

A EFETIVIDADE DO ANTI-INCRUSTANTE DE ALGAS VERMELHAS PARA REDUZIR O IMPACTO DO *LIMNOPERNA FORTUNEI* - MEXILHÃO DOURADO. A REVIEW*

Camila Freitas de Araújo¹

Adriano Corrêa Batista²

Bernardo Antônio Perez da Gama³

Paulo Santos Assis⁴

Resumo

O mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* é uma espécie invasora que tem causado diversos problemas no ambiente aquático em razão da sua habilidade de formar colônias em estruturas. A espécie adere nas superfícies por filamentos proteicos, causando sérios danos ambientais, sociais e econômicos. O combate à incrustação biológica através do tratamento de superfícies submersas em ambientes de água doce com produtos naturais, em especial os oriundos de algas vermelhas, é o desafio apresentado. Com o banimento, em dimensão mundial, de insumos à base de tributilestanho - TBT na composição de tintas, desde 2008, tratamentos alternativos e ambientalmente adequados ganham maior apelo, considerando os riscos dos produtos alternativos atualmente aplicados. É descrito um conjunto de condições para espécies produtoras de metabólitos secundários com atividade anti-incrustante importante. Portanto, o trabalho tem como objetivo reforçar uma linha de pesquisa ampla dedicada a consolidar informações sobre o potencial de organismos marinhos como produtores de metabólitos secundários (produtos naturais) com atividade anti-incrustante, à luz da produção científica a ser analisada no espaço destinado à apresentação de resultados.

Palavras-chave: Mexilhão Dourado; Tributilestanho; Metabólitos Secundários; Anti-incrustante.

THE EFFECTIVENESS OF RED ALGAE ANTIFOULING TO REDUCE THE IMPACT OF *LIMNOPERNA FORTUNEI* - GOLDEN MUSSEL. A REVIEW

Abstract

The golden mussel *Limnoperna fortunei* is an invasive species that has been causing many problems in aquatic environment due its aggregation on structures of non polar materials. The species attaches on surfaces by means of protein filaments causing serious social, economic and environmental damages. The challenge presented consists of biological fouling combat through treating underwater surfaces with freshwater natural products, in particular those from red algae. With the worldwide ban of TBT-based antifouling paints since 2008, alternative, environmentally safe treatments gain more appeal, considering the risk associated with the alternative products currently in use. A set of conditions is described for species producing secondary metabolites with important antifouling activity. Therefore, the objective of this work is to reinforce a broad line of research dedicated to consolidating information on the potential of marine organisms as producers of secondary metabolites (natural products) with antifouling activity, in the light of the scientific production to be analyzed in the space destined to results presentation.

Keywords: Golden Mussel; TBT; Secondary Metabolites; Antifouling.

¹ Engenheira Civil e Mestranda em Engenharia de Materiais. REDEMAT (Escola de Minas – UFOP), Ouro Preto, MG, Brasil.

² Professor DSc. Físico. Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), Ouro Preto, MG, Brasil.

³ Professor PhD/DSc. Biólogo Marinho. Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, Brasil.

⁴ Professor PhD/DSc. Engenheiro Metalurgista. REDEMAT, DEMET (Escola de Minas – UFOP), Ouro Preto, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os denominados produtos naturais têm funções ecológicas primárias. Algas e outros organismos marinhos produzem uma variedade vasta e diversificada de compostos orgânicos, a grande maioria dos quais não parece participar diretamente do crescimento e desenvolvimento destes organismos. Estas substâncias, tradicionalmente referidas como metabólitos secundários [1], costumam estar distribuídas entre grupos taxonômicos limitados.

O controle de incrustações costuma suscitar o interesse de construtores navais, operadores de embarcações marítimas, criação de peixes em tanques e usinas hidroelétricas. Muitos organismos sésseis como cracas e mexilhões, causam sérios problemas por colonizarem estruturas submersas fabricadas pelo homem. As estruturas submersas em água do mar são tratadas por coberturas anti-incrustantes [2].

No Brasil, o tratamento contra incrustação do mexilhão dourado, por exemplo, somente em três usinas hidrelétricas em Minas Gerais o custo anual com tratamento químico é de R\$1.494.000,00 [3].

A maioria destas proteções é constituída por tintas, capazes de isolar a superfície submersa da ação das comunidades incrustantes, contendo metais como cobre, chumbo ou estanho. Embora sejam bastante eficazes, apresentam um grau de toxicidade considerável, para organismos marinhos, inclusive alguns de importância econômica, como ostras e mexilhões [4].

Uma seleção de produtos naturais de algas marinhas com atividade anti-incrustante pode oferecer resultados efetivos de baixo impacto ambiental para os produtos usados correntemente [5] enquanto auxiliam a entender as funções ecológicas e os mecanismos de produção de metabólitos secundários.

O que é oferecido na utilização de produtos naturais tem a ver com o fato de que as exigências do mercado tendem a observar, cada vez mais, as consequências do uso e a diminuição dos impactos produzidos em qualquer processo. E este é o diferencial apresentado.

A proposta desse estudo busca a efetividade de anti-incrustantes de algas, a partir de processos já existentes, mas com a inserção de compostos pouco utilizados ainda, considerando óbices técnicos e o fato de que não existem estoques disponíveis, em escala industrial, destes compostos, na natureza.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Bioincrustação

A invasão biológica ocorre quando animais, plantas ou microrganismos, nativos de uma determinada região, são transportados para outro onde não há predadores para conter sua população que, por consequência, acaba afetando o ambiente, a economia, a saúde do homem, além de comprometer a biodiversidade do planeta [6].

Para ser chamada de espécie invasora, ela deve possuir algumas características, tais como ser abundante e amplamente distribuída em sua área de ocorrência natural, ter ampla tolerância ambiental, alta variabilidade genética, ciclo de vida curto, rápido crescimento, maturidade sexual precoce, alta capacidade reprodutiva e alimentação oportunista, para estabelecer-se em um novo ambiente

[7]. Parker, *et al.* (1999) dividiu em 5 partes os impactos causados por uma espécie invasora, são eles:

- 1) efeitos sobre os indivíduos, alterando as taxas de mortalidade e crescimento;
- 2) efeitos genéticos, podendo ocorrer até mesmo hibridização entre a espécie nativa e a invasora;
- 3) efeitos na dinâmica populacional, alterando o crescimento e abundância das populações, e em casos mais extremos podendo levar à extinção;
- 4) efeitos sobre as comunidades, influenciando na riqueza de espécies, diversidade e estrutura trófica;
- 5) efeitos nos ecossistemas, modificando a disponibilidade de nutrientes e a produtividade primária. Entre os organismos invasores que afetam as águas continentais se destacam os crustáceos, macrófitas, microrganismos, peixes e moluscos [8].

Apesar de ser um processo natural, a incrustação biológica, quando desenvolvida sobre estruturas feitas pelo homem, acarreta uma série de transtornos e prejuízos a atividades marítimas, levando à visão negativa intrínseca ao próprio nome - *fouling* em inglês significa, além de incrustação, sujeira. Estima-se que, em escala global, sejam gastos pelo menos 450 milhões de dólares ao ano com a prevenção da bioincrustação, e que se este montante não fosse gasto, os prejuízos anuais seriam da ordem de 7 bilhões de dólares/ano. Os problemas derivados da incrustação estão diretamente relacionados ao tipo de estrutura em questão [9].

Qualquer volume sólido ou líquido colocado em um navio para garantir sua estabilidade e condições de flutuação, é definido como lastro. A água de lastro é o líquido recolhido aos porões dos navios na origem e despejado no destino para dar estabilidade, propulsão e permitir o gerenciamento de manobras dos barcos. Diversas espécies de água doce podem ser transportadas e introduzidas em um novo ambiente através do oceano em tanques de “água de lastro” de navios. É o caso do molusco bivalve invasor de origem asiática *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857), conhecido como mexilhão dourado.

O mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) é uma espécie de molusco bivalve introduzida no Brasil via água de lastro na década de 1990. Tendo em vista as características biológicas e ecológicas da espécie, bem como o ambiente favorável no País para a sua proliferação, o mexilhão-dourado se tornou uma espécie exótica invasora. A invasão biológica desta espécie tem causado impactos ambientais e econômicos, provocando alterações estruturais e funcionais nos ecossistemas e prejuízos às atividades humanas nas Regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e, por último, na região Nordeste devido a recente detecção na Bacia do Rio São Francisco.

Na Figura 1, está disposta os espécimes de *Limnoperna fortunei* encontrados na Bacia do Rio São Francisco, onde: 1) Larva identificada no reservatório de Sobradinho, BA. 2) Indivíduos coletados nos condensadores da usina hidrelétrica de Sobradinho. 3) Indivíduos coletados em tanques de piscicultura no reservatório de Sobradinho 4) Indivíduo encontrado no trecho inicial do canal de transposição norte do Rio São Francisco.

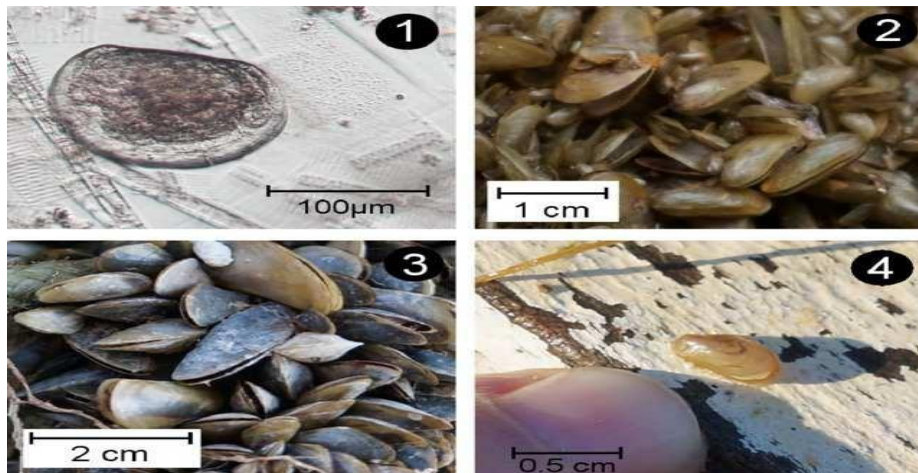


Figura 1. Espécimes de Mexilhão Dourado - *Limnoperna fortunei* encontrado na bacia do rio São Francisco [10].

Por meio de compilação bibliográfica e da base de dados do Centro de Bioengenharia de Espécies Invasoras de Hidrelétricas - Cbeih (base.cbeih.org), até o momento foram encontrados registros do mexilhão dourado em 50 reservatórios no Brasil.

Morton (1996) e Darrigran (1999) descreveram algumas características, que se aplicam ao bivalve *Limnoperna fortunei*: Curto período de vida (dois – três anos), rápido crescimento individual, rápida maturação sexual, dióica (sexos separados), gametogênese constante com alta fecundidade propiciando alta disponibilidade de larvas (2 a 3 picos anuais) e constante assentamento, eurióticos (coloniza diferentes habitats), eurióicos (alta tolerância fisiológica), comportamento de agregação, associação a alguma atividade humana (transporte aquaviário), ampla variabilidade genética etc. A fecundação ocorre externamente dando origem a uma larva nadante de vida livre que coloniza novos lugares. O ciclo reprodutivo do *L. fortunei* apresenta duas fases, sendo, uma juvenil/adulta e uma fase larvária planctônica [11, 12].

2.2 Histórico dos impactos em sistemas industriais

Segundo PHILLIPS *et al.* (2005) a extensa proliferação e fixação de moluscos em usinas hidrelétricas pode provocar principalmente: - Entupimento ou redução da seção de tubulações; - Decomposição de material orgânico; - Aumento na corrosão de tubulações, ligas metálicas, concreto e polímeros, pela proliferação de outros agentes biológicos indesejáveis (bactérias, fungos, etc.); - Diminuição da vida útil de equipamentos pelo aumento da manipulação durante a manutenção. - Aumento da mão-de-obra para limpeza ou troca de encanamentos, filtros, etc.; - Redução da velocidade do fluxo de água em tubulações devido a perdas por fricção (fluxos turbulentos); - Acumulação de valvas vazias e contaminação das vias de água por mortalidade massiva, devido a inadequados tratamentos de controle; - Oclusão de filtros; - Redução da eficiência de equipamentos de troca térmica. Assim, esta espécie quando dentro do ambiente industrial se fixa a qualquer tipo de substrato, e crescem descontroladamente em camadas, configurando um efeito denominado de *macrofouling* [13].

2.3 Formas de combate a infestação do mexilhão dourado

Tintas *antifouling* também chamadas de tintas anti-incrustantes são aquelas que possuem, além da função de proteção e beleza, o propósito de não permitir ataque e adesão de organismos biológicos sejam eles micro ou macroorganismos. Estes revestimentos são usados geralmente em superfícies submetidas a imersões em água parada ou corrente.

No início dos anos 80, o uso de formulações a base de Tributilestanho - TBT se tornou uma preocupação, uma vez que estas substâncias não alteravam apenas os organismos que tentavam incrustação em superfícies de navios, mas também plantas e animais expostos ao mesmo ambiente.

Em 2001, a Organização Marítima Internacional – IMO aprovou em uma convenção, em que 170 países são signatários, que o uso de TBT em tintas anti-incrustantes seria proibido, passando em 2008 a vigorar seu banimento integral [14].

A proibição global da aplicação de compostos organoestânicos em embarcações impulsionou o desenvolvimento e aplicação de uma nova geração de biocidas anti-incrustantes.

A maioria das tintas anti-incrustantes de cobre são fortificadas com biocidas adicionais de “reforço”, frequentemente herbicidas, tendo em vista que estes provocam efeitos negativos na taxa de crescimento de organismos fotossintéticos. Segundo Ackha *et al.* (2012), o uso continuado desses “biocidas de reforço” em tintas anti-incrustantes aumenta a probabilidade de que as comunidades microbianas possam desenvolver tolerância aumentada e, portanto, reduzir a sua eficácia na prevenção de bioincrustação [15].

O controle do mexilhão dourado é muito complicado, e o grau de complexidade é intensificado na medida que a aplicação de metodologias de controle é retardada. As tentativas de controle até agora se detiveram em métodos físicos, químicos e controle biológicos por predadores, parasitas e competidores [16].

Atualmente, o uso de métodos químicos para o controle de moluscos incrustantes em sistemas industriais é a estratégia mais utilizada. A escolha de produtos químicos deve ao fato de possuírem ação rápida e ser simples sua implementação (em sua maioria). Outra vantagem oferecida pela maioria dos produtos químicos é que o sistema de injeção poder ser projetado para proteger grande parte do sistema industrial [17]. Mas a utilização destes métodos deve levar em conta a compatibilidade com os materiais presentes no sistema de resfriamento e o possível impacto ambiental a jusante do lançamento, uma vez que a maioria dos produtos utilizados pode ser letal tanto para as espécies invasoras como para as nativas. A dificuldade de adoção deste método é representada principalmente por normas e limitações relativas à descarga de compostos tóxicos no ambiente, bem como os custos envolvidos. Por causa de seu impacto, as regulamentações sobre estes produtos são cada vez mais rigorosas, e, conseqüentemente, a sua aplicabilidade cada vez mais limitada [18].

Até o momento, nenhum método físico conseguiu substituir a injeção de produtos químicos para combater a bioincrustação, estas metodologias têm sido utilizadas no máximo para auxiliar os métodos químicos, como é o caso da utilização de filtros. Os métodos físicos dificilmente conseguem atingir o mesmo resultado dos experimentos em laboratórios quando aplicados em sistemas industriais, além de em alguns casos serem inviáveis devido ao alto custo. São eles: radiação ultravioleta, tratamento por meio de choque térmico, remoção manual ou mecânica, tratamento através de descargas elétricas, magnetização da água, anóxia (falta total de

oxigênio) e hipóxia (quantidade insuficiente de oxigênio) além dos métodos acústicos [16].

Os métodos biológicos baseiam-se na introdução de espécies predadoras o que também é bastante delicado, devido à dificuldade em se determinar o comportamento de uma nova espécie no ecossistema além de estar incorrendo no perigo de se introduzir uma outra praga no ambiente. O método biológico mais utilizado é a predação por peixes [19]. A utilização destas metodologias deve ser estudada caso a caso, devido a cada usina ter particularidades em seus sistemas de resfriamento e na qualidade da água de seus reservatórios. A eficiência destes métodos pode variar bastante de usina para usina.

Devido aos danos causados ao meio ambiente pelos métodos anti-incrustantes existentes mais eficientes, há uma persistente necessidade de estudar novos meios de inibir a incrustação biológica. Nesse sentido, produtos naturais com atividade anti-incrustante vêm sendo isolados de uma grande variedade de organismos marinhos sésseis, incluindo gorgônias, esponjas, briozoários, ascídias e algas [20].

2.4 Anti-incrustantes naturais de algas marinhas

O desenvolvimento de revestimentos à base de produtos naturais é uma alternativa promissora para as atuais tecnologias de anti-incrustação, particularmente desde o banimento das tintas contendo compostos organoestânicos. Os produtos naturais são menos danosos ao meio ambiente quando comparados a substâncias de origem antropogênica, pois degradam mais rapidamente (uma vez que já existe a via de degradação no ambiente) e a anti-incrustação atua não pela toxicidade (na maioria dos casos) mas pela repelência às larvas. Resultados promissores foram obtidos no Brasil com produtos naturais da alga vermelha *Laurencia dendroidea*, levando ao patenteamento da substância ativa como anti-incrustante [9].

Produtos naturais de origem marinha podem ser utilizados para substituir os componentes químicos usualmente empregados nas tintas anti-incrustantes. Muitos animais sésseis desenvolvem-se livres da incrustação por outros organismos graças à produção de metabólitos que apresentam propriedades anti-incrustantes [21]. Esse sistema de defesa é, provavelmente, uma resposta evolutiva às desvantagens ecológicas impostas pela epibiose, particularmente em organismos fotossintetizantes. As macroalgas marinhas são conhecidas por produzir cerca de 3600 metabólitos secundários, muitos dos quais desempenhando funções ainda desconhecidas [22].

Em 2007, Medeiros *et al.* (2007) testaram o potencial anti-incrustantes de quatro diferentes espécies de macroalgas contra a fixação do mexilhão castanho (*Perna perna*). Foi constatado que os extratos de *Janiarubens* e *Bryothamnionseaforthii*, ambas do filo *Rhodophyta*, popularmente conhecidas como algas vermelhas, apresentaram atividade anti-incrustante significativa, enquanto as outras duas espécies, *Dictyopterisdelicatula* (*Phaeophyta*) e *Heterosiphoniagibesii* (*Rhodophyta*), não mostraram eficiência na inibição da fixação dos biscoos do molusco. Mais recentemente [23], Da Gama *et al.* (2008), também identificaram a eficiência de extratos de algas vermelhas na inibição da bioincrustação. Dos 68 extratos de algas marinhas coletadas na costa brasileira, 55% dos extratos ativos (moderada ou forte inibição da incrustação) eram representados pelas algas vermelhas, seguidas pelas algas pardas (14%). As algas verdes, também testadas, não apresentaram atividade anti-incrustante forte [22].

Em ambos os estudos não foi observada uma mortalidade significativa entre os organismos testados, reforçando a ideia de que os produtos naturais de origem marinha podem, futuramente, ser utilizados como alternativas “ecologicamente corretas” em substituição aos compostos anti-incrustantes empregados atualmente. O desenvolvimento de sistemas anti-incrustantes naturais tem sido uma das metas de alguns grupos de pesquisa nos últimos anos. No entanto, os resultados desses estudos ainda são escassos e requerem mais investigações, necessitando de um incentivo maior por parte das autoridades competentes.

2.5 *Laurencia dendroidea*

O estudo de produtos naturais marinhos de algas vermelhas apresenta algumas peculiaridades em relação às demais algas. Embora constitua um grande número de espécie, mas com biomassa bem menor que a biomassa das algas pardas, algumas são cultivadas na costa de inúmeros países, inclusive no Brasil, que podem servir de fonte para a obtenção de produtos.

No Brasil, os produtos naturais das espécies do gênero *Laurencia* são os mais estudados.

Os produtos naturais das espécies de *Laurencia* coletadas na costa brasileira apresentam várias atividades biológicas. Uma das atividades mais interessantes de utilização industrial estabelecida para um produto natural de alga vermelha foi a de anti-incrustante do elatol [24], produto majoritário de *Laurencia dendroidea*.



Figura 2. Exemplar da amostra da espécie *Laurenciadentroideano* habitat natural na Praia dos Castelhanos, litoral do Espírito Santo (A). Aspecto geral do talo (B). Detalhe do ramo (C) [25].

Laurencia dendroidea (Figura 2) definitivamente é a espécie mais estudada do complexo *Laurencia*, tanto pela dificuldade na sua identificação taxonômica quanto pela riqueza de metabólitos secundários biologicamente ativos por ela produzidos [25]. Ela é uma planta que apresenta porte maior, com até 30 cm de altura (o que é importante para fins de bioprospecção), e o seu metabólito majoritário - elatol, já é conhecido por apresentar atividades anti-incrustantes [5].

3 METODOLOGIA

Todos os argumentos e informações acumulados neste trabalho fazem parte do desenvolvimento de materiais anti-incrustantes a base de produtos naturais e estará em breve entrando na fase final de testes. Esta investigação está alinhada com as intenções da indústria buscando o desenvolvimento de opções que garantam a produção em escala industrial de insumos derivados de produtos naturais extraídos de macroalgas marinhas (ou de seus equivalentes sintéticos)

como uma solução ambientalmente favorável para o controle de incrustações biológicas em superfícies submersas em ambientes marinhos e de água doce.

Os resultados dos novos experimentos realizados para avaliar a atividade anti-incrustante de espécies de macroalgas ainda não estudadas ou já investigadas em outras localidades comporão a matriz de dados pretéritos para as análises globais. Para tanto, serão inicialmente analisados por testes estatísticos univariados, tais como a análise de variância (ANOVA) seguida do teste a posteriori de Dunnett quando a ANOVA detectar diferenças significativas. O teste de Dunnett é considerado um teste com maior poder estatístico para detectar diferenças entre os grupos de tratamentos e um grupo controle, pois, além de evitar comparações desnecessárias entre os tratamentos, permite também a realização do teste de forma unicaudal ou unidirecional. No presente caso, isto significa que este teste apenas indicará diferenças significativas quando algum extrato ou produto isolado das algas apresentar atividade anti-incrustante [26].

Pensamos em apresentar produtos naturais de algas marinhas como alternativa vantajosa ao uso do TBT e dos biocidas atualmente em uso e demonstrar a viabilidade dos processos de triagem e eleição dos produtos oriundos de macroalgas marinhas. Assim como testar uma espécie de alga de cada divisão (verdes, pardas e vermelhas), que tenham efeito anti-incrustante comprovado forte, efeito moderado e uma que não tenha efeito. E comparar os resultados obtidos em laboratório relatando a resposta do mexilhão dourado (de água doce) em comparação com o mexilhão castanho *Perna perna* (de água salgada) e todas as demais potencialidades da pesquisa.

4 CONCLUSÃO

Novos paradigmas suscitam novos valores. Os custos de fabricação de um produto, antes inviáveis economicamente, ganham novas avaliações diante dos custos representados, por exemplo, pelo passivo ambiental gerado pela utilização de produtos antes consagrados e hoje condenados, pelos danos comprovados à saúde humana ou pela legislação associada a pesadas multas decorrentes deste uso indevido.

A atividade anti-incrustante contida em produtos naturais marinhos já é amplamente estudada e consagrada. O isolamento e a síntese destes produtos naturais oriundos de algas marinhas podem e devem ser usados efetivamente para a prevenção da incrustação biológica.

A importância destes estudos reside na busca da preservação do ambiente marinho, pelo uso de tintas anti-incrustantes ambientalmente compatíveis, além da óbvia importância estratégica do uso de tintas eficazes nos navios da frota brasileira.

Além disso, a detecção de patentes de tintas anti-incrustantes desenvolvidas no Brasil levaria à geração de divisas e royalties para o país suavizando o impacto econômico gerado por essa espécie invasora nos principais segmentos de produção que enfrentam o problema como hidroelétricas, plataforma de produção de óleo e gás, transporte marítimo e a produção de peixes em tanque na água doce.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pela bolsa de mestrado, a REDEMAT, a UFOP e a UFF.

REFERÊNCIAS

- 1 CROTEAU, R.; KUTCHAN, T. M.; LEWIS, N. G. Natural Products (Secondary Metabolites). In: Buchanan B, Grissem W & Jones R (eds) *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. **American Society of Plant**, 2000.
- 2 GROZEA, C. M.; WALKER, G. C. Approaches in designing non-toxic polymer surfaces to deter marine biofouling. **Soft Matter**, v. 5, p. 4088-4100, 2009.
- 3 CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. O mexilhão Dourado, uma ameaça às águas e hidrelétricas brasileiras. **Ed. CEMIG**, Belo Horizonte, p. 24, 2014.
- 4 DA GAMA, B. A. P.; PEREIRA, R. C. Produtos não poluentes contra a bioincrustação. **Ciência Hoje**, v. 19, p. 16-25, 1995.
- 5 DA GAMA, B. A. P. et al. The Effects of Seaweed Secondary Metabolites on Biofouling. **Biofouling**, v. 18, n. 1, p. 13-20, 2002.
- 6 OLIVEIRA, M. D. Introdução de Espécies, Uma das Maiores Causas de Perda de Biodiversidade. **ADM, Embrapa Pantanal**, Corumbá-MS, n. 75, p. 1-3, Dezembro 2004.
- 7 RICCIARD, A.; RASMUSSEN, J. B. Predicting the identity and impact of future biological invaders: a priority for aquatic resource management. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, p. 1759-1765, 1998.
- 8 PARKER, L. M. et al. Impact: toward a framework for understanding the ecological effects of invaders. In: _____ **Biological Invasions 1**. [S.l.]: [s.n.], 1999. p. 3-19.
- 9 DA GAMA, B. A. P.; PEREIRA, R. C.; COUTINHO, R. Bioincrustação marinha. In: Pereira, R.C. & Soares-Gomes, A. (orgs.). **Biologia Marinha**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 299-318, 2009.
- 10 BARBOSA, N. P. U. Indicadores Ecológicos. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.005>, 2018.
- 11 Morton, B.. The aquatic nuisance species problem: a global perspective and review. In *Zebra mussels and aquatic nuisance species*, capítulo 1, páginas 1 a 54. Editores F. Dimitri. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan. EUA. 1996.
- 12 DARRIGRAN, G. Longitudinal distribution of molluscan communities in the Rio de la Plata estuary as indicators of environmental conditions. **Malacological Review, Suppl 8, Freshwater Mollusca.**, 1999.
- 13 PHILLIPS, S.; DARLAND, T.; SYTSM, M. Potencial Economic Impacts of Zebra Mussels on the Hydropower Facilities in the Columbia River Basin. **Prepared for the Bonneville Power Administration by Pacific States Marine Fisheries Commission**, 2005. Disponível em: <<http://www.psmfc.org>>.
- 14 KUGLER, H. No Silêncio dos Mares: Substância altamente tóxica é usada de forma ilegal na costa brasileira. **Ciência Hoje**, p. 32-37, 2014.
- 15 AKCHA, F.; SPAGNOL, C.; ROUXEL. Genotoxicity of diuron and glyphosate in oyster spermatozoa and embryos. **Aquatic Toxicology**, v. 106-107, p. 104-113, 2012.
- 16 KOWALSKI, E. L.; KOWALSKI, S. C. REVIEW ON METHODS OF GOLDEN MUSSEL CONTROL IN PIPES. **REVISTA PRODUÇÃO**, v. 8, n.2, Julho 2008. ISSN 1676 - 1901.
- 17 CLAUDI, R.; MACKIE, J. L. Pratical manual for zebra mussel monitoring and control. **Lewis Publishers**, Boca Raton, p. 227, 1994.
- 18 MACKIE, G. L.; CLAUDI, R. Monitoring and control of macrofouling mollusks in fresh water systems. **CRC**, Boca Raton, p. 1-508, 2010.
- 19 GIORDANI, S.; NEVES, P. S.; ANDREOLI, C. V. Limnoperna fortunei ou mexilhão dourado: impactos causados, métodos de controle passíveis de serem utilizados e a importâncias do controle de sua disseminação. **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2005.
- 20 RITTSCHOF, D. Natural product antifoulants: one perspective on the challenges related to coatings development. **Biofouling**, v. 15, p. 119-127, 2000.
- 21 BURGESS, J. G. et al. The Development of a marine natural product-based antifouling paint. **Biofouling**, v. 19, p. 197-205, 2003.
- 22 DA GAMA, B. A. P. et al. Antifouling activity of natural products from Brazilian seaweeds. **Botânica Marina**, v. 51, p. 191-201, 2008b.
- 23 MEDEIROS, H. E.; DA GAMA, B. A. P.; GALLERANI, G. Antifouling activity of seaweed extracts from Guarujá, São Paulo, Brazil. **Braz. J. Oceanogr**, v. 55, n. 4, p. 257-264, 2007.
- 24 SCHWEDE, J. G. et al. **Phytochemistry**, v. 26, p. 155, 1986.
- 25 STEIN, E. M. Barcode e bioprospecção de metabólitos das algas marinhas *Laurencia aldingensis*, *L. dendroidea* e *Laurenciella* sp. (Cerámiales, Rhodophyta), São Paulo, p. 317, 2015.

26 Zar, J.H. (2010) *Biostatistical analysis*. 5ª ed., Pearson, 960 p..