



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Instituto de Biociências
Campus do Litoral Paulista



FLÁVIA APOLINÁRIO GALERA

**AVALIAÇÃO GENOTÓXICA DE COMPOSTOS ANTICORROSIVOS EM
MEXILHÕES PERNA PERNA**

**São Vicente - SP
2025**

FLÁVIA APOLINÁRIO GALERA

**AVALIAÇÃO GENOTÓXICA DE COMPOSTOS ANTICORROSIVOS EM
MEXILHÕES PERNA PERNA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Campus do Litoral Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de bacharel em Ciências Biológicas, com habilitação em Biologia Marinha.

Orientadora: Dra. Ana Carolina Feitosa Cruz

Coorientador: Denis Moledo de Souza Abessa

**São Vicente - SP
2025**

G154a Galera, Flávia Apolinário
Avaliação genotóxica de compostos anticorrosivos em mexilhões
Perna perna / Flávia Apolinário Galera. -- São Vicente, 2025
29 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências
Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de
Bióciências, São Vicente

Orientadora: Ana Carolina Feitosa Cruz
Coorientador: Denis Moledo de Souza Abessa

1. Nanopartículas. 2. Mexilhão. 3. Micronucleus. 4. Corrosão e
anticorrosivos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, em especial a minha mãe e minha irmã, por serem mulheres incríveis e meus eternos exemplos de determinação e perseverança. Eu não teria chegado aqui sem o apoio de vocês, obrigada!

Agradeço a minha orientadora, Carol, por ter me aceitado como orientada, por toda paciência e pelos ensinamentos desde o início da idealização e planejamento deste trabalho, passando pelos experimentos, até a sua conclusão, muito obrigada!

Ao Denis pela coorientação, por todas as dicas, conhecimentos compartilhados, e pela oportunidade de trabalhar com a ecotoxicologia, é um privilégio enorme aprender com você.

Ao NEPEA, por ter me recebido de portas abertas e ter possibilitado todas as condições e estrutura para execução dos experimentos, aos amigos de laboratório Bússola, Rabicó, Catu, Gua, agradeço por cada dia compartilhado, pelas muitas risadas e perrengues que passamos, obrigada pela generosidade de cada um e por me acolherem sempre que precisei. Agradeço especialmente a Bambam que viveu este trabalho junto comigo, estando do meu lado em todas as etapas, desde a montagem do experimento, até a sua escrita, sem nunca medir esforços para que tudo desse certo. Seu suporte foi fundamental, não tenho palavras para agradecer pela amizade e pela ajuda incondicional, obrigada!

Aos amigos queridos que fiz no CLP, Shibinha, Xulala, Letrudo, Carmem, Quente, obrigada por tornarem os dias mais fáceis e a vida mais leve durante minha graduação, amo todos vocês!

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram e acompanharam a execução deste trabalho, e que fazem parte da minha vida, muito obrigada!

Agradeço ao Instituto de Biociências, campus do Litoral Paulista da UNESP, pelas oportunidades oferecidas, em especial ao Auxílio Permanência Estudantil no qual fui contemplada por praticamente todo o período da minha graduação.

Agradeço a FAPESP pela minha bolsa iniciação científica (Processo 2024/06561-9), projeto no qual deu origem a este Trabalho de Conclusão de Curso, além da aprovação da BEPE (Processo 2025/00384-0) para Portugal que vai contribuir grandemente para minha formação profissional e pessoal.

RESUMO

A corrosão metálica pode ser definida como a deterioração de metais por meio de processos eletroquímicos e tem sido um grande problema enfrentado pela indústria de equipamentos e instalações marítimas em todo o mundo. A fim de evitar a corrosão, algumas técnicas podem ser aplicadas, destacando-se o uso de tintas anticorrosivas contendo substâncias químicas que inibem a corrosão. Entretanto, as substâncias anticorrosivas podem causar toxicidade para os organismos marinhos, o que faz com que alternativas mais ambientalmente amigáveis sejam necessárias. Dentre elas estão os anticorrosivos orgânicos, que possuem menor toxicidade em comparação aos inibidores inorgânicos, além de oferecerem desempenho igual ou superior. Estudos apontam que o gluconato de sódio (SG) possui considerável capacidade de inibição de corrosão; além disso, seu encapsulamento em hidróxidos de dupla camada contendo Zn-Al (Zn-Al LDH) é uma estratégia que vem sendo desenvolvida e visa possibilitar uma liberação mais controlada dos anticorrosivos para o ambiente. Indivíduos adultos (n = 10 por tratamento) foram expostos aos compostos de interesse, nas formas livres e nanoencapsuladas, em concentrações entre 0,3 mg/L e 10 mg/L. Após 96 horas e 14 dias de exposição, a hemolinfa foi retirada, sendo as células fixadas em lâminas de vidro, coradas e contadas as anormalidades para cada mil células para avaliação dos efeitos genotóxicos. Os resultados obtidos mostraram quantidade de células anormais abaixo dos 40‰ na exposição de 96 horas em todos os tratamentos (19,4‰ para o controle), e abaixo de 60‰ na exposição de 14 dias (38,2‰ para controle), também para todos os tratamentos. Porém, na exposição de 14 dias houve a morte de todos os animais no tratamento Zn-Al LDH SG nas duas maiores concentrações testadas, indicando efeitos agudos. Os dados não mostraram ação genotóxica, podendo assim outras vias de proteção terem sido ativadas, como os sistemas antioxidantes e de detoxificação. Porém, como houve efeito agudo do composto nanoencapsulado, são necessárias outras análises, como o uso de múltiplos biomarcadores, para melhor compreensão acerca da toxicidade das LDHs carregadas e vazias sobre organismos marinhos.

Palavras-chave: Anticorrosivos, mexilhões, *Perna perna*, micronúcleo, nanomateriais.

ABSTRACT

Metallic corrosion can be defined as the deterioration of metals through electrochemical processes and has been a major problem faced by the marine equipment and installation industry worldwide. In order to prevent it, several techniques can be applied, particularly the use of anti-corrosion paints containing chemicals that inhibit corrosion. However, anti-corrosion substances can be toxic to marine organisms, which makes more environmentally friendly alternatives necessary. Among these are organic anticorrosives, that have lower toxicity compared to inorganic inhibitors, in addition to offering equal or superior performance. Studies indicate that sodium gluconate (SG) has considerable corrosion inhibition capacity, and its encapsulation in double-layer hydroxides containing Zn-Al (Zn-Al LDH) is a strategy that has been developed and aims to enable a more controlled release of anticorrosives into the environment. This study evaluated the genotoxic effects of free and encapsulated SG (Zn-Al LDH SG) in the innovative nanomaterial Zn-Al LDH using the micronucleus test in *Perna perna* mussels. Adult individuals (n = 10 per treatment) were exposed to the compounds of interest, in free and nanoencapsulated forms, at concentrations between 0.3 mg/L and 10 mg/L. After 96 hours and 14 days of exposure, hemolymph was collected, the cells were fixed on glass slides, stained, and the abnormalities were counted for every thousand cells to assess genotoxic effects. Adult individuals (n = 10 per treatment) were exposed to the compounds of interest, in free and nanoencapsulated forms, at concentrations between 0.3 mg/L and 10 mg/L. After 96 hours and 14 days of exposure, hemolymph was collected, the cells were fixed on glass slides, stained, and the abnormalities were counted for every thousand cells to assess genotoxic effects. The results showed a quantity of abnormal cells below 40‰ after 96 hours of exposure in all treatments (19.4‰ for the control), and below 60‰ after 14 days of exposure (38.2‰ for the control), also for all treatments. However, after 14 days of exposure, all animals died in the Zn-Al LDH SG treatment at the two highest concentrations tested, indicating acute effects. The data did not show genotoxic action, suggesting that other protective pathways may have been activated, such as antioxidant and detoxification systems. However, since there was an acute effect of the nanoencapsulated compound, further analyses, such as multiple biomarkers, are necessary for a better understanding of the toxicity of loaded and empty LDHs on marine organisms.

Keywords: Anticorrosives, mussels, *Perna perna*, micronucleos, nanomaterials.

SUMÁRIO

Resumo.....	5
Abstract.....	6
1. Introdução	8
2. Objetivo Geral.....	12
3. Materiais e métodos	13
4. Resultados e discussão	16
4.1 – Taxa de sobrevivência	16
4.2 – Dano celular	17
5. Conclusão.....	20
6. Referências Bibliográficas.....	22
7. Anexos	26

1. Introdução

A corrosão metálica é a deterioração de metais por meio de processos eletroquímicos (Chang; Goldsby, 2013) e tem sido um grande problema enfrentado pela indústria de equipamentos e instalações marítimas em todo o mundo. Segundo a Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO), foi estimado que a corrosão tivesse um custo anual de 3 % do PIB, aproximadamente R\$ 280 bilhões (2018). Um relatório divulgado pelo *Battelle Research* (Columbus, Ohio) e pela *Specialty Steel Industry of North America* indicou que é possível economizar aproximadamente 100 bilhões de dólares a partir da adoção de estratégias para gerenciar o problema, desde que se opte por materiais resistentes à corrosão e se implementem medidas de proteção desde a fase de projeto até a manutenção das estruturas (Gentil, 2011).

Dentre as técnicas usadas para a proteção anticorrosiva em materiais utilizados pela indústria estão a passivação ou polarização do material. Tais técnicas incluem o uso de revestimentos, inibidores de corrosão (IC), métodos de alteração do ambiente, além da proteção tanto catódica quanto anódica (Frauches-Santos et al., 2014). Revestimentos anticorrosivos funcionam essencialmente como películas aplicadas sobre superfícies metálicas, projetadas para criar uma barreira que limite o contato dessas superfícies com os agentes corrosivos. Essa aplicação tem como finalidade proteger o material da ação dos agentes corrosivos, com o objetivo de prolongar a vida útil do metal (Pinheiro; Silva, 2015). A utilização de revestimentos é um dos métodos mais econômicos e eficazes para proteger estruturas e equipamentos de aço contra a corrosão, e a simplicidade tanto na aplicação quanto em sua manutenção torna a pintura a escolha mais prática para preservar essas superfícies (Gnecco, 2015).

Contudo, os compostos anticorrosivos usados nesses revestimentos podem apresentar toxicidade para os organismos marinhos dependendo das suas propriedades e da quantidade em que são liberados no ambiente. No mercado, encontramos uma variedade de tipos de IC, podendo ser compostos por substâncias orgânicas ou inorgânicas. Há algumas décadas, os compostos derivados de cromato eram os inibidores de corrosão mais eficazes usados em tintas. Porém, em 2007, o seu uso foi proibido na União Europeia devido a sua elevada toxicidade e propriedades carcinogênicas (Martins et al., 2017). Por sua vez, os inibidores orgânicos têm atraído crescente atenção em pesquisas, devido à sua menor toxicidade em comparação aos inibidores inorgânicos, além de oferecerem um desempenho igual ou superior, mesmo em concentrações mais baixas (Machado Fernandes et al., 2022).

Touir et al. (2008) apontam que o gluconato de sódio (SG), de fórmula química $C_6H_{11}NaO_7$ (figura 1), possui considerável capacidade de inibição de incrustações e de corrosão, ao mesmo

tempo em que suprime o crescimento de microrganismos, o que faz desta substância uma alternativa eficaz como anticorrosivo, pois oferece o benefício adicional de também ser anti-incrustante. A inibição da corrosão pode ocorrer pela adsorção de ânions de gluconato e consequente formação de uma espécie de filme protetor na superfície metálica, o que acontece devido a ação quelante presente nos grupos funcionais do SG que suprem a ação anódica retardando assim a corrosão (Li et al., 2015; Serdaroglu; Kaya; Tourir, 2020)

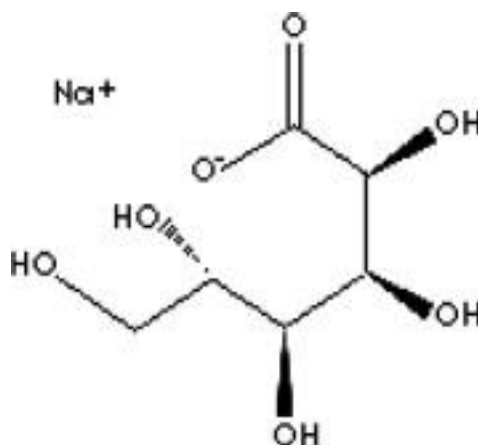


Figura 1 - Fórmula química do gluconato de sódio (Tourir et al., 2008).

As demandas da indústria por aumento da segurança, vida útil e eficiência das formulações atuais de tintas anticorrosivas, influenciadas pelas legislações ambientais e pela forte competição global, levaram ao desenvolvimento de abordagens nanotecnológicas alternativas (Almeida; Diamantino; De Sousa, 2007), com objetivo de aprimorar os produtos anticorrosivos. Os trabalhos de Figueiredo et al. (2019) e Tornero e Hanke (2016) indicam que os anticorrosivos orgânicos também podem causar efeitos adversos indesejados em alguns organismos. Desta forma, são necessários mais estudos envolvendo tais substâncias para compreendermos melhor sua toxicidade, permitindo assim um contínuo desenvolvimento de alternativas ecologicamente viáveis para reduzir a corrosão.

Estratégias mais recentes envolvem a incorporação dos ICs em nanomateriais projetados, por meio de encapsulação ou imobilização. Esse procedimento traz a vantagem de prevenir a interação direta dos compostos ativos com as formulações de tintas, possibilitando sua liberação controlada em condições específicas, como a degradação do revestimento e variações de pH. Conseqüentemente, as estruturas de encapsulamento são rotuladas como "nanocontêineres inteligentes" e compreendem nanopartículas inorgânicas, cápsulas poliméricas e argilas de troca iônica (Zheludkevich; Tedim; Ferreira, 2012).

O grupo das nanocápsulas inclui as mesoporosas de sílica (SiNC), e as nanoargilas, que são os hidróxidos de dupla camada (LDH) contendo Zn-Al (Zn-Al LDH) (Martins et al., 2017), entre outras, e as quais vêm sendo testadas para diversas finalidades, incluindo o encapsulamento de compostos inibidores de corrosão. Os LDHs são materiais considerados de simples síntese além de serem de baixo custo para produção em escala industrial. A preparação deste tipo de material pode ser feita com propriedades físicas e químicas específicas, se adequando assim a diversas aplicações (Forano et al., 2006).

Dentre as características das LDHs podemos destacar sua capacidade de autorreparação, alta adesão ao substrato, além de propriedades de troca aniônica que permite a elas a liberação controlada de inibidores enquanto capturam íons reativos (Zheludkevich; Tedim; Ferreira, 2012). A estrutura da nanoargila consiste no empilhamento de camadas de hidróxidos metálicos mistos com carga positiva, que contém cátions metálicos divalentes e trivalentes, que são estabilizados por ânions (como nitratos LDH-NO₃) posicionados nas camadas intermediárias carregadas positivamente (Tedim et al., 2011), como mostrado na figura 2.

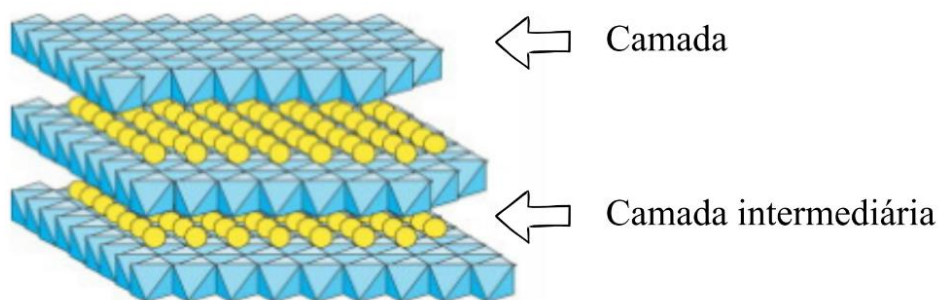


Figura 2 - Esquema representativo de uma nanocápsula de hidróxidos de dupla camada (adaptado de Forano et al., 2006).

A toxicidade dos nanomateriais pode surgir a partir do estímulo da produção de espécies reativas de oxigênio que induzem o estresse oxidativo celular, ou de interações diretas entre esses materiais, seus produtos de dissolução (íons metálicos liberados) e proteínas. O estresse oxidativo pode causar danos a lipídios, membranas, carboidratos e ao DNA por meio da formação de ligações dissulfeto, oxidação da metionina e carbonilação de resíduos de aminoácidos, promovendo o acúmulo de nanopartículas (Bundschuh et al., 2018; Callaghan; MacCormack, 2017).

Os bivalves da família Mytilidae são amplamente reconhecidos como excelentes organismos para o biomonitoramento, pois são capazes de acumular substâncias químicas, como hidrocarbonetos e metais, em seus tecidos, e terem sua biologia e fisiologia relativamente bem conhecidos (Pereira et al., 2007). Sua ampla distribuição geográfica e alta abundância permitem a

realização de estudos comparativos em diferentes regiões e ao longo do tempo. Além disso, esses organismos não apresentam mobilidade na fase adulta e frequentemente ocorrem incrustados em superfícies de barcos, plataformas e dutos, o que facilita a avaliação da qualidade ambiental em áreas específicas (Oehlmann; Schulte-Oehlmann, 2003; Weber; Da Conceição, 2008), já que esses organismos são alvos potenciais da exposição por inibidores de corrosão.

O mexilhão *Perna perna*, espécie base da mitilicultura no Brasil, possui ampla distribuição geográfica e é encontrado com abundância em quase toda a extensão do litoral brasileiro (Rios, 2009). Além disso, possui altas taxas de filtração, sendo considerados ótimos indicadores de contaminação ambiental (Pereira et al., 2007), além de exibirem uma resposta rápida, em níveis molecular, bioquímico, citológico, e fisiológico, quando expostos a determinados contaminantes (Moreno, 2017). Esta espécie tem sido usada em inúmeros estudos voltados a identificar e quantificar os efeitos tóxicos de substâncias químicas, como no desenvolvimento embrionário sob o efeito de diversos fármacos, como triclosan (Carvalho et al., 2011), fluoxetina e amoxicilina (Bento, 2015), no biomonitoramento de metais tóxicos (Carvalho et al., 2001; Almeida et al., 2003; Semmler, 2007; Pereira et al., 2007), em estudos sobre efeitos fisiológicos de microplásticos (Ascer, 2015), toxicidade de pellets plásticos em testes com embriões (Mukai, 2023), entre outros.

Os testes de biomarcadores são análises capazes de identificar e medir alterações biológicas resultantes da exposição de organismos a agentes estressores, como poluentes e contaminantes ambientais. Essas alterações podem ser detectadas em diferentes níveis biológicos, podendo ser a nível molecular, bioquímico, histológico, fisiológico, celular, etc. (Ríos et al., 2016; Silva; Santos, 2024). A partir disso, os bioensaios de genotoxicidade são utilizados para determinar se determinados compostos causam fragilidades na estrutura cromossômica, danos ou mutações no DNA nuclear, alterando assim sua estrutura físico-química (Roberto et al., 2016).

Dentre as diversas maneiras usadas para identificar efeitos genotóxicos em organismos marinhos, a técnica de micronúcleo se destaca por ser simples, rápida e por sua alta sensibilidade (Sánchez-Galán et al., 1998). Os mecanismos de indução dos MNs por contaminantes ou poluentes incluem estresse oxidativo, ligação direta ao DNA ou à maquinaria mitótica, interferência com o ciclo celular, além de efeito sobre microtúbulos (Freitas; Uchôa; Magalhães, 2020; Koba-Ucun et al., 2021). O micronúcleo (MN) pode ser definido como uma pequena massa nuclear circundada por membrana e separada do núcleo principal (figura 3). Sua formação ocorre durante a telófase da mitose ou meiose, quando o envelope nuclear se reconstitui ao redor dos cromossomos das células filhas. Estes micronúcleos surgem de fragmentos cromossômicos acêntricos ou de cromossomos inteiros que não foram incorporados ao núcleo principal. Dessa forma, o

micronúcleo representa uma perda de cromatina devido a danos estruturais nos cromossomos (fragmentação) ou danos no aparelho mitótico (Kirsch-Volders et al., 2002).

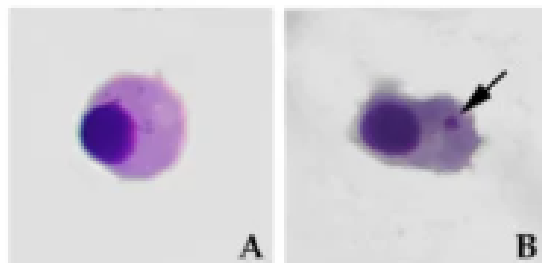


Figura 3 - Comparativo entre um hemócito normal (A) e um hemócito com micronúcleo (B) (adaptado de Guidi et al., 2020).

Além dos micronúcleos, também é possível observar outras anormalidades celulares, como brotamentos nucleares e células binucleadas (figura 4). A formação de brotamentos pode ser causada tanto pela ação clastogênica de agentes tóxicos quanto pela capacidade desigual dos organismos de expelir DNA danificado, amplificado, por falhas na replicação de DNA ou cromatina condensada de forma inadequada, fragmentos de cromossomos sem telômeros e centrômeros do núcleo (Lindberg et al., 2007).

Por sua vez, as células binucleadas são formadas a partir de erros na divisão celular, como falhas na citocinese (Naylor; Van Deursen, 2016), instabilidade cromossômica e estresse celular (Lengauer; Kinzler; Vogelstein, 1997), sendo que essas alterações ainda podem ser reversíveis ou irreversíveis. Quando reversíveis, as células são capazes de se dividir e se propagar (Johmura et al., 2014), porém quando irreversíveis, as células afetadas podem sofrer morte celular e senescência devido a mutações genéticas significativas, o que as impedem de sobreviver por longos períodos (Polunovsky et al., 1996).

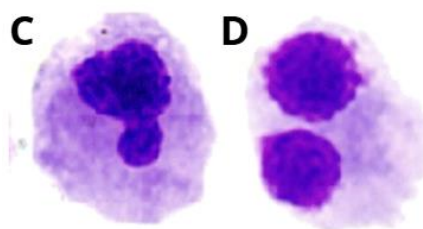


Figura 4 - detalhe para uma célula com brotamento (C) e uma célula binucleada (D) (adaptado de Butrimavičienė et al., 2019).

2. Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos genotóxicos do componente anticorrosivo de base biológica Gluconato de Sódio livre e encapsulado ao nanomaterial inovador Zn-Al LDH através do teste de micronúcleo em mexilhões da espécie *Perna perna*.

A partir do objetivo foi levantada a seguinte hipótese:

H1) Os compostos nanoencapsulados têm menor genotoxicidade em relação aos compostos livres, devido a sua liberação mais “controlada”.

3. Materiais e métodos

Os mexilhões *Perna perna* foram adquiridos no mês de julho de 2024 de um cultivo localizado na praia da Cocanha (Caraguatatuba-SP), local que apresenta boas condições de balneabilidade e qualidade ambiental, segundo relatório da CETESB (2023). No laboratório, os animais foram acondicionados em aquários com água do mar, sob aeração e temperatura constante (22°C) pelo período de 24 horas para aclimação, como mostra a figura 5.



Figura 5 - Mexilhões em aquário durante a aclimação.

Um lote de organismos foi analisado no início dos experimentos (T0), para controle das condições fisiológicas dos animais após a sua retirada do ambiente e análise de possíveis alterações causadas pela manipulação dos organismos em laboratório. Para isso, foram escolhidos aleatoriamente 5 animais da aclimação para retirada da hemolinfa e a partir deles foram feitas 15 lâminas (3 lâminas para cada animal).



Figura 6 - Baldes contendo os mexilhões sendo expostos a seus respectivos compostos e concentrações.

Para a exposição aos compostos, os mexilhões foram separados em baldes plásticos com 10 animais cada, na proporção de 1 litro de água por animal, sob aeração constante (figura 6) e alimentação a cada 48 horas com solução de *Reef Phyto Plankton Seachem* na proporção de 130 μl para 5 litros de água do mar. O delineamento experimental foi feito com 10 animais no grupo controle e 40 animais para cada um dos tratamentos com os compostos (SG, Zn-Al LDH SG, e Zn-Al LDH), sendo 10 animais para cada uma das 4 concentrações (0,3 mg/L; 1 mg/L; 3 mg/L e 10 mg/L) (figura 7). Tais concentrações foram definidas baseadas em estudos prévios.

O experimento contou com dois tempos de exposição, 96 horas e 14 dias, a fim de observar efeitos agudos e crônicos dos compostos. Para a exposição de 96 horas foram usados 5 animais de cada tratamento, e na exposição de 14 dias os outros 5 animais. Uma troca total da água de todos os tratamentos foi feita no sétimo dia de exposição, com a finalidade de manter as concentrações dos compostos, bem como a integridade do sistema para os organismos. Além disso, foram feitas também as medições dos parâmetros físico-químicos (salinidade, pH, temperatura e oxigênio dissolvido) no início do experimento (T0), após 96 horas, 7 dias e 14 dias de exposição, como pode ser visto no Anexo I. Os organismos utilizados no experimento apresentaram peso médio de 22,15 g ($\pm 8,71$ g), comprimento de 5,80 cm ($\pm 1,91$ cm) e largura de 3,04 cm ($\pm 1,0$ cm).

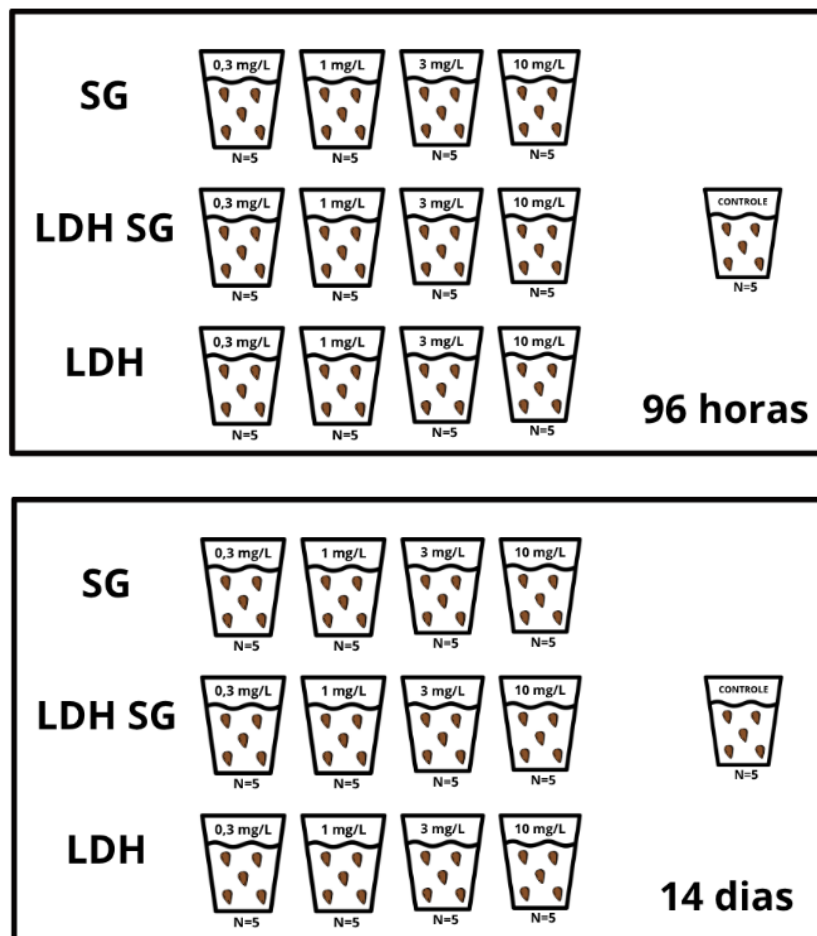


Figura 7 - Desenho experimental mostrando os dois tempos de exposição (96h e 14d) com seus compostos, concentrações e número total de mexilhões (130).

Para a preparação das lâminas foi feita a limpeza das mesmas com solução de ácido acético e álcool etílico (1:24) e posteriormente foi aplicada sobre elas uma solução de Poly-l-lysina e água destilada (1:1000) com o auxílio de um pincel para melhor adesão celular. Após a secagem completa em temperatura ambiente, a hemolinfa foi aplicada através do esfregaço.

Passadas 96 horas de exposição foram extraídas amostras de hemolinfa do músculo adutor de 5 mexilhões de cada tratamento, com o auxílio de uma seringa hipodérmica contendo 0,5 mL de solução de álcool metílico e ácido acético (3:1). Uma fração de 40µL desta solução de células foi aplicada sobre a lâmina, sendo realizado o esfregaço de 3 lâminas para cada animal. Assim que o conteúdo de cada esfregaço secou totalmente, as lâminas foram imersas em álcool metílico por 15 minutos para fixação. Para coloração da hemolinfa, as lâminas foram mergulhadas em solução de Giemsa a 0,6% durante 20 minutos seguidas de lavagem com água destilada e então deixadas para secar em temperatura ambiente. O mesmo procedimento foi feito no 14º dia de exposição com os 5 mexilhões restantes de cada tratamento, ao fim do experimento. A fim de conferir melhor

conservação, fixação e durabilidade às amostras, foi aplicada resina acrílica sobre as lâminas coradas juntamente com uma lamínula para proteção da hemolinfa. Foi feita a contagem de 1.000 células por animal utilizando microscópio óptico Olympus CX41 no aumento de 100x com aplicação de óleo de imersão, seguindo as seguintes categorias: células normais, células com brotamentos, células binucleadas e células com micronúcleos.

A avaliação da genotoxicidade foi feita pela contagem de células anormais (binucleadas, com brotamentos e com micronúcleos) para um total de mil células para cada animal. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de homoscedasticidade de Levene pelo software Jamovi (versão 2.3), posteriormente foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) a um fator ou teste não paramétrico equivalente.

4. Resultados e discussão

4.1 – Taxa de sobrevivência

Na exposição de 96 horas não foi observada nenhuma mortalidade em nenhum dos tratamentos, já na exposição de 14 dias foram observadas 12 mortes no 11º dia para um total de 60 animais sendo que apenas os indivíduos do tratamento de Zn-Al LDH apresentaram taxa de sobrevivência de 100%. Nas concentrações de exposição 1 mg/L e 3 mg/L do gluconato a taxa de sobrevivência foi de 80%, (1 em cada 5 indivíduos morreram). Quanto ao Zn-Al LDH SG, todos os 5 animais morreram nas concentrações 3 mg/L e 10 mg/L, como mostrado na tabela I.

Tabela 1 - Taxas de sobrevivência para os três tratamentos com suas respectivas concentrações.

Concentração Composto	0,3 mg/L	1 mg/L	3 mg/L	10 mg/L
SG 96h	100%	100%	100%	100%
Zn-Al LDH SG 96h	100%	100%	100%	100%
Zn-Al LDH 96h	100%	100%	100%	100%
Controle 96h	100%			
SG 14d	100%	80%	80%	100%
Zn-Al LDH SG 14d	100%	100%	0%	0%
Zn-Al LDH 14d	100%	100%	100%	100%
Controle 14d	100%			

Lima (2024) também observou mortalidade em indivíduos de *Ruditapes philippinarum* na exposição a nanocápsulas carregadas com MBT (Zn-Al LDH MBT). As taxas de sobrevivência observadas foram de 60% na concentração de 1,23 mg/L, 80% para 11,11mg/L e 0% em 100mg/L.

4.2 – Dano celular

Os dados para o dano celular dos dois tempos de exposição foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk que indicaram a não normalidade dos mesmos. Em seguida foi feito o teste de homogeneidade de variâncias de Levene que indicou dados homocedásticos, a partir daí foi feita então a análise de Kruskal-Wallis.

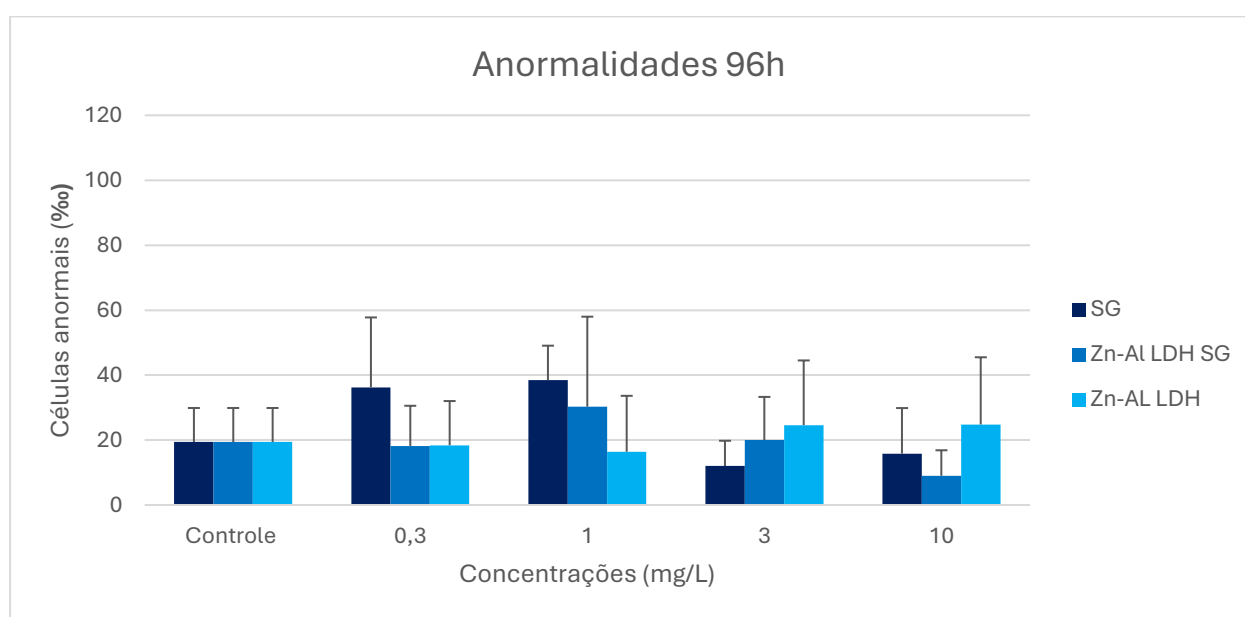


Figura 8 – Médias de células anormais por mil na exposição de 96 horas com seus respectivos tratamentos e concentrações em mg/L. Dados apresentados como valores médios e desvio padrão.

Como mostrado na figura 8, na exposição de 96 horas não foi observada diferença significativa na contagem de células anormais para nenhum dos compostos em nenhuma das 4 concentrações quando comparados com o controle ($p = 0,0995$). A concentração de 0,3 mg/L para o SG causou dano de 36,22 %, e na concentração 1,0 mg/L o dano foi de 38,45%. As concentrações 3 e 10 mg/L induziram taxas de danos de 12,01% e 15,83% respectivamente. Em relação ao gluconato nanoencapsulado (Zn-Al LDH SG), em 0,3 mg/L o dano foi de 18,2%, em 1 mg/L foi de 30,26% e em 3 mg/L de 20%. Para a maior concentração 10 mg/L, o menor valor de dano foi encontrado, 8,99%. Já para a nanocápsula (Zn-Al LDH), as concentrações de 0,3 e 1mg/L causaram 18,4% e 16,4% de danos respectivamente, enquanto para 3 e 10mg/L os danos foram de 24,6% e 24,8%. No grupo controle, o dano foi de 19,4%.

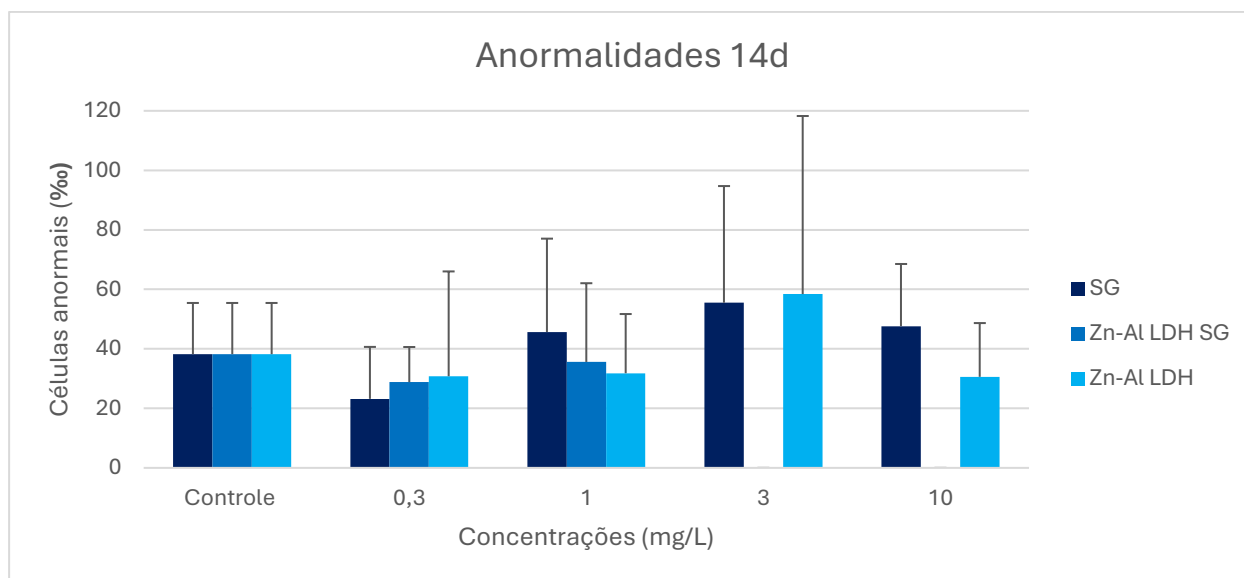


Figura 9 – Médias de células anormais por mil na exposição de 14 dias com seus respectivos tratamentos e concentrações em mg/L. Dados apresentados como valores médios e desvio padrão.

Para a exposição de 14 dias, no grupo controle o dano encontrado foi de 38,2%. O SG a 0,3 mg/L obteve dano de 23,2%, a 1 mg/L de 45,66%, a 3mg/L de 55,5% e a 10 mg/L de 47,6%. O Zn-Al LDH SG apresentou dano de 28,8% na primeira concentração (0,3 mg/L) e 35,6% na segunda (1 mg/L). Na terceira (3 mg/L) e quarta (10 mg/L) concentrações não foi possível calcular os danos uma vez que os cinco indivíduos expostos a cada concentração não sobreviveram. Por fim, para o tratamento com o Zn-Al LDH, os danos foram 30,8%, 31,8%, 58,4% e 30,6%, nos respectivos tratamentos. Apesar das médias serem um pouco maiores quando comparadas a exposição de 96 horas, os valores de desvio padrão indicam uma variabilidade expressiva nas mesmas (figura 9).

Assim como na exposição de 96 horas, não foi encontrada diferença significativa entre os danos causados pelos compostos em 14 dias ($p = 0,7160$). No geral, nenhuma média ultrapassou os 60%, porém é importante pontuar que nas maiores concentrações (3 e 10mg/L) houve a morte de todas as réplicas no tratamento com Zn-Al LDH SG, o que pode ser considerado efeito agudo adverso deste composto. Tais resultados corroboram com Silva (2023), que investigou o desenvolvimento embriolarval em mexilhões *P. perna* e em bolachas-do-mar (*Mellita quinquiesperforata*) e na fecundidade de copépodos (*Nitokra sp.*) para os compostos Zn-Al LDH, Zn-Al LDH SG e SG. Para *P. perna* os embriões se mostraram mais sensíveis, tendo o Zn-Al LDH SG causado efeitos tóxicos crônicos, e sido capaz de inibir o desenvolvimento embriolarval desses animais nas concentrações testadas de 1,23; 3,7 e 11,1 mg/L.

Mais ainda, Zhang et al. (2011) testaram os efeitos tóxicos de quatro tipos de nanopartículas (ZnO, TiO₂, SiO₂ e Al₂O₃) em fibroblastos pulmonares humanos em concentrações entre 0,25 e 1,50 mg/mL e demonstraram que todos os quatro nanomateriais foram capazes de causar disfunção mitocondrial celular, alterações morfológicas nas células e até mesmo apoptose devido a indução da condensação de cromatina. Foi demonstrada, assim, uma citotoxicidade diferencial associada à exposição aos óxidos ZnO, TiO₂, SiO₂ e às nanopartículas de Al₂O₃, indicando a necessidade de atenção para a utilização segura desses nanomateriais.

Beverari (2023) comparou a toxicidade do gluconato livre e nanoencapsulado e atestou a toxicidade crônica do Zn-Al LDH SG no desenvolvimento embriolarval do ouriço-do-mar *Echinometra lucunter* a partir da concentração de 0,41 mg/L (CEO), dentro das concentrações testadas 0,41; 1,23; 3,7; 11,1; 33,3 e 100 mg/L. Para o gluconato livre, a diferença significativa em relação ao controle ocorreu a partir da concentração de 0,41 mg/L e CE50 de 1,209 mg/L. Ou seja, os compostos nanoencapsulados apresentaram maior toxicidade do que os respectivos compostos livres, o que também foi visto no presente trabalho considerando a taxa de sobrevivência das réplicas.

Por outro lado, estudos de Martins et al. (2017) no qual compararam o nanomaterial vazio e carregado com MBT, indicaram que a nanocápsula vazia Zn-Al LDH causou neurotoxicidade (AChE) em testes com o bivalve *Ruditapes philippinarum*, além de ter ativado mecanismos de autoproteção antioxidante (CAT, GPx, GR) em todas as concentrações utilizadas no ensaio (0,01; 0,1; 1; 10 e 100 mg/L), o que indica que a nanocápsula não é inerte e pode induzir efeitos bioquímicos nos bivalves expostos. Mais ainda, em outro estudo de Martins et al. (2022) foi observado que o material Zn-Al LDH não foi considerado tóxico a nível agudo para *Artemia salina* (LC₅₀ > 100mg/L), o que pode sugerir que os efeitos dependem da espécie e da forma de exposição, e que a nanocápsula vazia não deve causar efeitos agudos.

Lima (2024) testou a genotoxicidade através do ensaio do cometa comparando uma nanocápsula vazia (Zn-Al LDH) e carregada (Zn-Al LDH NO₂) em bivalves *Ruditapes philippinarum*, de águas temperadas, e *Anomalocardia flexuosa*, de águas tropicais. Os resultados demonstraram que para *R. philippinarum* o Zn-Al LDH (nanocápsula vazia) causou mais danos do que a nanocápsula carregada Zn-Al LDH NO₂ em todas as concentrações testadas (1,23; 11,11 e 100 mg/L). Já para *A. flexuosa* o Zn-Al LDH NO₂ na maior concentração teve maior média de dano (72,3%) e o Zn-Al LDH na concentração 11,11 mg/L causou 62,1% de dano. Neste caso, cada composto mostrou um nível de dano distinto para cada animal testado.

A partir dos estudos de Dias et al. (2025) e de Martins et al. (2017), que indicaram a ativação de sistemas antioxidantes, os resultados sugerem que tais sistemas podem ter sido ativados nos mexilhões *Perna perna* do presente estudo, sendo relativamente eficazes na prevenção de dano celular na hemolinfa, funcionando então como barreira protetora nos tratamentos e concentrações nos quais não foi observado dano celular.

Enzimas catalíticas antioxidantes (como CAT, e GPx) são ativadas, após a exposição a xenobióticos (como os materiais aqui testados) para decompor espécies reativas de oxigênio, principalmente o peróxido de hidrogênio (H₂O₂), enquanto a GR tem a função de recuperar moléculas importantes como a glutatona reduzida (GSH), mantendo assim a homeostase celular. Ao mesmo tempo, a GST (glutathione S-transferase) atua nas vias de depuração conjugando compostos tóxicos juntamente com a glutatona facilitando assim sua eliminação pelo organismo. (Borges et al., 2022; Gusso-Choueri et al., 2015; Oliveira, 2015 Salbego et al., 2014; Santana; Santos; Winkaler, 2021). Nesse sentido, a ativação desses processos de depuração pode ter reduzido os danos sobre os organismos, assim como a atuação de processos de reparo de DNA, o que ajuda a explicar a ausência de efeitos genotóxicos detectáveis pelo método do micronúcleo.

Os resultados aqui apresentados corroboram com o estudo de Dias et al. (2025), no qual moluscos *Ruditapes philippinarum* foram expostos a concentrações subletais (1,23; 11,11 e 100 mg/L) de gluconato livre (SG) e nanoencapsulado (Zn-Al LDH SG) por 96 horas e não foi observado nenhum efeito significativo. Os resultados consideraram efeitos sobre a condição de saúde geral dos organismos, onde foi calculada diferença entre o peso dos tecidos moles e o peso das conchas, efeitos bioquímicos (LPO, CAT, GR, GPx, GST, AChE) e genotoxicidade (ensaio do cometa). Por outro lado, os estudos de Silva (2023) e Beverari (2023) mostraram a toxicidade do gluconato nanoencapsulado Zn-Al LDH SG em organismos de águas tropicais, o que reforça a necessidade de mais estudos acerca dos efeitos das nanocápsulas em animais dessa região.

Diante do exposto, os dados mostraram que, diferente da hipótese levantada inicialmente, a nanocápsula carregada com gluconato (Zn-Al LDH SG) na exposição de 14 dias aparentou maior toxicidade quando comparada a sua versão vazia e ao gluconato livre, já que a mesma foi capaz de causar efeito agudo em todos os organismos nas concentrações de 3 e 10mg/L.

5. Conclusão

Neste estudo, não foi encontrada diferença significativa entre as taxas de anomalias nucleares para o gluconato (SG), sua fórmula encapsulada (Zn-Al LDH SG) e nanocápsula (Zn-Al LDH) em relação ao grupo controle pelo teste de micronúcleo para mexilhões de águas tropicais

Perna perna, após exposição por 96 horas e 14 dias, não havendo assim sido encontrado efeito genotóxico.

Entretando, as altas taxas de mortalidade dos indivíduos após 14 dias de exposição ao Zn-Al LDH SG, nas concentrações mais altas, mostram efeito agudo e soam um alerta sobre o composto nanoestruturado. Desta forma, outros estudos feitos com as nanocápsulas mostram a importância da realização de múltiplos testes de biomarcadores químicos, citotóxicos e genotóxicos com o objetivo de se obter repostas mais robustas a nível celular, tecidual e sistêmico em relação ao nanoencapsulamento compostos anticorrosivos.

6. Referências Bibliográficas

- ABRACO, Associação Brasileira de Corrosão (ED.). **Revista Corrosão & Proteção.**: ABRACO, 2018. v. 62, n. 15.
- ALMEIDA, E.; DIAMANTINO, T. C.; DE SOUSA, O. Marine paints: The particular case of antifouling paints. **Progress in Organic Coatings**, v. 59, n. 1, p. 2–20, 2007.
- ALMEIDA, Eduardo. Lesões oxidativas no DNA de glândulas digestivas de mexilhões *Perna perna* como indicadoras de estresse ambiental. 1 jan. 2012.
- ASCER, Liv Goldstein. **Efeitos de microplásticos na fisiologia do mexilhão *Perna perna* (Bivalvia:Mytilidae)**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências Departamento de Fisiologia Geral, 2015.
- BENTO, Nelson Roberto. **Avaliação ecotoxicológica dos fármacos fluoretina e amoxicilina empregando o mexilhão marinho *Perna perna* (Linnaeus 1758)**. Santos, SP: Universidade Santa Cecília, 2015.
- BEVERARI, I. **Avaliação ecotoxicológica dos inibidores de corrosão biológicos: Gluconato de Sódio (SG) e Nitrito de Sódio (NO₂), em suas formas livres e nanoencapsuladas, sobre embriões de ouriço-do-mar (*Echinometra lucunter*)**. Monografia - Instituto de Biociências, UNESP Câmpus do Litoral Paulista. São Vicente, 2023.
- BORGES, A. C. P. *et al.* Multiple metals and agricultural use affects oxidative stress biomarkers in freshwater *Aegla* crabs. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, 2022.
- BRAGATTO, A. O. P. **Sistema de pintura anticorrosiva monocomponente aplicado diretamente sobre o metal substituto ao sistema tradicional de três componentes - Desenvolvimento e avaliação de formulações de tinta base água**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2018.
- BUNDSCHUH, Mirco *et al.* Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to? **Environmental Sciences Europe**, v. 30, n. 1, p. 6, 8 dez. 2018.
- BUTRIMAVIČIENĖ, L. *et al.* Genotoxic, cytotoxic, and neurotoxic responses in *Anodonta cygnea* after complex metal mixture treatment. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 8, p. 7627–7639, 21 mar. 2019.
- CALLAGHAN, Neal Ingraham; MACCORMACK, Tyson James. Ecophysiological perspectives on engineered nanomaterial toxicity in fish and crustaceans. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 193, p. 30–41, mar. 2017.
- CARVALHO, Carlos *et al.* Distribuição de Metais Pesados em Mexilhões (*Perna perna*, L.) da Ilha de Santana, Macaé, SE, Brasil. **Ecotoxicology and Environmental Restoration**, v. 4, p. 1–5, 1 jan. 2001.
- CARVALHO, Mariana *et al.* Avaliação ecotoxicológica do fármaco triclosan no desenvolvimento embriolarval do mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758). **Revista Ceciliansa**, p. 27–30, 2011.

CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. **Química**. 11. ed. AMGH Editora, 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Qualidade das Praias Litorâneas no estado de São Paulo 2023 (Série Relatórios). São Paulo: CETESB; 2023.

DIAS, I. A. *et al.* Sub-lethal effects of innovative anti-corrosion nanoadditives on the marine bivalve *Ruditapes philippinarum*. **Environmental Pollution**, v. 368, p. 125662, mar. 2025.

FIGUEIREDO, J. *et al.* Toxicity of innovative anti-fouling nano-based solutions to marine species. **Environmental Science: Nano**, v. 6, n. 5, p. 1418–1429, 2019.

FORANO, C. *et al.* Chapter 13.1 Layered Double Hydroxides. In: BERGAYA, Faïza; THENG, Benny K. G.; LAGALY, Gerhard (Orgs.). **Developments in Clay Science**. [S.l.]: Elsevier, 2006. v. 1 p. 1021–1095.

FRAUCHES-SANTOS, C. *et al.* The corrosion and the anticorrosion agents. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 2, 2014.

FREITAS, Francisco Ariel Paz Santos; UCHÔA, Isabela Soares; MAGALHÃES, Maria do Amparo Veloso. Importância do teste de micronúcleos como instrumento preventivo em saúde geral e ambiental. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 68530–68542, 2020.

GENTIL, V. **Corrosão (6a. Ed.)**. Rio de Janeiro: LTC — Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2011.

GEREMIA, G. **Análise de micronúcleos em hemócitos de mexilhões Perna perna (Linnaeus, 1758) (Mollusca: Bivalvia: Mytilidae) nas plataformas de pesca de Tramandaí e Cidreira, litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil**. Imbé: Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, 2015.

GNECCO, C. Novas Tecnologias - O futuro das tintas anticorrosivas. **Corrosão & Proteção**, p. 08–17, 2015.

GUIDI, P. *et al.* Suitability of a Cellulose-Based Nanomaterial for the Remediation of Heavy Metal Contaminated Freshwaters: A Case-Study Showing the Recovery of Cadmium Induced DNA Integrity Loss, Cell Proliferation Increase, Nuclear Morphology and Chromosomal Alterations on *Dreissena polymorpha*. **Nanomaterials**, v. 10, n. 9, p. 1837, 14 set. 2020.

GUSSO-CHOUERI, P. K. *et al.* Assessing pollution in marine protected areas: the role of a multi-biomarker and multi-organ approach. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 22, p. 18047–18065, 15 nov. 2015.

JOHMURA, Y. *et al.* Necessary and Sufficient Role for a Mitosis Skip in Senescence Induction. **Molecular Cell**, v. 55, n. 1, p. 73–84, jul. 2014.

KIRSCH-VOLDERS, M. *et al.* Importance of detecting numerical versus structural chromosome aberrations. **Mutation research**, v. 504, n. 1–2, p. 137–148, 2002.

KOBA-UCUN, Olga et al. Toxicity of Zn-Fe Layered Double Hydroxide to Different Organisms in the Aquatic Environment. **Molecules**, v. 26, n. 2, p. 395, 13 jan. 2021.

LENGAUER, C.; KINZLER, K. W.; VOGELSTEIN, B. Genetic instability in colorectal cancers. **Nature**, v. 386, n. 6625, p. 623–627, abr. 1997.

LI, X. *et al.* Materials science: Share corrosion data. **Nature**, v. 527, n. 7579, p. 441–442, 2015.

LIMA, M. L. R. **Genotoxicidade do 2-mercaptobenzotiazol (2-MBT) em suas formas livre e nanoestruturada sobre os bivalves *Ruditapes philippinarum* e *Anomalocardia flexuosa*.** Monografia - Instituto de Biociências, UNESP Câmpus do Litoral Paulista. São Vicente, 2024.

LINDBERG, H. K. *et al.* Origin of nuclear buds and micronuclei in normal and folate-deprived human lymphocytes. **Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 617, n. 1, p. 33–45, 2007.

MACHADO FERNANDES, C. et al. Corrosion inhibition and ecotoxicological assessment of 1,2,3-triazolic alcohols. **Materials Chemistry and Physics**, v. 290, p. 126508, 2022.

MARTINS, R. et al. Effects of a novel anticorrosion engineered nanomaterial to the bivalve *Ruditapes philippinarum*. **Environ. Sci.: Nano**, v. 4, 1 jan. 2017.

MARTINS, Roberto *et al.* “Smart” nanosensors for early detection of corrosion: Environmental behavior and effects on marine organisms. **Environmental Pollution**, v. 302, p. 118973, jun. 2022.

MORENO, J. M. G. **Estudos genotóxicos em *Perna perna* (Mollusca, Bivalvia) como indicadores da qualidade ambiental e sua importância na malacocultura.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

MUKAI, J.P.L. **Toxicidade de pellets plásticos de diferentes regiões do atlântico sobre embriões de bolacha-do-mar (*Mellita quinquesperforata*) e mexilhão (*Perna perna*).** Monografia – Instituto de Biociências, UNESP Câmpus do Litoral Paulista. São Vicente, 2023.

NAYLOR, R. M.; VAN DEURSEN, J. M. Aneuploidy in Cancer and Aging. **Annual Review of Genetics**, v. 50, n. 1, p. 45–66, 23 nov. 2016.

OEHLMANN, J.; SCHULTE-OEHLMANN, U. Endocrine disruption in invertebrates. **Pure and Applied Chemistry**, v. 75, n. 11–12, p. 2207–2218, 1 jan. 2003.

OLIVEIRA, G. L. S. Determinação da capacidade antioxidante de produtos naturais in vitro pelo método do DPPH: estudo de revisão. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 1, p. 36–44, mar. 2015.

PEREIRA, C. D. S. et al. Integrated assessment of multilevel biomarker responses and chemical analysis in mussels from São Sebastião, São Paulo, Brazil. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 26, n. 3, p. 462–469, 1 mar. 2007.

PINHEIRO, M. A. R.; SILVA, R. C. L. **Análise de corrosão e aplicação de revestimentos anticorrosivos em casco de navios.** Niterói, Universidade Federal Fluminense, 2015.

POLUNOVSKY, V. A. *et al.* Cell fusion to study nuclear-cytoplasmic interactions in endothelial cell apoptosis. **The American journal of pathology**, v. 149, n. 1, p. 115–28, jul. 1996.

RÍOS, A. Los, *et al.* Relationships between lines of evidence of pollution in estuarine areas: Linking contaminant levels with biomarker responses in mussels and with structure of macroinvertebrate benthic communities. **Marine Environmental Research**, v. 121, p. 49–63, out. 2016.

RIOS, Eliézer de Carvalho. **Compendium of Brazilian sea shells**. Rio Grande: UFRG, 2009. 668p.

ROBERTO, M. M. *et al.* Evaluation of the genotoxicity/mutagenicity and antigenotoxicity/antimutagenicity induced by propolis and *Baccharis dracunculifolia*, by in vitro study with HTC cells. **Toxicology in vitro: an international journal published in association with BIBRA**, v. 33, p. 9–15, 2016.

SALBEGO, J. *et al.* The essential oil from *Lippia alba* induces biochemical stress in the silver catfish (*Rhamdia quelen*) after transportation. **Neotropical Ichthyology**, v. 12, n. 4, p. 811–818, 11 nov. 2014.

SÁNCHEZ-GALÁN, S. *et al.* Micronuclei and fluctuating asymmetry in brown trout (*Salmo trutta*): Complementary methods to biomonitor freshwater ecosystems. **Mutation research**, v. 412, p. 219–225, 1 mar. 1998.

SANTANA, D. G. DA S. **Análise da viabilidade do uso de compósito de quitosana e do nitrato de sódio como inibidores de corrosão do aço e suas influências na tecnologia do concreto**. Palmas: Universidade Federal do Tocantins, 2020.

SANTANA, T. S.; SANTOS, M. B.; WINKALER, E. U.. Atividade de enzimas do sistema de defesa antioxidante de tilápias (*Oreochromis niloticus*) como modelo de exposição à nanopartícula de dióxido de titânio (TiO₂). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e46810512829, 13 maio 2021.

SANTOS, C. S. *et al.* Potencial mutagênico de um afluente do Rio Vaza-Barris (SE), por meio do sistema-teste micronúcleo (TMN) em molusco bivalve. **Scientia plena**, v. 13, n. 10, 2017.

SEMMLER, Marília Gabriela Miranda. **Biomonitoração de Hg, Cd, Pb e outros elementos em áreas costeiras do estado de São Paulo por meio do mexilhão transplantado *Perna perna***. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2007.

SERDAROĞLU, G; KAYA, S; TOUIR, R. Eco-friendly sodium gluconate and trisodium citrate inhibitors for low carbon steel in simulated cooling water system: Theoretical study and molecular dynamic simulations. **Journal of Molecular Liquids**, v. 319, p. 114108, dez. 2020.

SILVA, Ágatha Porto da; SANTOS, Isabela Alves dos. Uma perspectiva do uso de bioindicadores e biomarcadores ambientais nos últimos 15 anos: uma revisão. In: **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, 15 out. 2024.

SILVA, D. R. **Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado, visando a melhoria na sua durabilidade**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2006.

SILVA, M. B. M. DO P. **Avaliação ecotoxicológica dos inibidores de corrosão biológicos Gluconato de Sódio e Nitrito em suas formas livres e nanoestruturadas em hidróxidos de dupla camada.** São Vicente: Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências., 2023.

SILVA, VG. Avaliação da Corrosão Interna Utilizando Técnicas Intrusivas e Não Intrusivas em Condições Controladas em Laboratório. In: **Congresso Internacional Sobre Nanotecnologia**, 1., 2022, Lisboa. Anais... Lisboa: Editora XYZ, 2022. p. 10-15.

TORNERO, V.; HANKE, G. Chemical contaminants entering the marine environment from sea-based sources: A review with a focus on European seas. **Marine Pollution Bulletin**, v. 112, n. 1, p. 17–38, 2016.

TOUIR, R. et al. Sodium gluconate as corrosion and scale inhibitor of ordinary steel in simulated cooling water. **Corrosion science**, v. 50, n. 6, p. 1530–1537, 2008.

WEBER, Laura Isabel; DA CONCEIÇÃO, Moisés Basílio. **O mexilhão Perna perna (L.): biologia, ecologia e aplicações.**

ZHANG, X. Q. et al. ZnO, TiO₂, SiO₂, and Al₂O₃ Nanoparticles-induced Toxic Effects on Human Fetal Lung Fibroblasts. **Biomedical and Environmental Sciences**, v. 24, n. 6, p. 661–669, 2011.

ZHELUDKEVICH, M. L.; TEDIM, J.; FERREIRA, M. G. S. “Smart” coatings for active corrosion protection based on multi-functional micro and nanocontainers. **Electrochimica Acta**, v. 82, p. 314–323, 2012.

7. Anexos

Anexo I – Medidas dos parâmetros físico-químicos.

Parâmetros dia 0			
Composto	Salinidade	pH	OD
Controle	34	7,7	5,13
SG 0,3	35	7,89	5,4
SG 1	34	7,73	5,94
SG 3	35	7,83	4,68
SG 10	34	7,83	4,45
Zn-Al LDH SG 0,3	35	7,89	2,6
Zn-Al LDH SG 1	35	7,89	4,8
Zn-Al LDH SG 3	34	7,89	5,41
Zn-Al LDH SG 10	35	7,85	4,29
Zn-Al LDH 0,3	34	6,35	5,61

Zn-Al LDH 1	34	6,05	5,86
Zn-Al LDH 3	35	6,13	2,77
Zn-Al LDH 10	35	6,54	5,88

Parâmetros 96 horas			
Composto	Salinidade	pH	OD
Controle	35	7,56	5,13
SG 0,3	35	7,59	5,4
SG 1	35	4,64	5,94
SG 3	35	7,6	4,68
SG 10	35	7,5	4,45
Zn-Al LDH SG 0,3	35	7,34	2,6
Zn-Al LDH SG 1	35	7,52	4,8
Zn-Al LDH SG 3	35	7,58	5,41
Zn-Al LDH SG 10	35	7,5	4,29
Zn-Al LDH 0,3	35	7,68	5,31
Zn-Al LDH 1	35	7,7	5,86
Zn-Al LDH 3	35	7,34	2,77
Zn-Al LDH 10	35	7,67	5,88

Parâmetros dia 7 (troca)			
Composto	Salinidade	pH	OD
Controle	34	8,02	6,00
SG 0,3	34	7,61	6,33
SG 1	31	7,55	4,53
SG 3	33	7,51	4,27
SG 10	34	7,66	6,01
Zn-Al LDH SG 0,3	31	7,66	5,75
Zn-Al LDH SG 1	33	7,8	5,99
Zn-Al LDH SG 3	33	7,92	6,28
Zn-Al LDH SG 10	33	7,78	6,23
Zn-Al LDH 0,3	31	7,89	5,12
Zn-Al LDH 1	30	7,93	5,17
Zn-Al LDH 3	31	7,95	6,55

Zn-Al LDH 10	33	7,96	6,41
--------------	----	------	------

Parâmetros dia 14			
Composto	Salinidade	pH	OD
Controle	35	7,66	4,75
SG 0,3	34	7,84	6,47
SG 1	34	7,46	1,86
SG 3	35	7,55	3,9
SG 10	34	7,64	3,89
Zn-Al LDH SG 0,3	31	7,68	6,76
Zn-Al LDH SG 1	33	7,95	6,64
Zn-Al LDH SG 3	XXX	XXX	XXX
Zn-Al LDH SG 10	XXX	XXX	XXX
Zn-Al LDH 0,3	34	7,9	5,8
Zn-Al LDH 1	32	7,98	6,76
Zn-Al LDH 3	34	7,87	6,1
Zn-Al LDH 10	35	7,88	5,88

PARECER FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Discente: FLÁVIA APOLINÁRIO GALERA

Título: "Avaliação genotóxica de compostos anticorrosivos em mexilhões Perna perna"

Orientador: Dra. Ana Carolina Feitosa Cruz

Curso/Habilitação: Bacharelado em Ciências Biológicas/Biologia Marinha

COMISSÃO EXAMINADORA	CONCEITO
Dra. Ana Carolina Feitosa Cruz	Aprovado
Profa. Dra. Paloma Kachel Gusso Choueri	aprovado
Prof. Dr. Denis Moledo de Souza Abessa	APROVADA

PARECER:

A banca considerou a discente Flávia Apolinário Galera apta a receber a habilitação em biologia marinha, sendo dessa forma aprovada.

CONCEITO FINAL:

A Comissão Examinadora abaixo assinada conclui que a discente **Flávia Apolinário Galera** obteve o seguinte conceito:

APROVADO

REPROVADO

São Vicente, 01 de dezembro de 2025.

Ana Carolina Feitosa Cruz
Dra. Ana Carolina Feitosa Cruz

Paloma Kachel Gusso Choueri
Profa. Dra. Paloma Kachel Gusso Choueri

Denis Moledo de Souza Abessa
Prof. Dr. Denis Moledo de Souza Abessa