The background of the cover is a photograph of a stream flowing through a dense forest. The water is clear and reflects the surrounding greenery. The trees are tall and their branches are visible against a bright sky. The overall scene is peaceful and natural.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE
AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

DANIELE SAYURI FUJITA

Respostas dos invertebrados a aplicação de revestimentos antiincrustantes

Maringá

2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE
AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

DANIELE SAYURI FUJITA

Respostas dos invertebrados a aplicação de revestimentos antiincrustantes

Maringá

2009

DANIELE SAYURI FUJITA

Respostas dos invertebrados a aplicação de revestimentos antiincrustantes

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais
Área de concentração: Ciências Ambientais

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Alice Michiyo Takeda

Maringá

2009

"Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)"
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

F961r Fujita, Daniele Sayuri, 1978-
Respostas dos invertebrados a aplicação de revestimentos antiincrustantes / Daniele Sayuri Fujita. -- Maringá, 2009.
47 f. : il. (algumas color.).

Tese (doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)--Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2009.
Orientador: Prof.^a Dr.^a Alice Michiyo Takeda.

1. Invertebrados de água doce - Colonização - Substrato artificial - Baía, Rio - Paraná (Estado). 2. Invertebrados de água doce - Ação tóxica - Revestimentos antiincrustantes. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em "Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais".

CDD 22. ed. -592.176427098162
NBR/CIP - 12899 AACR/2

FOLHA DE APROVAÇÃO

DANIELE SAYURI FUJITA

Respostas dos invertebrados a aplicação de revestimentos antiincrustantes

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof.^a Dr.^a Alice Michiyo Takeda
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof.^a Dr.^a Maria Cristina Dreher Mansur
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Horácio Ferreira Júlio Júnior
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Luiz Carlos Gomes
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Fábio Amodêo Lansac-Tôha
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá

Aprovada em: 31 de agosto de 2009.

Local de defesa: Anfiteatro do Nupélia, Bloco G-90, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

AGRADECIMENTOS

À Prof^a Dr^a Alice Michiyo Takeda por ter oportunizado o desenvolvimento desta pesquisa, por todos estes anos de orientação, troca de experiência e por suas contribuições;

Ao CNPq e CAPES pela concessão da bolsa, que a mim permitiu tempo integral de dedicação para os estudos e sem a qual não seria possível atingir meus objetivos acadêmicos;

Ao CTHIDRO/CNPq pelo financiamento e ao NUPELIA (Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aqüicultura – UEM –Universidade Estadual de Maringá) pela utilização das instalações e equipamentos;

Aos senhores Jorge M. Eleutério, Gustavo L. Panissa e Kelly M. Rubim representantes da WEG e ao senhor Luis E. U. Lopez representante da Renner Hermann S.A. pela concessão, submissão e assistência na aplicação dos revestimentos antiincrustantes;

Aos professores Dr. Luiz Carlos Gomes e Dr.^a Carolina Viviana Minte Vera e aos colegas da disciplina Ecologia Quantitativa Avançada pelas sugestões e auxílio nas análises estatísticas; .

Aos professores e pesquisadores da Universidade Estadual de Maringá meu reconhecimento pela competência e pelos ensinamentos que me proporcionaram;

Aos funcionários da Universidade Estadual de Maringá pela disposição e colaboração no atendimento das solicitações;

À família ZOOBENTOS (passado e presente): Adriana, Ana Lúcia, Aryane, Bruno, Carolina, Cristina, Danielle, Daniele, Dayse, Elisa, Flávio, Gisele Rosin, Gisele Pinha, João Paulo, Luciana, Renan, Sidiney e Sara pela amizade e muitas risadas. Em especial à Sandra Maria de Melo e José Antônio Arenas Ibarra pela amizade em todos os momentos;

Aos meus colegas e irmãos Rômulo Diego de Lima Behrend e Sue Ellen Prata Fernandes, com os quais juntos sorrimos, mas também por vezes choramos, compartilhando nossos sofrimentos acadêmicos e pessoais;

Aos amigos Erica M. Takahashi, Elisa A. Murakami e Ciro Y. Joko, pelo carinho, amizade, incentivo, conselhos e apoio em todas as horas;

À secretária do Programa de Pós-Graduação, Aldenir Cruz Oliveira, e aos bibliotecários, Maria Salete Ribellato Arita e João Fábio Hildebrandt, pela atenção, colaboração, compreensão e eficiência no decorrer destes anos;

*Aos amigos **Celso** (Celsão), **Valdenir** (Batatinha), **Sebastião** (Tião) e **Alfredo** de muitas viagens e coletas;*

*À minha família (**Lauro**, **Francisca**, **Harumi** e **Butão**,) meu bem mais precioso, àqueles que permitiram sonhar, realizar e não desistir nos momentos difíceis. A vocês palavras não suficientes para externar meus agradecimentos;*

E a todos que marcaram a minha vida para sempre, por me apresentar projetos e sonhos, por ter ajudado na construção e por ter desafiado a construí-los,

*Meu sincero **obrigado!***

“Todas as coisas têm seu tempo, e todas elas passam debaixo do céu segundo o termo que a cada uma foi prescrito.
Há tempo de nascer e tempo de morrer.
Há tempo de plantar e tempo de arrancar o que se plantou.
Há tempo de matar e tempo de sarar.
Há tempo de destruir e tempo de edificar.
Há tempo de chorar e tempo de rir.
Há tempo de se afligir e tempo de saltar de gosto.
Há tempo de espalhar pedras e tempo de as ajuntar.
Há tempo de dar abraços e tempo de se por longe deles.
Há tempo de adquirir e tempo de perder.
Há tempo de guardar e tempo de lançar fora.
Há tempo de rasgar e tempo de coser.
Há tempo de calar e tempo de falar.
Há tempo de amor e tempo de ódio.
Há tempo de guerra e tempo de paz.”

Eclesiastes 3: 1-8.

Respostas dos invertebrados a aplicação de revestimentos antiincrustantes

RESUMO

Revestimentos antiincrustantes são usualmente aplicados em cascos de barcos, navios e embarcações para prevenir o crescimento indesejado de organismos, como bactérias, algas, moluscos e outros invertebrados. A maioria dos revestimentos contém biocidas, que são liberados lentamente no ambiente, promovendo uma proteção efetiva e de grande duração contra organismos incrustantes, como por exemplo, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857). Este estudo avaliou efeitos da utilização de revestimentos antiincrustantes a base de óxido de cobre sobre a colonização de invertebrados (*L. fortunei*, Oligochaeta e Chironomidae) entre diferentes revestimentos e ao longo do tempo. Para a realização deste estudo, estruturas foram montadas com placas de madeira com diferentes revestimentos antiincrustantes e controle (placa sem revestimento). A colonização dos invertebrados sobre os substratos foi acompanhada pelo período de doze meses. Os táxons mais abundantes que colonizaram os substratos com e sem revestimentos antiincrustantes foram *L. fortunei* (Mytilidae), Oligochaeta (Naididae) e larvas de Chironomidae. Diferenças na densidade, riqueza e composição foram observadas entre os revestimentos e o controle, com maiores valores registrados no controle. Os maiores valores do coeficiente de perda de comunidade foram observados para os revestimentos antiincrustantes, indicando maior dissimilaridade com a assembléia de referência (controle). Entretanto, com acompanhamento da colonização mensal observou-se semelhança na composição dos invertebrados entre os revestimentos e o controle. Os resultados obtidos por este estudo, confirmam a hipótese de que revestimentos antiincrustantes a base de óxido de cobre dificultam a colonização de invertebrados, reduzindo a densidade e riqueza, constituindo uma assembléia com um número de indivíduos e táxons (espécies e morfoespécies) reduzidos.

Palavras-chave: Revestimentos antiincrustantes. Colonização. *Limnoperna fortunei*. Oligochaeta. Larvas de Chironomidae. Ambientes aquáticos continentais. Rio Baía.

Answers from invertebrates the application of antifouling paints

ABSTRACT

Antifouling paints are usually applied on boat hulls, ships and small vessels to prevent the growth of fouling organisms, including bacteria, algae, mussels and others invertebrates. Most of antifouling paints present biocides, which are slowly released in environment, may promote an effective protection with great duration against biofouling, e. g., *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857). This study evaluated the effects of the use of antifouling paints contains copper oxide on the invertebrate colonization (*L. fortunei*, Oligochaeta and Chironomidae) among different antifouling paints and over time. For this study, the artificial substrata of wood were used to determine differences between antifouling and control (plate without paint). The colonization of the invertebrate on the substrata was observed twelve months. The most abundant taxon were *L. fortunei* (Mytilidae), Oligochaeta (Naididae) and Chironomidae larvae. Differences in the density, richness and composition were observed between the antifouling paints and control, with larger values registered in the control. Higher values of the coefficient of community loss were observed in antifouling paints, indicating large dissimilarity with the reference assemblage (control). However, with attendance of the monthly colonization was observed a similarity invertebrate composition between antifouling paints and control. However, with the monthly attendance of the colonization was observed invertebrate's composition similarity between antifouling paints and control. The obtained results confirm the hypothesis that antifouling paints with copper oxide hinder the colonization by invertebrates, decreasing the density and richness, compounding an assemblage with a reduced number of individuals and taxa (species and morphospecies).

Keywords: Antifouling paints. Colonization. *Limnoperna fortunei*. Oligochaeta. Chironomidae. Freshwater. Baía River.

Tese elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *Brazilian Journal of Biology*. Disponível em:
<<http://www.scielo.br/revistas/bjb/iinstruc.htm>>

SUMÁRIO

Capítulo I:

Influência de revestimentos antiincrustantes sobre invertebrados aquáticos (Mytilidae, Chironomidae e Naididae): densidade, riqueza e composição

1	RESUMO	10
2	INTRODUÇÃO	12
3	ÁREA DE ESTUDO	13
4	MATERIAIS E MÉTODOS	14
4.1	Amostragens	16
4.2	Análise de dados	16
5	RESULTADOS	17
6	DISCUSSÃO	22
	REFERÊNCIAS	24

Capítulo II

Colonização da assembléia de invertebrados (*Limnoperna fortunei*, Oligochaeta e larvas de Chironomidae) sobre revestimentos antiincrustantes

1	RESUMO	29
2	INTRODUÇÃO	31
3	ÁREA DE ESTUDO	32
4	MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1	Amostragens e Análise dos dados	34
5	RESULTADOS	35
6	DISCUSSÃO	41
	REFERÊNCIAS	43

Capítulo I:

Influência de revestimentos antiincrustantes sobre invertebrados aquáticos (Mytilidae, Chironomidae e Naididae): densidade, riqueza e composição

Resumo

O estudo dos invertebrados em substrato artificial com diferentes revestimentos antiincrustantes foi realizado com o intuito de responder as seguintes questões: 1) Há menor acumulação de material orgânico nos substratos com revestimentos antiincrustantes? 2) A colonização de invertebrados é afetada pela liberação de biocidas dos revestimentos antiincrustantes? 3) A colonização dos invertebrados aquáticos é facilitada por material acumulado sobre a superfície do substrato? 4) A composição da assembléia é similar entre os diferentes revestimentos? Para realização deste estudo, quatro estruturas foram instaladas em 01 de fevereiro de 2007 no rio Baía. Em cada estrutura foram colocadas sete placas de madeira: cinco placas com aplicação de um tipo de revestimentos antiincrustantes (T1, T2, T3, T4 e T5), uma placa apenas com a aplicação do primer (Pr) e a outra placa permaneceu sem aplicação de nenhum revestimento (Cn). Ao final dos 365 dias em que os substratos ficaram submersos observou-se maior acumulação de material orgânico nos substratos dos revestimentos T2 e T3. *Limnoperna fortunei* foi registrada em todos os revestimentos testados, com maiores densidades encontradas no controle e primer. Dentre os revestimentos antiincrustantes, T2 e T3, substratos com maior acúmulo de material orgânico, apresentaram maior fixação de *L. fortunei*. A colonização de Chironomidae e Naididae sobre os substratos foi favorecida pela densidade de *L. fortunei*, possivelmente por este bivalve promover alteração na superfície do substrato, criando um novo microhabitat e por proporcionar alimento (pseudofezes). A ordenação (NMDS) mostrou claramente a separação da assembléia de invertebrados entre os revestimentos, sendo T2 e T3 os mais similares ao controle e ao primer. Nos revestimentos antiincrustantes T4 e T5 foram verificados a menor fixação de *L. fortunei*, portanto com maior eficácia, mas também foram os que mais influenciaram na colonização de outros invertebrados, como observados na dissimilaridade destes revestimentos com o controle e primer e nas menores densidades e riqueza de Chironomidae e Naididae. Os resultados obtidos por este estudo confirmam a hipótese de que revestimentos antiincrustantes aplicados sobre substratos dificultam a colonização de invertebrados, reduzindo a densidade e riqueza, constituindo uma assembléia com um número de indivíduos e táxons (espécies e morfoespécies) reduzidos.

Palavras-chave: colonização, *Limnoperna fortunei*, Chironomidae, Naididae, rio Baía.

Influence of antifouling paint on aquatic invertebrates (Mytilidae, Chironomidae and Naididae): density, richness and composition

Abstract

The study about invertebrates in artificial substrate with different antifouling paints was performed in order to answer the following issues: 1) Is there lower accumulation of organic matter on substrates with antifouling paints? 2) Is the invertebrate colonization influenced by the release of biocides from antifouling paints? 3) Is the colonization by aquatic invertebrates favored by the material accumulated upon the substrate surface? 4) Is the assemblage composition similar among the different paints? To accomplish this study, four structures were installed in the Baía River in February 1st, 2007, each one compounded by 7 wood boards: 5 boards painted with each type of antifouling paints (T1, T2, T3, T4 and T5), one painted only with the primer (Pr) and the other without any paint (Cn). At the end of 365 days in which the substrates remained submerged we observed a greater accumulation of organic matter in the substrates with T2 and T3 paints. *Limnoperna fortunei* was recorded in all tested paints, with higher densities in the control and primer. Among the antifouling paints, T2 and T3, substrates with greater accumulation of organic matter, presented higher attachment of *L. fortunei*. The colonization of Chironomidae and Naididae on the substrate was favored by *L. fortunei* density, probably because this bivalve promoted changes in the substrate surface, creating a new microhabitat, and also provided food resource (pseudofeces). The ordination (NMDS) evidenced the clear distinction of invertebrate assemblage among the paints; and T2 and T3 were the most similar to the control and primer. The T4 and T5 antifouling paints presented lower attachment of *L. fortunei*, i.e., they were the most effective paints, but, otherwise, they were also those that most influenced the invertebrate colonization, as observed in the dissimilarity of these paints in relation to the control and primer and in the lower density and richness of Chironomidae and Naididae. The obtained results corroborate the hypothesis that the antifouling paints applied on substrates hinder the invertebrate colonization, decreasing the density and richness, in consequence, the assemblage presents a reduced number of individuals and taxa (species and morphospecies).

Key words: Colonization, *Limnoperna fortunei*, Chironomidae, Naididae.

Introdução

Bioacumulação, bioincrustação ou “*biofouling*” são termos aplicados para definir a acumulação ou crescimento indesejável de microorganismos, plantas e animais sobre superfícies de objetos (naturais ou artificiais) imersos na água (Woods Hole Oceanographic Institution, 1952; International Maritime Organization, 2002). Algas, hidrozoários e moluscos são os principais responsáveis por formar incrustações na água doce (Callow, 1993). *Limnoperna fortunei* é um bivalve de origem asiática, introduzido na região Neotropical (Darrigran e Pastorino, 1995; Boltovskoy et al., 2006), que por se fixar, através das fibras do bisso, sobre substratos sólidos e em outros organismos formam “*macrofouling*” ou macroaglomeração (Darrigran e Damborenea, 2006; Mansur e Pereira, 2006).

A dispersão de *L. fortunei* após a sua instalação nos rios sul-americanos ocorre por mecanismos naturais – dispersão das larvas planctônicas pela correnteza e quando adultas ou juvenis fixadas a elementos flutuantes ou outros organismos (Darrigran e Damborenea, 2006); e não naturais – através da navegação e atividades de pesca (Garcia e Protogino, 2005; Darrigran e Mansur, 2006). A capacidade de fixar-se nos cascos de embarcações e, conseqüentemente, ser transportada para outros locais, pode ser um dos principais mecanismos de dispersão desta espécie (Darrigran, 2002, Takeda et al., 2003, Takeda et al., no prelo).

A preocupação em proteger equipamentos ou instalações industriais da bioacumulação, especialmente de *L. fortunei* (Darrigran et al., 2007, Darrigran e Damborenea, 2006, Portella et al., 2009), conduziram a estudos na busca por meios de prevenir e/ou controlar a macroaglomeração em estruturas sólidas, como materiais antiincrustantes (Ohkawa et al., 1999; Faria et al., 2006), molusquicida e outros biocidas (Maroñas e Damborenea, 2006) e revestimentos antiincrustantes (Caprari e Lecot, 2001, Matsui et al., 2002, Caprari, 2006). Os revestimentos antiincrustantes previnem a fixação de organismos, devido às propriedades tóxicas, conferindo uma proteção efetiva e de grande duração (Caprari e Lecot, 2001). Contudo, por possuírem em sua composição componentes biocidas, liberam na água partículas destes pigmentos, como o cobre (Omae, 2003; Yebra et al., 2004), que em elevadas concentrações podem ser danosas aos organismos aquáticos, como invertebrados bênticos (Kraft e Sypniewski, 1981) e peixes (Barry et al., 1981, Marr et al., 1999).

O projeto intitulado “Programa de pesquisa para controle do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*) nas águas jurisdicionais brasileiras” coordenado pelo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira realizou bioensaios, em laboratório e em campo,

com vários revestimentos antiincrustantes existentes no mercado brasileiro, para identificar os revestimentos que permitem maior controle da fixação do mexilhão dourado com menor custo ambiental (Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, 2008). A partir dos resultados obtidos, foram selecionados cinco revestimentos antiincrustantes para avaliar seus efeitos sobre outras espécies de invertebrados aquáticos.

O estudo dos invertebrados em substrato artificial com diferentes revestimentos antiincrustantes foi realizado com o intuito de responder as seguintes questões: 1) Há menor acumulação de material orgânico nos substratos com revestimentos antiincrustantes? 2) A colonização de invertebrados é afetada pela liberação de biocidas dos revestimentos antiincrustantes? 3) A colonização dos invertebrados aquáticos é facilitada por material acumulado sobre a superfície do substrato? 4) A composição da assembléia é similar entre os diferentes revestimentos? A hipótese deste estudo foi que a aplicação de revestimento antiincrustante sobre um substrato, forma uma película que devido ao seu caráter biocida, dificulta a colonização de invertebrados aquáticos. As predições testadas foram: 1) Há menor material orgânico acumulado, densidade e riqueza de espécies em substratos com aplicação de revestimentos antiincrustantes e 2) A composição da assembléia de invertebrados é dissimilar entre os diferentes revestimentos.

Área de Estudo

O experimento foi realizado no curso inferior do rio Baía, localizado na região da Área de Proteção Ambiental (APA) das Ilhas e Várzeas do rio Paraná (Fig. 1). De acordo com Exercito Nacional (1972), o rio Baía nasce no município de Nova Andradina (450 m acima do nível do mar) e flui por 130 km até a sua confluência com o rio Paraná e, através do canal Curutuba, ao rio Ivinhema. É um rio sinuoso, com largura variada e vários diques ocupados pela vegetação ripária, campos antropizados ou inundados, além de muitos bancos de macrófitas associados às suas margens. No local de amostragem (22°41'9,39" e 53°15'8,67") a profundidade média é de 3 m e velocidade de fluxo de 0,02 m.s⁻¹.

Na planície aluvial do alto rio Paraná, o rio Baía foi escolhido para a realização deste experimento por apresentar uma população bem estabelecida da espécie invasora, com elevadas densidades de indivíduos adultos e em estágios larvais (Takeda et al., em preparação), assim como prévio conhecimento dos demais táxons da assembléia de

invertebrados aquáticos (Takeda et al., 1997; Takeda e Fujita, 2004; Behrend et al., 2009; Anjos e Takeda, no prelo).

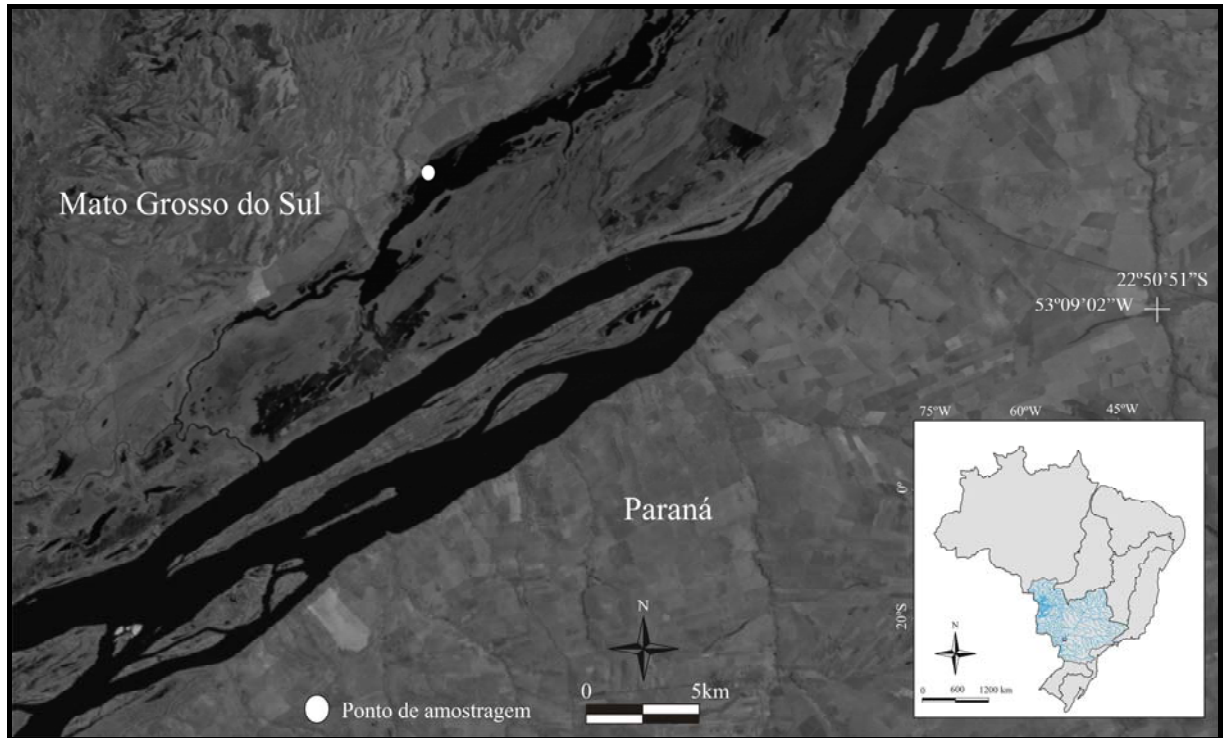


Figura 1. Mapa da área de estudo.

Materiais e Métodos

Para a realização deste experimento, os cinco revestimentos antiincrustantes testados foram escolhidos por apresentarem uma combinação entre eficiência e baixa toxicidade na inibição da fixação do mexilhão dourado nos bioensaios em laboratório, realizados anteriormente pelo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (2008). Estes testes também revelaram a presença de óxido de cobre (Cu_2O) em todos os revestimentos antiincrustantes.

Quatro estruturas foram confeccionadas para a instalação de placas de madeiras. Cada estrutura foi composta por um cano rígido de PVC de 1 ¼, de diâmetro, com 2 m de comprimento, preso por cabos nas extremidades a uma bóia ancorada ao fundo. As placas de madeira de 20 x 25 cm de lado e 15 mm de espessura foram traspassadas pelo cano e travadas por fios de cobre para evitar o contato entre elas.

Em cada estrutura foram colocadas sete placas de madeira (Fig. 2, Tabela 1): em cinco placas cada um dos cinco de revestimentos antiincrustantes testados foi aplicado, em uma placa foi apenas aplicado o primer (revestimento que garante a aderência do revestimento antiincrustante sobre a superfície aplicada) e a outra placa permaneceu sem aplicação de nenhum revestimento, sendo considerado o controle. A disposição das placas não foram aleatorizados (Fig. 2). As estruturas para o experimento foram projetadas e fornecidas pelo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, que foram submersas em 01 de fevereiro de 2007 nas águas do rio Baía.

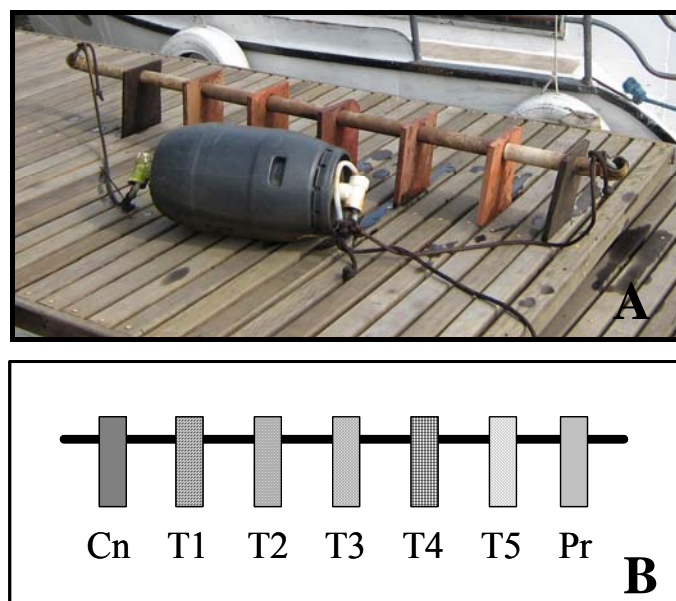


Figura 2. A. Estrutura com as placas de madeira (Fonte: Maria C. D. Mansur). B. Diagrama da disposição dos revestimentos utilizados. Cn= Controle, T1, T2, T3, T4, e T5= Revestimentos antiincrustantes, Pr= Primer.

Tabela 1. Relação de revestimentos e códigos utilizados.

Código	Marca comercial	
Cn	Controle (sem revestimento)	
T1	Revestimento antiincrustante	Revrans AF BR 870
T2	Revestimento antiincrustante	Poliepox 600
T3	Revestimento antiincrustante	Revrans AF LCL 870
T4	Revestimento antiincrustante	Coper Bottom 60
T5	Revestimento antiincrustante	Aemme Long Life Plus
Pr	Primer	

Amostragem

As amostras de cada placa de madeira foram coletadas após doze meses de exposição (01 de fevereiro de 2008), raspadas integralmente com auxílio de um pincel e o material imediatamente fixado em álcool 70%.

Os invertebrados aquáticos foram separados e contados, utilizando-se microscópio estereoscópico. Oligochaeta e Chironomidae foram identificados a menor categoria taxonômica possível, utilizando-se bibliografia especializada (Oligochaeta: Brinkhurst e Jamieson, 1971, Brinkhurst e Marchese, 1991, Righi, 1984; Chironomidae: Trivinho-Strixino e Strixino, 1995, Coffman e Ferrington, 1996, Epler, 1995). Após a triagem e retirada dos invertebrados, o restante das amostras foi seco em estufa a 50°C e pesado, para a quantificação do material orgânico acumulado (peso seco).

Análise dos Dados

Para a análise dos dados foi utilizado o programa R (versão 2.8, The R Foundation for Statistical Computing, 2008 - módulo vegan). O material orgânico acumulado nos substratos foi testado através da análise de variância (ANOVA) para determinar diferenças entre os revestimentos e o controle.

Para descrever a assembléia de invertebrados aquáticos dos substratos artificiais foram analisadas a densidade (ind.m^{-2}), a abundância (%) e a riqueza de táxons (S). A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para determinar diferenças entre os revestimentos e o controle dos seguintes fatores: densidade e riqueza de invertebrados, densidade de *L. fortunei*, Chironomidae e Naididae. Os pressupostos de normalidade e homocedasticidade de todas as análises de variância foram atendidos, com transformações dos dados ($\log_{(n+1)}$).

O coeficiente de correlação de Spearman foi calculado para avaliar a correlação entre o material orgânico acumulado e a densidade de invertebrados (*L. fortunei*, Chironomidae e Naididae) e entre *L. fortunei*, Chironomidae e Naididae.

A composição da assembléia, com remoção dos valores zero, foi examinada usando escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS). A distância de Bray-Curtis foi usada para determinar a similaridade da composição da comunidade entre as amostras. Diferenças na estrutura da comunidade entre os tipos de tintas foram testadas através da análise de similaridade (ANOSIM).

O coeficiente de perda de comunidade (Courtemanch e Davis, 1987) foi calculado para todos os revestimentos, sendo utilizado como comunidade de referência o controle (Cn) e o primer (Pr). Este é um índice de dissimilaridade, para o qual os valores aumentam com o grau

de dissimilaridade entre a estação de referência e a estação de interesse (Courtemanch e Davis, 1987).

Resultados

Ao final dos 365 dias em que os substratos ficaram submersos nas águas do rio Baía observou-se maior acúmulo de material orgânico nos substratos dos revestimentos T2 e T3 (Fig. 3). A análise de variância demonstrou diferenças significativas entre os substratos (ANOVA: $F_{(6, 21)} = 7,33$; $p < 0,01$), distinguindo T2 e T3 do primer, T4 e T5 (Teste de Tukey; $p < 0,05$).

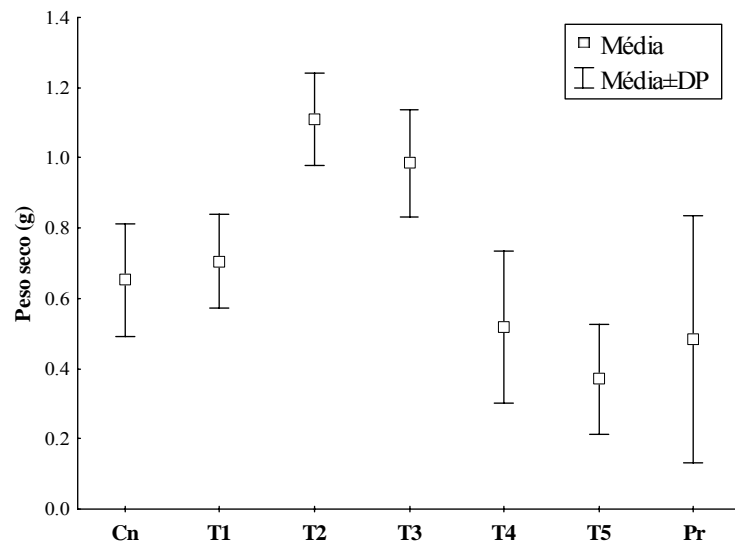


Figura 3. Média e desvio padrão do peso seco (g) do material orgânico acumulado sobre os substratos. Cn= Controle, T1, T2, T3, T4, e T5= Revestimentos antiincrustantes, Pr= Primer.

A densidade de invertebrados que colonizaram os substratos no experimento variou de 1 a 1566 indivíduos, dependendo do tipo de revestimento. A densidade de invertebrados (Fig. 4A) e o número de táxons (Fig. 4B) foram significativamente diferentes entre os substratos com revestimentos e sem revestimentos antiincrustantes ($\text{Log}_{(Densidade+1)}: F_{(6, 21)} = 20,38$; $p < 0,01$; Táxons: $F_{(6, 21)} = 15,83$; $p < 0,01$).

Alta abundância e número de táxons de invertebrados foram encontrados no controle (Cn) e primer (Pr), e os menores valores foram registrados para os revestimentos antiincrustantes T4 e T5 (Fig. 4). *Limnoperna fortunei* e Chironomidae foram os táxons

abundantes e presentes em todos os substratos (Fig. 5) e indivíduos da família Naididae (Oligochaeta) não foram registrados somente em T4.

Limnoperna fortunei foi registrada em todos os substratos com e sem revestimento (Fig. 6) e sua densidade diferiu entre os revestimentos ($\text{Log}(L. fortunei+1)$: $F_{(6, 21)}=26,57$; $p<0,01$), sendo T1, T4 e T5 diferente dos demais revestimentos e do controle. Diferenças significativas na densidade de Chironomidae e de Naididae entre os revestimentos antiincrustantes e controle também foram registradas (Chironomidae: $F_{(6, 21)}=6,17$; $p<0,01$; Naididae: $F_{(6, 21)}=2,65$; $p<0,05$). Nos revestimentos T1, T4 e T5 foram registradas as menores densidades de Chironomidae e Naididae (Fig. 7).

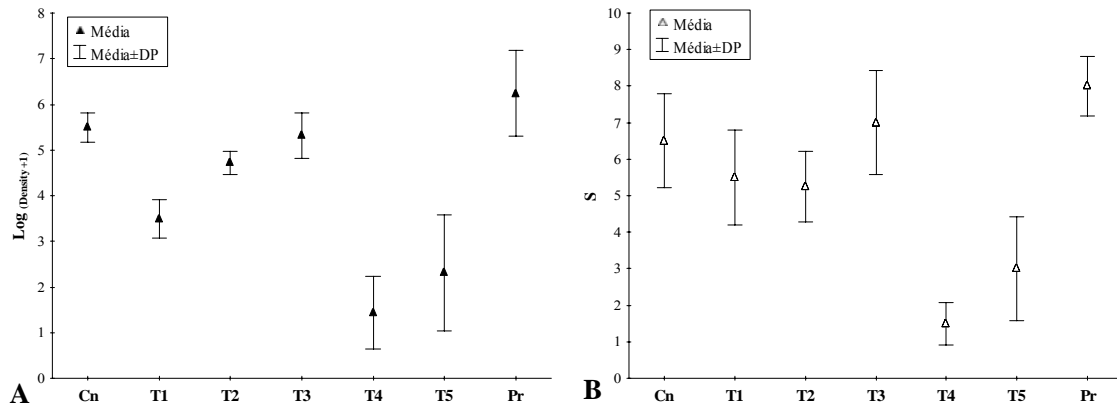


Figura 4. Média e desvio padrão entre os substratos da densidade ($\text{Log}(\text{Densidade}+1)$) (A) e número de táxons (B). Cn= Controle, T1, T2, T3, T4, e T5= Revestimentos antiincrustantes, Pr= Primer.

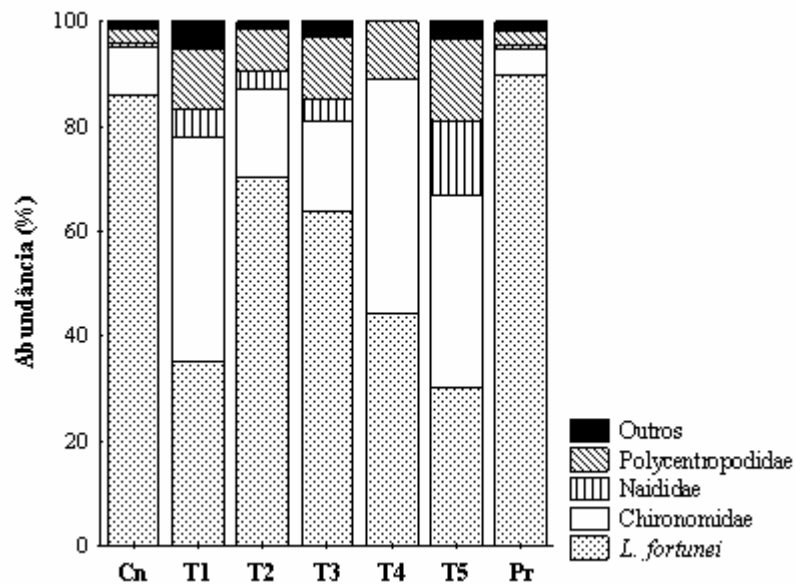


Figura 5. Abundância relativa (%) dos táxons entre os substratos. Cn= Controle, T1, T2, T3, T4, e T5= Revestimentos antiincrustantes, Pr= Primer.

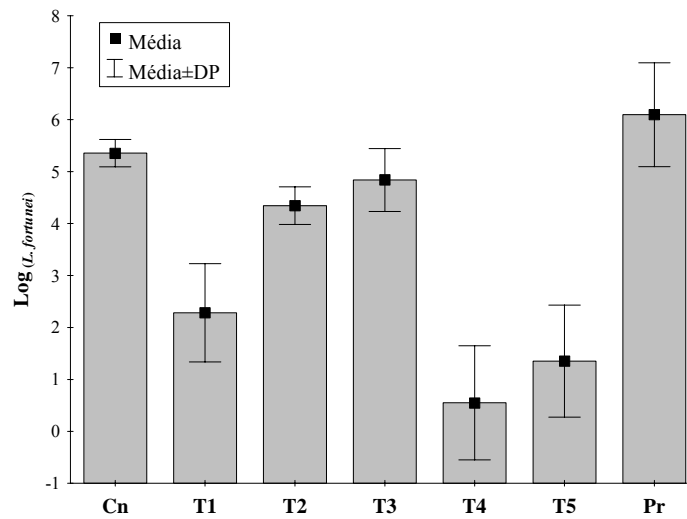


Figura 6. Média e desvio padrão da densidade de *L. fortunei* ($\text{Log}(L. fortunei+1)$) entre os substratos. Cn= Controle, T1, T2, T3, T4, e T5= Revestimentos antiincrustantes, Pr= Primer.

Somente foi encontrada correlação entre o material orgânico acumulado com a densidade de Chironomidae (coeficiente de correlação de Spearman: $\rho = 0,54$; $p < 0,05$), contudo correlações positivas foram verificadas entre *L. fortunei* e as densidades de Chironomidae e Naididae e riqueza de táxons ($\rho = 0,74$; $0,51$ e $0,82$; respectivamente).

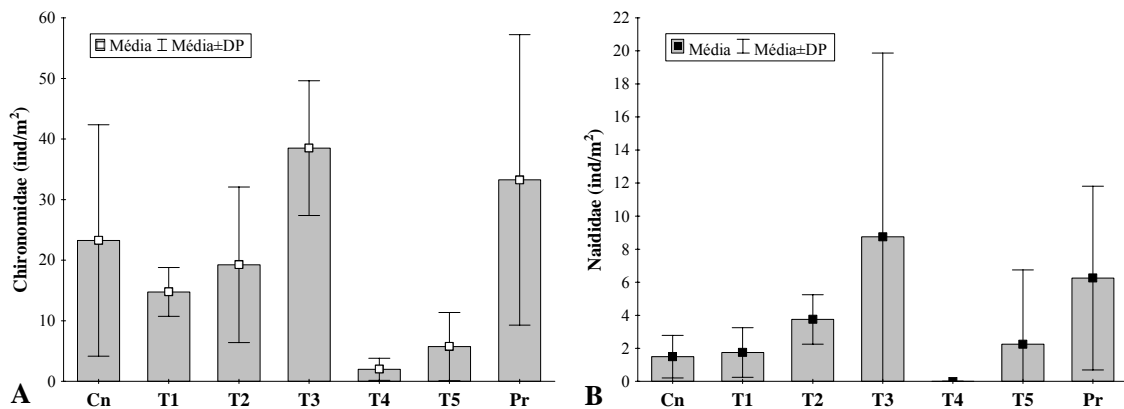


Figura 7. Média e desvio padrão da densidade Chironomidae (A) e Naididae (B) entre os substratos. Cn= Controle, T1, T2, T3, T4, e T5= Revestimentos antiincrustantes, Pr= Primer.

Dentre as 15 morfoespécies de Chironomidae coletadas, *Parachironomus* sp4 foi a mais abundante em todos os revestimentos, enquanto que de Naididae foram identificadas somente 7 espécies e a abundância variou dependendo do revestimento (Tabela 2). O número de morfoespécies de Chironomidae e espécies de Naididae que colonizaram os substratos

diferiram entre os revestimentos, com menor número de táxons registrados para os substratos com revestimentos T4 e T5.

A ordenação (NMDS) mostrou claramente a separação da comunidade de invertebrados entre os revestimentos (Fig. 8), ANOSIM também indicou que a comunidade diferiu significativamente (ANOSIM: $R = 0,57$; $p < 0,01$). Os revestimentos antiincrustantes T2 e T3 foram mais similares, quanto a composição da comunidade de invertebrados, ao controle e ao primer.

Tabela 2. Abundância relativa (%) dos táxons registrados nos substratos. Cn= Controle, T1, T2, T3, T4, e T5= Revestimentos antiincrustantes, Pr= Primer.

	Cn	T1	T2	T3	T4	T5	Pr
Bivalvia							
<i>Limnoperna fortunei</i> (Dunker, 1857)	89,74	42,11	77,86	75,20	50,00	37,25	94,07
Chironomidae							
<i>Beardius</i> sp1		0,88					
<i>Chironomus</i> sp1	0,31	0,88		0,66			0,04
<i>Dicrotendipes</i> sp3	0,21		0,49				0,04
<i>Endotribelos</i> sp1	0,10		0,24	0,13			
<i>Goeldichironomus</i> gr <i>pictus</i>		2,63	0,49	0,26		1,96	0,04
<i>Parachironomus</i> sp4	8,70	42,98	15,82	18,47	43,75	37,25	4,54
<i>Polypedilum</i> (<i>Ashum</i>)		0,88	0,24				0,04
<i>Polypedilum</i> (<i>Polypedilum</i>) sp4		0,88		0,13		3,92	0,08
<i>Caladomyia</i> sp					6,25		
<i>Cricotopus</i> sp1			0,24				0,15
<i>Corynoneura</i> sp1			0,24				
<i>Nanocladius</i> sp	0,10	2,63	0,24				
<i>Ablabesmyia</i> (<i>Karelia</i>)	0,21		0,24	0,26		1,96	0,08
<i>Djalmabatista</i> sp			<0,01	0,13			
<i>Labrundinia</i> sp2			0,24	0,13			
Naididae							
<i>Chaetogaster diastruphus</i> (Gruithuisen, 1828)	0,10						
<i>Dero</i> (<i>Aulophorus</i>) <i>furcatus</i> (Müller, 1773)		1,75					
<i>Dero</i> (<i>Dero</i>) <i>sawayai</i> Marcus, 1943		3,51	1,46	0,66		7,84	0,11
<i>Nais communis</i> Pignet, 1906	0,41	0,88	1,46	0,13			0,15
<i>Pristina aequiseta</i> Bourne, 1891	0,10		0,49	3,56			0,11
<i>Pristina leidy</i> Smith, 1896				0,13		9,80	0,23
<i>Pristina proboscidea</i> Beddard, 1896			0,24	0,13			0,34
Total de táxons	10	11	15	14	3	7	14

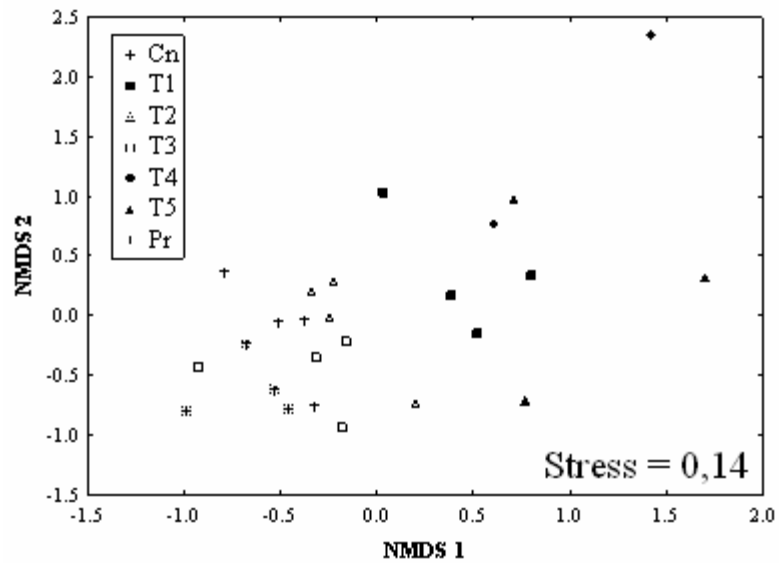


Figura 8. Escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) da comunidade de invertebrados. Cn= Controle, T1, T2, T3, T4, e T5= Revestimentos antiincrustantes, Pr= Primer.

Os valores calculados do coeficiente de perda de comunidade, utilizando como referência controle e primer, indicaram maior dissimilaridade entre as assembléias de referência e as que colonizaram T4 e T5 (Fig. 9).

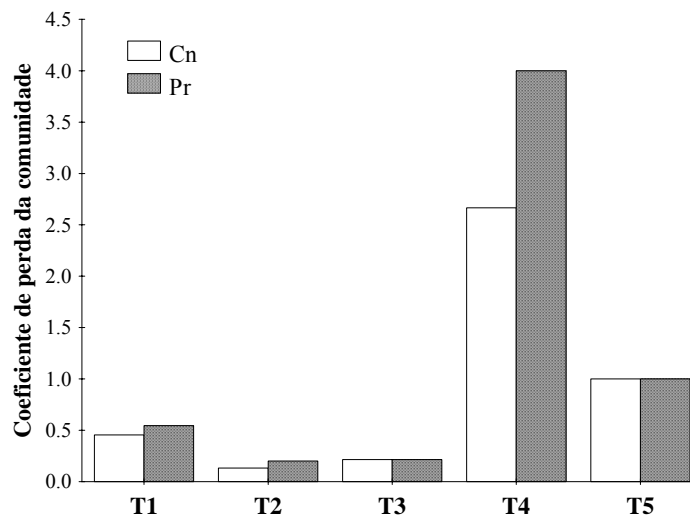


Figura 9. Valores do coeficiente de perda de comunidade para os revestimentos. Cn= Controle, T1, T2, T3, T4, e T5= Revestimentos antiincrustantes, Pr= Primer.

Discussão

Os revestimentos antiincrustantes são produtos que ao serem aplicados sobre a superfície de objetos formam uma película que contem biocidas, para prevenir a incrustação ou acumulação de indivíduos indesejáveis. A ação tóxica implica na liberação dos biocidas, que na maioria são venenosos para os organismos (Woods Hole Oceanographic Institution, 1952). Em geral, os revestimentos antiincrustantes podem repelir os organismos, causar alterações orgânicas que determinem a morte antes da fixação e/ou permitir a fixação, porém causando a morte durante as etapas do ciclo de vida (Caprari, 2006).

Neste estudo, esperava-se registrar maior valor de material orgânico acumulado nos substratos sem revestimentos antiincrustantes (controle e primer), por não possuírem uma película com componentes biocidas. Entretanto, o maior acúmulo de material aderido foi registrado nos revestimentos T2 e T3, o que possivelmente favoreceu a maior colonização de invertebrados observada quando comparada aos demais revestimentos antiincrustantes. Detritos, algas perifíticas e bactérias que acumularam nos substratos servem de alimento para muitos invertebrados (Bott e Borchardt, 1999), especialmente para as larvas de Chironomidae (Robinson et al. 1990; Armitage et al. 1995; Maasri et al., 2008) e espécies de Naididae (Learner et al., 1978).

O acúmulo de material nos revestimentos T2 e T3 podem estar relacionados a aderência das tintas as superfície dos substratos, pois qualquer rugosidade pode aumentar a adesão de partículas (Howell e Behrends, 2006), ou ainda, os táxons colonizadores possuam tolerância as concentrações de óxido de cobre liberadas por estes revestimentos. Várias espécies de algas (por exemplo, *Achnanthes* spp., *Enteromorpha* ssp. e *Ectocarpus* spp.), como observado por French e Evans (1986), apresentam tolerância fisiológica ao cobre.

Limnoperna fortunei foi registrada em todos os revestimentos testados, mas as maiores densidades foram encontradas nos substratos sem revestimentos antiincrustantes (controle e primer). Os pigmentos extraídos de todos os revestimentos apresentaram como principal componente o óxido de cobre (Cu₂O) (Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, 2008), que entre os revestimentos testados por Matsui et al. (2002) encontram menor fixação de *L. fortunei*. Dentre os revestimentos antiincrustantes, T2 e T3 foram os que ao final dos 365 dias apresentaram maior fixação de *L. fortunei*, devido provavelmente ao maior acúmulo de material orgânico. Segundo Faria et al. (2006), a presença de biofilme sobre superfícies auxilia na adesão de *L. fortunei* sobre superfícies.

A colonização de Chironomidae e Naididae sobre os substratos foi favorecida pela densidade de *L. fortunei*, possivelmente por este bivalve promover alteração na superfície do substrato, criando um novo microhabitat (Darrigran 2002). Darrigran et al. (1998) também registraram que a colonização de *L. fortunei* em superfícies sólidas como rochas, por exemplo, favoreceu a colonização de Oligochaeta, pelo aumento na complexidade da superfície. O aumento da abundância de táxons detritívoros, maioria dos Chironomidae e Naididae, deve também a maior disponibilidade de alimento, liberação e deposição dos rejeitos do mexilhão (pseudofeses). Ricciardi et al. (1997) na América do Norte, na qual há a presença do mexilhão zebra (*Dreissena polymorpha* Pallas 1771), observaram aumento na riqueza e abundância de macroinvertebrados devido a criação de hábitat, pelo agrupamento dos mexilhões, e da acumulação das pseudofeses.

Dentre as morfoespécies de Chironomidae, *Parachironomus* sp4 esteve presente e dominante (abundância > 70%) em todos os revestimentos. Larvas de *Parachironomus* são comuns em ambientes lênticos com matéria orgânica em decomposição (Sanseverino et al., 1998, Sanseverino e Nessimian 2001, Rosin e Takeda, 2007). Entretanto, a dominância das larvas desta morfoespécie pode estar mais relacionada ao seu ciclo de vida, como observado Fujita e Takeda (em preparação), onde maiores densidades foram registradas nos meses de fevereiro e março.

Assim como também observado para as larvas de Chironomidae, fevereiro não é o período de maior colonização de Naididae em substratos (Fujita e Takeda, em preparação), pois é o período em que as águas do rio Paraná invadem sua área de inundação, a qual inclui o rio Baía (Thomaz et al., 2004). Neste período, são registradas as menores densidades e riqueza de invertebrados bênticos (Rosin e Takeda, 2007, Behrend et al., 2009), contudo, coincide com um dos períodos de maior recrutamento de *L. fortunei* (Takeda et al., dados inéditos).

Nais communis, uma das principais espécies de Naididae que coloniza substrato artificial (Fujita e Takeda, em preparação), foi abundante no substrato sem revestimento e ausente nos revestimentos T4 e T5. Possivelmente por não possuírem exoesqueleto de quitina como as larvas de insetos, os anelídeos estão mais susceptíveis a ação dos biocidas liberados pelos revestimentos antiincrustantes.

A ordenação (NMDS) mostrou claramente a separação da comunidade de invertebrados entre os revestimentos, sendo T2 e T3 (substratos com maior acúmulo de material orgânico) os mais similares ao controle (Cn) e ao primer (Pr) na composição da comunidade de invertebrados. Nos revestimentos antiincrustantes T4 e T5 foram verificados a

menor fixação de *L. fortunei*, portanto possuindo maior eficácia, com observado por Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (2008). Entretanto estes revestimentos também foram os que mais influenciaram na colonização de outros invertebrados aquáticos, como observados na dissimilaridade destes revestimentos com o controle e primer (NMDS e coeficiente de perda de comunidade) e na densidade e riqueza de Chironomidae e Naididae.

Os resultados obtidos por este estudo confirmam a hipótese de que revestimentos antiincrustantes aplicados sobre substratos dificultam a colonização de invertebrados (*L. fortunei*, Chironomidae e Naididae), reduzindo a densidade e riqueza, constituindo uma assembléia com um número de indivíduos e táxons (espécies e morfoespécies) reduzidos. Contudo, deve-se ressaltar que os revestimentos antiincrustantes são destinados a cascos de embarcações (Woods Hole Oceanographic Institution, 1952) e a liberação dos biocidas pelos revestimentos depende de vários fatores, como solubilidade do biocida, área exposta, atrito com a água circundante, condições de temperatura e pH da água (Caprari, 2006). Assim, testes em outros ambientes com condições ambientais distintas (correnteza, temperatura e pH da água) possam revelar resultados distintos.

Agradecimentos

Ao CTHIDRO/CNPq (processo no. 50.7675/2004-5) e ao Núcleo de Pesquisa em Ecologia, Limnologia e Aqüicultura (Nupelia) pelo suporte financeiro e logístico. Ao CNPq e CAPES pela concessão de bolsa de doutorado, aos fabricantes dos revestimentos pela submissão dos produtos: Renner Hermann S. A., Polipox, Sherwin-Williams Tintas Sumaré e Promar.

Referências

- ANJOS, AF. e TAKEDA, AM. no prelo. Distribuição espacial e temporal das larvas de Chironomidae em diferentes ambientes do rio Baía. *Acta Scientiarum Biological Sciences*.
- ARMITAGE, PD., CRANSTON, PS. e PINDER, LCV. 1995. *The Chironomidae: the biology and ecology of non-biting midges*. London: Chapman & Hall. 572p.
- BARRY, KL., GROUT, JA., LEVINGS, CD., NIDLE, BH. e PIERCEY, GE. 2000. Impacts of acid mine drainage on juvenile salmonids in an estuary near Britannia Beach in Howe Sound, British Columbia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 57, no. 10, p. 2032-2043.

- BEHREND, RDL., FERNADES, SEP., FUJITA, DS. e TAKEDA, AM., 2009. Eight years of monitoring aquatic Oligochaeta from the Baía and Ivinhema Rivers. *Brazilian Journal of Biology*, vol. 69, no. 2 (suppl.), p. 559-571.
- BOLTOVSKOY, D., CORREA, N., CATALDO, D. e SILVESTRE, F. 2006. Dispersion and ecological impact of the invasive freshwater bivalve *Limnoperna fortunei* in the Rio de la Plata watershed and beyond. *Biological Invasions*, vol. 8, p. 947-963.
- BOTT, TL. e BORCHARDT, MA. 1999. Grazing of protozoa, bacteria, and diatoms by meiofauna in lotic epibenthic communities. *Journal of the North American Benthological Society*, vol. 18, no. 4, p. 499-513.
- BRINKHURST, RO. e JAMIESON, BMG. 1971. *Aquatic Oligochaeta of the world*. Edinburgh: Oliver and Boyd. 860p.
- BRINKHURST, RO. e MARCHESE, MR. 1991. *Guia para la identificacion de oligoquetos acuáticos continentales de Sud y Centro America*. Santo Tomé: Asociacion de Ciencias Naturales del Litoral. 207p.
- CALLOW, ME. A review of fouling in freshwaters. *Biofouling*, vol. 7, p. 313-327.
- CAPRARI, JJ. 2006. Tinturas antiincrustantes. In: DARRIGRAN, G. e DAMBORENEA, C. (Eds). *Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano*. La Plata: Universidade Nacional de la Plata. p. 181-205.
- CAPRARI, JJ. e LECOT, CJ. 2001. El control de bivalvos invasores *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) en la central hidroeléctrica Yaciretá mediante pinturas. *ACTAS Seminario Internacional sobre Gestión Ambiental e Hidroelectricidad. Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande*. Un Camino hacia la Sustentabilidad, 27. Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande, Argentina.
- COFFMAN, WP. e FERRINGTON, LC. 1996. Chironomidae. In: MERRIT, RW. e CUMMINS, KW. (Eds). *An introduction to the aquatic insect of North America*. Dubuque: Kendall Hunt Publish Co., p. 635-754.
- COURTEMANCH, DL. e DAVIS, SP. 1987. A coefficient of community loss to assess detrimental change in aquatic communities. *Water Research*, vol. 21, no. 2, p. 217-222.
- DARRIGRAN, G. 2002. Potential impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments. *Biological Invasions*, vol. 4, p. 145-156.
- DARRIGRAN, G. e DAMBORENEA, C. 2006. Características de la especie. In: DARRIGRAN, G. e DAMBORENEA, C. (Eds). *Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano*. La Plata: Universidade Nacional de la Plata. p. 53-68.
- DARRIGRAN, G. e MANSUR, MCD. 2006. Distribución, abundancia y dispersión. In: DARRIGRAN, G. e DAMBORENEA, C. (Eds). *Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano*. La Plata: Universidade Nacional de la Plata. p. 93- 110.
- DARRIGRAN, G. e PASTORINO, G. 1995. The recent introduction of a freshwater Asiatic bivalve, *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) into South America. *The Nautilus*, vol. 114, no. 2, p. 69-73.
- DARRIGRAN, G., DAMBORENEA D. e GRECO, N. 2007. Na evaluation pattern for antimicrofouling procedures: *Limnoperna fortunei* larvae study in a hydroelectric power plant in South America. *Ambio*, vol. 36, no. 7, p. 575-579.

- DARRIGRAN, G., MARTIN, SM., GULLO, B. e ARMENDARIZ, L. 1998. Macroinvertebrates associated with *Limnoperma fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) in Río de la Plata, Argentina. *Hydrobiologia*, vol. 367, p. 223-230.
- EPLER, JH. 1995. *Identification Manual for the Larval Chironomidae (Diptera) of Florida*. Tallahassee: Florida Department of Environmental Regulation. 319p.
- EXÉRCITO NACIONAL, 1972. Folha SF 22-Y-A-V e SF 22-Y-A-II (1:100.000).
- FARIA, EA., BRANCO, JRT., CAMPOS, MCS., OLIVEIRA, MD. e ROLLA, ME. 2006. Estudo das características antiincrustantes de materiais. *REM: Revista da Escola de Minas*, vol. 59, vol. 2, p. 233-238.
- FRENCH, MS. e EVANS, LV. 1986. Fouling on paints containing copper and zinc. In: EVANS, LV e HOAGLAND, KD (Eds). *Algal Biofouling – Studies in environmental science* 28. The Netherlands: Elsevier Science Publishers, p 79-100.
- GARCÍA, ML. e PROTOGINO, LC. 2005. Invasive freshwater mollusks are consumed by native fishes in South America. *Journal of Applied Ichthyology*, vol. 21, p. 34–38.
- HOWELL, D. e BEHRENDTS, B. 2006. A review of surface roughness in antifouling coatings illustrating the importance of cutoff length. *Biofouling*, vol. 22. no. 6, p. 401-410.
- INSTITUTO DE ESTUDOS DO MAR ALMIRANTE PAULO MOREIRA (IEAPM). 2008. *Programa de pesquisa para o controle do mexilhão dourado (Limnoperma fortunei) nas águas jurisdicionais brasileira*. Coordenadores: FERNANDES, FC. E COUTINHO, R. [Arraial do Cabo, RJ, 2008]. 381 f.: il. (algumas color). Relatório final.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. 2002. Anti-fouling systems. *Focus*. <http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D7986/FOULING2003.pdf> data de acesso 07/09/2005.
- KRAFT, KJ e SYPNIEWSKI, RH. 1981. Effect of sediment copper on the distribution of benthic macroinvertebrates in the Keweenaw waterway. *Journal of Great Lakes Research*, vol. 7, no. 3, p. 258-263.
- LEARNER, MA., LOCHHEAD, G. e HUGHES, BD. 1978. A review of the biology of British Naididae (Oligochaeta) with emphasis on the lotic environment. *Freshwater Biology* vol. 8, p. 357-375.
- MAASRI, A., FAYOLLE, S., GANDOUIN, E., GARNIER, R. e FRANQUET, E. 2008. Epilithic chironomid larvae and water enrichment: is larval distribution explained by epilithon quantity or quality? *Journal of the North American Benthological Society*, vol. 27, no. 1, p. 38-51.
- MANSUR, MCD. e PEREIRA, D. 2006. Bivalves límnicos da bacia do rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, Brasil (Bivalvia, Unionoidea, Veneroidea e Mytiloidea). *Revista Brasileira de Zoologia*, vol. 23, no. 4, p. 1123-1147.
- MAROÑAS, ME. e DAMBORENEA, C. 2006. Efecto de biocidas y tolerancia a la exposición al aire. . In: DARRIGRAN, G. e DAMBORENEA, C. (Eds). *Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano*. La Plata: Universidade Nacional de la Plata. p. 167-180.
- MARR, JCA, LIPTON, J., CACELA, D., HANSEN, JA., MEYER, JS. e BERGMAN, HL. 1999. Bioavailability and acute toxicity of copper to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in the presence of organic acids simulating natural dissolved organic carbon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 56, p. 1471-1483.

- MATSUI, Y., NAGAYA, K., FUNAHASHI, G. GOTO, Y., YUASA, A., YAMAMOTO, H., OHKAWA, K. e MAGARA, Y. 2002. Effectiveness of antifouling coatings and water flow in controlling attachment of the nuisance mussel *Limnoperna fortunei*. *Biofouling*, vol. 18, no. 2, p. 137-148.
- OHKAWA, K., NISHIDA, A., HONMA, R., MATSUI, Y., NAGAYA, K., YUASA, A. e YAMAMOTO, H. 1999. Studies on fouling by the freshwater mussel *Limnoperna fortunei* and the antifouling effects of low energy surfaces. *Biofouling*, vol. 13, no. 4, p. 337-350.
- OMAE, T. 2003. General Aspects of Tin-Free Antifouling Paints. *Chemical Reviews*, vol. 103, no. 9, p. 3431-3448.
- PORTELLA, KF., JOUKOSKI A., SILVA, AS. BRASSAC, NM. e BELZ, CE. 2009. Biofouling e biodeterioração química da argamassa de cimento portland em reservatório de usina hidrelétrica. *Química Nova*, vol. 32, no. 4, p. 1047-1051.
- RICCIARDI, A., WHORISKEY, FG. e RASMUSSEN, JB. 1997. The role of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in structuring macroinvertebrate communities on hard substrata. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. vol. 54, p. 2596-2608.
- RIGHI, G. 1984. Oligochaeta. In: SCHADEN, R. (Org.). *Manual de Identificação de Invertebrados Límicos do Brasil*. Brasília: CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 48p.
- ROBINSON, CT., MINSHALL, GW. e RUSHFORTH, SR. 1990. Seasonal colonization dynamics of macroinvertebrates in an Idaho stream. *Journal of the North American Benthological Society*, vol. 9, no. 3, p. 240-248.
- ROSIN, GC. e TAKEDA, AM. 2007. Larvas de Chironomidae (Diptera) da planície de inundação do alto rio Paraná: distribuição e composição em diferentes ambientes e períodos hidrológicos. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, vol. 29, no. 1, p. 57-63.
- SANSEVERINO, AM. e NESSIMIAN, JL. 2001. Hábitats de larvas de Chironomidae (Insecta, Diptera) em riachos da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro. *Acta Limnológica Brasiliensis*, vol. 13, p. 29-38.
- SANSEVERINO, AM., NESSIMIAN, JL. E HENRIQUES-OLIVEIRA, AL. 1998. A fauna de Chironomidae (Diptera) em diferentes biótopos aquáticos na serra do Subaio (Teresópolis, RJ). *Oecologia Brasiliensis*, vol. 5, p. 253-263.
- TAKEDA, AM. e FUJITA, DS. 2004. Benthic Invertebrates. In: THOMAZ, SM., AGOSTINO, AA. e HAHN, NS. (Eds.). *The Upper Paraná River and its Floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation*. Leiden: Blackhuys Publishers, p. 191-208.
- TAKEDA, AM., FUJITA, DS., FERNANDES, SEP., BEHREND, RDL. e PINHA, GD. No prelo. Mexilhão-dourado na bacia do Paraná: com ênfase ao estado do Paraná. In: Tópicos em Malacologia.
- TAKEDA, AM., MANSUR, MCD, FUJITA, DS. e BIBIAN, JPR. 2003. Ocorrência da espécie invasora de mexilhão dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), em dois pequenos reservatórios próximos a Curitiba, PR. *Acta Biologica Leopoldensia*, vol. 25, no. 2, p. 251-254.
- TAKEDA, AM., SHIMIZU, GM. e HIGUTI, J. 1997. Variações espaço-temporais da comunidade zoobêntica. In: VAZZOLER, AEAM., AGOSTINHO, AA. e HAHN, NS. (Eds). *A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná: Aspectos Físicos, Biológicos e Socio-econômicos*. Maringá: EDUEM, p. 157-177.

THOMAZ, SM., PAGIORO, TA., BINI, LM., ROBERTO, MC. e ROCHA, RRA. 2004. Limnological characterization of the aquatic environments and the influence of hydrometric levels. In: THOMAZ, SM., AGOSTINHO, AA. e HAHN, NS. (Eds). *The Upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation*. Leiden: Backhuys Publishers, p 75-102.

TRIVINHO-STRIXINO, S. e STRIXINO, G. 1995. *Larvas de Chironomidae (Diptera) do Estado de São Paulo. Guia de Identificação e Diagnose dos gêneros*. São Carlos: PPG-ERN, UFSCar, 229p.

WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION (WHOI). 1952. *Marine fouling and its prevention*. Annapolis: United States Naval Institute. 388p.

YEBRA, DM., KILL, S. e DAM-JOHANSEN, K. Antifouling technology—past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings. *Progress in Organic Coatings*, vol. 50, p. 75–104.

Capítulo II:

Colonização da assembléia de invertebrados (*Limnoperna fortunei*, Oligochaeta e larvas de Chironomidae) sobre revestimentos antiincrustantes

Resumo

Este estudo procurou avaliar os efeitos da aplicação de revestimentos antiincrustantes a base de óxido de cobre na colonização de invertebrados aquáticos (*Limnoperna fortunei*, Oligochaeta e Chironomidae) em substratos artificiais suspensos na coluna de água. Por estes revestimentos possuírem em sua formulação biocidas ou repelentes, promovem a redução na fixação de *L. fortunei* e de outros invertebrados aquáticos. Para este fim, dois revestimentos antiincrustantes a base de cobre foram selecionados e a colonização dos invertebrados em substratos artificiais foi analisada ao longo de um ano de exposição. No rio Baía (06 de fevereiro de 2007) foram instalados 144 substratos artificiais divididos em CN (controle – sem revestimento), RES (revestimento esmalte sintético), RA1 e RA2 (revestimentos antiincrustantes). Mensalmente foram retiradas três réplicas de cada tratamento e os invertebrados coletados foram identificados e contados. Durante o período estudado foi observada sazonalidade quanto aos fatores abióticos, com os meses de janeiro e fevereiro agrupados devido aos maiores valores de temperatura e turbidez, enquanto que julho e agosto por maiores valores de oxigênio dissolvido e menores temperaturas. *Limnoperna fortunei*, a espécie mais abundante nos substratos, foi registrada a partir da terceira coleta (maio) e atingiu maiores densidades ao final do período de exposição dos substratos. Menores valores de densidade (*L. fortunei*, Oligochaeta e Chironomidae) e riqueza foram observados nos substratos com revestimentos antiincrustantes (RA1 e RA2). Diferenças na composição entre os substratos com revestimentos e o controle não foram evidentes, influenciadas pela sazonalidade e composição da fonte colonizadora. Desta forma, conclui-se que os revestimentos antiincrustantes a base de óxido de cobre foram eficientes em reduzir a colonização de *L. fortunei*, assim como a dos demais invertebrados aquáticos (Oligochaeta e Chironomidae).

Palavras-chave: revestimentos antiincrustantes, *Limnoperna fortunei*, Oligochaeta, larvas de Chironomidae.

Colonization of the invertebrate assemblage (*Limnoperna fortunei*, Oligochaeta and Chironomidae larvae) on antifouling paints

Abstract

The present study evaluated the effects of the application of copper oxide-based antifouling paints upon the colonization of aquatic invertebrates (*Limnoperna fortunei*, Oligochaeta and Chironomidae) in artificial substrates suspended in the water column. Due to the presence of biocides or repellents in their formula, these paints promote the reduction in the attachment of *L. fortunei* and other aquatic invertebrates. For this, two copper oxide-based antifouling paints were selected and the invertebrates' colonization on artificial substrates was analyzed along one exposure year. In Baía River (February 06th, 2007), 144 artificial substrates were installed, which were divided into CN (control – without coating), RES (synthetic enamel paint), RA1 and RA2 (antifouling paints). Monthly three replicates were achieved from each treatment and the sampled invertebrates were identified and quantified. During the study period there was seasonality regarding abiotic factors, the months of January and February were grouped due to higher values of temperature and turbidity, whereas July and August, by higher values of dissolved oxygen and lower temperatures. *Limnoperna fortunei*, the most abundant species in the substrates, was recorded from the third sampling (May) and achieved higher densities at the end of the substrates exposure. Lower values of density (*L. fortunei*, Oligochaeta and Chironomidae) and richness were verified in the substrates with antifouling paints (RA1 and RA2). Differences in the composition between the substrates with the paints and the control were not remarkable influenced by the seasonality and the composition of the colonizing source. In summary, the copper oxide-based antifouling paints were effective in reducing the colonization of *L. fortunei*, as well as that from the other aquatic invertebrates (Oligochaeta and Chironomidae).

Keywords: Antifouling paints, *Limnoperna fortunei*, Oligochaeta, Chironomidae larvae.

Introdução

Nos ambientes aquáticos, a colonização, processo biológico pelo qual indivíduos ou grupos de indivíduos se estabelecem em um habitat (Sheldon, 1984), é iniciado no momento em que um substrato é submerso na água. As superfícies destes substratos são primeiramente colonizadas por um biofilme de bactérias e outros microrganismos e, posteriormente, por organismos multicelulares (Koehl, 2007). Este processo de mudanças na composição de espécies durante a colonização é denominado de sucessão (Connell e Slatyer, 1977).

O desenvolvimento de um biofilme sobre a superfície de substrato, natural ou artificial, serve como fonte de alimento para os invertebrados (Borchardt e Bott 1995, Bott e Borchardt, 1999), bem como também pode permitir melhores condições para a colonização ou, até mesmo, uma forma de atração para outras espécies (Botts et al., 1996, Ricciardi et al., 1997). Os invertebrados colonizam muito rapidamente os substratos, entre 10 a 30 dias depois de imersos na água é observada a estabilização na abundância e área ocupada (Mackay, 1992, Carvalho e Uieda, 2004), por meio de organismos a deriva, oviposição (colonização aérea), movimentos de migração lateral e vertical (Williams e Hynes, 1976, Carvalho e Uieda, 2006).

A colonização de invertebrados em substratos artificiais nos rios da bacia do alto rio Paraná vem sendo estudada por diversos autores (Fontes Jr et al., 2002; Melo et al., 2004; Anjos e Takeda, 2005), sendo Oligochaeta e larvas de Chironomidae os táxons mais abundantes em substratos artificiais (Melo et al., 2004) e na comunidade de invertebrados bênticos (Takeda e Fujita, 2004). Após o registro na usina hidrelétrica de Itaipu, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) é facilmente encontrado como parte da comunidade de invertebrados de rios desta bacia, em substratos artificiais, naturais ou como parte da comunidade bentônica (Fontes Jr et al., 2002; Takeda et al., 2002, Takeda et al., 2004, Takeda et al., no prelo). Além dos impactos econômicos causados por esta espécie (Darrigran, 2002), no ambiente natural observam-se alterações na biodiversidade bêntica (Orensanz et al., 2002; Mansur et al., 2003).

A dinâmica de colonização dos invertebrados é afetada por vários fatores, como velocidade da água (Modde e Drewes, 1990), relações entre fatores bióticos e abióticos (Ellsworth, 2000), organismos a deriva na coluna de água (Mackay, 1992) e acúmulo de recursos alimentares (Robinson et al., 1990, Mackay, 1992). Este estudo procurou avaliar os efeitos da aplicação de revestimentos antiincrustantes a base de óxido de cobre na colonização de invertebrados aquáticos (*L. fortunei*, Oligochaeta e Chironomidae) em substratos artificiais suspensos na coluna de água. Por estes revestimentos possuírem em sua formulação biocidas

ou repelentes (Caprari, 2006), promovem a redução na fixação de *L. fortunei* (Caprari e Lecot, 2001, Matsui et al., 2002, Caprari, 2006) e de outros invertebrados aquáticos (Fujita et al., em preparação).

Para este fim, dois revestimentos antiincrustantes a base de cobre foram selecionados e a colonização dos invertebrados em substratos artificiais foi analisada ao longo de um ano de exposição, para responder as seguintes questões: 1) A colonização dos substratos é influenciada por fatores abióticos? 2) Há diferenças na colonização (densidade, riqueza e composição) entre os substratos com e sem aplicação de revestimentos antiincrustantes ao longo do período de exposição? Foi hipotetizado que a aplicação de revestimentos antiincrustantes influencia a colonização de invertebrados aquáticos, pela liberação de biocidas. As predições testadas foram: 1) Há maior densidade e riqueza de espécies em substratos sem aplicação de revestimentos antiincrustantes e 2) A composição da assembléia de invertebrados é diferente entre substratos com e sem aplicação de revestimentos antiincrustantes ao longo do período de exposição.

Área de Estudo

O rio Baía nasce no município de Nova Andradina (450 m acima do nível do mar), percorre 130 km até a sua confluência com o rio Paraná e ao rio Ivinhema, através do canal Curutuba (Exército Nacional, 1972, Fig. 1). É um rio sinuoso, com largura variada e vários diques ocupados pela vegetação ripária, campos antropizados ou inundados, além de muitos bancos de macrófitas associados às suas margens.

Materiais e Métodos

Para a realização deste experimento, substratos artificiais confeccionados com duas placas de madeira dispostas em X (20 cm de comprimento, 10 cm de largura e 1,5 cm de espessura). Esta adaptação de substrato foi anteriormente utilizada para o monitoramento de populações de mexilhão dourado por Fontes et al. (2002), Mansur et al. (2009) e Takeda et al. (em preparação).

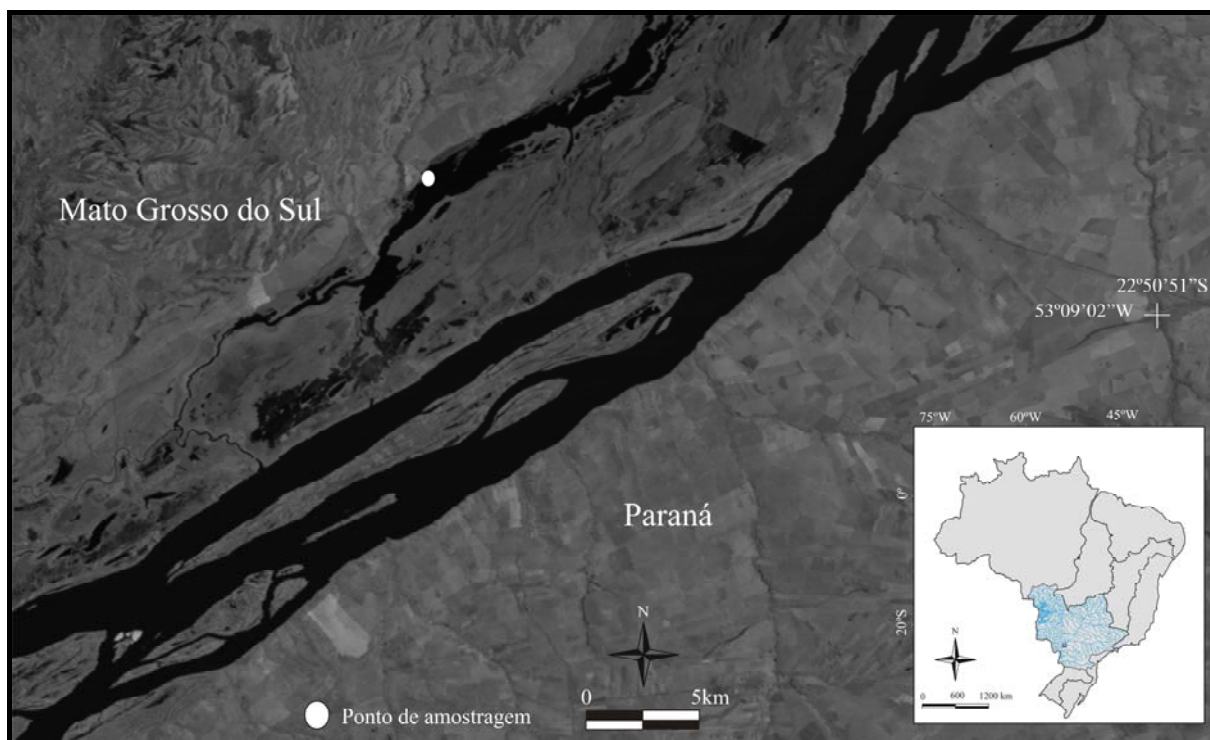


Figura 1. Mapa da área de localização.

Sobre a superfície dos substratos de madeira, foram aplicados três tipos de revestimentos: dois antiincrustantes a base de óxido de cobre (RA1 e RA2) e um revestimento comumente utilizado para pintura de embarcações (RC). Substratos sem a aplicação de tintas foram considerados como controle (CN) (Fig. 2, Tabela 1). Em 06 de fevereiro de 2007 foram instaladas três réplicas de substratos para os doze meses de cada tratamento, totalizando, ao final do experimento, 144 amostras. Estes substratos foram amarrados a uma bóia ancorada ao fundo do rio Baía, para permanecerem suspensos na coluna de água. A colocação da disposição dos substratos com os diferentes tratamentos foi aleatorizadas.

Tabela 1. Relação de revestimentos e códigos utilizados.

Código	Descrição	Marca comercial
CN	Controle (sem revestimento)	
RES	Revestimento – Esmalte sintético	Brasilux
RA1	Revestimento antiincrustante (Cu ₂ O)	WEG Ecoflex SPC HBR
RA2	Revestimento antiincrustante (Cu ₂ O)	Revrán AF BR 870

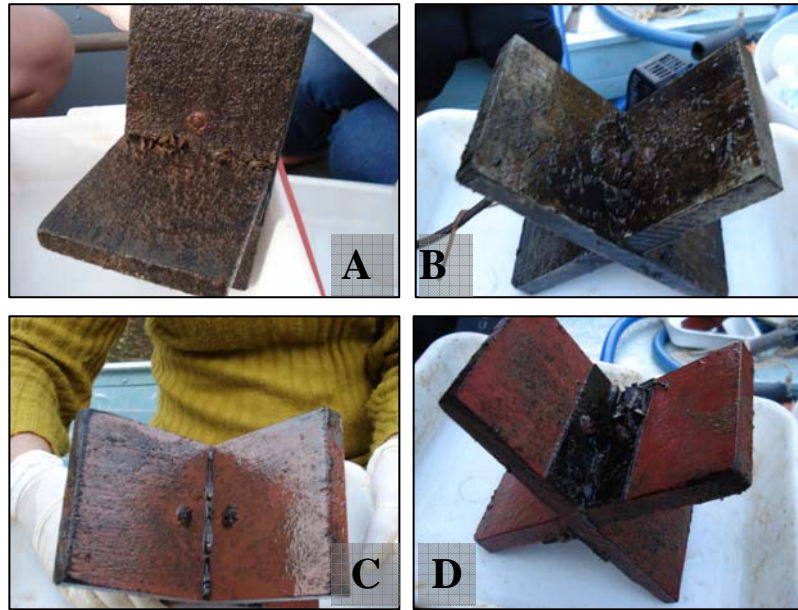


Figura 2. Tipos de tratamentos. A= Controle, B= RES, C= RA1, D= RA2.

Amostragem e Análise dos dados

Durante o estudo, algumas variáveis físicas e químicas da água (temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), pH, turbidez (NTU) e velocidade (m.s^{-1})) foram medidas através de aparelhos digitais, concomitantemente às coletas biológicas. Estas variáveis foram sumarizadas em uma análise de componentes principais (ACP, Gauch Jr., 1986) para a ordenação dos meses de coleta, com o objetivo de identificar gradientes. Para selecionar os eixos retidos para a interpretação foi utilizado o critério de Broken-Stick (Legendre e Legendre, 1998).

As amostras de invertebrados de cada substrato artificial foram coletadas durante doze meses. Mensalmente foi retirada aleatoriamente três substratos de cada tratamento (RA1, RA2, RC) e mais do controle (CN), raspados integralmente com auxílio de um pincel e o material imediatamente fixado em álcool 70%.

Os invertebrados aquáticos foram separados e contados, utilizando-se microscópio estereoscópico. Oligochaeta e Chironomidae foram identificados a menor categoria taxonômica possível, utilizando-se bibliografia especializada (Oligochaeta: Brinkhurst e Jamieson, 1971, Brinkhurst e Marchese, 1991, Righi, 1984; Chironomidae: Trivinho-Strixino e Strixino, 1995, Coffman e Ferrigton, 1996, Epler, 1995).

Para comparar a assembléia de invertebrados aquáticos dos diferentes tratamentos foram utilizados a densidade (ind.m^{-2}) e a abundância (%). Para a determinação da riqueza de

táxons foi elaborada uma curva de acumulação de espécies, em relação com as amostras mensais para cada tratamento.

O coeficiente de perda de comunidade (Courtemanch e Davis, 1987) foi calculado para cada mês/revestimento, sendo utilizado como comunidade de referência o controle. Este é um índice de dissimilaridade, no qual os valores aumentam com o grau de dissimilaridade entre a estação de referência e a estação de interesse (Courtemanch e Davis, 1987).

A ordenação dos meses e substratos com e sem revestimentos, com a densidade dos táxons, foi realizada através da análise de correspondência com remoção do efeito do arco (ACD, Gauch Jr., 1986, Jongman et al., 1995). A densidade dos táxons foi transformada (raiz quadrada) para minimizar o efeito de valores discrepantes e as espécies raras foram excluídas para remover o efeito delas na ordenação (Palmer, 1993). As análises dos dados foram conduzidas utilizando os programas Statistica (versão 7.1, StatSoft Inc., 2005) e Pcord (versão 4.01, McCune e Mefford, 1997).

Resultados

Os dados das variáveis ambientais mensuradas durante o estudo foram sumarizados em uma análise de componentes principais (ACP). Os dois primeiros eixos foram retidos para a interpretação (critério de Broken-Stick) sumarizaram 69,87% da variabilidade total dos dados (eixo 1: 47,53; eixo 2: 22,34).

Pela ordenação dos eixos retidos da ACP, observou-se o agrupamento de acordo com o período de coleta (Fig. 3): março, dezembro a fevereiro pelos maiores valores de temperatura e menores de pH, enquanto que nos meses de julho a agosto, observaram-se maiores valores de oxigênio dissolvido. Aumento nos valores de turbidez é registrado para os meses de janeiro e fevereiro.

Os substratos foram colonizados por 31.417 indivíduos, com *Limnoperna fortunei*, Oligochaeta e larvas de Chironomidae os táxons mais abundantes (Fig. 4). Foram considerados outros os indivíduos de Nematoda, Cladocera, Calonoida, Cyclopoida, Harpacticoida, Ostracoda, Acari, Collembola, Trichoptera, Ephemeroptera, Coleoptera, Megaloptera, Chaoboridae e Ceratopogonidae.

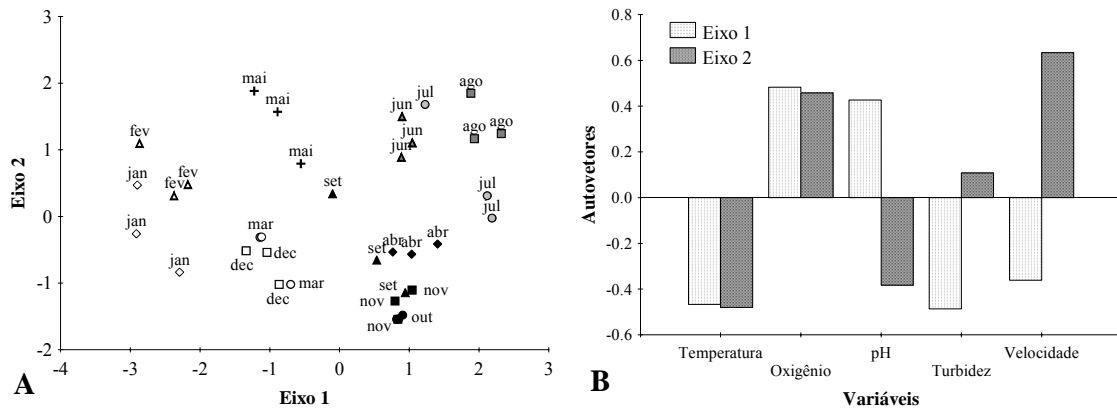


Figura 3. Diagrama de ordenação dos dois primeiros eixos das análises de componentes principais (A). Autovetores gerados pela análise de componentes principais (B).

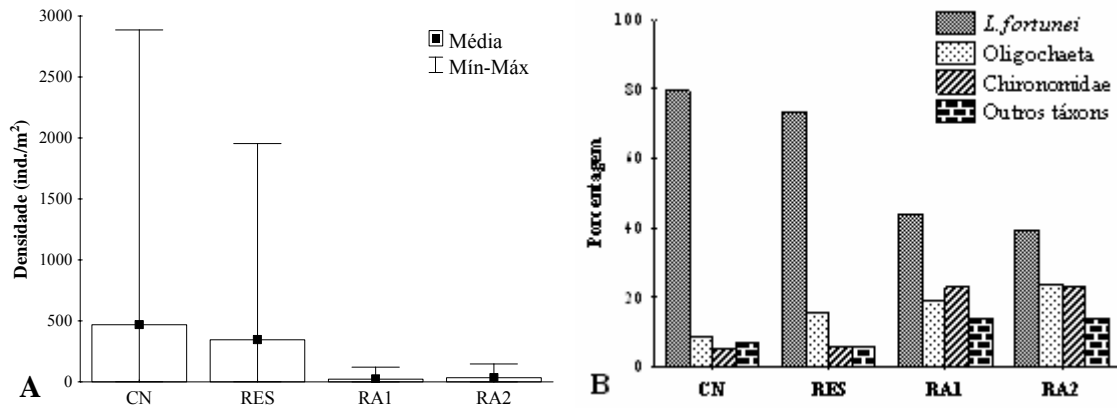


Figura 4. Média, mínimo e máximo da densidade de invertebrados entre os revestimentos (A). Abundância (%) dos principais táxons entre os revestimentos (B). Controle = CN, revestimento esmalte sintético = RES, revestimentos antiincrustantes = RA1 e RA2.

Foi observado aumento na densidade de invertebrados a partir do mês de julho, com maiores densidades registradas para os substratos controle e RES. Desde a primeira amostragem (março) foram registrados em todos os tratamentos Oligochaeta e larvas de Chironomidae (Fig. 5B, 5C). No período de julho a setembro registraram-se as maiores densidades de Oligochaeta e larvas de Chironomidae em todos os substratos com e sem revestimento. *Limnoperna fortunei* foi somente registrado a partir de maio, sendo predominante em amostras do controle e RES (Fig. 5A).

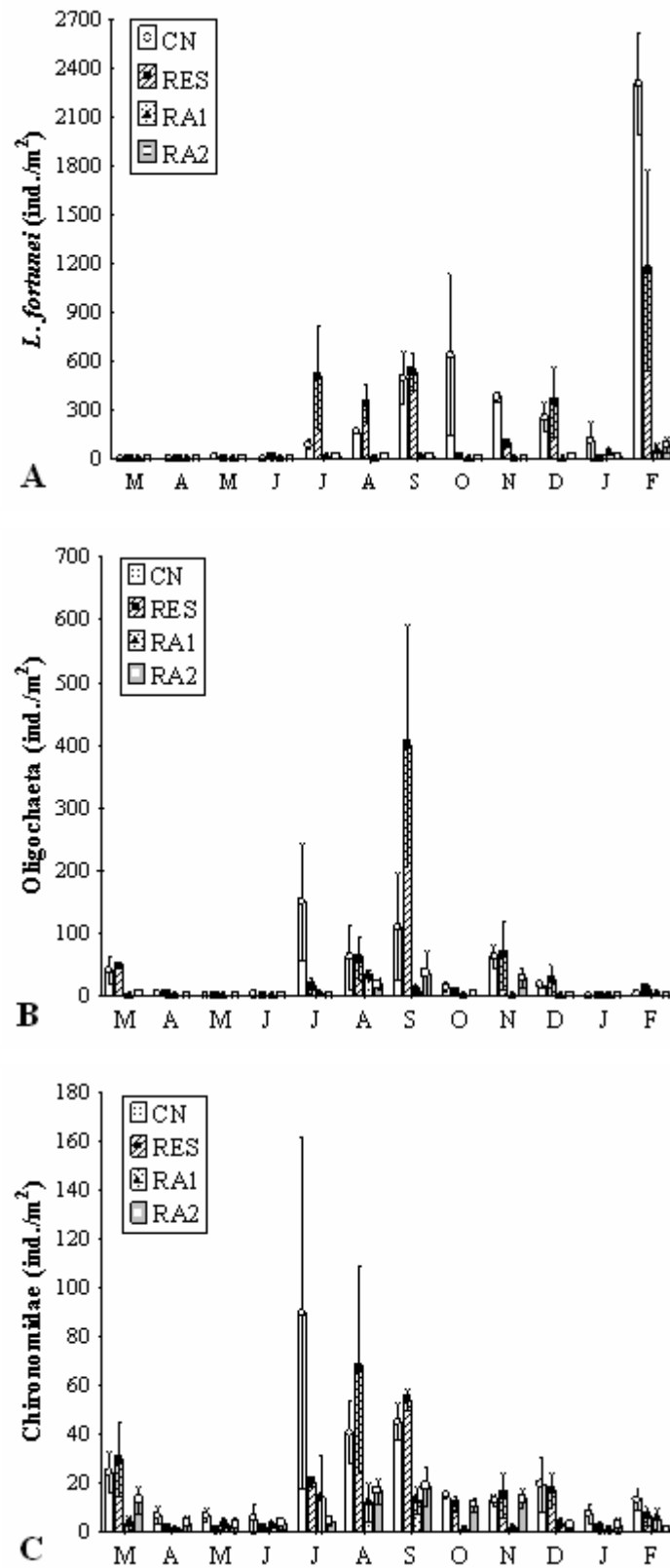


Figura 5. Média e desvio padrão da densidade de *L. fortunei* (A), *Oligochaeta* (B) e *Chironomidae* (C) entre os meses coletados. Controle = CN, revestimento esmalte sintético = RES, revestimentos antiincrustantes = RA1 e RA2.

Neste estudo foram identificadas 9 espécies de Naididae (Oligochaeta) e 42 morfoespécies de larvas de Chironomidae, com maior número de táxons nos substratos controle e RES. O processo de colonização ocorreu duas fases, em março (primeira coleta após a imersão dos substratos) e em julho (Fig. 6).

Os maiores valores do coeficiente de perda de comunidade obtidos foram nos revestimentos antiincrustantes, especialmente nos meses de março, abril, junho e novembro em RA1 (Fig. 7).

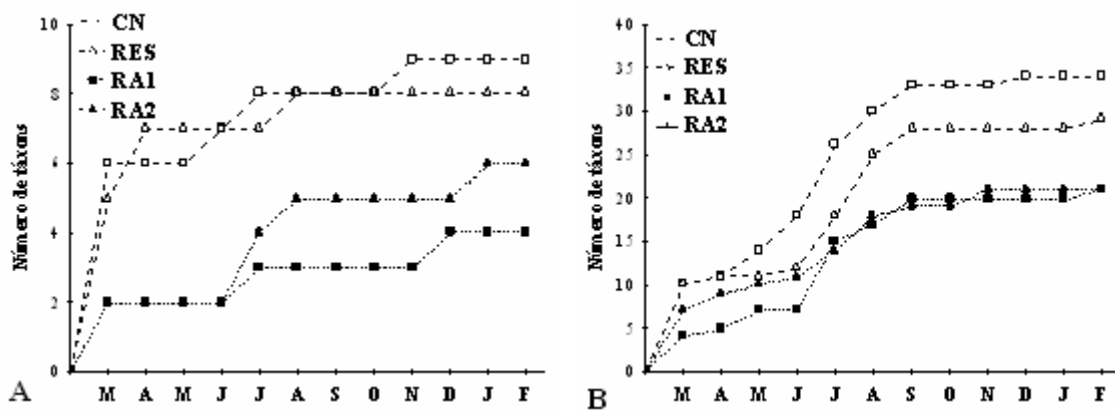


Figura 6. Número acumulado de táxons nos substratos. A= Espécies de Oligochaeta, B= Morfoespécies de Chironomidae. Controle = CN, revestimento esmalte sintético = RES, revestimentos antiincrustantes = RA1 e RA2.

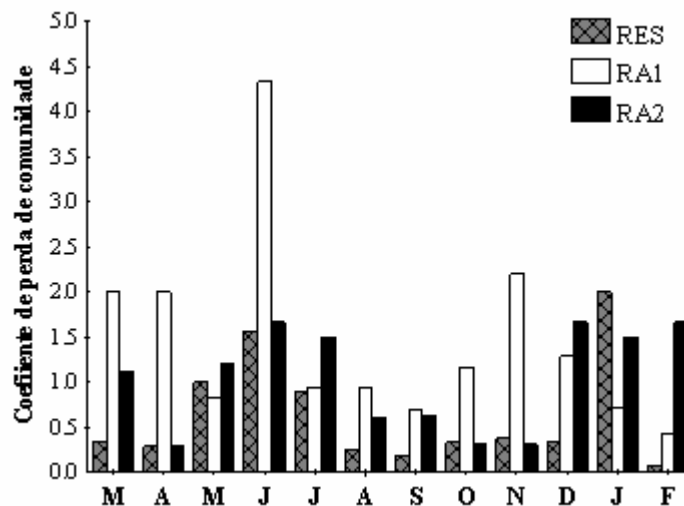


Figura 7. Valores mensais do coeficiente de perda de comunidade. Revestimento esmalte sintético = RES, Revestimento antiincrustante = RA1 e RA2

Baseando-se no diagrama de ordenação da análise de correspondência com remoção do efeito de arco (ACD) com autovalores 0,48 (eixo 1) e 0,15 (eixo 2), observou-se separação dos períodos de coletas (Fig. 8A, B). Os táxons de maior correlação com o primeiro eixo e que caracterizaram a separação entre os meses foram *L. fortunei* e *Dero* (*Dero*) *multibranchiata* (Tabela 2). E no eixo 2, *Goeldichironomus* sp e *Parachironomus* sp.

Tabela 2. Coeficiente de correlação de Pearson com os eixos 1 e 2 da análise de correspondência com remoção do efeito de arco (ACD).

Táxons	Eixo 1	Eixo 2
<i>Limnoperla fotunei</i>	-0,405	0,069
<i>Beardius</i> sp1	-0,085	0,037
<i>Chironomus</i> sp	-0,124	-0,152
<i>Dicrotendipes</i> sp2	-0,174	-0,001
<i>Dicrotendipes</i> sp3	-0,196	-0,164
<i>Goeldichironomus</i> sp	0,066	-0,367
<i>Goeldichironomus xiborena</i>	-0,066	-0,058
<i>Goeldichironomus</i> gr <i>pictus</i>	-0,252	-0,043
<i>Parachironomus</i> sp	0,179	0,263
<i>Parachironomus</i> sp1	-0,130	-0,113
<i>Parachironomus</i> sp4	0,173	-0,196
<i>Parachironomus</i> sp5	0,253	-0,193
<i>Parachironomus</i> sp6	-0,045	0,045
<i>Polypedilum (Asheum)</i> sp	0,031	-0,045
<i>Polypedilum Polypedilum</i> sp1	-0,037	-0,032
<i>Polypedilum Polypedilum</i> sp2	-0,003	0,035
<i>Polypedilum Polypedilum</i> sp4	0,003	-0,016
<i>Stenochironomus</i> sp2	-0,124	0,027
<i>Caladomyia</i> sp	-0,036	-0,049
<i>Caladomyia</i> spD	-0,113	0,019
<i>Caladomyia</i> Jaragua	-0,173	-0,051
<i>Rheotanytarsus</i> sp1	-0,181	-0,125
<i>Tanytarsus</i> sp1	-0,054	-0,023
<i>Cricotopus</i> sp1	-0,099	-0,114
<i>Cricotopus</i> sp3	-0,079	-0,096
<i>Thienemanniella</i> sp1	-0,122	-0,139
<i>Ablabesmyia (Karelia)</i> sp	-0,020	-0,177
<i>Chaetogaster diastrophus</i>	-0,066	-0,100
<i>Nais communis</i>	-0,110	-0,155
<i>Dero (Aulophorus) furcatus</i>	0,322	-0,230
<i>Dero (Dero) multibranchiata</i>	0,420	-0,268
<i>Dero (Dero) sawayai</i>	-0,141	-0,128
<i>Pristina aequiseta</i>	-0,022	0,051
<i>Pristina leidyi</i>	-0,156	0,028
<i>Pristina proboscidea</i>	-0,083	0,029
<i>Pristina macrochaeta</i>	0,138	-0,146

O eixo 1 da ACD evidenciou uma alteração na composição das espécies ao longo do experimento. No início (março) foi observada a colonização de *Dero* (*Dero*) *multibranchiata* e ao final, dezembro a fevereiro, *L. fortunei* passa a ser a espécie de maior abundância em todos os substratos (Fig. 7C e E). No eixo 2, os meses de abril a junho são destacados pela abundância de *Parachironomus* sp. e os meses de outubro e novembro, por *Goeldichironomus* sp. (Fig. 7D e F).

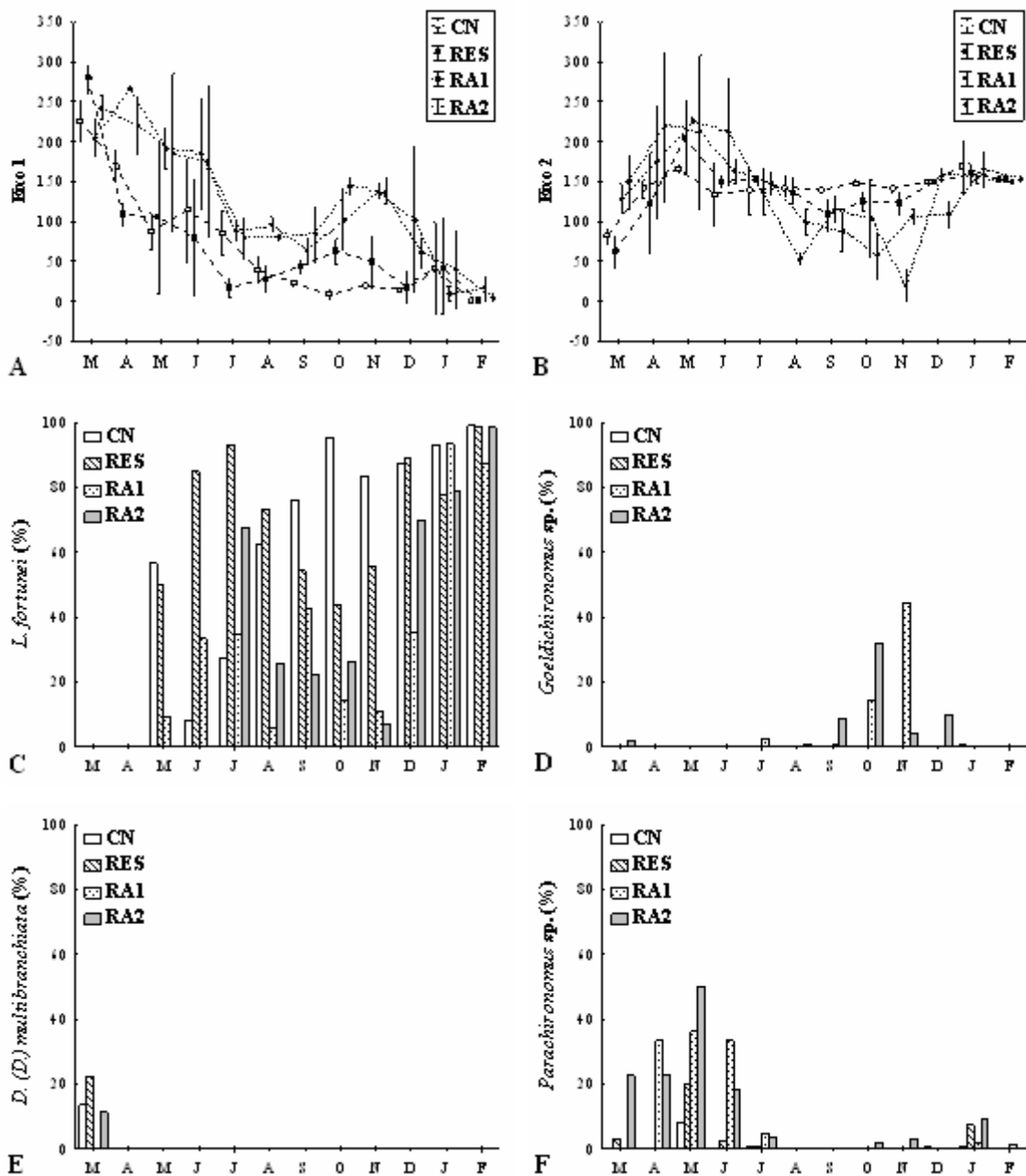


Figura 7. Média e desvio padrão do eixo 1 (A) e eixo 2 (B) da ACD e abundância relativa de *L. fortunei* (C), *Goeldichironomus* sp. (D), *D. (D.) multibranchiata* (E) e *Parachironomus* sp. (F). Controle = CN, revestimento esmalte sintético = RES, revestimentos antiincrustantes = RA1 e RA2.

Discussão

Durante o período estudado foi observada sazonalidade quanto aos fatores abióticos, sendo os meses de janeiro e fevereiro agrupados pelos maiores valores de temperatura e turbidez, enquanto que julho e agosto por maiores valores de oxigênio dissolvido e menores temperaturas (ACP). Nos rios da planície do alto rio Paraná as comunidades aquáticas são influenciadas pelo pulso de inundação, caracterizado por um período de águas altas, em que as águas do rio Paraná invadem a sua área de inundação, e um período de águas baixas (Thomaz et al. 2004).

No período de águas baixas são observadas maiores densidades e riqueza de espécies de invertebrados (Rosin e Takeda, 2007, Beherend et al. 2009), em função de melhores condições ambientais (maior disponibilidade de alimento e oxigênio). Neste período, foram registradas as maiores densidades e riqueza de Oligochaeta e Chironomidae (segundo período de colonização dos substratos), táxons considerados importantes colonizadores e abundantes em substratos artificiais submersos (Baer et al., 2001, Melo et al., 2004, Olomukoro e Tochukwu, 2006).

Limnoperna fortunei foi registrada a partir da terceira coleta (maio), com maiores densidades ao final do experimento. Estes resultados sugerem que o recrutamento ocorreu em praticamente todo o período de exposição dos substratos. O sucesso desta espécie em colonizar superfícies sólidas pode estar associado à liberação de larvas durante todo o ano (Takeda, dados inéditos), a adaptações morfológicas (fios de bisso) e a falta de competidores.

Devido a este novo problema econômico e ambiental para a região Neotropical ('macrofouling' de água doce), estudos vêm sendo realizados na tentativa de encontrar possíveis métodos de controle ou que diminuam os efeitos causados por *Limnoperna fortunei*, como o uso de cloro, moluscidas (Cataldo et al., 2002) e revestimentos antiincrustantes (Caprari e Lecot, 2001). A utilização de revestimentos que impeçam ou reduzam a colonização de *L. fortunei*, e consequentemente a dispersão para outras áreas, tem sido recomendada como método de controle.

Os revestimentos antiincrustantes reduzem a colonização de *L. fortunei* (Caprari e Lecot, 2001, Matsui et al., 2002, Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira 2008, Fujita et al., em preparação), mas também influenciam na riqueza e composição de outros invertebrados (Fujita et al., em preparação) devido ao seu caráter biocida. Neste estudo, menores valores de densidade (*L. fortunei*, Oligochaeta e Chironomidae) e riqueza foram observados nos substratos com revestimentos antiincrustantes (RA1 e RA2). Assim como,

maiores valores do coeficiente de perda de comunidade, indicando que o óxido de cobre (Cu_2O), principal componente dos revestimentos antiincrustantes (Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, 2008), influenciou a colonização de todos os invertebrados aquáticos.

Diferenças na composição entre os substratos com revestimentos e o controle não foram evidentes, mas observaram-se menores densidades em RA1 e RA2. Entretanto, o acompanhamento mensal da colonização permitiu a observação das mudanças na abundância de espécies, em função da influência sazonal causada pelo aumento da vazão e do nível fluviométrico do rio Paraná, como evidenciado no eixo 1 da ACD pela alteração na composição das espécies.

As espécies de *Oligochaeta* e morfoespécies de *Chironomidae*, abundantes em todos os substratos (com e sem revestimentos), são também observadas associadas ao sedimento (Anjos e Takeda, no prelo, Behrend et al., 2009), mas em baixas densidades ou, em alguns casos, em outros ambientes conectados ao rio Baía (canal Curutuba). Portanto, isto pode ser um indicativo de que os substratos foram colonizados por invertebrados à deriva ou associados a outros habitats aquáticos, como macrófitas e outros substratos naturais. A dispersão pela coluna de água é o principal caminho para a colonização, que é dependente do número de organismos dispersados e indiretamente dependente da estrutura da comunidade e abundância do “pool” de espécies (Peters et al., 2007).

Estudos que avaliam a colonização de invertebrados em substratos (artificiais ou naturais), em geral, são realizados em curtos períodos (Casey e Kendall, 1996, Baer et al., 2001, Miyake et al., 2003, Olomukoro e Tochukwu, 2006), sendo a mobilidade, a textura do substrato, a disponibilidade de recurso alimentar (Mackay, 1992), o tempo de permanência do substrato (Saliu et al. 2007) e as características ambientais (Modde e Drewes, 1990, Melo et al., 2004) os principais fatores que influenciam a colonização. Entretanto, os resultados obtidos por este estudo indicam que a colonização dos invertebrados também dependerá do período em que os substratos são expostos.

Em suma, este estudo representa a primeira investigação a respeito de colonização de invertebrados na água doce em substratos com revestimentos antiincrustantes a base de óxido de cobre e a influência que este biocida tem na colonização em um ambiente natural. As maiores densidades (*L. fortunei*, *Oligochaeta* e *Chironomidae*) e riqueza de invertebrados nos substratos controle e RES ao longo do período estudado evidenciam que os revestimentos antiincrustantes influenciam a colonização destes organismos. Entretanto a composição da assembléia de invertebrados foi semelhante entre os tratamentos, influenciadas pela

sazonalidade e composição da fonte colonizadora. Desta forma, conclui-se que os revestimentos antiincrustantes a base de óxido de cobre foram eficientes em reduzir a colonização de *L. fortunei*, assim como a dos demais invertebrados aquáticos (Oligochaeta e Chironomidae).

Agradecimentos

Ao CTHIDRO/CNPq (50.7675/2004-5) e ao Núcleo de Pesquisa em Ecologia, Limnologia e Aqüicultura (Nupelia) pelo suporte financeiro e logístico. Ao CNPq e CAPES pela concessão de bolsa de doutorado, aos fabricantes dos revestimentos pela submissão dos produtos: Renner Hermann S. A. e WEG.

Referência

- ANJOS, AF. e TAKEDA, AM. 2005. Colonização de Chironomidae (Diptera: Insecta) em diferentes tipos de substratos artificiais. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, vol. 27, no. 2, p. 147-151.
- ANJOS, AF. e TAKEDA, AM. no prelo. Distribuição espacial e temporal das larvas de Chironomidae em diferentes ambientes do rio Baía. *Acta Scientiarum Biological Sciences*.
- BAER, SG., SILER, ER., EGGERT, SL. e WALLACE, JB. 2001. Colonization and production of macroinvertebrates on artificial substrata: upstream-downstream responses to a leaf litter exclusion manipulation. *Freshwater Biology*, vol. 46, p. 347-365.
- BEHREND, RDL., FERNADES, SEP., FUJITA, DS. e TAKEDA, AM., 2009. Eight years of monitoring aquatic Oligochaeta from the Baía and Ivinhema Rivers. *Brazilian Journal of Biology*, vol. 69, no. 2 (suppl.), p. 559-571.
- BORCHARDT, MA. e BOTT, TL. 1995. Meiofaunal grazing of bacteria and algae in a Piedmont stream. *Journal of the North American Benthological Society*, vol. 14, no. 2, p. 278-298.
- BOTT, TL. e BORCHARDT, MA. 1999. Grazing of protozoa, bacteria, and diatoms by meiofauna in lotic epibenthic communities. *Journal of the North American Benthological Society*, vol. 18, no. 4, p. 499-513.
- BOTTS, PS., PATTERSON, BA. e SCHLOESSER, DW. 1996. Zebra mussel effects on benthic invertebrates: physical or biotic? *Journal of the North American Benthological Society*, vol. 15, p. 179-184.
- BRINKHURST, RO. e JAMIESON, BMG. 1971. *Aquatic Oligochaeta of the world*. Edinburgh: Oliver and Boyd. 860p.

- BRINKHURST, RO. e MARCHESE, MR. 1991. *Guia para la identificación de oligoquetos acuáticos continentales de Sud y Centro America*. Santo Tomé: Asociación de Ciencias Naturales del Litoral. 207p.
- CAPRARI, JJ. 2006. Tinturas antiincrustantes. In: DARRIGRAN, G. e DAMBORENEA, C. (Eds). *Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano*. La Plata: Universidad Nacional de la Plata. p. 181-205.
- CAPRARI, JJ. e LECOT, CJ. 2001. El control de bivalvos invasores *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) en la central hidroeléctrica Yaciretá mediante pinturas. *ACTAS Seminario Internacional sobre Gestión Ambiental e Hidroelectricidad. Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande*. Un Camino hacia la Sustentabilidad, 27. Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande, Argentina.
- CARVALHO, EM. e UIEDA, VS. 2004. Colonização por invertebrados bentônicos em substrato artificial e natural em um riacho da serra de Itatinga, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, vol. 21, no. 2, p. 287-293.
- CARVALHO, EM. e UIEDA, VS. 2006. Colonization routes of benthic macroinvertebrates in a stream in southeast Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 14, no. 4, p. 367-376.
- CASEY, RJ. e KENDALL, AS. 1996. Comparisons among colonization of artificial substratum types and natural substratum by benthic macroinvertebrates. *Hydrobiologia*, vol. 341, p. 57-64.
- CATALDO, D., BOLTOVSKOY, D. e POSE, M. 2002. Control del molusco incrustante *Limnoperna fortunei* mediante el agregado de moluscicidas al agua. In: *Tercera jornada sobre conservación de la fauna íctica en el río Uruguay*. Paysandu – Uruguay.
- COFFMAN, WP. e FERRINGTON, LC. 1996. Chironomidae. In: MERRIT, RW. e CUMMINS, KW. (Eds). *An introduction to the aquatic insect of North America*. Dubuque: Kendall Hunt Publish Co., p. 635-754.
- CONNELL, JH. e SLATYER, RO. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community. *The American Naturalist*, vol. 111, no. 982, p. 1119-1144.
- COURTEMANCH, DL. e DAVIS, SP. 1987. A coefficient of community loss to assess detrimental change in aquatic communities. *Water Research*, vol. 21, no. 2, p. 217-222.
- DARRIGRAN, G. 2002. Potential impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments. *Biological Invasions*, vol. 4, p. 145-156.
- EPLER, JH. 1995. *Identification Manual for the Larval Chironomidae (Diptera) of Florida*. Tallahassee: Florida Department of Environmental Regulation. 319p.
- ELLSWORTH, SD. 2000. Influence of substrate size, *Cladophora*, and caddisfly pupal cases on colonization of macroinvertebrates in Sagehen Creek, California. *Western North American Naturalist*, vol. 60, no. 3, p. 311-319.
- EXÉRCITO NACIONAL, 1972. Folha SF 22-Y-A-V e SF 22-Y-A-II (1:100.000).
- FONTES JR., HM., TAKEDA, AM. e FUJITA, DS. 2002. Experience in Itaipu reservoir (Brazil) with artificial substrate (in situ): is it the best way of monitoring na invading species like *Limnoperna fortunei* (Bivalvia, Mytilidae)? In: *Symposium on reservoir management in tropical and sub-tropical regions*. Iguassu: International commission on large dams, p. 673-679.
- GAUCH Jr., HG. 1986. *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982 (reprinted 1986). 298 p.

- INSTITUTO DE ESTUDOS DO MAR ALMIRANTE PAULO MOREIRA (IEAPM). *Programa de pesquisa para o controle do mexilhão dourado (*Limnoperma fortunei*) nas águas jurisdicionais brasileira*. Coordenadores: FERNANDES, FC. E COUTINHO, R. [Arraial do Cabo, RJ, 2008]. 381 f.: il. (algumas color). Relatório final.
- JONGMAN, RHG., TER BRAAK, CJF. e VAN TONGEREN, OFR. *Data analysis in community and landscape ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 299 p.
- KOEHL MAR. 2007. Mini review: Hydrodynamics of larval settlement into fouling communities. *Biofouling*, vol. 23, no. 5, p. 357-368.
- LEGENDRE, P. e LEGENDRE, L. 1998. *Numerical Ecology*. Amsterdam: Elsevier Science B.V. 853 p.
- MACKAY, RJ. 1992. Colonization by lotic macroinvertebrates: a review of processes and patterns. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 49, p. 617-628.
- MANSUR, MCD., SANTOS, CP., DARRIGRAN, G., HEYDRICH, I., CALLIL, CT. e CARDOSO, FR. 2003. Primeiros dados quali-quantitativos do mexilhão dourado, *Limnoperma fortunei* (Dunker), no delta do Jacuí, no Lago Guaíba e na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil e alguns aspectos de sua invasão no novo ambiente. *Revista Brasileira de Zoologia*, vol. 20, p. 75-84.
- MANSUR, MCD., PEREIRA, D., SANTOS, CP., BERGONCI, PEA., THORMANN, BM. e TAKEDA, AM. 2009. Colonização de substrato artificial pelo mexilhão dourado, *Limnoperma fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytiloidea, Mytilidae), no Delta do rio Jacuí (RS, Brasil). *Biotemas*, vol. 22, no. 1, p. 75-80.
- MATSUI, Y., NAGAYA, K., FUNAHASHI, G. GOTO, Y., YUASA, A., YAMAMOTO, H., OHKAWA, K. e MAGARA, Y. 2002. Effectiveness of antifouling coatings and water flow in controlling attachment of the nuisance mussel *Limnoperma fortunei*. *Biofouling*, vol. 18, no. 2, p. 137-148.
- MATTHEWS, WJ. 1998. *Patterns in freshwater fish ecology*. New York: Chapman & Hall, 756 p.
- MCCUNE, B. e MEFFORD, MJ. 1997. PC-ORD: Multivariate analysis of ecological data. Version 4.01. Oregon: MjM Software Design.
- MELO, SM., TAKEDA, AM., FUJITA, DS., BUTAKKA, CMM. e ANJO, AF. 2004. Colonização de invertebrados aquáticos em substrato artificial nos principais rios da planície de inundação do alto rio Paraná. In: *Anais do VI Simpósio de Ecossistemas Brasileiros - Patrimônio Ameaçado*. São José dos Campos: Academia de Ciências do Estado de São Paulo. p. 222-232.
- MIYAKE, Y., HIURA, T., KUHARA, N. e NAKANO, S. 2003. Succession in a stream invertebrate community: A transition in species dominance through colonization. *Ecological Research*, vol. 18, p. 493-501.
- MODDE, T. e DREWES, HG. 1990. Comparison of biotic index value for invertebrates collections from natural and artificial substrate. *Freshwater Biology*, vol. 23, p. 171-180.
- OLOMUKORO, JO. e TOCHUKWU, OCN. 2006. Macro-invertebrate colonization of artificial substrata II: Weeds and Plant Stems. *Asian Journal of Plant Science*, vol. 5, no. 6, p. 990-995.
- ORENSANZ, JM., SCHWINDT, E., PASTORINO, G., BORTOLUS, A., CASAS, G., DARRIGRAN, G., ELÍAS, R., GAPPA, JLL., OBENAT, S., PASCUAL, M.,

- PENCHASZADEH, P., PIRIZ, ML., SCARABINO, F., SPIVAK, ED. e VALLARINO, EA. 2002. No longer the pristine confines of the world ocean: a survey of exotic marine species in southwestern Atlantic. *Biological Invasions*, vol. 4, p. 115-143.
- PALMER, MW. 1993. Putting things in even better order: the advantages of canonical correspondence analysis. *Ecology*, vol. 74, no. 8, p. 2215-2230.
- PETERS, L., WETZEL, MA., TRAUNSPURGER, W. e ROTHHAUPT, KO. 2007. Ephilitic communities in a lake littoral zone: the role of water-column transport and habitat development for dispersal and colonization of meiofauna. *Journal of the North American Benthological Society*, vol. 26, no. 2, p. 232-243.
- RICCIARDI, A., WHORISKEY, FG. e RASMUSSEN, JB. 1997. The role of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in structuring macroinvertebrate communities on hard substrate. *Canadian Journal Fish and Aquatic Science*, vol. 54, p. 2596-2608.
- RIGHI, G. 1984. Oligochaeta. In: SCHADEN, R. (Org.). *Manual de Identificação de Invertebrados Límicos do Brasil*. Brasília: CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 48p.
- ROBINSON, CT., MINSHALL, GW. e RUSHFORTH, SR. 1990. Seasonal colonization dynamics of macroinvertebrates in an Idaho stream. *Journal of the North American Benthological Society*, vol. 9, p. 240-248.
- ROSIN, GC. e TAKEDA, AM. 2007. Larvas de Chironomidae (Diptera) da planície de inundação do alto rio Paraná: distribuição e composição em diferentes ambientes e períodos hidrológicos. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, vol. 29, no. 1, p. 57-63.
- SALIU, JK. e OVUORIE UF. 2007. The artificial substrate preference of invertebrates in Ogbe Creek, Lagos, Nigéria. *Life Science Journal*, vol. 4, no. 3, p. 77-81.
- SHELDON, AL. 1984. Colonization dynamics of aquatic insects. In: RESH, VH. e ROSENBERG, DM. (Eds). *The Ecology of Aquatic Insects*. New York: Praeger Publishers, p. 401-429.
- STATSOFT, Inc. (2005). STATISTICA (data analysis software system), version 7.1. www.statsoft.com.
- TAKEDA, AM. e FUJITA, DS. 2004. Benthic Invertebrates. In: THOMAZ, SM., AGOSTINO, AA. e HAHN, NS. (Eds.). *The Upper Paraná River and its Floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation*. Leiden: Blackhuys Publishers, p. 191-208.
- TAKEDA, AM., FUJITA, DS., FONTES Jr., HM. e BOLZON, V. 2002. *Limnoperna fortunei* dispersion – a new macrobenthic population in the Itaipu reservoir (Brazil). In: *Symposium on reservoir management in tropical and sub-tropical regions*. 2002. Iguassu: International commission on large dams. p. 658- 664.
- TAKEDA, AM., FUJITA, DS. e FONTES Jr., HM. 2004. Perspectives on exotic Bivalves proliferation in the Upper Paraná River floodplain. In: AGOSTOSTINHO, AA., RODRIGUES, L., GOMES, LC., THOMAZ, SM. e MIRANDA, LE. (Eds). *Structure and functioning of the Paraná River and its floodplain: LTER – Stie 6 (PELD – Sítio 6)*. Maringá: EDUEM, p. 97-100.
- TAKEDA, AM., FUJITA, DS., FERNANDES, SEP., BEHREND, RDL. e PINHA, GD. No prelo. Mexilhão-dourado na bacia do Paraná: com ênfase ao estado do Paraná. In: Tópicos em Malacologia.

THOMAZ, SM., AGOSTINHO, AA. e HAHN, NS. (Eds). *The Upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation*. Leiden: Backhuys Publishers. 341p.

TRIVINHO-STRIXINO, S. e STRIXINO, G. 1995. *Larvas de Chironomidae (Diptera) do Estado de São Paulo. Guia de Identificação e Diagnose dos gêneros*. São Carlos: PPG-ERN, UFSCar, 229p.

WILLIAMS, DD. e HYNES, HBN. 1976. The recolonization mechanisms of stream benthos. *Oikos*, vol. 27, p. 265-72.