por longos períodos no ambiente, acumulando-se nos corpos aquáticos (Alegbeleye; Opeolu; Jackson, 2017). Todos os HPAs encontrados nas cinzas estão na lista prioritária da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), sendo dois deles prováveis carcinogênicos humanos: Criseno e Benzo[a]antraceno (Bojes; Pope, 2007). Devido a isso, e a sua propensão à biomagnificação (Yakan *et al.*, 2017), os HPAs podem colocar em risco a saúde humana. A exposição aos HPAs encontrados nas cinzas em maior quantidade, Pireno e Fenantreno, também geram efeitos negativos na biota aquática, reduzindo a taxa de alimentação dos organismos, por exemplo (Simão *et al.*, 2020).

As alterações dos parâmetros físico-químicos da água são suficientes para impactar a biodiversidade aquática de forma independente (Beaune *et al.*, 2018; DeWhatley; Alexander, 2018; Hosseinian Yousefkhani; Yasser; Naser, 2022). Os incêndios em vegetações, ao removerem a cobertura vegetal, têm a capacidade de modificar o microclima local e induzir mudanças nas características da água ao transportarem as cinzas geradas pelo fogo para os corpos aquáticos (Gomez Isaza; Cramp; Franklin, 2022).

Os resultados obtidos neste estudo corroboram com a literatura em relação ao aumento nos níveis de pH e na condutividade elétrica (Morales *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2016). Outros estudos relatam o aumento da temperatura da água no ambiente após um incêndio, no entanto, isso ocorre por efeitos indiretos do distúrbio

causado pelo fogo, estando relacionada com a remoção da cobertura vegetal e a incidência de luz solar resultante desse processo (Beakes *et al.*, 2014), não sendo influenciada pelas cinzas produzidas pelo fogo. Os níveis de oxigênio dissolvido na água tendem a diminuir devido à solubilização das cinzas (Brito *et al.*, 2021), no entanto, no presente estudo, os níveis de oxigênio dissolvido não diferiram significativamente entre os tratamentos empregados, uma vez que foram influenciados pela ação de compressores de ar, utilizadas no ensaio ecotoxicológico para evitar óbitos dos organismos-teste em decorrência da baixa oxigenação. Este método foi importante devido à alta sensibilidade de crustáceos eglídeos ao estresse oxidativo (Bueno; Shimizu; Moraes, 2016).

Os diferentes protocolos de produção de extrato aquoso de cinzas serviram para simular as distintas formas que as cinzas chegam na água: dissolvida ou particulada. Com o intuito de averiguar os efeitos das cinzas no comportamento de *Aegla jaraí*, foram introduzidos três estímulos no aquário para promover o deslocamento dos organismos-teste. Devido à natureza variável e individual desse comportamento, as mesmas unidades experimentais foram estimuladas tanto antes quanto após a exposição às cinzas. Além disso, a experimentação foi realizada sob luz branca, o que pode ter influenciado no tempo de deslocamento dos organismos, que possuem hábitos noturnos. É importante salientar, ainda, que o sexo dos organismos não foi levado em consideração. Este seria um fator importante de ser analisado devido às variações comportamentais entre os diferentes sexos, principalmente em relação ao comportamento agonístico.

O primeiro estímulo empregado, denominado “agonístico”, não obteve variações significativas em nenhum dos tratamentos e protocolos realizados. Para a coleta de dados, foi utilizado o estudo de descrição do comportamento agonístico realizado para *Aegla longirostri* (Araújo; Santos; Ayres-Peres, 2011). É possível observar, no entanto, o tempo reduzido de deslocamento realizado pelos indivíduos neste estímulo em comparação com os outros estímulos testados, isso porque, muitas vezes, o deslocamento dos organismos-teste foi realizado apenas de maneira aversiva (fuga ou ataque físico), o que, pela metodologia empregada, caracterizaria a finalização do estímulo testado.

O segundo estímulo introduzido na unidade experimental explorou a natureza bentônica do organismo-teste, que tende a se refugiar sob rochas durante o dia (Trevisan; Zanetti Marochi; Masunari, 2014). O estímulo mostrou a propensão de *A.*

*jaraí* a buscar o refúgio, que poderia ser afetado pelas cinzas solubilizadas. No entanto, não foram observadas variações significativas no tempo de deslocamento do organismo-teste entre os períodos antes e depois da exposição às cinzas, de ambos os tratamentos e protocolos adotados.

O estímulo alimentar, introduzido por último nos aquários, revelou variações significativas entre os tratamentos quando exposto ao extrato aquoso filtrado do bioensaio. No entanto, essa diferenciação não foi observada quando o extrato aquoso de cinzas continha sólidos em suspensão, embora seja possível notar uma tendência de aumento no tempo de deslocamento quando os indivíduos estavam expostos às cinzas deste protocolo. Essa ausência de variação pode ser atribuída à possível interferência dos sólidos em suspensão, que pode ter afetado a percepção do organismo-teste ao alimento na unidade experimental, resultando na falta de estímulo para o deslocamento do organismo.

Estudos ecotoxicológicos investigando outros poluentes (e.g. pesticidas, fármacos e metais) já constataram a redução na alimentação para invertebrados aquáticos, como crustáceos (Torres-Pérez; Pérez-Reyes, 2023), moluscos (Lebreton *et al.*, 2021) e planárias (Rodrigues *et al.*, 2016). Ao término dos estímulos comportamentais, a taxa de consumo de alimento de *A. jaraí*, sob influência das cinzas, foi averiguada. Foi constatado que o consumo de alimento dos organismos-teste não diferiu significativamente entre os tratamentos e protocolos testados. Esta é uma resposta comportamental importante, pois qualquer redução significativa pode retardar a degradação da matéria orgânica do ecossistema e impactar seu processo de ciclagem (Leclercq-Dransart *et al.*, 2019). Isso é especialmente relevante em um organismo que atua como um engenheiro do ecossistema, como os eglídeos, responsáveis por fragmentar o material alóctone, influenciar a sedimentação por bioturbação e moldar comunidades bentônicas (Cogo; Biasi; Santos, 2014).

A ausência de efeitos significativos das cinzas sobre o comportamento dos organismos, à exceção do comportamento 'Busca por Alimento', pode ter ocorrido porque: 1) *A. jaraí* é uma espécie tolerante à contaminação da água por cinzas; 2) As concentrações de cinzas utilizadas não foram altas o suficiente para causar impacto significativo nos organismos-teste; 3) O tempo de exposição dos organismos às cinzas não foi suficiente para causar danos visíveis no comportamento e 4) Substâncias tóxicas das cinzas oriundas da queima da

biomassa vegetal dos campos de altitude da Serra Geral estão em menor quantidade do que o observado em cinzas de outras origens.

Com base nisso, as baixas concentrações de cinzas utilizadas na experimentação podem simular o que ocorre quando o manejo do fogo é aplicado nos campos de altitude da Serra Geral. A queima periódica da biomassa vegetal seca é fundamental para a rebrota dos campos (Sühs; Giehl; Peroni, 2020), para a manutenção e preservação dos mosaicos do ecossistema (Jeske-Pieruschka *et al.*, 2010) e funciona como um método preventivo contra incêndios de grandes proporções (Sühs *et al.*, 2021), que produzem cinzas em maiores quantidades, num período de tempo menor e, devido à alta intensidade do fogo, com potencial tóxico maior (Bodí *et al.*, 2014).

## **6 CONCLUSÃO**

O presente estudo buscou simular, em condições controladas, a introdução das cinzas oriundas da queima da biomassa vegetal típica dos campos de altitude da Serra Geral nos ecossistemas aquáticos. Para isso, testou experimentalmente seus efeitos em *Aegla jaraí*, um crustáceo sensível às alterações ambientais presente na região. Os resultados indicaram que, nas concentrações utilizadas, as cinzas não alteram o comportamento padrão dos organismos, exceto quando estimulados por alimento não influenciado pelas partículas das cinzas. Os resultados dessa pesquisa podem subsidiar gestores dos campos de altitude da Serra Geral quanto ao uso do fogo controlado, que possui menor ameaça à conservação da biodiversidade aquática e reduz a probabilidade de contaminação da água por cinzas provenientes de incêndios de grandes proporções. Ademais, mais estudos são necessários para um melhor entendimento da toxicidade das cinzas oriundas da queima da biomassa vegetal típica dos campos de altitude da Serra Geral.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, Isabel Oliveira *et al.* Multibiomarker interactions to diagnose and follow-up chronic exposure of a marine crustacean to Hazardous and Noxious Substances (HNS). **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 242, p. 1137–1145, 2018.
- ALEGBELEYE, Oluwadara Oluwaseun; OPEOLU, Beatrice Oluwatoyin; JACKSON, Vanessa Angela. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Critical Review of Environmental Occurrence and Bioremediation. **Environmental Management**, [s. l.], v. 60, n. 4, p. 758–783, 2017.
- ARAÚJO, Paula B.; SANTOS, Sandro; AYRES-PERES, Luciane. Description of the Agonistic Behavior of *Aegla longirostri* (Decapoda: Aeglidae). **Journal of Crustacean Biology**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 379–388, 2011.
- ASFAW, Henok Workeye; MCGEE, Tara K.; CORREIA, Fernando Jorge. Wildfire preparedness and response during the 2016 Arouca wildfires in rural Portugal. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 73, p. 102895, 2022.
- BEAKES, Michael P. *et al.* Wildfire and the effects of shifting stream temperature on salmonids. **Ecosphere**, [s. l.], v. 5, n. 5, p. 1–14, 2014.
- BEAUNE, David *et al.* Freshwater acidification: an example of an endangered crayfish species sensitive to pH. **Hydrobiologia**, [s. l.], v. 813, n. 1, p. 41–50, 2018.
- BEHLING, Hermann. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, [s. l.], v. 177, n. 1–2, p. 19–27, 2002.
- BERLIN RUBIN, Nina; WONG-PARODI, Gabrielle. As California burns: the psychology of wildfire- and wildfire smoke-related migration intentions. **Population and Environment**, [s. l.], v. 44, n. 1–2, p. 15–45, 2022.
- BODÍ, Merche B. *et al.* Wildland fire ash: Production, composition and eco-hydro-geomorphic effects. **Earth-Science Reviews**, [s. l.], v. 130, p. 103–127, 2014.
- BOJES, Heidi K.; POPE, Peter G. Characterization of EPA's 16 priority pollutant polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in tank bottom solids and associated contaminated soils at oil exploration and production sites in Texas. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, [s. l.], v. 47, n. 3, p. 288–295, 2007.
- BOND-BUCKUP, Georgina (org.). Porto Alegre, RS, **Biodiversidade dos Campos de Cima da Serra**. 2a edição. Porto Alegre, RS: Libretos, 2010.
- BRAGA, Mariana Araki *et al.* Cytotoxicity and enzymatic biomarkers as early indicators of benthic responses to the soluble-fraction of diesel oil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s. l.], v. 164, p. 21–31, 2018.
- BRITO, Darlan Q. *et al.* Aquatic ecotoxicity of ashes from Brazilian savanna wildfires. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 24, n. 24, p. 19671–19682, 2017.

BRITO, Darlan Q. *et al.* Short-Term Effects of Wildfire Ash on Water Quality Parameters: A Laboratory Approach. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, [s. l.], v. 107, n. 3, p. 500–505, 2021.

BUENO, Sérgio L S *et al.* AVALIAÇÃO DOS EGLÍDEOS (DECAPODA: AEGLIDAE). [s. l.], 2016.

BUENO, Sérgio Luiz De Siqueira; SHIMIZU, Roberto Munehisa; MORAES, Juliana Cristina Bertacini. A Remarkable Anomuran: The Taxon *Aegla* Leach, 1820. Taxonomic Remarks, Distribution, Biology, Diversity and Conservation. *In*: KAWAI, Tadashi; CUMBERLIDGE, Neil (org.). **A Global Overview of the Conservation of Freshwater Decapod Crustaceans**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 23–64. Disponível em: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-42527-6\\_2](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-42527-6_2). Acesso em: 18 nov. 2023.

CAMPOS, I. *et al.* Assessment of the toxicity of ash-loaded runoff from a recently burnt eucalypt plantation. **European Journal of Forest Research**, [s. l.], v. 131, n. 6, p. 1889–1903, 2012.

CARVALHO, Francisco *et al.* Wildfire impacts on freshwater detrital food webs depend on runoff load, exposure time and burnt forest type. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 692, p. 691–700, 2019.

CASTELHANO GEBARA, Renan *et al.* Toxicity and Risk Assessment of Zinc and Aluminum Mixtures to *Ceriodaphnia silvestrii* (Crustacea: Cladocera). **Environmental Toxicology and Chemistry**, [s. l.], v. 40, n. 10, p. 2912–2922, 2021.

CAUMO, Sofia *et al.* Human risk assessment of ash soil after 2020 wildfires in Pantanal biome (Brazil). **Air Quality, Atmosphere & Health**, [s. l.], v. 15, n. 12, p. 2239–2254, 2022.

CERDÀ, Artemi; DOERR, Stefan H. The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period. **CATENA**, [s. l.], v. 74, n. 3, p. 256–263, 2008.

CEREZER, Cristina *et al.* Influence of pesticides and abiotic conditions on biochemical biomarkers in *Aegla* aff. *longirostri* (Crustacea, Anomura): Implications for conservation. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s. l.], v. 203, p. 110982, 2020.

COBELO, Igor *et al.* The impact of wildfires on air pollution and health across land use categories in Brazil over a 16-year period. **Environmental Research**, [s. l.], v. 224, p. 115522, 2023.

COGO, Gláucia Bolzan; BIASI, Cristiane; SANTOS, Sandro. The effect of the macroconsumer *Aegla longirostri* (Crustacea, Decapoda) on the invertebrate community in a subtropical stream. **Acta Limnologica Brasiliensia**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 143–153, 2014.

COPATTI, C. E. *et al.* Method of capture and population structure of *Aegla georginae* Santos and Jara, 2013 (Decapoda: Anomura: Aeglidae) in a tributary of the Ibicuí

River in southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, [s. l.], v. 76, n. 4, p. 1035–1042, 2016.

CORREA-ARANEDA, Francisco; CONTRERAS, Angel; DE LOS RÍOS, Patricio. Amphipoda and Decapoda as potential bioindicators of water quality in an urban stream (38°S, Temuco, Chile). **Crustaceana**, [s. l.], v. 83, n. 8, p. 897–902, 2010.

DAL PONT, Giorgi *et al.* Acute exposure to the water-soluble fraction of gasoline (WSFG) affects oxygen consumption, nitrogenous-waste and Mg excretion, and activates anaerobic metabolism in the goldfish *Carassius auratus*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, [s. l.], v. 226, p. 108590, 2019.

DAMASCENO, Jadilson M. *et al.* Exposure to the Insecticide Sulfoxaflor Affects Behaviour and Biomarkers Responses of *Carcinus maenas* (Crustacea: Decapoda). **Biology**, [s. l.], v. 10, n. 12, p. 1234, 2021.

DEWHATLEY, Megan C.; ALEXANDER, James E. Impacts of elevated water temperatures on righting behavior and survival of two freshwater caenogastropod snails. **Marine and Freshwater Behaviour and Physiology**, [s. l.], v. 51, n. 4, p. 251–262, 2018.

ENELL, Anja *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons in ash: Determination of total and leachable concentrations. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 152, n. 2, p. 285–292, 2008.

FIGUEIREDO, Rui; PAUPÉRIO, Esmeralda; ROMÃO, Xavier. Understanding the Impacts of the October 2017 Portugal Wildfires on Cultural Heritage. **Heritage**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 2580–2598, 2021.

GOLDONI, Angélica; PACHECO, Marcelo Rech; DA SILVA, Luciano Basso. Comet assay in *Aegla platensis* (Decapoda: Anomura) using a non-lethal hemolymph field sampling for in situ monitoring of freshwater genotoxicity. **Ecotoxicology**, [s. l.], v. 32, n. 2, p. 160–165, 2023.

GOMEZ ISAZA, Daniel F.; CRAMP, Rebecca L.; FRANKLIN, Craig E. Fire and rain: A systematic review of the impacts of wildfire and associated runoff on aquatic fauna. **Global Change Biology**, [s. l.], v. 28, n. 8, p. 2578–2595, 2022.

GONINO, Gabriel M.R. *et al.* Fire increases the productivity of sugarcane, but it also generates ashes that negatively affect native fish species in aquatic systems. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 664, p. 215–221, 2019.

HAQUE, K M Shamsul *et al.* Wildfires in Australia: a bibliometric analysis and a glimpse on 'Black Summer' (2019/2020) disaster. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 30, n. 29, p. 73061–73086, 2023.

HOSSEINIAN YOUSEFKHANI, Seyyed Saeed; YASSER, Amaal; NASER, Murtada. Impact of abiotic factors and road networks on the freshwater turtle *Emys orbicularis* (Linnaeus, 1758) (Reptilia: Emydidae) in northern Iran. **Biologia Futura**, [s. l.], v. 73, n. 3, p. 335–341, 2022.

ICMBIO. Plano de Manejo Integrado do Fogo do Parque Nacional do Itatiaia. 2017. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/parnaitatiaia/images/stories/2020/Protecao/PMIF/PMIF\\_PARNA\\_Itatiaia\\_2017.pdf](https://www.icmbio.gov.br/parnaitatiaia/images/stories/2020/Protecao/PMIF/PMIF_PARNA_Itatiaia_2017.pdf). Acesso em: 16 nov. 2023

INPE. **Queimadas:** Situação atual. 2023. Disponível em: [http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/situacao\\_atual/](http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/situacao_atual/). Acesso em: 16 nov. 2023.

IPBES. **The global assessment report on biodiversity and ecosystem services:** Summary for policymakers. 2019. Disponível em: [https://ipbes.net/sites/default/files/inline/files/ipbes\\_global\\_assessment\\_report\\_summary\\_for\\_policymakers.pdf](https://ipbes.net/sites/default/files/inline/files/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers.pdf). Acesso em: 05 dez. 2022.

IPCC. **Climate change widespread, rapid, and intensifying.** 2021. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC\\_WGI-AR6-Press-Release\\_en.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release_en.pdf). Acesso em: 16 nov. 2022.

JESKE-PIERUSCHKA, Vivian *et al.* Araucaria forest dynamics in relation to fire frequency in southern Brazil based on fossil and modern pollen data. **Review of Palaeobotany and Palynology**, [s. l.], v. 160, n. 1–2, p. 53–65, 2010.

KGANYAGO, Mahlatse *et al.* Study on blazing wildfires at the outeniqua pass in South Africa during the october/november 2018 period. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, [s. l.], v. 21, p. 100464, 2021.

LEBRETON, Morgane *et al.* Low concentrations of oxazepam induce feeding and molecular changes in *Radix balthica* juveniles. **Aquatic Toxicology**, [s. l.], v. 230, p. 105694, 2021.

LECLERCQ-DRANSART, J. *et al.* Isopod physiological and behavioral responses to drier conditions: An experiment with four species in the context of global warming. **European Journal of Soil Biology**, [s. l.], v. 90, p. 22–30, 2019.

LEÓN, Javier *et al.* The contrasted response of ash to wetting. **Geoderma**, [s. l.], v. 209–210, p. 143–152, 2013.

LIU, Yongqiang; STANTURF, John; GOODRICK, Scott. Trends in global wildfire potential in a changing climate. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 259, n. 4, p. 685–697, 2010.

MESQUITA, Andreia F. *et al.* Effects of wildfire ash on the growth and biochemical profiles of the aquatic macrophyte *Lemna minor*. **Aquatic Toxicology**, [s. l.], v. 250, p. 106245, 2022.

MORALES, Jenny J. *et al.* Fire and water: fire impacts on physicochemical properties of freshwater ecosystems. **Fundamental and Applied Limnology**, [s. l.], v. 196, n. 2, p. 137–153, 2023.

MUÑIZ GONZÁLEZ, Ana-Belén *et al.* Effects of wildfire ashes on aquatic invertebrates: First molecular approach on *Chironomus riparius* larvae. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 858, p. 159899, 2023.

NUNES, Bruno *et al.* Off-site impacts of wildfires on aquatic systems — Biomarker responses of the mosquitofish *Gambusia holbrooki*. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 581–582, p. 305–313, 2017.

OO, Hay Mon *et al.* Physicochemical characterization of forest and sugarcane leaf combustion's particulate matters using electron microscopy, EDS, XRD and TGA. **Journal of Environmental Sciences**, [s. l.], v. 99, p. 296–310, 2021.

ORTEGA FERNÁNDEZ, Lina María *et al.* Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons extracted from lichens by gas chromatography–mass spectrometry. **MethodsX**, [s. l.], v. 9, p. 101836, 2022.

OVERBECK, G *et al.* Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 101–116, 2007.

PEREIRA, Paulo; ÚBEDA, Xavier; MARTIN, Deborah A. Fire severity effects on ash chemical composition and water-extractable elements. **Geoderma**, [s. l.], v. 191, p. 105–114, 2012.

PILLAR, Valério De Patta; VÉLEZ, Eduardo. Extinção dos Campos Sulinos em Unidades de Conservação: um Fenômeno Natural ou um Problema ético?. **Natureza & Conservação**, [s. l.], v. 08, n. 01, p. 84–86, 2010.

PIRANTI, Agatha; WIBOWO, Dwi; RAHAYU, Diana. Nutrient Determinant Factor of Causing Algal Bloom in Tropical Lake (Case Study in Telaga Menjer Wonosobo Indonesia). **Journal of Ecological Engineering**, [s. l.], v. 22, n. 5, p. 156–165, 2021.

RE, Ana *et al.* Cytotoxic effects of wildfire ashes: In-vitro responses of skin cells. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 285, p. 117279, 2021.

RODRIGUES, Andreia C.M. *et al.* Behavioural responses of freshwater planarians after short-term exposure to the insecticide chlorantraniliprole. **Aquatic Toxicology**, [s. l.], v. 170, p. 371–376, 2016.

ROSA, Jheimison Junior Da Silva; MARTINEZ, Claudia Bueno Dos Reis. Short communication: Effects of acute copper exposure on ionic regulation of the freshwater crab *Aegla castro*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, [s. l.], v. 248, p. 109106, 2021.

SÁNCHEZ-GARCÍA, C. *et al.* Chemical characteristics of wildfire ash across the globe and their environmental and socio-economic implications. **Environment International**, [s. l.], v. 178, p. 108065, 2023.

SANTÍN, Cristina *et al.* Quantity, composition and water contamination potential of ash produced under different wildfire severities. **Environmental Research**, [s. l.], v. 142, p. 297–308, 2015.

SANTOS, Sandro *et al.* Diversity and conservation status of *Aegla* spp. (Anomura, Aeglidae): an update. **Nauplius**, [s. l.], v. 25, n. 0, 2017. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-64972017000100207&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-64972017000100207&lng=en&tlng=en). Acesso em: 10 maio 2023.

SANTOS, Diogo *et al.* Effects of aqueous extracts of wildfire ashes on tadpoles of *Pelophylax perezi*: Influence of plant coverage. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 854, p. 158746, 2023.

SHUHAIMI-OTHMAN, Mohammad *et al.* Sensitivity of the freshwater prawn, *Macrobrachium lanchesteri* (Crustacea: Decapoda), to heavy metals. **Toxicology and Industrial Health**, [s. l.], v. 27, n. 6, p. 523–530, 2011.

SILVA, Vera *et al.* Effects of ash-loaded post-fire runoff on the freshwater clam *Corbicula fluminea*. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 90, p. 180–189, 2016.

SILVA, Vera *et al.* Toxicity assessment of aqueous extracts of ash from forest fires. **CATENA**, [s. l.], v. 135, p. 401–408, 2015.

SIMÃO, Fátima C.P. *et al.* Toxicity of different polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) to the freshwater planarian *Girardia tigrina*. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 266, p. 115185, 2020.

SÜHS, Rafael Barbizan *et al.* The influence of fire and cattle grazing on *Araucaria* population structure in forest-grasslands mosaics. **Flora**, [s. l.], v. 281, p. 151853, 2021.

SÜHS, Rafael Barbizan; GIEHL, Eduardo Luís Hettwer; PERONI, Nivaldo. Preventing traditional management can cause grassland loss within 30 years in southern Brazil. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 783, 2020.

TANG, Weiyi *et al.* Widespread phytoplankton blooms triggered by 2019–2020 Australian wildfires. **Nature**, [s. l.], v. 597, n. 7876, p. 370–375, 2021.

TORRES-PÉREZ, Wesley X.; PÉREZ-REYES, Omar. Effect of Particle Size and Pesticide Contamination on Preference and Ingestion Rates by the Tropical Freshwater Shrimp &i>Xiphocaris elongata&/i>. **Open Journal of Ecology**, [s. l.], v. 13, n. 04, p. 183–198, 2023.

TREVISAN, André; ZANETTI MAROCHI, Murilo; MASUNARI, Setuko. Circadian rhythm in males of *Aegla schmitti* (Decapoda, Anomura, Aeglidae) under laboratory conditions. **Biological Rhythm Research**, [s. l.], p. 1–14, 2014.

TYMSTRA, Cordy *et al.* Wildfire management in Canada: Review, challenges and opportunities. **Progress in Disaster Science**, [s. l.], v. 5, p. 100045, 2020.

WARD, Michelle *et al.* Modelling the spatial extent of post-fire sedimentation threat to estimate the impacts of fire on waterways and aquatic species. **Diversity and Distributions**, [s. l.], v. 28, n. 11, p. 2429–2442, 2022.

YAKAN, S.D. *et al.* Numerical evaluation of bioaccumulation and depuration kinetics of PAHs in *Mytilus galloprovincialis*. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 220, p. 1244–1250, 2017.