

**Carlos Eduardo Belz**

**Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): um modelo para a bacia do rio Iguaçu, Paraná.**

**Curitiba  
2006**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Carlos Eduardo Belz**

**Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Dunker,  
1857): um modelo para a bacia do rio Iguaçu, Paraná.**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciências, área de concentração Zoologia. Curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Zoologia, Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Walter A. Boeger, PhD.

Co-orientador: Prof. Dr. Frederico P. Brandini.

**Curitiba  
2006**

Aprender é a única coisa de que a mente  
nunca se cansa, nunca tem medo e  
nunca se arrepende.

*(Leonardo da Vinci)*

*À minha esposa Ana Alice e à minha filha Isabela*

## AGRADECIMENTOS

É, sem dúvida, uma tarefa difícil agradecer a todas as pessoas e instituições que me apoiaram nesta caminhada. Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Universidade Federal do Paraná e ao Departamento de Zoologia pela oportunidade de concluir mais esta etapa da minha carreira e aos meus orientadores Walter A. P. Boeger e Frederico P. Brandini que, como exemplos de pesquisadores, ajudaram a construir este trabalho.

Agradeço também ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – Lactec, instituição onde trabalho e que me deu total apoio e incentivo nesta caminhada. Em especial, à minha gerente Sandra Mara Alberti.

Aos meus amigos e colegas de trabalho Otto Samuel Mäder Netto e Ariel Scheffer da Silva, agradeço pelos conselhos e pelo fundamental apoio. Ao Otto, um agradecimento especial pela grande ajuda em todas as fases de campo e pelas importantes contribuições na discussão do trabalho. Ele pode, sem dúvida, considerar-se co-autor desta tese.

Ao Professor Gustavo Darrigran da Universidade Nacional de La Plata na Argentina pelo apoio e amizade e pelas orientações que foram fundamentais na conclusão do trabalho.

À minha amiga Débora Cristina dos Santos Figueiredo e aos professores e alunos do Departamento de Geomática da UFPR pelo apoio com o geoprocessamento.

Ao meu amigo Rodrigo Figueira da Silva e ao Departamento de Estatística da UFPR pelo grande esforço com a pesquisa e aplicação das análises estatísticas.

Aos estagiários do Lactec que sempre me auxiliaram com o trabalho Henrique Luvison Gomes da Silva, Mariano Laslowski, Liana Hoennicke Rodrigues, Patrícia Esther Duarte Lagos e Jeane Mendes Reis.

À Copel pelo apoio financeiro e a todos os funcionários da empresa que participaram do trabalho pelo companheirismo.

À Itaipu Binacional pelo apoio em etapas de campo, principalmente aos funcionários Carla Canzi e Domingo Rodrigues Fernandes.

Ao Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aqüicultura – Nupélia, da Universidade Estadual de Maringá, pelo apoio em fases de campo, principalmente ao

pesquisador Edson Kiyoshi Okada e sua equipe Celso Ikedo, Maria de Lourdes B. Nunes, Marli Cristina Campos pelo companheirismo e profissionalismo.

Ao Professor Carlos Alberto Borzone do Centro de Estudos do Mar da UFPR pelo apoio nas análises estatísticas.

À Polícia Rodoviária e à Polícia Florestal do Paraná agradeço pelo fundamental apoio nas fases de campo.

Agradeço especialmente à minha família: meus pais, avós, irmão, esposa e filha pela compreensão, paciência e carinho.

Foram quatro anos de caminhada e neste período, tive a oportunidade de vivenciar a melhor experiência da minha vida, a paternidade. E é para a minha filha Isabela Collares Belz, que nasceu e cresceu durante a conclusão deste trabalho, que dedico o maior agradecimento, pois ela foi a força que sempre me motivou.

## ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	iv
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	ix
Resumo	x
Abstract	xii

### CAPÍTULO I Introdução Geral

1.1 – Prefácio	14
1.2 - Área de Estudo	17
1.3 - Características Gerais da Espécie	18
1.4 - A dispersão de <i>Limnoperna fortunei</i> na América do Sul	22
1.5 - Impactos ambientais causados por <i>Limnoperna fortunei</i>	25
1.6 - Impactos econômicos em instalações industriais	27
1.7 - Ações do Governo Brasileiro	29

### CAPÍTULO II

#### Prospecção do Molusco Invasor *Limnoperna fortunei* no Estado do Paraná

2.1 - Prefácio	30
Seção 01	
“Prospecção do molusco invasor <i>Limnoperna fortunei</i> (dunker, 1857) em reservatórios e sistemas de usinas hidrelétricas da Companhia Paranaense de Energia – Copel.”	31

### CAPÍTULO III

#### Monitoramento no Estado do Paraná

3.1 - Prefácio	37
Seção 02	
“Monitoramento da ocorrência de <i>Limnoperna fortunei</i> (Dunker, 1857) (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) em reservatórios de usinas hidrelétricas da Companhia Paranaense de Energia, Brasil.”	38

## **CAPÍTULO IV**

### **Adaptação de *Limnoperna fortunei* na Região Oeste do Estado do Paraná**

6.1 - Prefácio	42
Seção 03	
“Densidade, recrutamento e crescimento individual de <i>Limnoperna fortunei</i> (Dunker, 1857) (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) no reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu, Paraná, Brasil.”	44

## **CAPÍTULO V**

### **Análise dos vetores de dispersão de *Limnoperna fortunei* no Estado do Paraná**

4.1 - Prefácio	53
Seção 04	
“O transporte de areia como vetor de dispersão de moluscos bivalves invasores no Estado do Paraná.”	55
Seção 05	
“Barcos de pesca esportiva como vetores de dispersão de <i>Limnoperna fortunei</i> (Dunker, 1857) (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) no oeste do Estado do Paraná, Brasil.”	63
Seção 06	
“O transporte de peixes vivos como vetor de dispersão de <i>Limnoperna fortunei</i> (Dunker, 1857) (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) no Estado do Paraná, Brasil.”	69

## **CAPÍTULO VI**

### **Análise de Risco**

6.1 - Prefácio	78
Seção 07	
“Análise de risco de bioinvasão por <i>Limnoperna fortunei</i> (Dunker, 1857) (Mollusca-Mytilidae) na bacia do rio Iguaçu, Paraná, Brasil.”	79
<b>CONCLUSÕES</b>	89
<b>REFERÊNCIAS</b>	91



## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 – <i>Limnoperna fortunei</i> aderido em aquário (Foto - Carlos Eduardo Belz).	19
Fig. 2 – Estádios larvais de <i>Limnoperna fortunei</i> .	21
Fig. 3 – Histórico da dispersão de <i>Limnoperna fortunei</i> na América do Sul.	24
Fig. 4 – Porcentagem de gastos com o mexilhão zebra nos EUA por setor afetado.	28
Fig. 5 – Gastos de Plantas Hidrelétricas nos EUA com Mexilhão Zebra (x US\$ 1.000) por ano.	28
Fig. 6 – Coleta de amostras de plâncton nos reservatórios.	30
Fig. 7 – Coleta de amostras de plâncton nos sistemas de resfriamento das usinas.	30
Fig. 8 – Vistoria nas margens dos reservatórios.	30
Fig. 9 – a. Coleta de amostras de areia dos caminhões na estrada. b. processamento das amostras.	54
Fig. 10 – a. Aplicação de questionário e vistoria em barcos de pesca esportiva no Iate Clube de Foz do Iguaçu. b. Coleta de amostras de água do interior dos barcos.	54
Fig. 11 – a. Intestino de Armado <i>Pterodoras granulosus</i> repleto de adultos de <i>Limnoperna fortunei</i> . b. Mexilhões coletados da porção final do intestino de <i>Pterodoras granulosus</i> e mostrando estarem vivos com abertura da concha e filtragem.	54
<b>Capítulo II - Seção 01</b>	
Fig. 1 – Reservatórios das usinas hidrelétricas da Copel (Paraná, Brasil) onde foram realizadas coletas e vistorias de larvas e adultos de <i>L. fortunei</i> .	33
<b>Capítulo III - Seção 02</b>	
Fig. 1 – Localização das usinas monitoradas durante o trabalho.	40
<b>Capítulo IV - Seção 03</b>	
Fig. 1 – Refúgio biológico Bela Vista – reservatório de Itaipú.	46
Fig. 2 – Flutuante plástico do trapiche evidenciando a moldura utilizada para coleta e a área de raspagem.	47
Fig. 3 – Densidades médias de <i>Limnoperna fortunei</i> por m <sup>2</sup> calculadas a partir de três amostras mensais.	47
Fig. 4 – Distribuição das frequências de tamanho para <i>Limnoperna fortunei</i> nas amostras mensais.	49
Fig. 5 – Número de indivíduos com comprimento da concha entre 0 e 2mm durante os meses de coleta.	51
Fig. 6 – União das médias das modas identificadas em cada período de coleta para obtenção das coortes etárias.	52
Fig. 7 – Distribuição das frequências de tamanho com intervalo de classe de 2mm e com as curvas ajustadas do modelo de Von Bertalanffy.	52
<b>Capítulo V - Seção 04</b>	
Fig. 1 – Áreas identificadas no estudo como destino da areia coleta na região de Guairá.	61
Fig. 2 – Mapa com a localização das praias artificiais vistoriadas no reservatório de Salto Caxias no rio Iguaçu, Paraná.	61
<b>Capítulo V - Seção 06</b>	
Fig. 1 – Mapa com a localização dos pontos de coleta de peixes.	72
Fig. 2 – Mapa com a localização dos pontos de coleta de água para transporte de peixes.	73
<b>Capítulo VI - Seção 07</b>	
Fig. 1 – Localização das três áreas de estudo na bacia do rio Iguaçu.	82
Fig. 2 – (CRG) para o reservatório de Salto Caxias.	86
Fig. 3 – (CRG) para o reservatório de Foz do Areia.	87
Fig. 4 – (CRG) para o reservatório do Irai.	88

## LISTA DE TABELAS

Tab. I – Classificação da espécie <i>Limnoperna fortunei</i> segundo NEWELL (1969).	18
Tab. II – Mudanças previstas do ecossistema associadas à presença de <i>Limnoperna fortunei</i> inferidas a partir do conhecimento gerado para o mexilhão zebra.	26
<b>Capítulo II - Seção 01</b>	
Tab. I – Número e tipo de amostragem de larvas e adultos de <i>L. fortunei</i> durante as coletas em cada usina da Copel e na usina de Itaipu, Paraná.	36
<b>Capítulo III - Seção 02</b>	
Tab. I – Relação das usinas monitoradas e número de amostras analisadas durante o período de estudo.	41
<b>Capítulo V - Seção 04</b>	
Tab. I – Dados gerais das amostras de areia coletadas nos caminhões de transporte.	59
Tab. II – Número de vestígios de moluscos encontrados nas amostras de areia.	59
<b>Capítulo V - Seção 05</b>	
Tab. I – Questionário aplicado aos pescadores do Iate Clube de Foz do Iguaçu.	65
Tab. II – Material coletado, associado a mecanismos de transporte de larvas, juvenis e adultos de <i>L. fortunei</i> em barcos de pesca esportiva no rio Paraná e suas probabilidades de ocorrência.	66
<b>Capítulo V - Seção 06</b>	
Tab. I – Lista de espécies que se alimentam de <i>Limnoperna fortunei</i> na América do Sul.	70
Tab. II – Quantidades totais de mexilhões inteiros e vivos encontrados no trato digestório das espécies coletadas.	75
Tab. III – Quantidades de larvas vivas de <i>Limnoperna fortunei</i> encontradas no tanque de transporte de peixes em diferentes tempos de amostragem.	76
<b>Capítulo VI - Seção 07</b>	
Tab. I – Perguntas aplicadas para traçar o perfil de cada atividade nas três regiões de estudo.	81
Tab. II – Valores de risco e risco global para cada uma das regiões estudadas.	84

## RESUMO

*Limnoperna fortunei* é um molusco bivalve de água doce, originário do Sudeste Asiático. Sua ocorrência na América do Sul foi relatada pela primeira vez em 1991, no estuário do Rio da Prata, Argentina. Em pouco tempo esse organismo, conhecido vulgarmente como mexilhão dourado, se dispersou por várias outras bacias hidrográficas da Argentina, Brasil, Paraguai, Bolívia e Uruguai, causando grandes prejuízos ambientais e econômicos. Outros exemplos de invasões por moluscos bivalves como o mexilhão zebra, *Dreissena polymorpha*, nos EUA, evidenciam a grande capacidade desses organismos em se adaptar a novos ambientes, sendo a atividade humana, provavelmente, a maior responsável pela dispersão dessas espécies. Um melhor entendimento do comportamento e dos processos dispersivos envolvidos com sua introdução possibilitam a adoção de medidas preventivas. A implementação de uma barreira definitiva ao avanço desses organismos é muito difícil, mas trabalhos de prevenção bem fundamentados podem levar a uma redução na velocidade de disseminação, o que representa uma economia de recursos financeiros e um tempo valioso para realização de pesquisas com a biologia e possíveis métodos de controle dessas espécies. O presente trabalho tem como objetivos analisar os fatores envolvidos com a disseminação de *L. fortunei* para novos ambientes, identificando os vetores envolvidos em sua dispersão, monitorando o avanço dessa espécie no Estado do Paraná, criando subsídios para o desenvolvimento de medidas de prevenção da disseminação desse organismo e, por meio de Sistema de Informações Geográficas, desenvolvendo uma metodologia de análise de risco de bioinvasão de bacias hidrográficas usando como modelo a bacia do rio Iguaçu. Para isso, foi realizado durante o segundo semestre de 2003, uma prospecção inicial em 10 reservatórios da Companhia Paranaense de Energia (Copel) para identificação de pontos com a presença do molusco no Estado do Paraná, sendo que o mesmo não foi encontrado no interior do Estado. A partir desse trabalho, desenvolveu-se uma metodologia de prospecção específica para o mexilhão e em 2004, 17 reservatórios da Copel passaram a ser monitorados, sendo três mensalmente e os demais trimestralmente. Trabalhos de campo foram realizados com o objetivo de identificar vetores de disseminação. Foram selecionados como principais vetores para a região o transporte de embarcações de lazer, o transporte de areia e o transporte de peixes vivos. O perfil de cada uma destas

atividades foi analisado em três reservatórios de água ao longo do rio Iguaçu: Reservatório do Irai (Coordenadas planas UTM SAD69 7186592,401 S / 689794,542 W); Reservatório de Foz do Areia (7123268,672 S / 432655,958 W) e Reservatório de Salto Caxias (7172484,086 S / 248103,889 W). A equação de Von Bertalanffy foi utilizada para avaliar o crescimento populacional da espécie no lago de Itaipu, rio Paraná (7180836,029 S / 142896,969 W). Todos os dados coletados foram inseridos em um banco de dados do software *Arc/View 9,0* e foram usados para gerar mapas temáticos dessas atividades. O cruzamento dessas informações em mapas georreferenciados indicou áreas com maior risco de bioinvasão pelo molusco. O modelo de análise de risco poderá ser utilizado para outras bacias hidrográficas ou conjuntos de bacias hidrográficas de uma Região, Estado ou País, representando uma ferramenta importante no combate a este organismo invasor. Os reservatórios do rio Iguaçu estudados, apresentaram riscos variando entre médio e médio alto, o que significa que esta bacia hidrográfica pode ser contaminada pelo molusco e medidas preventivas devem ser adotadas.

## **ABSTRACT**

*Limnoperna fortunei* is a freshwater bivalve mollusk, original from the Southeast Asian. Its occurrence in South America was recorded for the first time in 1991, in the estuary of Rio de La Plata, Argentina. In a short period of time, this organism, commonly known as golden mussel, it dispersed into several other hydrographic basins of Argentina, Brazil, Paraguay, and Uruguay, causing great environmental and economical damages. Other examples of invasions of bivalve mollusks is the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, in the USA, evidencing the great capacity of these organisms in adapting to new environments, being the human activity, probably, the largest responsible for its dispersion. A better understanding of the dispersion processes involved with its introduction potential make possible the adoption of preventive measures. The implementation of a definitive barrier to the progress of those organisms is very difficult, but prevention can reduce the speed of spreading, probably representing an enormous economy of resources and a valuable time for accomplishment of research on its biology and of possible methods of control. The present work has as objective to analyze the factors involved with the spread of *L. fortunei* into new environments, identifying the vectors involved in its dispersion, monitoring its progress the waterways of the State of Paraná, creating subsidies for the development of measures of prevention of the dispersion, through the use of Geographical Information System, developing a methodology of analysis of risk of bioinvasion of hydrographic basins, using as model the basin of the river Iguaçu. For that, during the second semester of 2003, a first search in 10 reservoirs of the Companhia Paranaense de Energia (Copel) were prospected for this mollusk species in the State of Paraná, it was not capable to detect its presence in the internal rivers systems of the state. Based on these results, a methodology of specific prospection for the mussel was applied, in 2004, in 17 reservoirs of Copel was monitored, three monthly and the remaining quarterly. Field works were also performed with the objective of identifying possible dispersion vectors. Three main vectors were identified as potential vectors: the transport of leisure boats, the transport of sand, and the transport of living fish. The profile of each one of these activities was analyzed in three reservoirs of water along the Rio Iguaçu: Irai Reservoir (UTM SAD69 7186592,401 S / 689794,542 W); Foz do Areia Reservoir (7123268,672 S /

432655,958 W) and Salto Caxias Reservoir (7172484,086 S / 248103,889 W). Von Bertalanffy's equation was used to evaluate the population growth of the species in the Lake Itaipu, Rio Paraná (7180836,029 S / 142896,969 W). All the collected data were inserted into a database of the software Arc/View 9,0 and was used to generate thematic maps of those activities. The crossing of this information in georeferenced maps indicated areas with higher risk of bioinvasion by the mollusk. The model of risk analysis can be used in other hydrographic basins or groups of basins in an Area, State or Country, representing an important tool in the combat to this invasive organism. The reservoir analysed within the Rio Iguassu presented risk values that varied between average to average-high, suggesting that the basin may be contaminated by the mollusk and preventing measures need to be adopted.

# CAPÍTULO – I INTRODUÇÃO GERAL

## 1.1- PREFÁCIO

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um protocolo para avaliação de risco de bioinvasão em corpos d'água continentais pelo molusco bivalve *Limnoperna fortunei*. Esta espécie é apenas mais uma dentro de uma longa lista de organismos que vêm causando grandes impactos ambientais, sociais e econômicos em todo o mundo (DI CASTRI, 1989; CARLTON & GELLER, 1993; JONES *et al.*, 1997; CARLTON, 1999 & MACK *et al.*, 2000).

A introdução de espécies em um ambiente pode ocorrer de forma natural. Porém, a maioria dos casos tem uma correlação forte com a atividade humana e em especial com a expansão e globalização do comércio. A navegação marítima, por exemplo, já resultou no traslado de grande número de espécies de plantas e animais de um lugar a outro do planeta, de forma intencional ou acidental (DI CASTRI, 1989). Desde o século XV, embarcações têm sido um vetor efetivo de transporte não só de pessoas, mas também de outros mamíferos, pássaros, plantas e vários organismos acompanhantes como artrópodes, moluscos e outros invertebrados (CARLTON, 1999). Assim chegaram às Américas o gado, o rato doméstico e tantos outros animais e plantas que hoje são comuns em nosso ambiente.

Muito tempo se passou desde estes clássicos exemplos. Hoje, a intensificação do comércio marítimo tem aumentado significativamente este intercâmbio. Apesar da incrustação em cascos de navios ser a via responsável pelo maior número de introduções marinhas ao longo do tempo, pode-se dizer que, atualmente, a descarga de água de lastro é a mais importante via de introdução de espécies indesejáveis nos portos de todo o mundo e uma das grandes ameaças ao equilíbrio ecológico dos ambientes aquáticos (SILVA & SOUZA, 2004).

A Organização Marítima Internacional – IMO, agência especializada das Nações Unidas (ONU), que desde 1948 regulamenta o transporte e as atividades marítimas com relação à segurança, à preservação do meio ambiente e às matérias legais relacionadas, passou a considerar a água de lastro como um dos temas mais importantes nas suas convenções (SILVA *et al.*, 2004). Algumas ações políticas, técnicas e legais vêm sendo tomadas no sentido de reduzir este problema (NETO & JABLONSKI, 2004) que já levou à

introdução de várias espécies em diferentes regiões do globo, causando grandes impactos ambientais, sociais e econômicos (CARLTON, 1999).

Os impactos ambientais causados pela introdução de espécies invasoras são, na maioria das vezes, imperceptíveis pelo seu efeito tardio. Este efeito pode levar à errônea e perigosa crença de que esses organismos já se integraram ao ecossistema onde se instalaram. Esta crença fatalista que pode levar a pensar que as invasões biológicas são um fato consumado e que já seria tarde para fazer algo, somado aos benefícios econômicos que algumas espécies têm gerado a alguns setores que as exploram, se traduziram em uma falta de interesse em pesquisas de erradicação, controle ou prevenção. Exceções parecem estar associadas aos casos nos quais estas espécies causam prejuízos econômicos significativos a determinados setores, como é o caso de *L. fortunei*.

Em todo o mundo, pesquisadores vêm procurando reverter este quadro. Invasões biológicas têm sido reconhecidas como uma das ameaças mais sérias à biodiversidade e aos ecossistemas da Terra.

BRIGHT (1998) popularizou o termo “bioinvasão” em seu livro "*Life out of Bounds: Bio-invasion in a borderless world*". Este processo apresenta vários estágios que começam quando uma espécie é transportada de sua região de origem para um novo local, ultrapassando uma primeira barreira, a geográfica, momento no qual pode ser considerada uma espécie exótica ou introduzida (MACK, 1995). Mesmo que estas espécies imigrantes tenham sucesso em chegar a um novo ambiente, elas podem ser eliminadas do meio por vários agentes físicos e bióticos. É muito difícil estimar a quantidade de espécies que são dispersas de seus ambientes nativos, mas baseado no número de espécies que podem ser coletadas em trânsito, a extinção local dos novos imigrantes deve ser muito grande (CARLTON & GELLER, 1993). Espécies exóticas ocasionalmente podem sobreviver somente por poucas gerações, após as quais sofrem extinção local. Em outros casos, seus descendentes podem sobreviver e se reproduzir nas suas novas áreas de ocorrência após a introdução, persistindo e ultrapassando uma segunda barreira, a do estabelecimento. Quando uma destas espécies apresenta um crescimento populacional logarítmico e ultrapassa a barreira da dispersão, pode-se iniciar uma bioinvasão (MACK, 1995 & MACK *et al.*, 2000). Porém, o processo todo não é tão simples de ser analisado, principalmente pelas complexas



interações destes organismos com o novo meio e com as espécies que ali vivem (HIGGINS & RICHARDSON, 1996, 1998).

Depois de iniciado o processo de bioinvasão, os esforços de erradicação são dispendiosos e muitas vezes ineficazes, principalmente quando se trata de espécies aquáticas (COWIE, 2004). Um melhor entendimento deste processo pode levar a muitos benefícios, tais como: uma previsão mais apurada dos níveis e direção da dispersão, uma concentração de esforços em áreas mais críticas e um maior conhecimento dos mecanismos de dispersão e da biologia das espécies invasoras, o que traz informações relevantes para futuras invasões (JOHNSON & PADILLA, 1996). Dentro do entendimento deste processo, um tema de grande importância é a análise dos vetores de dispersão. CARLTON & RUIZ (2004) tratam o tema como a “Ciência dos Vetores” e o consideram a peça chave na prevenção de novas invasões. No entanto, é fundamental para um gerenciamento destes vetores, o entendimento da operação dos mesmos e o desenvolvimento de um modelo conceitual, por meio do qual os vetores possam ser caracterizados e quantificados adequadamente para guiar estratégias efetivas de prevenção.

Uma ferramenta poderosa para estudos de bioinvasões é o Sistema de Informações Geográficas (SIG), no qual todas as informações podem ser espacializadas e georreferenciadas, dando maior dinamismo e precisão aos dados (GOODCHILD *et al.*, 1993; HALTUCH *et al.*, 2000).

Este é o principal objetivo deste trabalho; Criar um modelo de análise dos vetores de dispersão de *L. fortunei* no Estado do Paraná por meio do uso do SIG, permitindo identificar regiões com maior risco de bioinvasão por esta espécie. Segundo GUILAM (1996) a análise de risco pode ser definida como a identificação de danos potenciais e a estimativa da probabilidade de que um dado dano ocorra, usando dados anteriores, observação sistemática, análise estatística e experimentação ou intuição. Várias abordagens são possíveis nesta discussão. A mais comum é a chamada no trabalho de GUILAM (1996) como abordagem da engenharia, que apresenta uma forte orientação no sentido da quantificação do risco. Para este autor, o risco é um conceito matemático e pode ser calculado pela fórmula (Risco = Perigo x Probabilidade). Esta abordagem tenta excluir fatores subjetivos ou julgamentos individuais e as análises se limitam a indicadores quantitativos, de tal forma que a informação possa ser estatisticamente processada e erros humanos e aspectos

comportamentais dos indivíduos expostos aos riscos são ignorados, por não serem calculáveis.

JASANOFF (1993) ressalta que esta busca da objetividade marca a abordagem da engenharia. Mas não a invalida, uma vez que esta perspectiva quantitativa pode apontar para informações importantes, já que a mesma foi desenvolvida como uma ferramenta objetiva para instâncias governamentais tomarem decisões baseadas em fatos. Esta objetividade significa impedir a interferência de valores subjetivos na análise através da obtenção de fatos, cálculo das probabilidades e extração de respostas. Esse seria o método ideal para uma análise de risco. Porém, ao longo do trabalho ficou claro ser indispensável a incorporação de dimensões subjetivas, criando uma interação proveitosa entre as ciências quantitativas e qualitativas. Com esta visão mais multidisciplinar, um modelo de análise de risco foi aplicado a três regiões distintas da bacia do Rio Iguaçu.

## **1.2- ÁREA DE ESTUDO**

A Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu é a maior do Estado do Paraná, com aproximadamente 72.000 Km<sup>2</sup>, dos quais 79% pertencem ao Paraná, 19% à Santa Catarina e 2% à Argentina. O Rio Iguaçu nasce na frente ocidental da Serra do Mar e percorre aproximadamente 1.060 Km, até sua foz no Rio Paraná (MAACK, 1981). Suas características de relevo favoreceram a construção de usinas hidrelétricas. Considerando a confluência dos rios Atuba e Irai como seu ponto de origem, seu desnível é de 830m, ou seja, da altitude de 908m nessa localidade até os 78m na sua foz, no rio Paraná. Estão em seu percurso as maiores usinas do Estado e uma produção de energia que chega a 6.674 MW de potência sem considerar as usinas instaladas em seus afluentes (BAGGIO *et al.*, 1992). Esse foi um dos motivos para escolher esta bacia como modelo, já que o setor elétrico é o mais afetado pelo problema de incrustação de moluscos invasores (O'NEILL, 1997) e a Companhia Paranaense de Energia é financiadora do trabalho por meio de recursos da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

O trabalho foi dividido em capítulos para facilitar o entendimento dos diversos componentes que foram analisados na criação do índice de risco. No início de cada capítulo, um prefácio apresenta o trabalho e o correlaciona com os demais capítulos.

### 1.3- CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ESPÉCIE

A seguir são detalhadas informações referentes à biologia, dispersão, impactos ambientais e econômicos da espécie *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1856). Muitas das informações da sua biologia foram extraídas de (LACTEC & GIA, 2005). Este molusco, conhecido vulgarmente como mexilhão dourado, “golden mussel” ou “mejillón dourado”, é um Bivalve, Mytilidae (Tabela I). Como o nome sugere, todos os Bivalvia são caracterizados por apresentar uma concha composta por duas valvas (direita e esquerda) dentro da qual o corpo do animal está protegido. As valvas são unidas por um ligamento no lado dorsal do animal. Em geral as duas valvas são morfologicamente semelhantes (RUPPERT *et al.*, 2004).

Os Mytilidae são bivalves de tamanho bastante variável e com conchas relativamente finas e alongadas, com a extremidade posterior arredondada e a anterior afilada. O ligamento é externo. A linha de articulação é longa, algumas vezes com poucos dentes pequenos. Estes organismos são geralmente encontrados fixados sobre rochas, em areia ou lama, freqüentemente formando grandes colônias. A maioria dos bivalves se fixa a estes substratos através de um filamento de base protéica, o bisso, secretado por uma glândula localizada na base do pé muscular (MORTON, *et al.*, 1998) (Figura 1 - *L. fortunei*).

Tabela I – Classificação da espécie *Limnoperna fortunei* segundo NEWELL (1969)

FILO:	Mollusca
CLASSE:	Bivalvia
SUBCLASSE:	Pteriomorpha
ORDEM:	Mytiloida
SUPERFAMÍLIA:	Mytiloidea
FAMÍLIA:	Mytilidae
GÊNERO:	<i>Limnoperna</i>
ESPÉCIE:	<i>Limnoperna fortunei</i> (DUNKER, 1856)



Fig. 1 – *L. fortunei* aderido em aquário (Foto - Carlos Eduardo Belz)

*Limnoperna fortunei*, ao contrário da maioria dos mitilídeos, é um mexilhão de água doce. Pode atingir 20 mm de comprimento no seu primeiro ano de vida, 30 mm no segundo, e 35 mm no terceiro (BOLTOVSKOY & CATALDO, 1999). A longevidade de *L. fortunei* varia conforme a localidade geográfica (MAGARA *et al.*, 2001). Indivíduos desta espécie podem viver até 2 anos no Japão (IWASAKI & URYU, 1998). BOLTOVSKOY & CATALDO (1999) estimaram em 3 anos a longevidade para o estuário do Rio da Prata na Argentina e na mesma região, MAROÑAS *et al.* (2003) sugerem uma longevidade de 3,2 anos.

Morfologicamente, esta espécie é distinta das demais espécies do grupo, principalmente pela morfologia da concha e das cicatrizes das inserções musculares e da linha paleal. A cicatriz do músculo retrator do bisso posterior é dividida em duas partes. O umbo é localizado na extremidade anterior da concha. A concha é frequentemente amarelada, podendo variar até o negro dependendo das condições ambientais do local onde o indivíduo cresceu. Internamente, a concha é nacarada. A concha dos espécimes adultos não apresenta dentes na articulação nem cicatriz da indentação do bisso. A fusão do manto ocorre dorsalmente (KIMURA & SEKIGUCHI, 1994).

Dentre as características que tornam *L. fortunei* uma espécie invasora de grande sucesso estão a sua resistência a condições ambientais e sua alta fecundidade, sendo capaz de colonizar uma grande variedade de habitats. Suas colônias atingem densidades de mais de 150.000 indivíduos por metro quadrado. As populações são compostas por um número maior de fêmeas do que machos (cerca de 2/3 de fêmeas) e indivíduos hermafroditas também ocorrem na natureza (DARRIGRAM *et al.*, 2000).

Fêmeas podem produzir milhares de ovos por desova. A desova pode ocorrer inúmeras vezes ao ano, especialmente em regiões onde a temperatura da água é mais elevada. Os trabalhos realizados na Região Neotropical sugerem que nas águas mais setentrionais da Bacia do Rio Paraná, a atividade reprodutiva desta espécie ocorre, continuamente, ao longo de nove meses do ano (CATALDO & BOLTOVSKOY, 1998); (BOLTOVSKOY & CATALDO, 1999); (CATALDO & BOLTOVSKOY, 2000), com picos de desova nos períodos mais quentes (BOLTOVSKOY AND CATALDO, 1999). Todavia, é muito provável que, em localidades mais ao norte, onde a temperatura da água é relativamente constante e mais elevada ao longo de todo o ano, a reprodução seja contínua nos 12 meses do ano.

*Limnoperna fortunei* é uma espécie dióica, com fertilização externa. O tamanho dos indivíduos na primeira maturação sexual em clima temperado varia sazonalmente. De junho a outubro, gônadas maturam em indivíduos de 5-6 mm de comprimento de concha; de março a maio, a maturação ocorre em indivíduos de 7-10 mm. Machos adultos apresentam espermatozoides maduros ao longo de todo o ano (DARRIGRAN *et al.*, 1999).

A duração dos estágios larvais é diretamente proporcional à temperatura da água local (KIMURA & SEKIGUCHI, 1996). As durações e medidas dos estágios apresentadas a seguir referem-se a valores determinados experimentalmente a 25°C. A larva denominada de larva Véliger ou larva D (comprimento = 80-127 µm) (Figura 2a) é o primeiro estágio larval após a fertilização e dura cerca de 7 dias. O aparecimento de um umbo define a larva umbonada (comprimento médio = 264 µm) (Figura 2b) que dura cerca de 3 dias. O desenvolvimento de um pé e de ocelos visíveis, determinam o estágio de pedivéliger (comprimento médio = 314 µm) (Figura 2c) que dura cerca de 2 dias no plâncton, após os quais fixa-se ao substrato. Ao todo, a 25 °C, da fertilização à fixação de todas as larvas sobreviventes produzidas passam-se 15 dias. Estes períodos são bastante semelhantes para larvas mantidas experimentalmente a 30 °C, mas estas apresentam comprimentos maiores. Larvas mantidas a 15 °C geralmente não passam do estágio de larva D; o crescimento em comprimento é praticamente nulo (KIMURA & SEKIGUCHI, 1996).

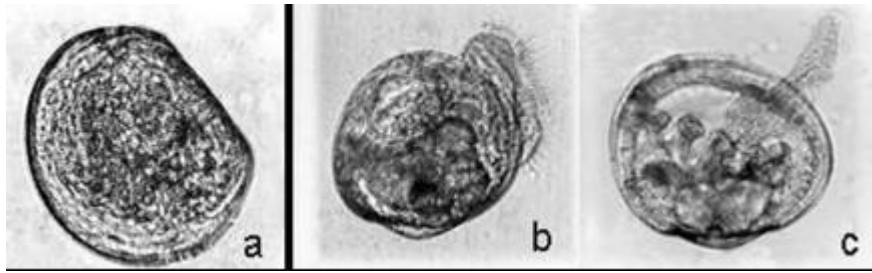


Fig. 2. Estádios larvais de *Limnoperna fortunei*. a. larva D. b. larva umbonada; c. larva pedivéliger (Cataldo & Boltovskoy, 2000).

SANTOS *et al.* (2005) revisaram as fases larvais de *L. fortunei* para a região do lago Guaíba no RS. Utilizaram uma nomenclatura dos estágios larvais semelhante à utilizada por ACKERMAN *et al.* (1994) e KASIANOV *et al.* (1998) e encontraram as seguintes comprimentos médios: Fase ciliada (80  $\mu\text{m}$ ), trocófora fase 1 (90  $\mu\text{m}$ ), trocófora fase 2 (110  $\mu\text{m}$ ), trocófora fase 3 (125  $\mu\text{m}$ ), trocófora fase 4 (125  $\mu\text{m}$ ), larva “D” (155  $\mu\text{m}$ ), véliger de charneira reta (155  $\mu\text{m}$ ), véliger umbonada (208  $\mu\text{m}$ ), pedivéliger (243  $\mu\text{m}$ ) e plantígrada (320  $\mu\text{m}$ ).

Pouco mais se sabe sobre a dinâmica larval de *L. fortunei*. É provável que, assim como o mexilhão zebra e diversas outras espécies de bivalves, a fixação da pedivéliger ocorra em substratos filamentosos, como algas e colônias de briozoários (ACKERMAN *et al.*, 1993 e MANSUR *et al.*, 2003) e que, mais tarde, utilizem mecanismos de translocação de formas juvenis para se fixar em substratos duros definitivos, já que segundo URYU *et al.* (1996) juvenis e adultos de *L. fortunei* apresentam grande mobilidade no substrato em que estão fixados.

A influência da temperatura sobre os processos de maturação sexual, sobrevivência de estádios larvais e desova é bem clara. A temperatura de inibição do processo de desova parece ser em torno de 15-17 °C (DARRIGRAM, 2000 e CATALDO & BOLTOVSKOY, 2000). Todavia, podem existir outros fatores menores que influenciem a reprodução, como por exemplo, a densidade de organismos no fitoplâncton, como ocorre em espécies de *Dreissena polymorpha* (mexilhão zebra) (RAM *et al.*, 1992 e STOECKMANN & GARTON, 1992).

*Limnoperna fortunei* é uma espécie filtradora, como a enorme maioria dos Bivalvia. Aparentemente, a espécie é capaz de se alimentar tanto do fitoplâncton como de espécies de zooplâncton e detritos orgânicos, como ocorre com *Dreissena polymorpha* (LEI *et al.*, 1996). No ambiente neotropical, esta espécie foi prontamente incorporada como item

alimentar de diversas espécies de peixes (MONTALDO *et al.*, 1999; BOLTOVSKOY & CATALDO, 1999; GARCIA & PROTOGINO, 2005).

Apenas algumas espécies de trematódeos digenéticos (*Platyhelminthes*) foram reportadas como parasitos/patógenos de *L. fortunei* na sua área de distribuição original (WANG & WANG, 2000). Nada se conhece, até o momento, para a região neotropical, mas é possível que novas associações com metazoários e microorganismos se estabeleçam nos ambientes invadidos pela espécie.

Existem poucos estudos genéticos com *L. fortunei*, todos de cunho estritamente básico. Seu conjunto cromossômico e tamanho do genoma nuclear foram descritos apenas recentemente (LEYAMA, 1996). As unidades taxonômicas que foram outrora consideradas como sub-espécies de *L. fortunei* apresentam grande divergência quanto a distintos loci enzimáticos. Dentre 14 loci analisados, 13 apresentam substituições gênicas completas, o que suporta a decisão de considerá-las espécies distintas, possíveis de serem detectadas no nível genômico e morfológico (KIMURA & TABE, 1997).

#### **1.4- A DISPERSÃO DE *Limnoperna fortunei* NA AMÉRICA DO SUL**

A espécie *L. fortunei* é nativa de rios e córregos chineses e do sudeste asiático (MORTON, 1973) e apenas recentemente, por razões não totalmente conhecidas, vem expandindo sua distribuição em todo o mundo. Em 1965, invadiu as águas de Hong Kong (MORTON, 1975). Expansões subseqüentes são reportadas apenas muitos anos depois, no Japão (KIMURA, 1994), Korea e Taiwan (RICCIARDI, 1998).

No mesmo período, mais especificamente em 1991, espécimes de *L. fortunei* foram detectados pela primeira vez no estuário do Rio da Prata (PASTORINO *et al.*, 1993). Logo em seguida, SCARABINO & VERDE (1994) descreveram a espécie para a costa Uruguaia do rio da Prata. DARRIGRAN & PASTORINO (1995) sugerem que a introdução da espécie deu-se através da água de lastro de navios provenientes de Hong Kong ou da Coréia, nos portos do estuário do Rio da Prata. Daí, expandindo rapidamente sua distribuição para as porções baixas da Bacia do Rio Paraná (VILLAR *et al.*, 1997).

*Limnoperna fortunei* atingiu o Rio Paraguai em 1997/98, alcançando a região de Corumbá em 1998. Em 2001, a espécie foi reportada na Usina de Itaipu e em 2002, em

usinas hidroelétricas a montante de Itaipu, no Rio Paraná. No Estado de São Paulo, tem seu primeiro registro em 2002 no município de Rosana e em 2003, na usina São Simão, da Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG . Em 2004 foi encontrado na usina hidrelétrica de Barra Bonita no rio Tietê (Citações na Figura 3). Como o estágio de dispersão da espécie é planctônico, a dispersão neste sistema de rios deve ter ocorrido através da intensa navegação e transposição de barcos utilizados na pesca desportiva e navegação. Já no Rio Uruguai, onde a navegação não é tão intensa, a dispersão de *L. fortunei* foi bastante reduzida.

Uma segunda invasão, aparentemente, também causada por água de lastro de navios, ocorreu no Estado do Rio Grande do Sul (MANSUR *et al.*, 1999). *Limnoperna fortunei* é, hoje, uma espécie comum no estuário do Rio Guaíba e outros corpos de água adjacentes. Ele foi detectado nesta área pela primeira vez em 1998 e tem se expandido desde então (MANSUR *et al.*, 2003).

A figura 3 mostra um histórico da dispersão de *Limnoperna fortunei* pela América do Sul onde: **A - 1991** Balneário de Bagliardi – PASTORINO *et al.*, 1993; **B - 1994** Costa uruguaia do rio da Prata Colônia de Sacramento – SCARABINO & VERDE, 1994; **C - 1995** – DARRIGRAN & EZCURRA DE DRAGO, 2000; **D - 1996** – DI PÉRSIA E BONETTO, 1997; **E - 1997** Porto de Assunção Paraguai Rio Paraguai - DARRIGRAN & EZCURRA DE DRAGO, 2000; **F - 1998** Porto de Posadas rio Paraná - DARRIGRAN & EZCURRA DE DRAGO, 2000; **G - 1998** Bacia do alto rio Paraguai – CALLIL & MANSUR, 2002; **H - 1999** Praia de Itapuã e Porto das Pombas Município de Viamão RS – MANSUR *et al.*, 1999; **I - 1998** Rio Uruguai - EZCURRA DE DRAGO, 1998; **J - 2001** Usina de Itaipu – ZANELLA & MARENDA, 2002; **K - 2002** Município de Rosana – AVELAR *et al.*, 2004; **L - 2003** Usina de São Simão Rio Paranaíba CEMIG – Comunicação Pessoal; **M - 2004** Usina de Barra Bonita Rio Tietê AES Tietê – Comunicação Pessoal.



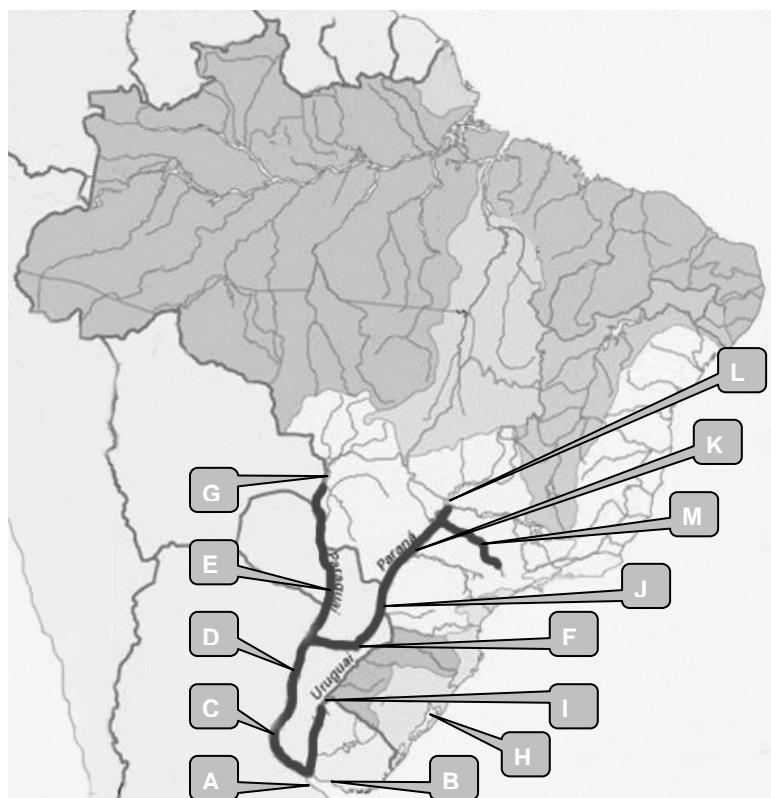


Fig. 3 – Dispersão de *Limnoperna fortunei* na América do Sul.

Além destes locais, não existem registros de *L. fortunei* em nenhuma outra bacia da América do Sul. Todavia, parece que os primeiros registros do mexilhão dourado em novas localidades, não reflete a data efetiva de invasão. Frequentemente, os indivíduos detectados primeiramente, já apresentam comprimento total compatível com mexilhões adultos. Evidentemente, a probabilidade de detecção da presença do mexilhão dourado é diretamente proporcional ao tamanho da população local. Uma população pequena será de difícil detecção.

O registro e reconstrução histórica dos eventos de invasão sugerem que *L. fortunei* é introduzido em portos cuja salinidade local seja baixa, como é o caso dos portos do estuário do Rio da Prata e de Porto Alegre. Portanto, alguns portos brasileiros, especialmente aqueles localizados em águas de baixa salinidade, como os portos de Belém e Manaus, deveriam ser colocados em estado de alerta para barcos oriundos de regiões infestadas, definindo medidas legais para o tratamento da água de lastro. A Autoridade Marítima (AM) vem trabalhando para estabelecer requisitos para o gerenciamento da água de lastro em Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB). Em outubro de 2005 foi editada a NORMAM 20 (Norma da Autoridade Marítima), para fazer com que todos os navios com acesso aos portos

e terminais nacionais operem nos termos estabelecidos pela Convenção da IMO (Organização Marítima Internacional) sobre o assunto.

### **1.5- IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS POR *Limnoperna fortunei***

Praticamente inexitem estudos que avaliem de forma integrada as alterações ambientais induzidas pela presença e pelas atividades de *L. fortunei*. Alguns poucos trabalhos envolvendo a espécie na América do Sul, parecem prever alguns impactos específicos. DARRIGRAN *et al.* (1998) estudaram a composição da fauna de substratos duros ocupados pelo mexilhão dourado e encontraram um aumento significativo na riqueza e abundância de outros grupos de invertebrados não-moluscos (Oligochaeta, Hirudinea, Isopoda, Chironomidae, dentre outras). O número de moluscos gastrópodes nativos, ao contrário, mostrou profunda redução em diversidade e número de espécies.

Registros de que *L. fortunei* faz parte significativa dos itens alimentares de inúmeras espécies de peixes estuarinos e de água doce prevêem o impacto que esta espécie induz na composição das ictiocenoses dos ambientes aquáticos invadidos (CATALDO *et al.*, 2002); (FERRIZ *et al.*, 2000); (PENCHASZADEH *et al.*, 2000). Como no caso do Mexilhão Zebra, espera-se que ocorra um significativo aumento da abundância relativa de espécies bentófagas, especialmente daquelas que apresentam adaptações para a alimentação de itens alimentares que apresentem um revestimento rígido (tais como a corvina, *Micropogonias furnieri*, o piau, *Leporinus obtusidens* e o Armado, *Pterodoras granulosus*).

*Limnoperna fortunei* tem sido reportado fixado sobre organismos aquáticos nativos que apresentam exoesqueletos ou conchas, tais como o bivalve *Anodontites trapesialis* (Mycetopodidae) e o caranguejo *Aegla platensis* (Aeglidae) (DARRIGRAM, 2000); (MANSUR *et al.*, 1999); (MANSUR *et al.*, 2003). Este tipo de comportamento é observado também em espécies de *D. polymorpha* e *D. bugensis* (mexilhão zebra e mexilhão quagga), e tem promovido danos intensos sobre espécies nativas na América do Norte (BURLAKOVA *et al.*, 2000; ZANATTA *et al.*, 2002).

Assim como o mexilhão zebra e a maioria dos moluscos bivalves filtradores, *L. fortunei* é acumulador de poluentes ambientais (PORTA, 2001); (VILLAR *et al.*, 1999). A

adição de uma espécie tão abundante e que bioacumula compostos poluentes em um ambiente aquático promove, evidentemente, o aumento dos processos de biomagnificação.

Bioacumulação e biomagnificação são estudadas e conhecidas para o mexilhão zebra (KROLAK AND ZDANOWSKI, 2001). A biomagnificação pode causar problemas ao consumo de organismos aquáticos, incluindo peixes, e afetam seriamente atividades econômicas associadas, como pesca e piscicultura. RÜCKERT *et al.* (2004) concluíram que *L. fortunei* utiliza *Microcystis viridis* (células isoladas) para alimentação no rio Paraná, o gera um grande risco de bioacumulação de cianotoxinas, já que está espécie é altamente tóxica.

Ainda utilizando-se o mexilhão zebra como referência, é possível prever outras alterações ambientais dos ambientes aquáticos sul-americanos devido à presença de *L. fortunei* (Tabela. II). Semelhanças na ecologia e biologia destas espécies sugerem que os impactos ambientais provocados por elas são bastante semelhantes. De uma forma geral, a cadeia trófica é bastante alterada (BRUGNOLI & CLEMENTE, 2002).

Tabela II - Mudanças previstas do ecossistema associadas à presença de *Limnoperna fortunei* inferidas a partir do conhecimento gerado para o mexilhão zebra (LACTEC & GIA, 2005. Modificada de <http://www.wes.army.mil>).

Parâmetros	Mudanças esperadas
Transparência da água	Aumenta
Seston	Diminui
Matéria orgânica	Diminui
Mineralização da matéria orgânica	Aumenta
Fitoplâncton	Diminui em quantidade e em clorofila
Produtividade primária pelo fitoplâncton	Diminui
Bacterioplâncton	Aumenta levemente em número
Macrófitas	Aumenta
Fitoperifito e fitobentos	Aumentam em quantidade, clorofila e produtividade primária.
Zooplâncton	Diminui em quantidade (mudanças estruturais na comunidade)
Zoobentos	Aumenta em quantidade (mudanças na estrutura taxonômica e trófica)
Peixes	Aumento na quantidade de indivíduos de espécies bentófagas

## 1.6- IMPACTOS ECONÔMICOS EM INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

A infestação por moluscos como o *L. fortunei* ou *D. polymorpha* tem provocado sensível impacto a instalações que utilizam a água ou entram em contato com cursos de água infestados. Instalações de tratamento de água e usinas hidrelétricas estão entre as que mais sofrem com esse problema (O'NEILL, 1997) (Figura 4).

Observa-se a existência de extensa bibliografia a respeito da infestação ocorrida na América do Norte pelas espécies *D. polymorpha* (mexilhão zebra) e *Dreissena bugensis* (mexilhão quagga), citando conseqüências e prejuízos causados por esses moluscos (CLAUDI, 1995; KERLEY *et al.*, 2000; DRAKE & BOSSENBROEK, 2004). Segundo O'NEILL (1997), os americanos têm gastado cerca de US\$ 500 milhões/anuais para o controle do mexilhão zebra. No setor elétrico, os gastos vêm aumentando anualmente com controle nas usinas já afetadas e com prevenção nas que ainda não possuem a espécie (Figuras 4 e 5).

Embora em muito menor quantidade, a literatura, de origem asiática ou Argentina, referente a infestações provocadas pelo *L. fortunei*, nos mostram que os impactos econômicos causados por esta espécie são muito semelhantes ao causados por *D. polymorpha* (MATSUI *et al.*, 2002; BRUGNOLI & CLEMENTE, 2002; CATALDO *et al.*, 2002).

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.

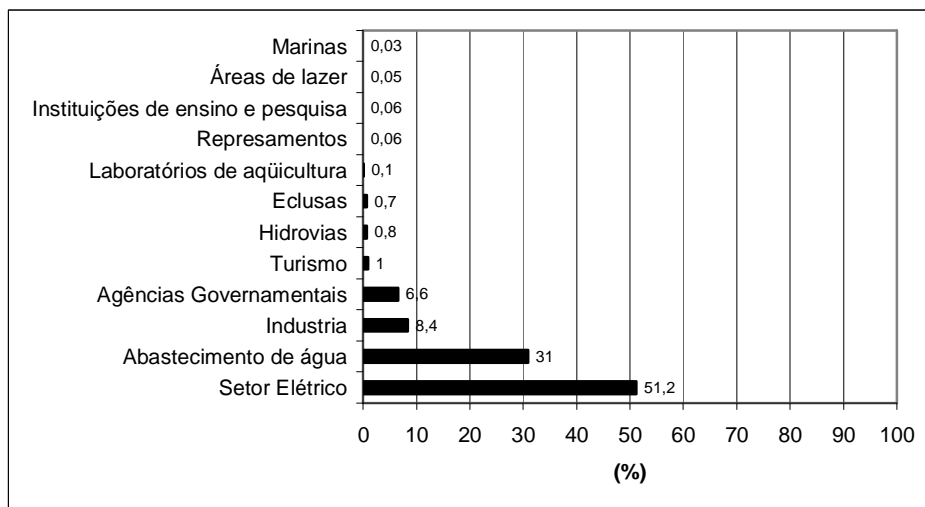


Fig. 4 - Porcentagem de gastos com o mexilhão zebra nos EUA por setor afetado. Modificado de O' NEILL (1997).

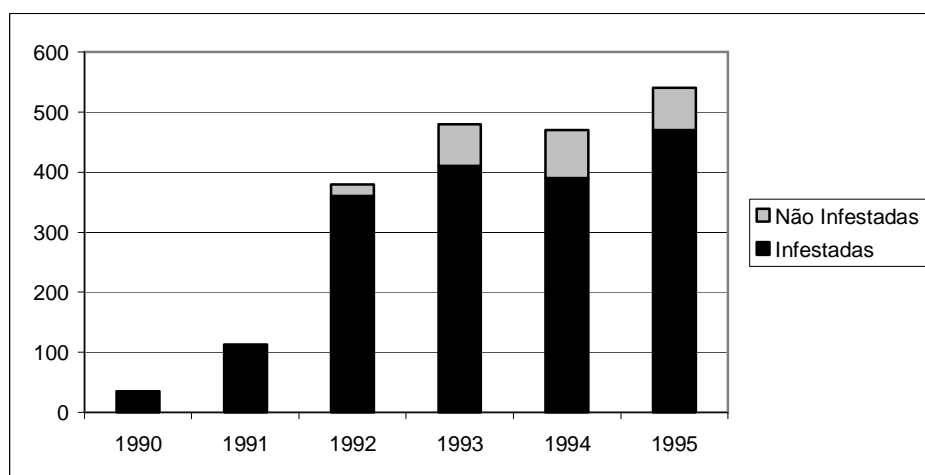


Fig. 5 - Gastos de Plantas Hidrelétricas nos EUA com Mexilhão Zebra (x US\$ 1.000) por ano. Modificado de O' NEILL (1997).

A infestação de instalações não é um problema sem solução, pois métodos de controle através de meios físicos ou químicos têm se mostrado eficientes. Porém, a maioria dos métodos desenvolvidos, são de difícil aplicação em sistemas industriais e sempre trazem custos associados, quer de ordem econômica, ou ambiental. A experiência tem mostrado que dificilmente um único método é suficiente para minimizar o problema em uma planta

industrial, sendo necessária a utilização de dois ou mais métodos atuando de forma sinérgica. (CLAUDI, 1995).

## **1.7- AÇÕES DO GOVERNO BRASILEIRO**

Com a finalidade de definir as medidas de controle ambiental, em caráter emergencial, o Ministério do Meio Ambiente instituiu, pela Portaria nº 494, de 22 de dezembro de 2003, a Força-Tarefa Nacional (FTN) para o Controle do Mexilhão-dourado. A Portaria determinou, também, que a FTN avaliasse os resultados obtidos na execução das medidas planejadas, e apresentasse sugestões para possíveis etapas posteriores. As diversas experiências no combate do mexilhão-dourado realizadas no Brasil e aquelas realizadas nos Estados Unidos, no combate ao mexilhão zebra (*Dreissena polymorpha*), serviram como referencial para a elaboração de um Plano de Ação Emergencial (PAE), com propostas de ações de Divulgação, Capacitação, Monitoramento e Fiscalização.

Os resultados das atividades da FTN foram apresentados em onze reuniões, compreendendo o período de agosto de 2003 a agosto de 2004. Assim, foram sugeridas medidas para a estruturação, implementação e avaliação de uma proposta de controle da infestação do mexilhão dourado a partir da análise do quadro atual de sua expansão e tendências, assim como dos mecanismos de resposta para as diferentes regiões de sua concentração, levando-se em conta aspectos de custo-benefício sócio-ambiental e a exequibilidade pretendida (MMA, 2004).

A continuidade das ações de combate e contenção ao mexilhão dourado, após o encerramento das atividades da FTN, ficou sob a coordenação, em nível nacional, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, pela pertinência do tema em relação às suas atribuições institucionais. Essa atividade implicou na designação de setores responsáveis pela centralização de informações e na eventual redefinição de orientações para o controle do mexilhão .

## CAPÍTULO – II

### PROSPECÇÃO DE *Limnoperna fortunei* NO ESTADO DO PARANÁ

#### 2.1- PREFÁCIO

No início do trabalho algumas questões necessitavam de esclarecimento, principalmente quanto à distribuição de *L. fortunei* no Estado do Paraná. As áreas de estudo deveriam ser selecionadas em pontos onde a espécie ainda não estivesse presente, já que o intuito é criar uma estimativa de risco de contaminação das regiões estudadas. Além disso, o levantamento dos vetores de disseminação deveria ser realizado em pontos contaminados pelo molusco. Caso contrário, as probabilidades calculadas durante o trabalho poderiam mostrar dados falsos. Desta forma, com o objetivo principal de selecionar áreas para o início dos trabalhos, buscou-se levantar os pontos de contaminação de *L. fortunei* nas bacias hidrográficas do Estado do Paraná por meio de coletas de plâncton e vistorias (Figuras 6, 7 e 8). Trabalho este que foi submetido para publicação na revista Acta Biológica Leopoldensia e está apresentado a seguir.



Fig. 6 – Coleta de amostras de plâncton nos reservatórios



Fig. 7 – Coleta de amostras de plâncton nos sistemas de resfriamento das usinas



Fig. 8 – Vistoria nas margens dos reservatórios

**PROSPECÇÃO DO MOLUSCO INVASOR *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) EM RESERVATÓRIOS E SISTEMAS DE USINAS HIDRELÉTRICAS DA COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA – COPEL.**

**ABSTRACT.** Survey of the invasive species *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) in reservoirs and hydropower plants of the Companhia Paranaense de Energia – Copel. The invasive species *Limnoperna fortunei* was reported in reservoirs of the State of Paraná, Southern Brazil. This species is causing impact on the natural aquatic communities and on investments of the hydroelectrical sector. This paper reports a survey of this organism in the hydroelectrical power plants of the Companhia Paranaense de Energia, between June and November 2003. Methodology included samplings in reservoirs, dams, mechanical, and hydraulic systems. Although *L. fortunei* is known to occur in neighboring river basins for more than ten years, no evidence of this species could be detected in this study.

**KEY WORDS:** Mollusca; Mytilidae; dispersion; golden mussel; bioinvasion

**RESUMO.** A espécie invasora *Limnoperna fortunei* foi procurada em reservatórios do Estado do Paraná. Esta espécie vem causando impactos em comunidades aquáticas naturais e no setor hidroelétrico. Este trabalho se refere à prospecção deste organismo em usinas hidrelétricas da Companhia Paranaense de Energia entre junho e novembro de 2003. A metodologia incluiu amostragens em reservatórios, barragens e sistemas mecânicos hidráulicos. Embora *L. fortunei* ocorra em bacias hidrográficas próximas há mais de dez anos, nenhuma evidência da presença desta espécie foi detectada neste estudo.

**PALAVRAS CHAVE:** Mollusca; Mytilidae; dispersão; mexilhão dourado; bioinvasão

O molusco *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) (Mytilidae) é um bivalve de água doce, originário do sudeste asiático (MORTON, 1975). Sua ocorrência na América do Sul foi relatada pela primeira vez em 1991, no estuário do rio da Prata, Argentina (DARRIGRAN & PASTORINO, 1993; PASTORINO *et al.*, 1993). Em pouco tempo esse organismo, conhecido vulgarmente como mexilhão dourado, dispersou para várias outras bacias hidrográficas da Argentina (DARRIGRAN & EZCURRA DE DRAGO, 2000),



Paraguai, Uruguai, Bolívia e Brasil (MMA/FTN, 2004). No Brasil, o mexilhão dourado já foi detectado na região do Pantanal Sul-Matogrossense, em 1998 (OLIVEIRA *et al.*, 2000), na Usina Hidrelétrica de Itaipu, Foz do Iguaçu (PR), em 2001 (ZANELLA & MARENDA, 2002) e no lago Guaíba (RS), em 1999 (MANSUR *et al.*, 1999).

Dentre as características que tornam *L. fortunei* uma espécie invasora de grande sucesso estão a sua resistência a condições ambientais e sua alta fecundidade. Suas colônias podem atingir densidades de até 150.000 indivíduos por metro quadrado (DARRIGRAN *et al.*, 2000).

Apesar de ainda pobremente documentadas na América do Sul, existem evidências de que esta espécie invasora esteja promovendo alterações visíveis nos sistemas aquáticos contaminados. Alguns estudos sugerem que o mexilhão dourado está influenciando alterações na presença e abundância de espécies nativas de macroinvertebrados aquáticos (MARTIN & DARRIGRAN, 1994; DARRIGRAN *et al.*, 1998) e da ictiofauna (PENCHASZADEH *et al.*, 2000).

*Limnoperna fortunei* representa, ainda, um problema novo para usuários de corpos de água do continente. A sua fixação sobre estruturas artificiais e/ou o acúmulo de conchas vazias podem promover a redução do diâmetro de tubulações, bloqueio de tubulações, oclusão de filtros e demais sistemas mecânicos e hidráulicos (DARRIGRAN & EZCURRA DE DRAGO, 2000).

Estes problemas têm despertado grande preocupação no setor elétrico. De fato, a grande experiência de outros países com espécies de moluscos com características biológicas semelhantes, como o mexilhão zebra (*Dreissena polymorpha*) nos EUA e Canadá, mostra que os prejuízos econômicos podem ir além do entupimento de tubulações e filtros de água. Segundo SIMKINS & JONES (1997) *D. polymorpha* pode, ainda, causar um aumento significativo na corrosão de tubulações metálicas.

Assim, com o objetivo de avaliar a presença de *L. fortunei* em reservatórios no Paraná, dez usinas hidrelétricas da Companhia Paranaense de Energia (Copel) foram vistoriadas de junho a novembro de 2003. As usinas foram selecionadas buscando-se envolver as principais bacias hidrográficas do estado (Paraná, Iguaçu, Piquiri, Ivaí, Tibagi, Litorânea e Ribeira) (Figura 1).

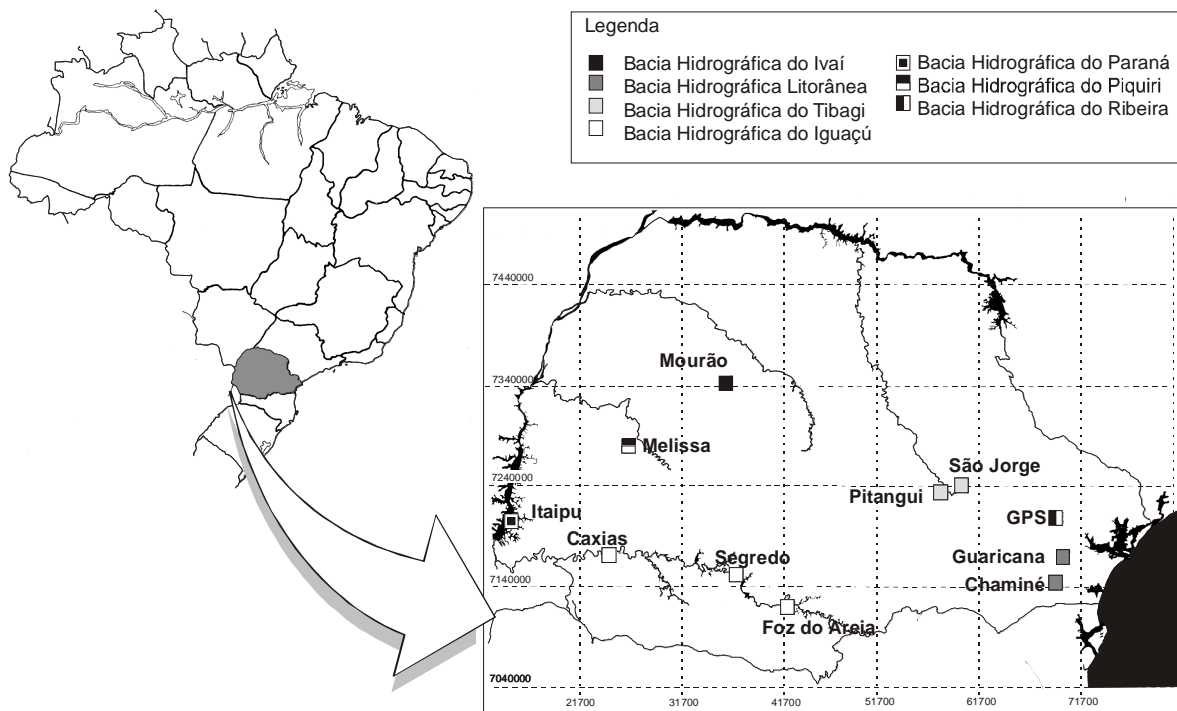


Fig. 1. Reservatórios das usinas hidrelétricas da Copel (Paraná, Brasil) onde foram realizadas coletas e vistorias de larvas e adultos de *L. fortunei* (GPS – Governador Parigot ed Souza).

Foram vistoriadas as seguintes usinas: Usina Hidrelétrica de Salto Caxias; Usina Hidrelétrica Governador Ney Aminthas de Barros Braga (Segredo) e Usina Hidrelétrica Governador Bento Munhoz da Rocha Netto (Foz do Areia) na Bacia Hidrográfica do rio Iguaçu. Usina Hidrelétrica de Chaminé e Usina Hidrelétrica de Guaricana na Bacia Litorânea. Usina Hidrelétrica Governador Pedro Viriato Parigot de Souza (GPS) na Bacia do Ribeira. Usina Hidrelétrica São Jorge (Represa de Alagados) e Usina Hidrelétrica Pitangui (Represa de Alagados) na Bacia Hidrográfica do rio Tibagi. Usina Hidrelétrica Mourão na Bacia do Ivaí e Usina Hidrelétrica Melissa na Bacia Hidrográfica do rio Piquiri. Como uma forma de avaliar a metodologia de trabalho, também foram obtidas amostras no reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu na Bacia do rio Paraná, onde *L. fortunei* já se encontra presente em grandes concentrações (ZANELLA & MARENDA, 2002).

A prospecção de formas larvais foi realizada através da coleta de água dos reservatórios e das tubulações, com o auxílio de redes de plâncton de 30 cm de diâmetro e um metro de comprimento (com malha de 64  $\mu$ m). Nos reservatórios, foram escolhidos pontos próximos à barragem, nas duas margens e no centro, onde foram realizadas coletas por arrasto horizontal durante cinco minutos (volume filtrado estimado = 20.000 L) e vertical, com cinco imersões a aproximadamente 10 m de

profundidade (volume filtrado estimado = 9.000 L). Amostras das tubulações das represas foram obtidas por meio de uma rede de plâncton conectada a pontos de captação de água do sistema de resfriamento. Aproximadamente quatro mil litros de água das tubulações foram filtrados por amostragem. As amostras foram fixadas em formalina 4%, colocadas em frascos de 250 mL e enviadas para laboratório, onde foram analisadas para detecção de estágios larvais de *L. fortunei*.

Para a prospecção de formas juvenis e adultas, foram selecionados seis pontos em cada reservatório, três por margem, sendo dois próximos às barragens, dois no centro dos reservatórios e dois nas porções mais centrais dos reservatórios. Nestes locais foram realizadas coletas de material aderido a substratos, coletas de raízes de plantas aquáticas e coletas de substrato do fundo dos reservatórios. A metodologia empregada visou abranger uma grande extensão das margens dos reservatórios, procurando encontrar indivíduos adultos aderidos a pedras, troncos, plantas e outras estruturas sólidas. Amostras do fundo dos reservatórios foram obtidas com o auxílio de um pegador de fundo tipo Petersen em dois pontos próximos à margem e dois no centro de cada reservatório. O pegador de fundo foi lançado aproximadamente 10 vezes em cada ponto. A vistoria das usinas foi realizada em tubulações e filtros do sistema de resfriamento e na parede das barragens. As amostras de substrato foram acondicionadas separadamente em sacos plásticos e na margem dos reservatórios foram filtradas em peneiras com malhas de 3,0 - 2,0 e 1,0 mm. Todas as amostras foram fixadas em formalina 4%. O material que permaneceu nas peneiras foi analisado com o auxílio de lupa de mão posicionada sobre uma bandeja de cor branca e em seguida analisado em microscópio estereoscópico com aumento de até 50 vezes.

Adicionalmente, nas barragens das usinas de Foz do Areia e Salto Caxias, dois robôs subaquáticos providos de câmeras subaquáticas (disponibilizados pelo Centro de Pesquisa Renato Archer do Ministério da Ciência e Tecnologia, CENPRA) foram utilizados na prospecção do mexilhão dourado em superfícies de difícil acesso. Os robôs vistoriaram a parede central da barragem, descendo uma vez até o fundo do reservatório e subindo. A profundidade atingida foi de 60 metros. As imagens foram registradas em fitas VHS e analisadas em laboratório.

De acordo com TAKEDA *et al.*, (2003) um indivíduo de *L. fortunei* foi encontrado em amostras de substrato do reservatório de Guaricana, próximo à cidade

de Curitiba, em coletas realizadas no ano de 2001. Por esse motivo, a coleta com pegador de fundo foi intensificada nesse local. Foram coletadas amostras em 28 pontos espalhados pela área alagada. Sete transectos foram definidos, com três pontos de coleta por transecto. Um em cada margem e um no centro. Além destes 21 pontos, mais sete pontos foram definidos em porções mais estreitas do reservatório.

Foram coletadas 90 amostras nas usinas da Copel e 13 amostras na usina de Itaipu (Tabela I). A análise dessas amostras, incluindo plâncton, sedimento, raspagem de substratos rígidos, e raízes de plantas aquáticas e anfíbias, bem como as vistorias realizadas indicaram não haver a presença de fases larvais, sementes ou adultos de *L. fortunei* em nenhuma das nove usinas da Copel. Assim, os resultados obtidos neste estudo indicam que das bacias hidrográficas analisadas, a única que se encontra contaminada pelo Mexilhão Dourado é a bacia do rio Paraná onde se localiza a usina de Itaipu.

Uma análise do histórico de dispersão desta espécie mostra que o processo de invasão se deu rapidamente pelos rios da Prata, Paraná e Paraguai. Esta rápida dispersão parece estar associada ao tipo de uso destes corpos de água. Estes rios são largos e extensos, utilizados freqüentemente como vias de transporte fluvial e para pesca desportiva. As embarcações utilizadas nestas práticas parecem ter contribuído para a disseminação, por meio do transporte de indivíduos adultos (fixados sobre o casco e outras partes expostas à água) e formas larvais (em água de lastro ou acumuladas em diversas partes da embarcação).

Os fatores que vêm determinando a ausência de *L. fortunei* nos rios do interior do Paraná ainda não são claros, mas podem estar relacionados à existência de barreiras físicas (e.g. as Cataratas do Rio Iguaçu), parâmetros ambientais (e.g. parâmetros hidrológicos impróprios para a espécie invasora) ou características do uso humano dos ambientes fluviais do estado. Nenhuma das bacias hidrográficas inspecionadas é muito piscosa e, portanto, não atraem grande número de pescadores desportivos de outras regiões. Estes rios também não são utilizados como vias de transporte. Na realidade, estas e outras características podem estar atuando de maneira conjunta, adiando ou impedindo a chegada do mexilhão dourado nas bacias paranaenses analisadas. Neste contexto, torna-se relevante o estudo e levantamento das formas de dispersão que

possam ultrapassar essas barreiras, para que sirvam de subsídio para elaboração de planos mais efetivos de controle da dispersão desta espécie.

Tabela I – Número e tipo de amostragem de larvas e adultos de *L. fortunei* durante as coletas em cada usina da Copel e na usina de Itaipu, Paraná.

Usinas	Amostras Coletadas								Total de Amostras
	Plâncton			Lodo	Raízes	Raspados	<i>L. fortunei</i>	Outros Moluscos	
	Arrasto Horizontal	Arrasto Vertical	Tubulações	Dragagem	Manual	Manual	Manual	Manual	
Itaipu	3	-	-	2	2	-	3	3	13
Salto Caxias	3	2	3	1	1	5	-	1	16
Salto Segredo	2	3	1	1	2	1	-	-	10
Foz do Areia	3	2	1	1	-	3	-	-	10
Chaminé	2	-	1	1	-	-	-	-	4
Guaricana	2	1	1	28	-	1	-	-	33
GPS	2	2	1	1	1	-	-	-	7
Alagado	2	1	1	-	-	-	-	-	4
Mourão	2	1	1	-	-	-	-	-	4
Melissa	-	-	1	-	1	-	-	-	2
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>35</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>103</b>

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio dos funcionários da Companhia Paranaense de Energia durante as coletas e ao Centro de Pesquisa Renato Archer do Ministério da Ciência e Tecnologia, CENPRA pelo empréstimo dos robôs subaquáticos.

**CAPÍTULO – III**  
**MONITORAMENTO DE *Limnoperna fortunei* NO ESTADO DO PARANÁ**

**3.1- PREFÁCIO**

Após a primeira etapa de prospecção de *L. fortunei* no Estado do Paraná, os resultados indicaram a presença da espécie apenas no rio Paraná, na divisa oeste do Estado, estando ausente nas outras bacias hidrográficas. Porém, a rápida expansão da distribuição para os Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul evidenciaram seu grande potencial dispersor, o que sugeriu a necessidade de implantação de uma rede de monitoramento das principais bacias hidrográficas do Paraná. Este trabalho teve como objetivos, certificar que as áreas selecionadas para a análise de risco estariam livres do molusco até a finalização do trabalho e fornecer subsídios para a discussão dos vetores envolvidos com a dispersão da espécie nas regiões de estudo. Este monitoramento foi implantado com apoio da Companhia Paranaense de Energia em 17 de suas usinas, sendo 16 hidrelétricas e uma térmica, distribuídas nas principais bacias hidrográficas do Estado. O trabalho, que durou 22 meses, analisou 128 amostras e não identificou a presença do molusco em nenhuma das áreas estudadas.

**MONITORAMENTO DA OCORRÊNCIA DE *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) (MOLLUSCA, BIVALVIA, MYTILIDAE) EM RESERVATÓRIOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS DA COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, BRASIL**

**ABSTRACT. Monitoring of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) in the hydroelectric reservoirs of the Companhia Paranaense de Energia.**

Reservoirs and power plants systems of the Companhia Paranaense de Energia were monitored to detect presence of the invasive mollusk *Limnoperna fortunei*. Water samples were collected from December 2003 to October 2005 on 17 reservoirs, covering the main Parana's hydrographic basins. Analyses from 128 samples and inspections in the power plants did not show the presence of the species during the study.

**KEY WORDS:** Bioinvasion; Mollusks Invasive Species; Dispersion.

**RESUMO.** Reservatórios e instalações internas de usinas hidrelétricas da Companhia Paranaense de Energia foram monitorados para detectar a presença do molusco invasor *Limnoperna fortunei*. As amostragens foram realizadas entre dezembro de 2003 e outubro de 2005 em 17 usinas e seus reservatórios distribuídos nas principais bacias hidrográficas do Estado do Paraná. As análises das 128 amostras coletadas e as vistorias nas instalações internas das usinas não evidenciaram a presença da espécie durante o período de estudo.

**PALAVRAS CHAVE:** Bioinvasão; Moluscos Invasores; Distribuição.

O Estado do Paraná possui um grande potencial hídrico. São duas bacias hidrográficas (Atlântica e do Paraná) divididas em 16 subbacias. Os rios que correm para o interior do estado e pertencem à região de captação do grande sistema do rio Paraná representam, também, uma parte específica da bacia Platina (MAACK, 1981). A bacia do Prata tem sido uma porta de entrada para vários moluscos invasores de água doce: *Corbicula largillierti* (PHILIPPI, 1811), *Corbicula fluminea* (MÜLLER, 1774) (Corbiculidae) e, recentemente, *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) (Mytilidae) (ITUARTE, 1981 e PASTORINO *et al.*, 1993).

*Limnoperna fortunei* é uma espécie de água doce originária do sudeste asiático (MORTON, 1977). Desde sua introdução na América do Sul, tem expandido sua distribuição para várias bacias hidrográficas da Argentina, Uruguai, Paraguai, e Brasil (PASTORINO *et al.*,

1993; SCARABINO & VERDE, 1994; DARRIGRAN E EZCURRA DE DRAGO, 2000; MANSUR *et al.*, 1999 e AVELAR *et al.*, 2004).

O presente trabalho teve como objetivo monitorar e atualizar a distribuição da espécie nas bacias hidrográficas do Estado do Paraná. BELZ *et al.* (2005) realizaram uma primeira prospecção de *L. fortunei* no Estado, a qual serviu como base para o desenvolvimento da metodologia de monitoramento aplicada neste trabalho.

## **MATERIAL E MÉTODO**

Dezessete usinas hidrelétricas da Companhia Paranaense de Energia foram selecionadas, nas principais bacias hidrográficas do Estado, para compor uma rede de monitoramento (Figura 1). Amostragens de água e vistorias foram realizadas no interior das usinas e no corpo dos reservatórios entre dezembro de 2003 e outubro de 2005.

Amostras de três grandes usinas do rio Iguaçu: Usina Hidrelétrica Governador Bento Munhoz da Rocha Netto (Foz do Areia), Usina Hidrelétrica Governador Ney Aminthas de Barros Braga (Segredo) e Usina Hidrelétrica Governador José Richa (Salto Caxias), foram coletadas de seus sistemas de resfriamento com a utilização de uma rede de plâncton de malha 64µm acoplada a uma das tubulações do sistema, filtrando um volume de 4000 litros de água por coleta.

Nas demais usinas, as amostras de água foram coletadas nos reservatórios por meio de arrastos horizontais de cinco minutos com uma rede de plâncton de 64µm de malha e 30cm de diâmetro (volume filtrado estimado = 20.000 L). O local de coleta foi padronizado como o mais próximo possível da barragem de cada usina. O volume de 250 ml de material capturado pelo copo da rede de plâncton foi fixado em formalina 4%. O número de amostras coletadas em cada usina está descrito na Tabela I.



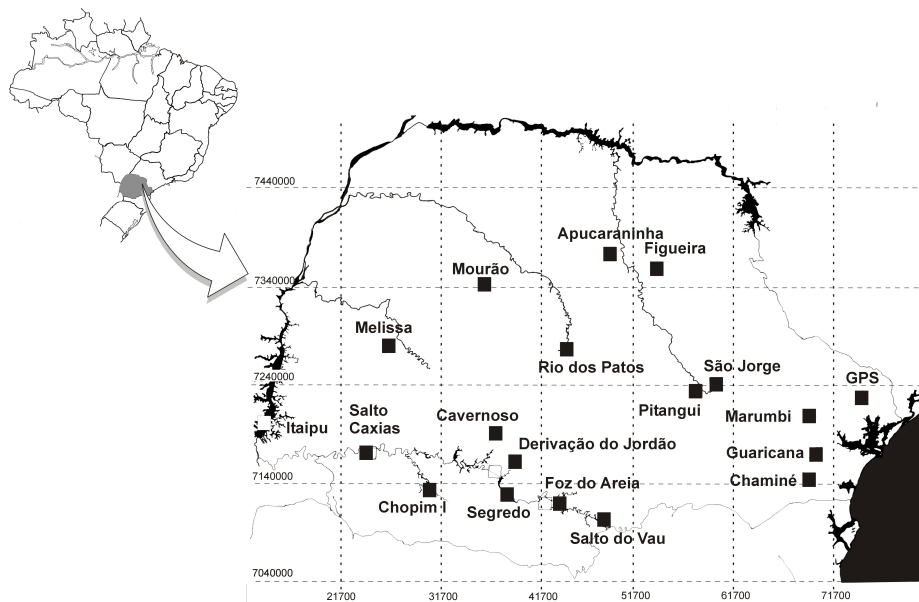


Fig. 01. Localização das usinas monitoradas durante o trabalho.

Em laboratório, as amostras foram diluídas em água destilada, até um volume de 1000 ml para facilitar a visualização e foram analisadas em sua totalidade, na maioria dos casos. As amostras com altas densidades de plâncton foram homogeneizadas e divididas em quatro subamostras de 30 ml. A busca por larvas do molusco foi realizada em microscópio estereoscópio.

Aproveitando as paradas de manutenção das usinas, vistorias foram realizadas nos sistemas de resfriamento e no corpo do reservatório, onde eram procurados indivíduos adultos de *L. fortunei* aderidos a substratos naturais e artificiais. Foram realizadas duas vistorias anuais nas usinas de Salto Caxias, Segredo e Foz do Areia no rio Iguazu e uma vistoria anual nas demais usinas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As 128 amostras coletadas e analisadas e as vistorias realizadas indicaram não haver a presença de larvas ou adultos de *L. fortunei* em nenhum dos locais monitorados durante o período de estudo. A Companhia Paranaense de Energia vem investindo em trabalhos de educação ambiental, barreiras sanitárias e identificação de vetores de dispersão da espécie e isto pode estar contribuindo para a ausência de contaminação no interior do Estado. Porém, outros fatores geográficos, sociais, econômicos e ambientais podem estar contribuindo para este quadro, como por exemplo, a dificuldade de acesso hidroviário do rio Paraná para os demais rios da região. O rio Iguazu, por exemplo, possui uma grande barreira geográfica em sua foz que impede a passagem de barcos (Cataratas do Iguazu). Da mesma forma, a

preferência dos pescadores da região oeste do estado pelos peixes do rio Paraná pode estar minimizando o efeito dos barcos de pesca esportiva na dispersão para ambientes fluviais não conectados.

O aspecto interessante da invasão de *L. fortunei*, até o momento, na América do Sul, é o fato da dispersão estar ocorrendo primeiramente através de vias aquáticas conectadas. Este mesmo modelo também ocorreu com a dispersão do mexilhão zebra *Dreissena polymorpha* na Europa onde o processo de invasão ocorreu de forma rápida por corpos d'água conectados e passou a ser bem mais lento em ambientes desconectados (KARATAEV & BURLAKOVA, 1995). O mesmo acontecendo para esta espécie nos EUA (JOHNSON & CARLTON, 1996)

Segundo JOHNSON & CARLTON (1996), embora numerosos trabalhos tenham documentado a dispersão de espécies invasoras, o que se tem na maioria das vezes é um quadro virtual e sem detalhes dos mecanismos de dispersão destas espécies. O mexilhão dourado é uma oportunidade única para um estudo mais detalhado dos mecanismos de dispersão, principalmente, devido ao processo ocorrer de forma rápida e pela invasão estar limitada ao ambiente aquático com conexões bem definidas. Daí a importância de trabalhos de monitoramento como forma de entender melhor seus mecanismos de invasão e possibilitar trabalhos mais efetivos de prevenção.

Tabela I – Relação das usinas monitoradas e número de amostras analisadas durante o período de estudo.

Bacia Hidrográfica	Rio ou Reservatório	Usina	Nº de amostras reservatório	Nº de amostras usina
Litorânea	Res. Guaricana	UHE Guaricana	5	
	Res. Vossoroça	UHE Chaminé	6	
Do Ribeira	Res. Capivarí - Cachoeira	UHE GPS	6	
Do Tibagi	Rio Pitangui	UHE Pitangui	7	
	Res. Alagados	UHE São Jorge	6	
	Rio Apucarantina	UHE Apucarantina	6	
	Rio Laranjinha	UTE Figueira	5	
Do Ivaí	Res. Mourão	UHE Mourão	5	
Do Piquiri	Rio Melissa	UHE Melissa	5	
Do Iguaçu	Res. Caxias	UHE Governador José Richa	6	13
	Res. Segredo	UHE Gov. Ney Aminthas de Barros Braga	7	12
	Res. Foz do Areia	UHE Gov. Bento Munhoz da Rocha Netto	6	5
	Rio Cavernoso	UHE Cavernoso	5	
	Rio Chopim	UHE Chopim I	5	
	Rio Jordão	UHE Derivação do Rio Jordão	7	
	Rio dos Patos	UHE Rio dos Patos	6	
	Rio Palmital	UHE Salto do Vau	5	
<b>Totais</b>			<b>98</b>	<b>30</b>
<b>Total Geral</b>				<b>128</b>

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio dos funcionários da Companhia Paranaense de Energia durante as coletas, o apoio financeiro da Agência Nacional de Energia Elétrica.

**CAPÍTULO IV**  
**ADAPTAÇÃO DE *Limnoperna fortunei* NA REGIÃO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ**

**4.1 - PREFÁCIO**

Uma das possíveis limitações para a dispersão de *L. fortunei* pelas bacias hidrográficas brasileiras é a existência de condições ambientais desfavoráveis à sua sobrevivência ou seu crescimento populacional. Porém, segundo IWASAKI (1998) e RICCIARDI (1998), *L. fortunei* suporta uma grande variação ambiental, deixando a maioria dos rios brasileiros dentro dos limites de sobrevivência da espécie. Algumas comunicações pessoais indicam que rios, principalmente na bacia do rio Paraguai ainda se encontram livres do molusco, mesmo tendo ligações diretas com áreas infestadas. Isto pode estar relacionado a uma influência menor dos vetores de dispersão na região ou a condições ambientais desfavoráveis geradas por algum parâmetro ambiental fora dos limites de tolerância da espécie ou por fenômenos ambientais como a “dequada” que ocorre na região do Pantanal e altera o sistema límnico de várias regiões, reduzindo consideravelmente os níveis de oxigênio dissolvido na água e aumentando os níveis de gás carbônico (OLIVEIRA *et al.*, 2006).

Como a introdução da espécie é relativamente recente na América do Sul, poucos trabalhos foram realizados sobre a correlação entre a dispersão e a suscetibilidade do ambiente à invasão pelo mexilhão dourado. Os moluscos bivalves dependem de uma série de condições ambientais para desenvolver suas populações e a análise de suas respostas ao meio pode dar indícios do nível de adaptação ambiental. Estudos de desenvolvimento gonadal, recrutamento larval e crescimento individual podem subsidiar esta discussão. Embora a análise isolada de qualquer destes aspectos gere uma discussão superficial sobre adaptação, optou-se por apresentar neste trabalho os resultados da análise do crescimento individual da concha de *L. fortunei* no reservatório de Itaipu, como subsídio para a discussão da possível adaptação da espécie às condições ambientais locais.

As coletas foram realizadas no trapiche flutuante do refúgio biológico Bela Vista, de propriedade da Itaipu Binacional, localizado no município de Foz do Iguaçu.

Embora este trabalho não possa ser relacionado diretamente ao desenvolvimento do modelo de análise de risco, seus resultados foram importantes para um melhor entendimento da espécie e uma melhor percepção sobre as

possibilidades de invasão do rio Iguaçu, já que as condições ambientais do reservatório de Itaipu são, em alguns pontos, semelhantes às dos reservatórios estudados, estando suas variações, na grande maioria dos casos, dentro dos limites de sobrevivência da espécie. Corroborando com esta hipótese, BELZ *et al.* (2005) encontraram formas larvais de *L. fortunei* na bacia do rio Iguaçu a montante das Cataratas do Iguaçu, o que indica que a espécie já está presente nesta bacia hidrográfica. Porém, a baixa densidade larval e o fato de não terem sido encontrados organismos adultos sugerem que a introdução é recente.

**DENSIDADE, RECRUTAMENTO E CRESCIMENTO INDIVIDUAL DE *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) (MOLLUSCA, BIVALVIA, MYTILIDAE) NO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU, PARANÁ, BRASIL**

**ABSTRACT.** Density, recruitment and growth of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) in the Itaipu reservoir, Paraná, Brasil. The invasive species *Limnoperna fortunei* was first detected in 2001 at the reservoir of Itaipu hydroelectric company. Since then, its population grew considerably. This research aimed to evaluate and compare the individual shell growth of specimens from Itaipu reservoir and Argentina. Monthly samplings were taken from December 2004 to December 2005 at the Bela Vista biological reserve, in Foz do Iguaçu County. A 10 x 10 cm frame was used to delimitate sample areas. Every month three replicates were scrapped and the mussels were counted and measured, generating size frequency and distribution data. The maximum density was 22.400 ind./m<sup>2</sup> and the shell length varied from 1 to 36 mm. The shell growth frequency indicated continuum recruitment, however, with smaller recruits in April and September. The Von Bertalanffy method were used to estimate growth and resulted in  $L_{\infty} = 41,27$  and  $k = 1,09$ . Comparing to the data from other invaded areas, the results show a good adaptation of the species for the studied area.

**KEY WORDS:** Bioinvasion; Invasive Mollusks; Paraná river; growth, adaptation.

**RESUMO.** O molusco invasor *Limnoperna fortunei* foi detectado pela primeira vez no reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu em 2001. Desde então, vem aumentando consideravelmente sua população. Este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento desta espécie nas condições locais e comparar com os resultados obtidos em outras localidades invadidas. Para isso, coletas mensais foram realizadas no refúgio biológico Bela Vista no Município de Foz do Iguaçu entre o período de dezembro de 2004 e dezembro de 2005. Uma moldura de 10 x 10 cm foi utilizada para demarcar a área de coleta. Três áreas foram raspadas a cada mês e os mexilhões foram contados e medidos, gerando gráficos de distribuição de frequências de tamanho. A densidade

máxima encontrada foi de 22.400 ind./m<sup>2</sup>. O tamanho da concha variou de 1 a 36 mm. As análises das frequências de comprimento da concha mostram a existência de um recrutamento contínuo, mas com os menores recrutas aparecendo em abril e setembro. O modelo de Von Bertalanffy foi utilizado para estimar o crescimento, resultando em valores de  $L_{\infty} = 41,27$  e  $k = 1,09$ . Estes valores, quando comparados aos valores descritos para outras localidades, mostram uma boa adaptação da espécie para a área de estudo.

**PALAVRAS CHAVE:** Bioinvasão; Moluscos Invasores; Rio Paraná; Adaptação; Crescimento.

O mexilhão dourado vem mostrando seu poder de dispersão e adaptação na América do Sul desde 1991, quando foi introduzido no rio da Prata (DARRIGRAN *et al.*, 2003). Em apenas cinco anos atingiu o rio Paraná e três anos mais tarde foi encontrado no Brasil no estado do Rio Grande do Sul (PASTORINO *et al.*, 1993; DARRIGRAN, 1997 e MANSUR *et al.*, 1999). Desde 2001, a espécie habita o reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu, aonde vem aumentando sua população (ZANELLA & MARENDA, 2002) e causando problemas nos sistemas de resfriamento da usina e na estação de captação de água da Companhia Paranaense de Saneamento que capta água do reservatório. Um entendimento melhor do crescimento da espécie e dos períodos de recrutamento larval neste local fornece subsídios para a discussão de sua adaptação em novos ambientes e auxilia nos trabalhos de limpeza dos sistemas das empresas afetadas, que podem concentrar esforços em períodos de maior fixação.

## MATERIAL E MÉTODO

Amostras de mexilhões foram coletadas entre o período de dezembro de 2004 e dezembro de 2005 de flutuadores plásticos de um trapiche localizado no reservatório da usina hidrelétrica de Itaipú, no refúgio biológico Bela Vista, mantido pela empresa Itaipu Binacional no município de Foz do Iguaçu (Figura 1). A posição do trapiche e o fato de ser flutuante permitiram que as amostras fossem coletadas durante todo o período de estudo com características semelhantes de luz, profundidade e correntes.

O clima predominante da região é subtropical úmido, com verões quentes, geadas pouco frequentes e chuvas em todos os meses do ano. A temperatura do ar média anual varia entre 9,5° (mínima) e 37,1° (máxima).

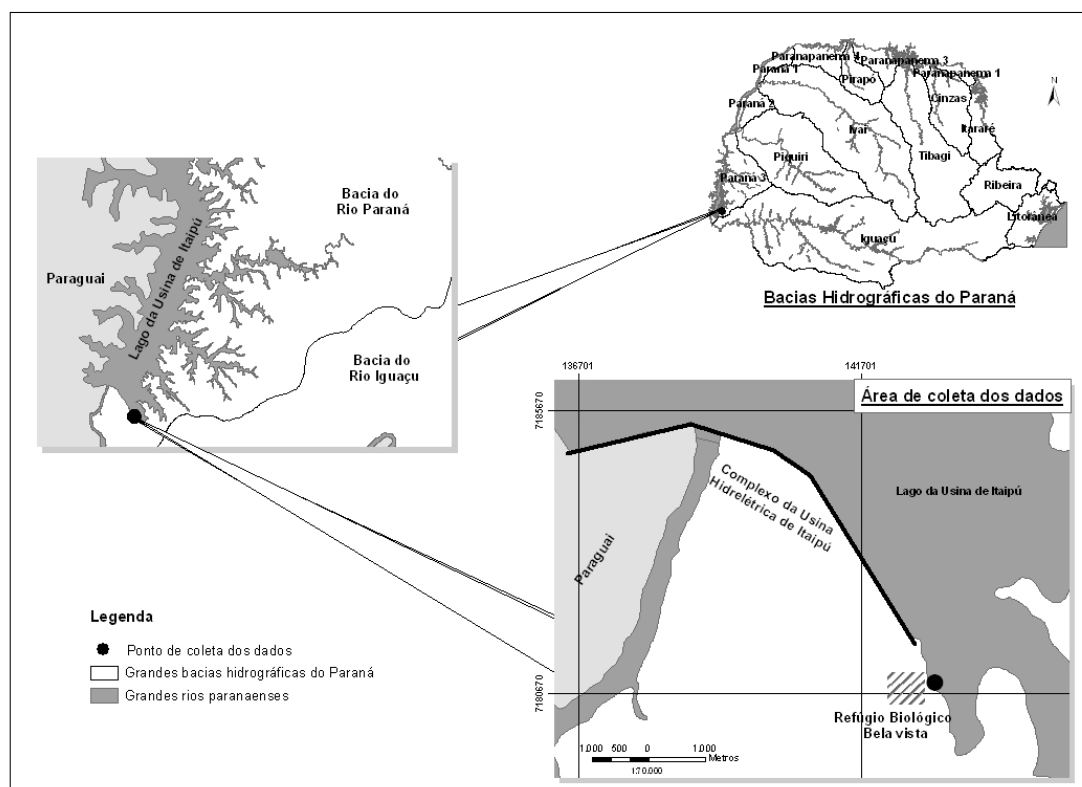


Fig. 1: Refúgio biológico Bela Vista – reservatório de Itaipú.

As amostras foram coletadas por meio de raspagem direta do substrato plástico dos flutuadores com auxílio de uma espátula e uma moldura de plástico de 10 x 10 cm utilizada para delimitar a área de coleta (Figura 2). Três amostras mensais foram retiradas e fixadas em formalina 10%. Em laboratório, os indivíduos coletados foram contados e medidos em seu comprimento com auxílio de paquímetro. Os dados foram computados em planilha eletrônica e expressos em mm. O número total de indivíduos em cada uma das três amostras mensais foi utilizado para o cálculo das densidades médias de moluscos por metro quadrado em cada período de coleta. Analisando-se os valores de comprimento da concha foram geradas tabelas de distribuição de tamanho-freqüência. Os dados foram analisados com o programa FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT) (GAYANILO *et al.*, 1996), onde o modelo de BATTACHARYA (1967) foi utilizado na decomposição dos componentes normais de cada mês de coleta. Os componentes normais foram confirmadas pela rotina

NORMally SEParation (NORMSEP) (PAULY & CADDY, 1985), do mesmo programa, que forneceu as médias e desvios padrão para constituição das coortes etárias anuais. A curva de crescimento foi obtida pela determinação dos valores do tamanho máximo assintótico ( $L_{\infty}$ ) e constante de crescimento ( $k$ ). O modelo matemático de Von Bertalanffy,  $L_t = L_{\infty} [1 - e^{-k(t - t_0)}]$ , foi utilizado para representar o crescimento da espécie, onde  $L_t$  = tamanho dos indivíduos com idade  $t$ ;  $L_{\infty}$  = tamanho assintótico;  $k$  = inclinação da curva de crescimento (constante de crescimento);  $t_0$  = idade do animal ao nascer.

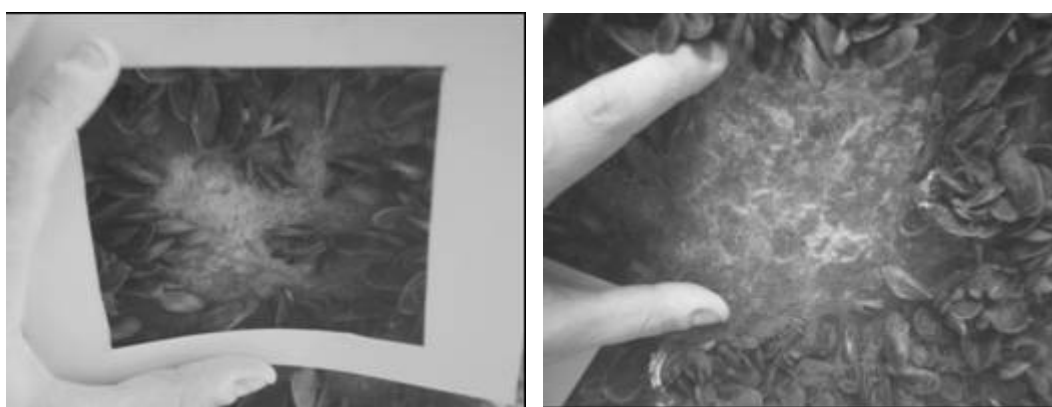


Fig. 2: Flutuante plástico do trapiche evidenciando a moldura utilizada para coleta e a área de raspagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade máxima observada foi de 22.400 ind./m<sup>2</sup> no mês de janeiro, e a mínima de 7.400 ind./m<sup>2</sup> no mês de maio. A figura 3 mostra a variação na densidade populacional ao longo dos meses de estudo (dezembro/2004 – dezembro/2005).

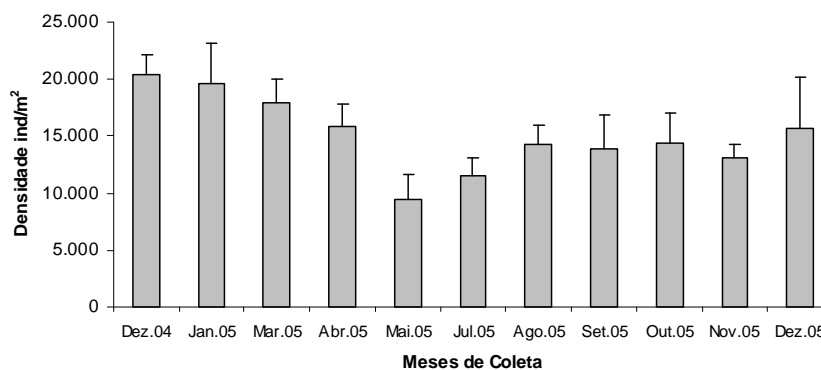


Fig. 3 – Densidades médias de *Limnoperna fortunei* por m<sup>2</sup> e desvio padrão calculadas a partir de três amostras mensais



As percentagens de indivíduos em cada classe de tamanho estão representadas na figura 4. O maior comprimento encontrado foi de 36 mm representado por um indivíduo no mês de outubro de 2005 e o menor tamanho foi de 1 mm, nos meses de abril, maio, setembro e outubro, ocorrendo em maior número no mês de setembro.

Os componentes normais de cada mês foram dispostos graficamente e unidos para a obtenção das coortes etárias. O ajuste da curva de Von Bertalanffy aos dados possibilitou a determinação do tamanho assintótico  $L_{\infty} = 37,14$  mm e da constante de crescimento  $k = 1,09$ .

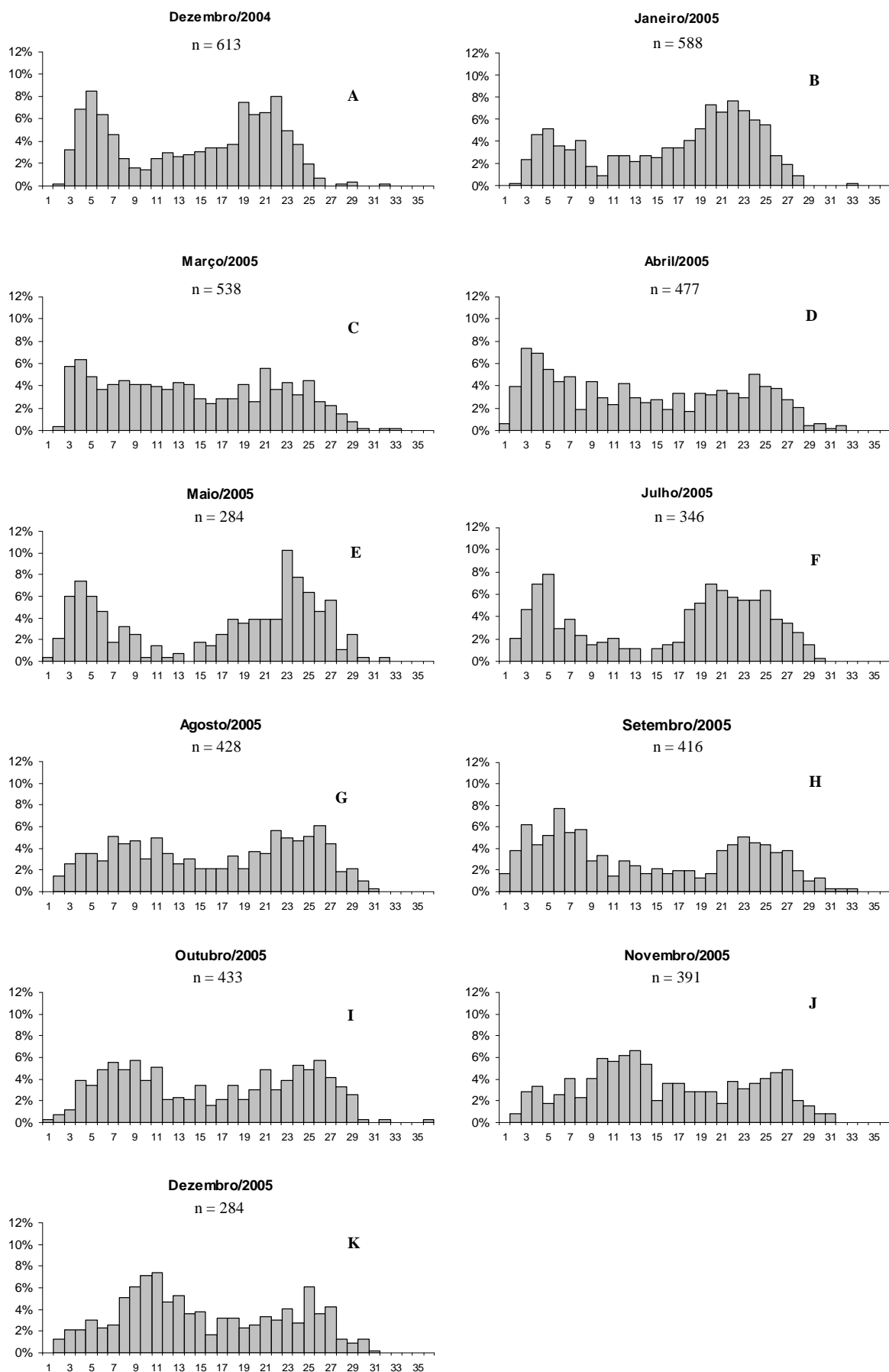


Fig. 4 - Distribuição das frequências de tamanho para intervalo de classe de 1mm. Eixo y – frequências de tamanhos expressa em porcentagem. Eixo x – Comprimentos das conchas representando as classes de tamanho entre 1 e 36 mm. Os números plotados no eixo x correspondem ao maior tamanho para cada classe.

*Limnoperna fortunei* está presente no reservatório de Itaipu desde 2001 (ZANELLA & MARENDA, 2002), o que sugere que o processo de invasão se encontra ainda em fase inicial. No entanto, no estuário do rio da Prata, *L. fortunei* vem expandindo sua população há 14 anos (DARRIGRAN *et al.*, 2003). Talvez isto possa explicar o fato das densidades encontradas neste trabalho terem sido menores do que as encontradas por DARRIGRAN *et al.* (2003) no rio da Prata, onde chegaram a 150.000 ind./m<sup>2</sup>, indicando uma possível preferência por ambientes lóticos, diferente do local de estudo, onde a água apresenta uma circulação menor. Entretanto, este dado isolado não é suficiente para justificar essa variação. Outros diversos fatores podem ter influenciado nesta diferença. DARRIGRAN *et al.* (2003) sugerem que a espécie apresenta densidades altas no início do processo de invasão e estas densidades tendem a se estabilizar com valores menores após algum tempo, chegando à terça parte dos valores iniciais em clima temperado.

Nos locais de coleta, as populações de *L. fortunei* se mostraram densas e uniformemente distribuídas. Não foi perceptível a presença de outras espécies aquáticas, além de um gastrópode não identificado, encontrado em número bastante reduzido em relação ao mexilhão dourado. A espécie atingiu tamanhos muito próximos do máximo de 40 mm de comprimento encontrado por DARRIGRAN (1997), o que confirma a sua adaptação ao ambiente. Embora apenas um indivíduo de 36 mm tenha sido encontrado, em todas as amostras ocorreram mexilhões entre 32 e 34 mm, valores acima daqueles encontrados no rio Uji em Kioto, onde o máximo foi de 35 mm, mas a maioria não passou de 26 mm (IWASAKI & URYU, 1998).

Conforme DARRIGRAN *et al.* (1999), a proliferação gonadal é praticamente contínua ao longo do ano, e os períodos de desova se caracterizam por picos de maturação. Segundo VAKILY (1992), os picos de maturação gonadal de *Limnoperna fortunei* estão relacionados a mudanças de temperatura do ambiente. Neste estudo, foi possível observar que as maiores densidades de *L. fortunei* coincidem com os meses de maior temperatura (dezembro a março). A densidade declina à medida que se aproximam os meses mais frios. A partir do mês de agosto, foi possível observar um crescente incremento na densidade de mexilhões. Esses resultados complementam os obtidos por DARRIGRAN *et al.* (1999) em estudos de abundância larval, nos quais as densidades larvais começam a se elevar no mês de setembro e atingem seu pico nos

meses de dezembro a março, declinando durante o mês de maio, podendo estar ausentes por até quatro meses, entre maio e setembro. Embora o presente trabalho não contenha dados de abundância larval, é possível observar que entre os meses de dezembro de 2004 e março de 2005 e entre os meses de outubro de 2005 e dezembro de 2005, a quantidade de indivíduos juvenis de até 2mm de comprimento é baixa, aumentando a partir do mês de abril (Figura 5). *Limnoperna fortunei* pode permanecer de 15 a 20 dias na forma larval planctônica (CHOI & KIM, 1985). Desta forma, o período no qual o número de juvenis é bastante reduzido pode estar relacionado a uma fase de crescimento inicial pós larval e somente a partir do mês de abril se torna possível a observação desses novos indivíduos.

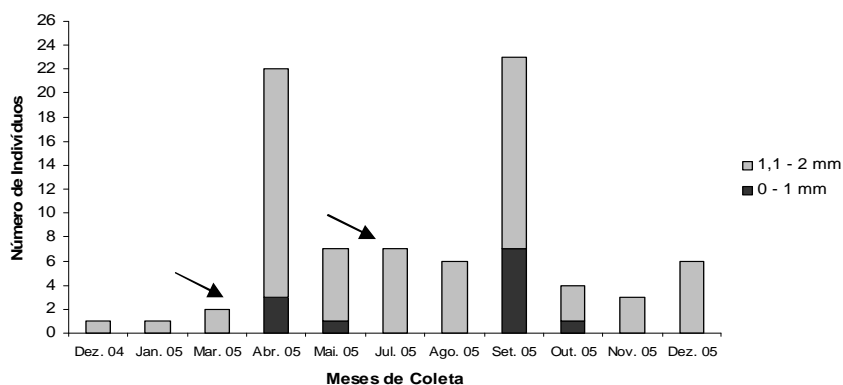


Fig. 5 – Número de indivíduos com comprimento da concha entre 0 e 2mm durante os meses de coleta. As flechas indicam momentos de liberação de gametas segundo DARRIGRAN *et al.* (1999).

Na figura 4 é possível perceber que em todos os meses há uma tendência de distribuição com grupamentos de classes e isso pode evidenciar a presença de picos reprodutivos anuais para a espécie no reservatório de Itaipú. Esse resultado é concordante com a afirmação de MORTON (1982), quem observou a presença de dois picos reprodutivos anuais para a espécie. IWASAKI & URYU (1998) perceberam a presença de duas coortes anuais para o mexilhão dourado no rio Uji em Kioto e MAROÑAS *et al.* (2003) identificaram três coortes anuais no Rio da Prata, Argentina e uma constante de crescimento média  $k = 0,35$ . Menor que a encontrada por Boltovskoy & Cataldo (1999) em ambiente artificial (usina nuclear)  $k = 1$  e ambas menores que a constante estimada no presente trabalho, onde evidenciou-se o recrutamento contínuo da espécie, o que dificultou uma análise mais precisa das coortes. A figura 6 mostra que não existe uma progressão modal evidente entre os meses de dezembro de 2004 a julho de 2005 e durante a primavera e o início do verão

há uma tendência maior de progressão, o que pode estar relacionado a um crescimento sazonal da espécie nesta localidade. A maior progressão das modas fica evidente também na figura 7, na qual a curva do modelo de Von Bertalanffy plotada sobre as distribuições de frequência passa pelas modas identificadas na figura 4.

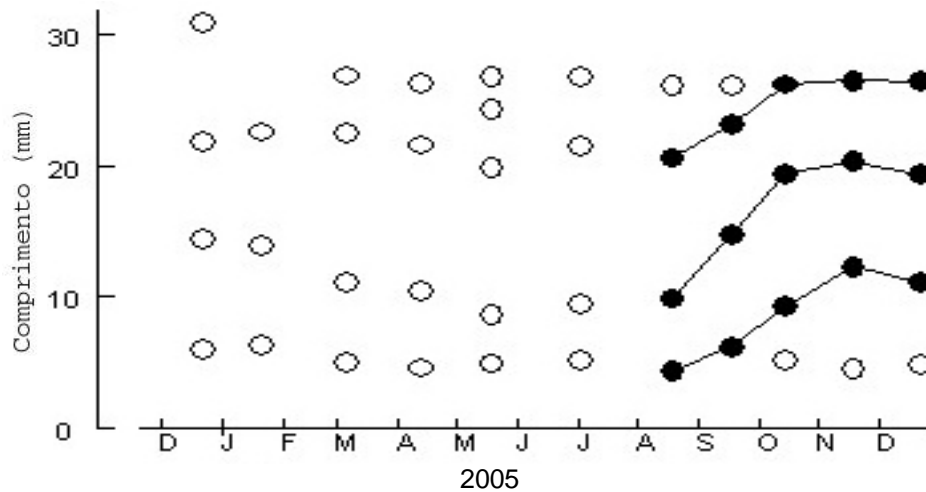


Fig. 6 – União das médias das modas identificadas em cada período de coleta para obtenção das coortes etárias.

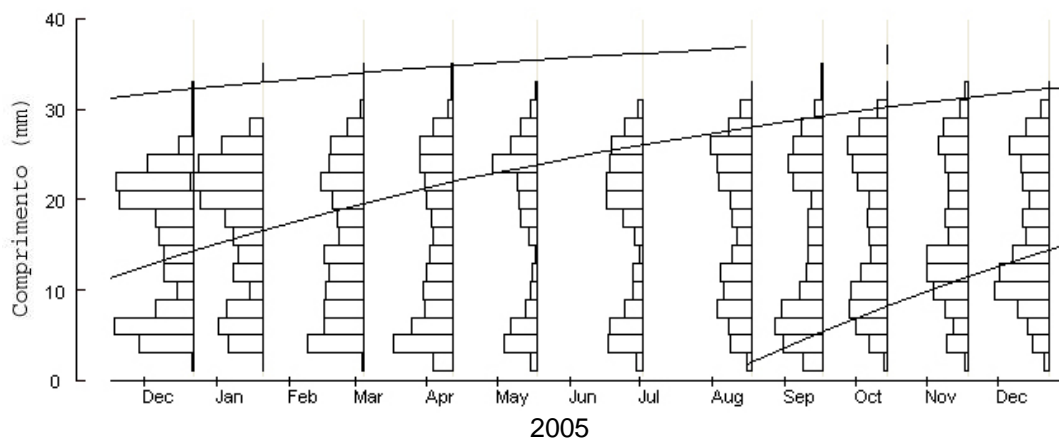


Fig. 7 – Distribuição das frequências de tamanho com intervalo de classe de 2mm e com as curvas ajustadas do modelo de Von Bertalanffy.

**CAPÍTULO V**  
**ANÁLISE DOS VETORES DE DISPERSÃO DE *Limnoperna fortunei* NO**  
**ESTADO DO PARANÁ**

**5.1 - PREFÁCIO**

Um dos pontos mais importantes na prevenção da introdução de espécies invasoras é a análise dos vetores envolvidos com sua dispersão, objetivando interceptá-los ou eliminá-los. CARLTON & RUIZ (2004) sugerem um modelo conceitual para caracterizar estes vetores que envolve a identificação e análise: da “causa” (acidental ou intencional), das “rotas” (os caminhos pelo qual a espécie é transportada – corredores de bioinvasão), dos “vetores” (as formas pelas quais a espécie é transportada), do “tempo associado ao vetor” (como os vetores operam no tempo em termos de frequência, duração e período), da “biota associada ao vetor” (descrição da biota associada ao vetor em termos de diversidade, densidade e condição) e da “força do vetor” (número de invasões estabelecidas por meio do vetor em uma região geográfica). Esta análise pode ser complexa e trabalhosa, ainda mais quando se trata de ambientes tão distintos como os encontrados na região sul da América do Sul. Porém, trata-se de um caminho promissor no sentido de evitar novas introduções.

Os trabalhos de prospecção e monitoramento apresentados neste documento foram de grande relevância no sentido de indicar alguns dos possíveis vetores envolvidos com a dispersão de *L. fortunei* na América do Sul. Depois disto, tornou-se necessária uma análise mais aprofundada destes vetores, com ênfase naqueles envolvidos com a sua possível dispersão para a bacia do rio Iguaçu.

Foram identificados como vetores mais significativos para a região do Estado do Paraná: o transporte fluvial, o transporte de areia (Figura 9), o transporte de barcos de pesca esportiva (Figura 10), e o transporte de peixes vivos (Figura 11). Sendo que o transporte fluvial não foi analisado com detalhes neste trabalho por não ser um vetor importante na bacia do rio Iguaçu, já que as características geográficas do rio não permitem o desenvolvimento desta atividade, tornando a dispersão entre corpos d’água não conectados mais importante para a região de estudo.

A seguir, são descritos os trabalhos referentes a cada um destes vetores. Em cada trabalho, um método estatístico foi utilizado para calcular a probabilidade de encontrar larvas ou adultos de *L. fortunei* associados ao vetor estudado. Este dado será

utilizado posteriormente no momento de calcular o risco de bioinvasão associado a cada uma das áreas de estudo.



Figura 9 – a. Coleta de amostras de areia dos caminhões na estrada. b. processamento das amostras.



Figura 10 – a. Aplicação de questionário e vistoria em barcos de pesca esportiva no Iate Clube de Foz do Iguaçu. b. Coleta de amostras de água do interior dos barcos.



Figura 11 – a. Intestino de Armado *Pterodoras granulosus* repleto de adultos de *Limnoperna fortunei*. b. Mexilhões coletados da porção final do intestino de *Pterodoras granulosus* e mostrando estarem vivos com abertura da concha (b).

## O TRANSPORTE DE AREIA COMO VETOR DE DISPERSÃO DE MOLUSCOS BIVALVES INVASORES NO ESTADO DO PARANÁ.

**ABSTRACT.** Commercial sand transportation as a dispersion vector for invasive bivalves mollusk in Paraná state. After introduced in South America, the invasive bivalves *Limnoperna fortunei* and *Corbicula fluminea* had spread along several hydrographic basins in Argentina, Uruguay Paraguay, Bolivia and Brazil. Their mechanisms of dispersion have been poorly studied, but probably, are related to human activities. The identification and study of dispersion vectors can help risk analysis and prevention plans for uninfested areas. This study aims to identify if commercial sand transportation is a dispersion vector for invasive mollusk bivalves. On August 12 and 13th, 2004, commercial sand samples where collected from 32 transportation trucks in Guaira's region, western Paraná State. The sand was extracted from Parana river, where records of the two species exist. In the samples, three alive *Corbicula fluminea* and two *Limnoperna fortunei* were found as well as preserved shells of both species. Between February 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> of 2005, in the reservoir of Salto Caxias, Iguacu Basin, newly built artificial beaches with Paraná river sand were identified and surveyed. Many intact shells of the two species were found in a mean concentration of 20 shells/m<sup>2</sup>, indicating that the sand transportation can be an important vector of dispersion of theses organisms.

**KEY WORDS:** Bioinvasion; Invasive bivalves; Paraná River, Brasil; Dispersion mechanisms.

**RESUMO.** Moluscos invasores como *Limnoperna fortunei* e *Corbicula fluminea*, depois de introduzidos na América do Sul, já dispersaram por várias bacias hidrográficas da Argentina, Uruguai, Paraguai, Bolívia e Brasil. Seus mecanismos de dispersão foram pouco estudados, mas provavelmente, estão correlacionados, na sua maioria, a atividades humanas. A identificação e o estudo dos vetores envolvidos com essa dispersão criam subsídios para a elaboração de planos de prevenção para áreas ainda não infestadas. Este trabalho tem como objetivo identificar se o transporte de areia pode ser um vetor de dispersão de moluscos bivalves invasores. Entre os dias 12 e 13 de agosto de 2004, amostras de areia foram coletadas de 32 caminhões de



transporte na região de Guaira no oeste do Estado do Paraná. A areia foi extraída do rio Paraná, onde existem registros das duas espécies. Nas amostras, foram encontrados três indivíduos vivos de *Corbicula fluminea* e dois de *Limnoperna fortunei*, além de várias conchas das duas espécies. Entre os dias 01 e 03 de fevereiro de 2005, no reservatório de Salto Caxias na bacia do rio Iguazu, foram identificadas e vistoriadas praias artificiais recém construídas com areia do rio Paraná. Várias conchas das duas espécies foram encontradas em uma concentração média de 20 conchas/m<sup>2</sup>, indicando que o transporte de areia pode ser um importante vetor de dispersão destes organismos.

**PALAVRAS CHAVE:** Bioinvasão; Moluscos Invasores; Rio Paraná; Brasil; Mecanismos de Dispersão.

A introdução de moluscos invasores tem gerado preocupação em todo o mundo. Na América do Sul, as introduções dos bivalves do gênero *Corbicula* (MEGERLE VON MÜHLFELD, 1811) (Corbiculidae) (ITUARTE, 1981) e *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) (Mytilidae) (PASTORINO *et al.*, 1993), pelo estuário do rio da Prata, vêm causando inúmeros impactos ambientais e econômicos. Desde a entrada na América do Sul, provavelmente por água de lastro de navios cargueiros vindos do sudeste asiático, essas espécies se dispersaram para várias bacias hidrográficas. O gênero *Corbicula* apresenta registros nos rios da Argentina, Uruguai, Brasil, Venezuela e Peru (MANSUR *et al.*, 2004). Enquanto *L. fortunei* já dispersou pela Argentina, Uruguai, Paraguai e Brasil (PASTORINO *et al.*, 1993; SCARABINO & VERDE, 1994; DARRIGRAN E EZCURRA DE DRAGO, 2000; MANSUR *et al.*, 1999 e AVELAR *et al.*, 2004).

O rápido avanço destas espécies pela América do Sul ocorreu, provavelmente, com a participação de atividades humanas que funcionaram como vetores de dispersão. A identificação e análise destes vetores é um meio eficaz de entender e prevenir o processo de invasão de novos ambientes (CARLTON & RUIZ, 2004).

No Brasil, são escassos os trabalhos sobre vetores de dispersão de moluscos invasores, estando a maioria das pesquisas voltadas para descrição geográfica da área de ocorrência e aspectos da biologia populacional.

O objetivo deste trabalho é testar a hipótese de que o transporte de areia é um vetor de dispersão de moluscos invasores no Estado do Paraná que, transportados em

condições favoráveis para sua sobrevivência, podem entrar em contato com outros corpos d'água e contaminar novos ambientes.

## **MATERIAL E MÉTODO**

A primeira fase de campo foi realizada no município de Guaira no oeste do Estado do Paraná. Esta região apresenta uma grande concentração de empresas que extraem areia do reservatório da usina de Itaipu no rio Paraná, onde existem citações para *C. fluminea* e *L. fortunei* (TAKEDA *et al.*, 2000; ZANELLA & MARENDA, 2002).

Entre os dias 12 e 13 de agosto de 2004, com auxílio da Polícia Rodoviária Estadual, caminhões de transporte de areia foram abordados aleatoriamente quando saíam da região pela rodovia BR 272. Um tubo de PVC de 5 cm de diâmetro e 60 cm de comprimento, com sistema de sucção, foi utilizado para coletar amostras de areia do interior dos caminhões. As amostras foram identificadas e peneiradas em uma peneira de 1 mm<sup>2</sup> de malha, com o objetivo de encontrar indivíduos vivos ou conchas de moluscos bivalves mortos. Todos os vestígios foram selecionados, identificados e classificados como fragmentos de conchas, conchas inteiras com as duas valvas e indivíduos vivos. Foram considerados vivos os mexilhões com as duas conchas intactas, fechadas e que depois de abertos apresentavam aspecto fresco e úmido. Após a coleta das amostras, um questionário foi aplicado aos motoristas com o objetivo de identificar a procedência da areia, empresa de extração, destino, a classificação e a quantidade transportada. Amostras de areia das empresas de extração foram coletadas para análise granulométrica.

O método de Poisson foi utilizado para calcular a probabilidade de se encontrar pelo menos um molusco vivo em amostras retiradas dos caminhões de carga na região de estudo ( $\lambda = \theta t$ ) onde  $\theta$  é o parâmetro de ocorrência de indivíduos vivos e  $t$  é a quantidade de areia amostrada.

Após análise dos questionários, a região do reservatório de Salto Caxias no rio Iguaçu foi selecionada para a segunda fase de campo. Entre os dias 01 e 03 de fevereiro de 2005, toda a margem do reservatório foi percorrida por barco para identificar as praias artificiais. As praias foram selecionadas em particulares e públicas e plotadas em um mapa com suas coordenadas geográficas. Todas as praias foram vistoriadas e nas que foram encontrados vestígios de moluscos, áreas de 1m<sup>2</sup> foram

aleatoriamente escolhidas para contagem do número de conchas íntegras, fragmentos e indivíduos vivos de *C. fluminea* e *L. fortunei*.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de coletas, 32 caminhões foram abordados. Foram coletados de cada caminhão, em média, 0,00551 m<sup>3</sup> de areia oriunda de três grandes empresas de extração localizadas na região de Guairá, PR. Sendo 46,9% da empresa A; 43,7% da empresa B e 9,4% da empresa C. A areia extraída pelas três empresas foi vendida com a classificação de média. Porém, a análise granulométrica mostrou diferenças em sua granulometria (Tabela I). Essas diferenças se devem, provavelmente, às diferenças do solo no local de extração e ao tempo de utilização das peneiras metálicas que, com o passar do tempo, se desgastam e aumentam o diâmetro de suas malhas. No total, foram encontrados 15 conchas completas e 3 indivíduos vivos de *Corbicula fluminea* e 5 conchas completas e 2 indivíduos vivos de *L. fortunei*. 94,9% dos fragmentos de conchas e indivíduos vivos foram encontrados nas amostras da empresa B, que apresentou a maior granulometria da areia (Tabela II).

O comprimento médio das valvas inteiras encontradas foi de 10,5 mm para *C. fluminea* e 9 mm para *L. fortunei*. O fato de terem sido encontrados indivíduos vivos das duas espécies sugere que o processo de extração da areia não é agressivo suficiente ao ponto de destruir todas as conchas. DARRIGRAN *et al.* (2001), em um experimento de tolerância à exposição ao ar para *L. fortunei*, observou mortalidade de 100% dos indivíduos somente após 169 horas, cerca de sete dias. MC MAHON (1977) realizando experimento semelhante para *C. fluminea* observou sobrevivência de indivíduos até 26.8 dias com exposição a 20°C e alta umidade relativa do ar. A areia onde foram encontrados os indivíduos vivos das duas espécies havia sido extraída do rio a cerca de seis horas. Já a areia dos outros caminhões havia sido extraída a aproximadamente um mês. O que pode explicar o fato de não terem sido encontrados mais indivíduos adultos vivos.

Segundo relatos dos trabalhadores das empresas de extração, *L. fortunei* está presente em maiores quantidades quando se inicia a extração de areia de um ponto novo. Em seguida, aumenta a quantidade de *C. fluminea* e diminui a de *L. fortunei*. Isto pode estar relacionado à forma de fixação e crescimento das colônias das duas

espécies que são diferentes. *Corbicula fluminea* vive sob o substrato e segundo BELANGER *et al.* (1985), tem preferência por areia fina (0,35-0,60 mm) ou areia grossa com cascalho (4,5-38,0 mm). Já *L. fortunei* se fixa sobre o substrato e desta forma tem sua população reduzida após a retirada da primeira camada superficial de areia.

Foram encontrados moluscos vivos em 9,4% dos 32 caminhões analisados. O cálculo de probabilidade utilizando o modelo de Poisson apresentou os seguintes resultados:

Probabilidade de encontrar mais de um indivíduo de *L. fortunei* na areia com base numa amostra de tamanho médio 0,00550625 m<sup>3</sup>:

$P(Y >= 1) = 1 - e^{-0,05562 * 0,09851} = 0,00546 * 100 = 0,546\%$  onde  $e^{-0,05562 * 0,09851}$  é a probabilidade de ( $Y = 0$ ).

Probabilidade de encontrar mais de um indivíduo de *C. fluminea* na areia com base numa amostra de tamanho médio 0,00550625 m<sup>3</sup>:

$P(Y >= 1) = 1 - e^{-0,08343 * 0,09851} = 0,00818 * 100 = 0,818\%$  onde  $e^{-0,08343 * 0,09851}$  é a probabilidade de ( $Y = 0$ ).

Assumindo independência nas probabilidades temos que:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A).P(B)$$

Logo a probabilidade de encontrar moluscos na areia (com base na amostra coletada em caminhões da região do rio Paraná) é dada por:

$$P(A \cup B) = 0,00546 + 0,00818 - 0,000045 = 0,013603 * 100 = 1,36\%$$

Tabela I – Dados gerais das amostras de areia coletadas nos caminhões de transporte

Empresa	Nº de caminhões amostrados	Total de areia nos caminhões amostrados (m <sup>3</sup> )	Total de areia amostrada (m <sup>3</sup> )	Granulometria média da areia (porcentagem de grãos acima de 2 mm)
A	15	295	0,0551	5,78%
B	14	271	0,1094	43,85%
C	3	49	0,0117	1,58%
Total	32	615	0,1762	.

Tabela II – Número de vestígios de moluscos encontrados nas amostras de areia

Empresa	Fragmentos <i>C. fluminea</i>	Conchas completas de <i>C. fluminea</i>	Indivíduos vivos de <i>C. fluminea</i>	Fragmentos de <i>L. fortunei</i>	Conchas completas de <i>L. fortunei</i>	Indivíduos vivos de <i>L. fortunei</i>	Totais
A	2	0	0	0	0	0	2
B	68	13	3	3	5	1	93
C	0	2	0	0	0	1	3
Total	70	15	3	3	5	2	98

A baixa probabilidade encontrada no trabalho é condizente com as condições observadas em campo e a probabilidade de ocorrer uma contaminação de um novo ambiente aquático pode ser considerada menor ainda, já que para que isto ocorra é necessário que vários fatores se somem como o armazenamento da areia por um período curto de tempo antes do transporte, o transporte da areia ainda úmida e o contato final com água em um ambiente propício para sua sobrevivência.

A construção civil foi identificada como o destino de 93,7% da areia transportada nos caminhões. Destino este que certamente traz riscos irrelevantes para a dispersão das espécies estudadas. Porém, 6,3% da areia foi destinada à construção de praias artificiais em reservatórios de água doce no interior do Estado. Dos caminhões entrevistados, 19% tinham como destino, as proximidades do reservatório de Salto Caxias no rio Iguaçu (Figura 1).

O rio Iguaçu não possui registro de moluscos invasores. Porém esse reservatório, da Companhia Paranaense de Energia, apresenta inúmeras áreas de lazer com praias artificiais construídas, na sua maioria, com areia do rio Paraná. Foram identificadas no total 5 praias artificiais particulares e 7 praias artificiais públicas pertencentes aos municípios limieiros (Figura 2). Das 12 praias vistoriadas, 4 apresentaram vestígios de *C. fluminea* e *L. fortunei* em densidades médias de 50/m<sup>2</sup> e 7/m<sup>2</sup>, respectivamente. Não foram encontrados indivíduos vivos nas praias. Porém, o estado de preservação das conchas pareceu indicar que a maioria dos exemplares coletados havia morrido há pouco tempo. Na praia artificial do Município de Capitão Leônidas Marques (Coordenadas planas UTM SAD69 7175243,373 S / 250854,557 W) foram encontradas valvas de *C. fluminea* dentro da água, em substrato natural do reservatório, o que pode indicar a existência de uma população da espécie estabelecida no local. Trabalhos de vistoria nas áreas submersas devem ser desenvolvidos para identificar a presença destes indivíduos, o que corroboraria com a tese defendida neste trabalho.

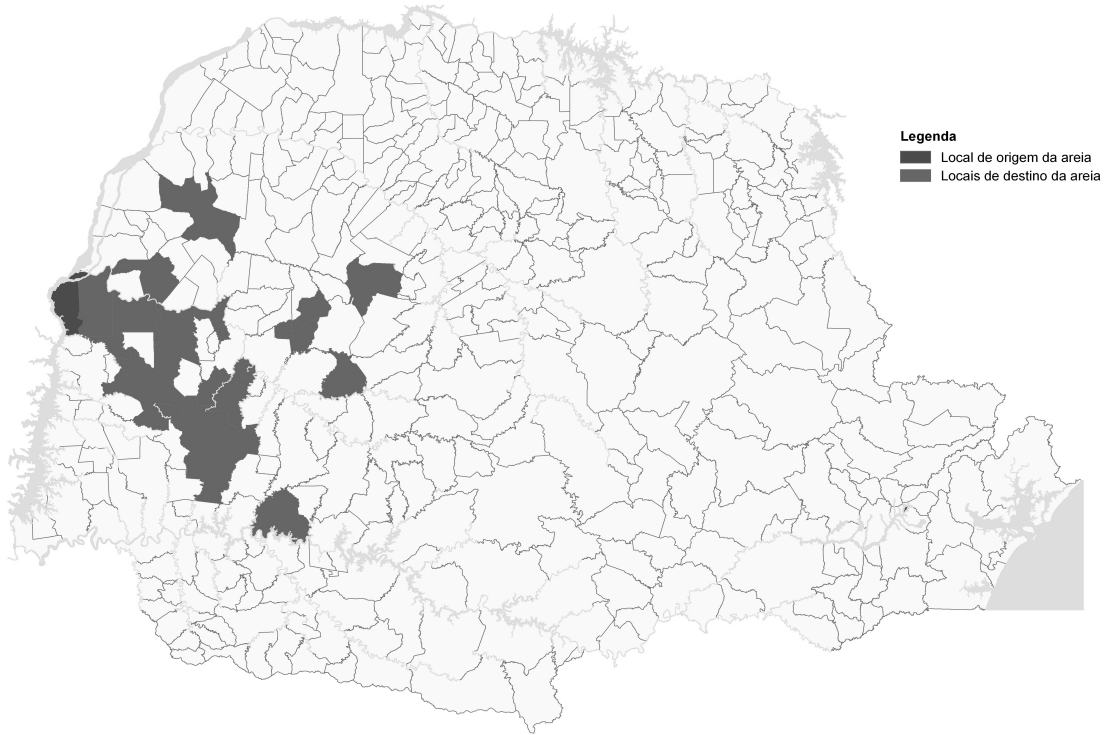


Fig 1 – Áreas identificadas no estudo como destino da areia coleta na região de Guaira.

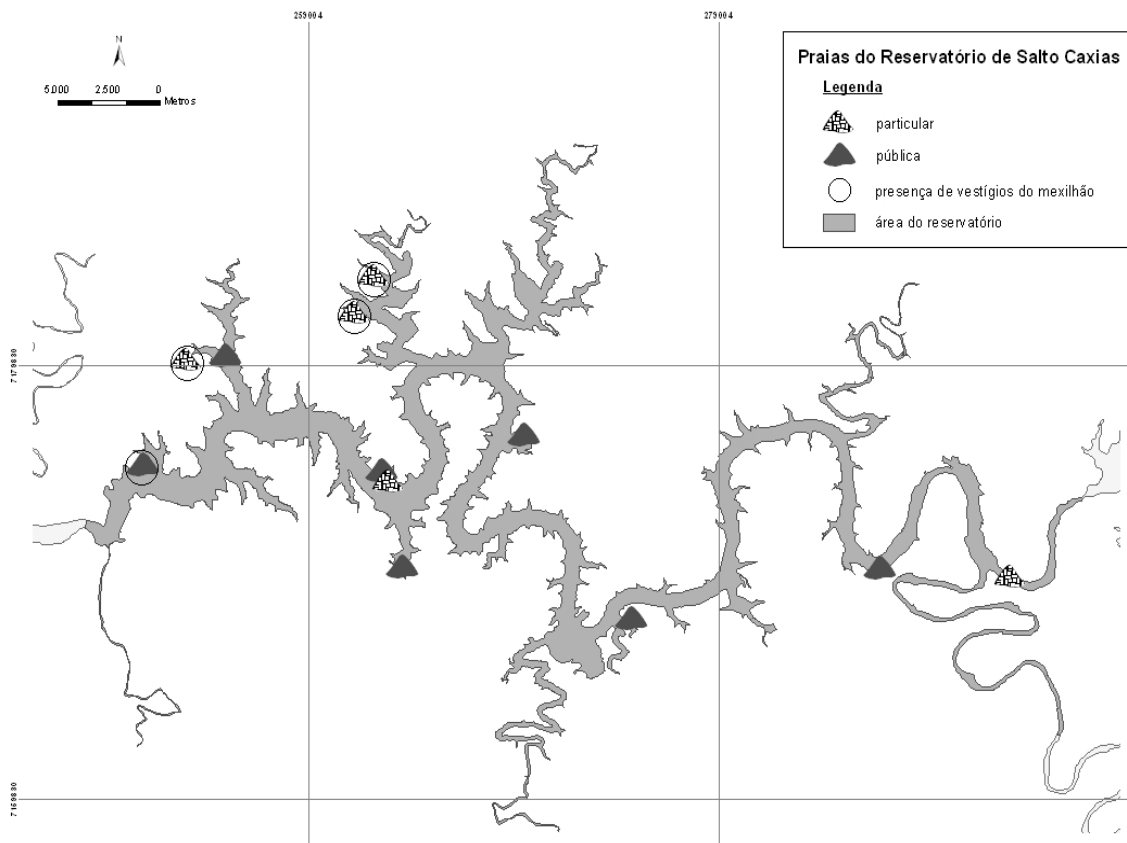


Fig. 2 – Mapa com a localização das praias artificiais vistoriadas no reservatório de Salto Caxias no rio Iguaçu, Paraná.

A frequência de movimentação de areia da região oeste do Estado para o interior é grande e significativa se comparada a de outras regiões próximas. Porém, um ponto que deve ser analisado com mais profundidade é a quantidade de mexilhões necessária para que ocorra uma invasão. Embora exista a possibilidade de larvas serem transportadas na água associada à areia, este é um vetor potencial de indivíduos juvenis e adultos que nesta fase da vida apresentam uma maior resistência às adversidades do meio. Esta espécie é dióica em rios de Hong Kong (MORTON, 1982) o que significa que teriam que ser dispersos juntos pelo menos dois indivíduos de sexos distintos para que uma população pudesse começar seu desenvolvimento. Porém, DARRIGRAN *et al.* (1998) encontraram indivíduos hermafroditas simultâneos em amostras coletadas no Rio da Prata. Em ambos os casos este número reduzido de indivíduos poderia significar dificuldades em estabelecer uma densidade adequada de descendentes para perpetuar a população. Um estudo mais aprofundado deste e de outros temas relacionados aos mecanismos de dispersão desta espécie são cruciais para a implementação de ações efetivas de controle.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem aos funcionários da Polícia Rodoviária do Estado do Paraná e da Companhia Paranaense de Energia pelo apoio durante as coletas.

**BARCOS DE PESCA ESPORTIVA COMO VETORES DE DISPERSÃO DE *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) (MOLLUSCA, BIVALVIA, MYTILIDAE) NO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL**

**ABSTRACT.** Sport fishing boats as vectors of dispersion of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) in western Paraná state, Brasil. The analysis of the geographical dispersion of invasive species is generally limited due to the complexity of this process. An important issue in this context is the identification and analysis of the vectors involved with the dispersion. Between 22 and 26 of October 2005, sport fishing boats in the Rio Parana, near the city of Foz do Iguacu, were surveyed and samples were collected from their interior to evaluate the potential of this activity as a dispersion vector of the invasive mollusk *Limnoperna fortunei*. Larvae and adult of these species were found in water and in tangled materials from fisheries, drawn from the river and stored in the boats. 67% of the boats surveyed presented water in the bait compartment, and 69,5% of these contained alive larvae in the collected samples. 50% of the boats contained materials collected from the river. Adult *L. fortunei* were found on 94% of the material screened. The results show that the sport fishery is a potential dispersion vector for the species in the Western Paraná State, mainly regarding to adult stages attached to tangled materials from fisheries, transported in boats.

**KEY WORDS:** Bioinvasion; Invasive bivalves; Paraná River; Brazil; Dispersion Mechanisms.

**RESUMO.** A análise da dispersão geográfica de espécies invasoras é geralmente limitada pela complexidade deste processo. Um ponto importante neste contexto é a identificação e análise dos vetores envolvidos com a dispersão. Entre os dias 22 e 26 de outubro de 2005, barcos de pesca esportiva no rio Paraná, próximo ao município de Foz do Iguaçu, foram vistoriados e amostras foram coletadas de seus interiores para avaliar o potencial desta atividade como vetor de dispersão do molusco invasor *Limnoperna fortunei*. Larvas e adultos da espécie foram encontrados em água e materiais retirados do rio e armazenados nos barcos. 67% dos barcos vistoriados continham água no viveiro e destes, 69,5% continham larvas vivas nas amostras



coletadas. 50% dos barcos continham material coletado do rio e destes, 94% continham indivíduos adultos do molusco em seu interior. O trabalho evidencia a atividade de pesca esportiva como um potencial vetor de dispersão da espécie na região oeste do Estado do Paraná, principalmente na forma adulta, aderida a materiais retirados da água e transportados no interior dos barcos.

**PALAVRAS CHAVE:** Bioinvasão; Moluscos Invasores; Rio Paraná; Brasil; Mecanismos de Dispersão.

Desde a sua introdução no estuário do rio da Prata em 1991, o molusco invasor *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) (Bivalvia; Mytilidae) tem se dispersado rapidamente por bacias hidrográficas da Argentina, Uruguai, Paraguai, e Brasil (PASTORINO *et al.*, 1993; SCARABINO & VERDE, 1994; DARRIGRAN E EZCURRA DE DRAGO, 2000; MANSUR *et al.*, 1999 e AVELAR *et al.*, 2004).

O rápido avanço desta espécie pela América do Sul sugere que seus mecanismos de dispersão são facilitados por atividades humanas que funcionam como vetores de dispersão, a exemplo do que ocorre nos E.U.A. com o molusco invasor *Dreissena Polymorpha* (CARLTON, 1993). A análise da dispersão de *L. fortunei* até o momento sugere que o vetor que mais influenciou neste processo foi o transporte fluvial, já que a maioria dos rios que foram rapidamente infestados, são utilizados freqüentemente como hidrovias e algumas usinas hidrelétricas que poderiam funcionar como barreiras físicas a essa dispersão possuem eclusas que permitem a passagem de embarcações a montante das barragens. Porém, a dispersão da espécie para corpos d'água não conectados, provavelmente sofre a influência de outros vetores que foram pouco estudados até o momento. As embarcações de pesca e lazer, normalmente são vistas como o vetor mais importante nestes casos, mas isso pode mudar conforme o perfil geográfico, econômico, social e ambiental de cada região.

Os objetivos deste trabalho foram testar a hipótese de que embarcações de pesca são potenciais vetores de dispersão de *L. fortunei* na região oeste do Estado do Paraná e avaliar o risco associado a este vetor.

## MATERIAL E MÉTODO

Entre os dias 22 e 26 de outubro de 2005, barcos de pesca esportiva foram abordados no Iate Clube do município de Foz do Iguaçu, localizado às margens do rio Paraná, a jusante da usina de Itaipu (Coordenadas planas UTM DAD69 21J 7169052,086 S / 741842,127 W). As abordagens foram realizadas no final da tarde, horário em que a maioria dos pescadores estava voltando para recolher seus barcos. No momento em que eram retirados da água, os barcos foram vistoriados para identificar a presença de água, plantas aquáticas, galhos de árvores e lixo no seu interior e organismos incrustados nas âncoras e cascos. Amostras da água do interior dos barcos foram coletadas com rede de plâncton de 64 $\mu$  de malha e analisadas em microscópio estereoscópio para identificar e quantificar a presença de larvas vivas de *L. fortunei*. O material do rio, presente nos barcos, também foi coletado para contagem do número de indivíduos adultos aderidos. O casco e a âncora dos barcos foram vistoriados para identificar a presença de organismos incrustantes. Após a vistoria e coleta de amostras, foram aplicados questionários que serviram para traçar um perfil da atividade na região (Tabela I). A probabilidade dos barcos conterem mecanismos de transporte como água no interior do viveiro, água no fundo do casco, material do rio em seu interior, macrófitas aquáticas em seu interior, material aderido ao casco e material aderido à âncora foram calculadas pelo modelo de Bernoulli e foram denominadas probabilidades de exposição ( $P_{\text{exposição}}$ ). A probabilidade de encontrar pelo menos um indivíduo vivo em cada um destes mecanismos de transporte foi calculada pelo modelo de Poisson e foi denominada probabilidade de transporte ( $P_{\text{transporte}}$ ). A multiplicação destas probabilidades gerou a probabilidade final de encontrar pelo menos um indivíduo vivo em cada mecanismo de transporte ( $P_{\text{exposição} * \text{transporte}}$ ). Como se tratam de eventos independentes, a soma das probabilidades originou a probabilidade final de encontrar pelo menos um indivíduo vivo de *L. fortunei* em barcos de pesca na região oeste do Paraná.

Tabela I – Questionário aplicado aos pescadores do Iate Clube de Foz do Iguaçu

- 
- 1- Quanto tempo você permaneceu pescando hoje?
  - 2- Utiliza isca viva para pescar?
  - 3- Utiliza âncora para apoitar o barco?
  - 4- Pesca em outras regiões?
  - 5- Sabe do Problema?
  - 6- Costuma lavar o barco após a pescaria?
-

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram abordados 34 barcos de pesca esportiva. Todos os proprietários de embarcações que foram abordados permitiram que se fizesse a inspeção sem problemas. A quantidade de barcos com material coletado e a quantidade de material com espécimes vivos de *L. fortunei* estão descritos na (Tabela II). Foram coletados 110 litros de água dos viveiros de iscas, onde foram encontradas 61 larvas vivas, com uma média de 4 larvas por barco. Do fundo dos barcos foram coletados 24,5 litros de água, onde foram encontradas 3 larvas vivas, com uma média de 1,5 larvas por barco. Associados a galhos e lixo no interior dos barcos foram encontrados 87 mexilhões adultos, com uma média de 6 por barco. Nos cascos e nas âncoras não foi observado material aderido nem mexilhões. Também não foram encontradas macrófitas aquáticas no interior dos barcos. Isto provavelmente é reflexo do ambiente lótico onde se encontravam os barcos durante a pescaria e do perfil da atividade na região, onde os barcos não ficam mais que algumas horas dentro da água e depois são retirados, lavados e guardados até a próxima pescaria, não havendo tempo suficiente para formação do biofilme necessário para fixação dos mexilhões (WAINMAN *et al.*, 1996).

Tabela II – Material coletado, associado a mecanismos de transporte de larvas, juvenis e adultos de *L. fortunei* em um total de 34 barcos de pesca esportiva no rio Paraná e suas probabilidades de ocorrência.

Mecanismo de transporte	Estágio de vida	Material para coleta	Nº de barcos com material para coleta	P <sub>exposição</sub> (%)	P <sub>transporte</sub> (%)	P <sub>exposição</sub> · P <sub>transporte</sub> (%)
Viveiro	Larva	Água	23	68	44,04	29,79
Fundo do barco	Larva	Água	10	29	7,77	2,28
Macrófitas no interior do barco	Juvenis e Adultos	Macrófitas	0	0	0	0
Galhos e lixo no interior do barco	Juvenis e Adultos	Galhos e lixo	17	50	99,4	49,7
Casco externo	Juvenis e Adultos	Biofilme	0	0	0	0
Âncora	Juvenis e Adultos	Biofilme	0	0	0	0

As probabilidades foram maiores que zero em três mecanismos de transporte (água do viveiro de iscas, água do fundo dos barcos e galhos e lixo no interior dos barcos) assumindo independência entre elas, temos que a probabilidade de encontrar adultos ou larvas de *L. fortunei* em barcos de pesca da região oeste do Estado do Paraná é de:

$$P(AUBUC) = P(A) + P(B) + P(C) - P(AB) - P(AC) - P(BC) - P(A).P(B).P(C) = 64,82\%$$

A maioria dos viveiros continha água recém captada do rio, porém todos foram esgotados pelos proprietários no momento da retirada do barco da água. O que evidencia uma prática comum dos pescadores da região e que minimiza o poder deste mecanismo de transporte para a dispersão da espécie. Já a água do fundo foi encontrada em poucos barcos e em quantidades reduzidas, estando associada a comprometimentos no casco ou acúmulo de água de chuva, o que explica a menor quantidade de larvas vivas encontradas nas amostras coletadas deste local. Os pedaços de madeira e o lixo encontrado no interior dos barcos se mostraram um importante mecanismo de transporte de mexilhões adultos vivos. DARRIGRAN *et al.* (2001) em um experimento de tolerância à exposição ao ar para *L. fortunei* observaram mortalidade de 100% dos indivíduos somente após 169 horas, cerca de sete dias. Tempo suficiente para que estes organismos sejam transportados vivos, mesmo fora da água.

Barcos de lazer e pesca esportiva têm sido frequentemente associados à dispersão de espécies invasoras para corpos d'água não conectados (GRIFFITH *et al.*, 1991; CARLTON, 1993; BUCHAN & PADILLA, 1999). JOHNSON *et al.* (2001) discutem a importância do vetor barco de lazer na dispersão de *Dreissena polymorpha* nos E.U.A. e concluem que este é um importante vetor para a região, indicando a água do fundo do barco e a água do sistema de resfriamento do motor como os principais mecanismos de transporte de larvas e encontrando uma forte relação entre macrófitas aquáticas presentes no barco e na carreta e a presença de mexilhões adultos aderidos a elas. A importância do mecanismo de transporte tem relação direta com o perfil da atividade em cada região. No rio Paraná é comum a pescaria de espécies de peixes utilizando iscas vivas. Por conseqüência, a maioria dos barcos utilizam o viveiro para armazenar água (95% no caso do presente trabalho). No entanto, a dificuldade de acesso ao rio faz com que a maioria dos usuários utilizem a estrutura de marinas e clubes localizados nas margens. Esses locais possuem funcionários responsáveis pela retirada dos barcos da água e limpeza. Nestes locais, o que se observou foi que a água era retirada praticamente na sua totalidade do interior dos barcos. Porém, alguns mexilhões adultos foram encontrados nos barcos mesmo após sua limpeza. O que representa um risco para outras regiões se este barco for transportado para um local não infestado enquanto os mexilhões ainda permanecerem vivos.

O resultado deste estudo demonstra claramente o potencial dos barcos de pesca para dispersão da espécie. No entanto, deve ficar claro que outros vetores tais como: transporte fluvial, transporte de areia ou transporte de peixes vivos podem estar agindo da mesma forma no transporte de mexilhões vivos para corpos d'água ainda não infestados. JOHNSON & CARLTON (1996) discutem para *Dreissena polymorpha* até mesmo outras classes de embarcações de lazer e de transporte.

Dos pescadores entrevistados, 20% afirmaram pescar em outras regiões e 50% reconheceram que podem ser responsáveis pela dispersão da espécie. Isto mostra a importância da implementação de campanhas de orientação e divulgação do problema. O trabalho também evidencia a importância do estudo mais aprofundado dos mecanismos de dispersão da espécie para que meios efetivos de controle de sua invasão sejam adotados. Por exemplo, aplicação de ações preventivas em barcos de pesca como esterilização de seu exterior com solução de cloro, água quente ou longo período fora da água como citado por KELCH (1992).

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem aos funcionários do Iate Clube de Foz do Iguaçu e aos pescadores da região pelo apoio durante as coletas.

**O TRANSPORTE DE PEIXES VIVOS COMO VETOR DE DISPERSÃO DE *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) (MOLLUSCA, BIVALVIA, MYTILIDAE) NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL**

**ABSTRACT.** *Alive fish transportation as a dispersion vector for *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) in Paraná state, Brazil.*

Alive fish transportation were analyzed for its role as dispersion vector for the invasive golden mussel *Limnoperna fortunei* on the western region of Paraná State. Water samples from transportation tanks were analyzed for the presence of larvae while five fish species in the Paraná river were inspected for the presence of alive *L. fortunei* adults in their stomach contents. 84% of the transportation tanks presented alive larvae in density reaching 16.326/m<sup>3</sup> and four alive golden mussels were found in the final portion of the intestine of three specimens of *Pterodoras granulosus*. The results indicate that alive fish transportation is an important dispersion vector of the golden mussel in uninfested areas.

**KEY WORDS:** Bioinvasion; Invasive mollusks; Paraná river; Feeding habits; Dispersion mechanisms.

**RESUMO.** O transporte de peixes vivos no Estado do Paraná foi analisado para verificação de seu papel como vetor de dispersão do molusco invasor *Limnoperna fortunei*. O trabalho foi realizado em vários municípios da região oeste do Estado, nas margens do rio Paraná. Foram analisadas, a presença de larvas vivas da espécie na água contida em tanques de transporte de peixes vivos e a presença de adultos vivos no trato digestório de cinco espécies de peixes da bacia do rio Paraná. 84% dos tanques de transporte vistoriados continham larvas vivas chegando à densidade de 16.326/m<sup>3</sup> e quatro mexilhões adultos foram encontrados vivos na porção final do intestino de três exemplares de *Pterodoras granulosus*. O trabalho evidenciou o papel do transporte de peixes vivos, para cultivo ou isca, na dispersão da espécie para áreas ainda não infestadas.

**PALAVRAS CHAVE:** Bioinvasão; Moluscos Invasores; Rio Paraná; Hábito Alimentar; Mecanismos de Dispersão.

O molusco invasor *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857) (Bivalvia; Mytilidae) teve sua primeira ocorrência na América do Sul em 1991 no estuário do rio da Prata (PASTORINO *et al.*, 1993). Desde então, já se dispersou pelas grandes bacias hidrográficas do Paraná, Paraguai, Uruguai, e Atlântica Sul no Estado do Rio Grande do Sul. (DARRIGRAN & PASTORINO, 2003; MANSUR *et al.*, 2003). Esta espécie vem causando uma série de impactos econômicos e ambientais como obstrução e comprometimento de sistemas de usinas hidrelétricas, estações de tratamento de água e indústrias e alterações em comunidades límnicas (DARRIGRAN, 2002).

Sua densidade populacional aumentou consideravelmente no rio da Prata, chegando a 100.000 ind/m<sup>2</sup> (CATALDO & BOLTOVSKOY, 1998). Estas densidades altas representam uma importante fonte alimentar para a fauna íctica de rios e reservatórios invadidos. DARRIGRAN & COLAUTI (1994) evidenciaram a importância de *Pterodoras granulosus* como predador de *Corbicula fluminea* (Müller, 1774), um outro molusco invasor que chegou ao estuário do rio da Prata na década de 70 (ITUARTE, 1981). Outras várias espécies de peixes têm sido reportadas como predadoras de *Dreissena polymorpha* na América do Norte (FRENCH & BUR, 1993; MARSDEN, 1997; TUCKER *et al.*, 1996) e várias espécies também têm se adaptado e alterado seus hábitos alimentares, passando a se alimentar de *L. fortunei* (Tabela I).

Tabela I – Lista de espécies que se alimentam de *Limnoperna fortunei* na América do Sul.

Referências	
<b><i>Limnoperna fortunei</i></b>	
<i>Potamotrygon cf. brachyurus</i>	PR: Montalto et al. (1999)
<i>Leporinus obtusidens</i>	PR, RP: Boltovskoy & Cataldo (1999); Montalto et al. (1999); Penchaszadeh et al. (2000); Garcia & Protogino (2005)
<i>Schizodon borellii</i>	PR: Montalto et al. (1999)
<i>Pterodoras granulosus</i>	PR, RP: Boltovskoy & Cataldo (1999); Montalto et al. (1999); Ferriz et al. (2000); Garcia & Protogino (2005)
<i>Rhinodoras dorbigny</i>	PR, RP: Montalto et al. (1999); Garcia & Protogino (2005)
<i>Pimelodus albicans</i>	PR: Boltovskoy & Cataldo (1999); Montalto et al. (1999)
<i>Pimelodus maculatus</i>	PR: Montalto et al. (1999)
<i>Brochiloricaria chauliodon</i>	RP: Garcia & Protogino (2005)
<i>Hypostomus cf. laplatae</i>	PR: Montalto et al. (1999)
<i>Hypostomus uruguayensis</i>	PR: Boltovskoy & Cataldo (1999)
<i>Paraloricaria cf. vetula</i>	PR, RP: Boltovskoy & Cataldo (1999); Garcia & Protogino (2005)
<i>Micropogonias furnieri</i>	RP: López Armengol & Casciotta (1998)
<i>Megalancistrus aculeatus*</i>	
<i>Iheringichthys labrosus*</i>	

Asterisco se refere ao presente estudo. PR, Rio Paraná; RP, Rio da Prata.

Algumas destas espécies de peixes como: *Pimelodus maculatus* e *Pterodora granulosus*, são capturadas e comercializadas vivas para fazendas de piscicultura no

interior do Estado do Paraná. Este trabalho teve como objetivo identificar o potencial desta atividade como vetor de dispersão de larvas e adultos de *L. fortunei*, testando a hipótese de que mexilhões adultos podem ser transportados vivos no interior do trato digestório de algumas espécies de peixes e de que larvas do molusco podem ser transportadas vivas na água de transporte de peixes vivos.

## **MATERIAL E MÉTODO**

Os peixes analisados foram capturados com redes de espera entre os dias 18 e 25 de novembro de 2005 em quatro regiões do rio Paraná (Figura 1) por uma equipe de pesquisadores do Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aqüicultura – Nupélia, da Universidade Estadual de Maringá, como parte de um projeto de estudo da ictiofauna do reservatório de Itaipu.

Com base em uma análise prévia do conteúdo estomacal das espécies capturadas, no conhecimento científico da equipe de coleta e na experiência prática de pescadores da região, cinco espécies de peixes foram selecionadas para o trabalho considerando-se a possibilidade de encontrar indivíduos inteiros de *L. fortunei* em seus tratos digestórios:

*Pterodoras granulosus* (VALENCIENNES, 1840) (Doradidae);

*Satanoperca papaterra* (HECKEL, 1840) (Cichlidae);

*Potamotrygon motoro* (MATTERER, 1841) (Potamotrygonidae);

*Iheringichthys labrosus* (LUTKEN, 1874) (Pimelodidae) e

*Megalancistrus aculeatus* (PERUGIA, 1891) (Loricariidae).

Após a captura destas espécies, seus tratos digestórios foram retirados e separados em quatro porções: estômago, porção inicial do intestino, porção intermediária e porção final. Cada uma das partes foi aberta com auxílio de tesoura e o conteúdo retirado e lavado com água corrente e peneira. Os mexilhões encontrados foram separados em duas classes: concha aberta e concha fechada. Os exemplares com a concha aberta e conseqüentemente mortos foram contados, fixados em álcool 70% e posteriormente medidos em laboratório com auxílio de um paquímetro. Os exemplares fechados foram novamente lavados e colocados em frascos com água do local de



coleta e aeração constante. Foram considerados vivos os indivíduos que dentro do prazo de 15 minutos abriram a concha para filtrar ou utilizaram o pé para se movimentar. Com auxílio de uma pinça encostada na região externa da concha dos mexilhões que abriram, foi testado o reflexo a estímulos externos, verificando se a concha se fechava e abria novamente. Após esta análise os mexilhões foram contados, identificados quanto a porção do trato digestório na qual estavam presentes e levados ao laboratório para medição do comprimento das conchas.

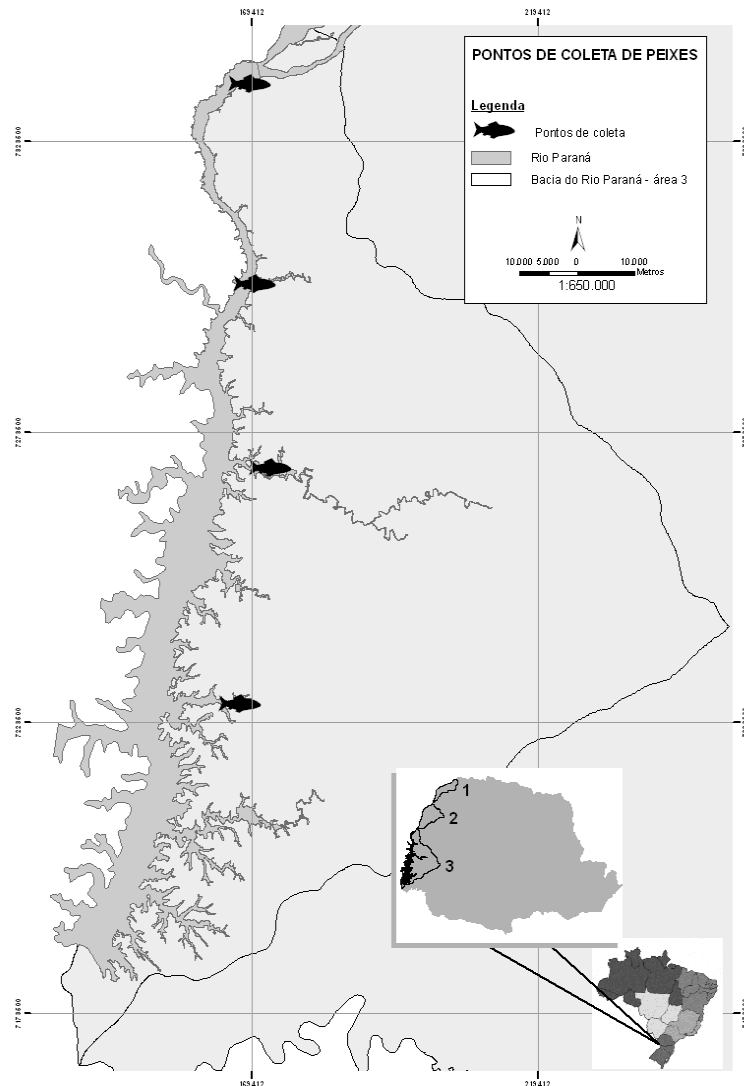


Fig. 1 – Mapa com a localização dos pontos de coleta de peixes.

Para avaliação da resitência das larvas foi utilizado um tanque de transporte de peixes vivos de 1000 litros. Simulações foram realizadas em oito pontos às margens do rio Paraná (A – Trapiche do refúgio biológico da Itaipu Binacional, B – Praia municipal de Foz do Iguaçu, C - Praia municipal de Santa Terezinha do Itaipu, D – Praia municipal de São Miguel do Iguaçu, E – Praia municipal de Itaipulândia, F –

Praia municipal de Missal, G – Praia municipal de Santa Helena, H – Rio Paraná no município de Guaira) (Figura 2). O tanque foi preenchido com água do local de coleta com auxílio de uma moto-bomba e a água foi transportada para o próximo ponto de coleta com cilindro de oxigênio e demais condições semelhantes às encontradas em um transporte de peixes para fins comerciais. Durante o percurso de um ponto de coleta ao outro, amostras do tanque foram retiradas com 0 – 0,5 – 2,0 – 2,5 horas para avaliação da presença de larvas vivas com auxílio de um microscópio estereoscópio.

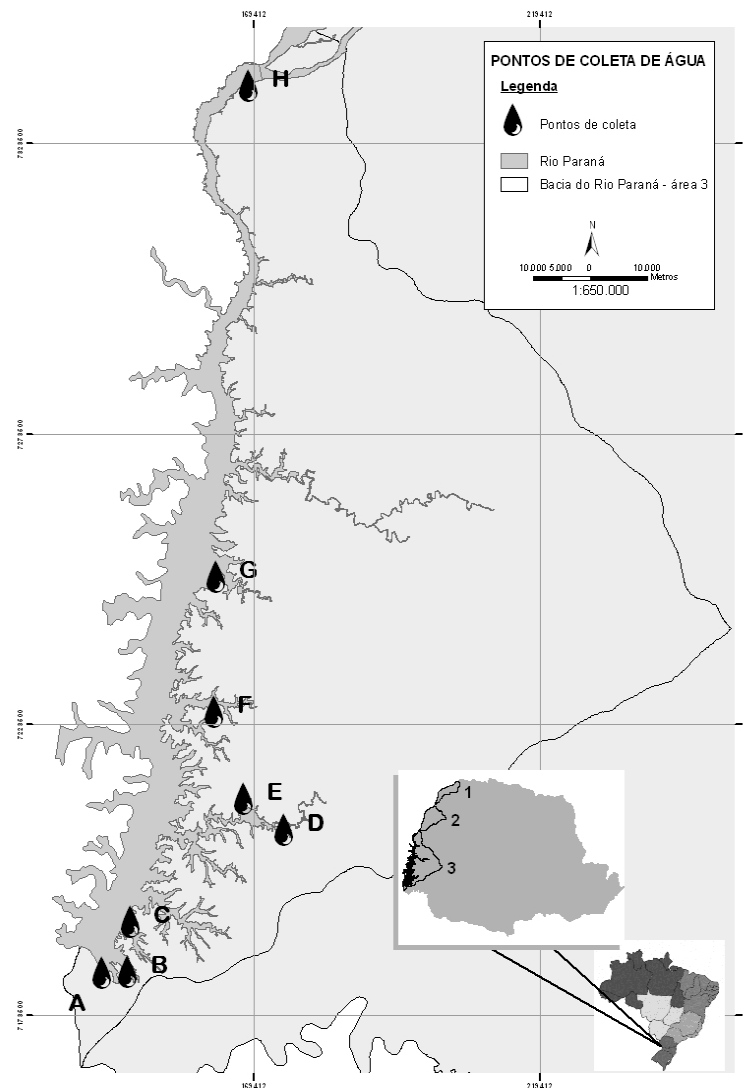


Fig. 2 – Mapa com a localização dos pontos de coleta de água para transporte de peixes.

O método de Bernoulli foi utilizado para calcular a probabilidade de se encontrar mexilhões inteiros no intestino das espécies de peixes selecionadas para o trabalho ( $P_{\text{mexilhões\_inteiros}}$ ). O método de Poisson foi utilizado para calcular a probabilidade de se encontrar mexilhões adultos vivos no intestino das espécies com

mexilhões inteiros em seus tratos digestórios ( $P_{\text{mexilhões\_vivos}}$ ) e de encontrar larvas vivas na água de transporte de peixes para a piscicultura. ( $P_{\text{larvas vivas}}$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados mexilhões inteiros em *P. granulatus*, *M. aculeatus* e *I. labrosus*. Os dois últimos representando novas citações de espécies que se alimentam do molusco no Rio Paraná. Porém, indivíduos vivos foram encontrados apenas em *P. granulatus* (Tabela II). A maior quantidade de mexilhões vivos foi encontrada no estômago, provavelmente por relacionar-se a uma recente ingestão. O tempo de permanência e o processo de digestão foram suficientes para que a maioria dos mexilhões tivesse suas partes moles digeridas pelos peixes. 85,4% dos mexilhões foram encontrados abertos no intestino de *P. granulatus* e 97,7% no intestino de *M. aculeatus*, o que pode significar um processo de digestão mais eficiente para *M. aculeatus*.

Em *P. granulatus* e *M. aculeatus* foram encontradas grandes quantidades de mexilhões, chegando em muitos casos a 100% do conteúdo de todo o trato digestório. Uma média de 88 mexilhões por peixe foi observada para *P. granulatus*, sendo que a maior quantidade encontrada foi de 387 em um indivíduo. Para *M. aculeatus* a média foi de 316 mexilhões por peixe e a maior quantidade foi de 606 mexilhões em indivíduo. Considerando indivíduos de mesmo peso das duas espécies, *M. aculeatus* ingeriu mexilhões de menor comprimento médio ( $6,4 \text{ mm} \pm 3,1 \text{ DS}$ ) que *P. granulatus* ( $14,8 \text{ mm} \pm 6,6 \text{ DS}$ ) Teste t ( $p < 0,05$ ). Isto pode estar relacionado ao aparato trófico das duas espécies e a seus hábitos alimentares. *P. granulatus* apresenta uma boca terminal larga, com uma banda de dentes viliformes. Os dentes faríngeos são pequenos e estão dispostos em placas. Sua dieta tem sido descrita como onívora, constituída principalmente por frutos silvestres, crustáceos, moluscos e outros componentes animais e vegetais (RINGUELET *et al.*, 1967 em MONTALTO *et al.*, 1999). *M. aculeatus* é uma espécie detritívora que se alimenta principalmente de esponjas, detritos orgânicos, briozoários, gastrópodes, quironomídeos e trichópteros. Apresenta boca ventral e lábios que o mantém aderido ao substrato por sucção. Apresenta estômago definido e intestino longo em forma de espiral e com diâmetro interno menor do que *P. granulatus* (DELARIVA & AGOSTINHO, 2001)

Tabela II – Quantidades totais de mexilhões inteiros e vivos encontrados no trato digestório das espécies coletadas.

Espécies	n peixes	nº de peixes com mexilhões vivos no intestino	nº total de mexilhões no estômago	nº total de mexilhões nas 3 porções do intestino	nº total de mexilhões vivos no estômago	nº total de mexilhões vivos na porção final do intestino
<i>Pterodoras granulosus</i>	29	3	339	2198	70	4
<i>Megalancistrus aculeatus</i>	8	0	610	1913	0	0
<i>Satanoperca papaterra</i>	3	0	0	0	0	0
<i>Potamotrygon motoro</i>	2	0	0	0	0	0
<i>Iheringichthys labrosus</i>	4	0	0	1	0	0
<b>Total</b>	<b>46</b>	<b>3</b>	<b>949</b>	<b>4112</b>	<b>70</b>	<b>4</b>

Os dados observados neste trabalho são semelhantes aos encontrados por vários autores para *Dreissena polymorpha* na Europa e na América do Norte (FRENCH & LOVE, 1995; FRENCH & BUR, 1993, 1996). MONTALTO *et al.* (1999) consideram que o hábito bentônico de *D. polymorpha* limita seu consumo por parte dos peixes e que as características do médio rio Paraná fornecem uma maior diversidade de substratos para fixação de *L. fortunei*, o que possibilita sua presença tanto no bentos quanto no perifiton, significando um consumo do molusco por espécies de peixes de diferentes hábitos alimentares.

Embora a maioria das espécies utilizadas comercialmente na piscicultura paranaense não esteja representada neste trabalho, tanto *P. granulosus* quanto *M. aculeatus* são importantes recursos pesqueiros na região oeste do Estado do Paraná e são consumidos em grande quantidade pela população local. Iniciativas de cultivo, principalmente de *P. granulosus* têm sido implementadas por prefeituras municipais da região e órgãos de extensão, o que tem levado à captura e transporte destas espécies para regiões próximas. Além disso, *L. fortunei* tem alterado a dieta alimentar de várias espécies no rio da Prata e rio Paraná (GARCÍA & PROTOGINO, 2005), criando a possibilidade de peixes comumente utilizados na piscicultura passarem a incluir este molusco em suas dietas, o que significaria um maior risco de dispersão da espécie.

No caso da água de transporte de peixes, foram encontradas larvas vivas de *L. fortunei* em 84,4% das 32 amostras coletadas dos tanques de transporte. Não foram encontradas larvas nas quatro amostragens do ponto H (município de Guaira) e em uma das amostragens do ponto E (município de Itaipulândia) (Tabela III). A tabela III também mostra uma tendência de decréscimo da quantidade de larvas vivas com o passar do tempo. A grande variação na densidade de larvas que foi de zero a 16.326 / m<sup>3</sup> mostra a dificuldade para se estimar com precisão a densidade de larvas desta

espécie em uma região de grandes dimensões, já que o micro-habitat pode influenciar significativamente nos resultados.

Tabela III – Quantidades de larvas vivas de *Limnoperna fortunei* encontradas no tanque de transporte de peixes em diferentes tempos (Tempo 0 = Horário de coleta, 0,5 = Meia hora após a coleta, 2 = 2 horas após a coleta e 2,5 = duas horas e meia após a coleta).

Ponto de Coleta	Larvas / m <sup>3</sup> Tempo 0	Larvas / m <sup>3</sup> Tempo 0,5	Larvas / m <sup>3</sup> Tempo 2	Larvas / m <sup>3</sup> Tempo 2,5
A	54	180	18	18
B	16326	13410	8946	8100
C	6930	1854	3978	3600
D	54	108	72	72
E	18	18	0	18
F	450	144	72	54
G	72	54	36	36
H	0	0	0	0

A comercialização de alevinos de peixes é outro ponto importante a ser discutido quando se trata de risco de dispersão de *L. fortunei*. A região de Toledo e Cascavel é uma das maiores produtoras do país e comercializa sua produção para todo o Estado do Paraná e demais Estados próximos. Esta atividade não foi considerada no presente estudo, pois nenhum dos produtores da região oeste capta água diretamente do rio Paraná, estando suas fontes de água ainda livres da invasão pelo molusco. Porém, se isto ocorrer, provavelmente esta será uma atividade de grande potencial dispersor da espécie.

Ajustando o modelo de Bernoulli para cálculo da probabilidade de encontrarmos mexilhões inteiros no trato digestório das espécies selecionadas temos:

$$P(\text{mexilhões\_inteiros}) = 17 / 46 = 0,3695 * 100 = 36,95\%$$

Ajustando o modelo de Poisson para calcular a probabilidade de encontrarmos mexilhões vivos no trato digestório das espécies selecionadas dado que estas tenham ingerido mexilhões temos:

$$P(Y = 0) = e^{-\theta t}$$

$$P(Y \geq 1) = 1 - P(Y = 0) = 1 - e^{-\theta t}$$

$$P(Y \geq 1) = 1 - e^{-0,099261 * 0,28637} = 0,028025 * 100 = 2,8\%$$

Onde  $\theta$  é a taxa de ocorrência e  $t$  é a quantidade amostrada. Logo a probabilidade de encontrar mexilhões vivos no intestino de peixes será:

$$P(\text{mexilhões\_vivos}) = (0,3695 * 0,028025) * 100 = 1,036\%$$

Ajustando o modelo de Poisson para calcular a probabilidade de encontrarmos larvas na água da piscicultura temos:

$$P(Y = 0) = e^{-\theta}$$

$$P(Y \geq 1) = 1 - P(Y = 0) = 1 - e^{-7,611657} = 0,9995053 * 100$$

$$P(\text{larvas\_vivas}) = 99,95\%$$

Assumindo independência nas probabilidades P (mexilhões\_vivos) e P (larvas vivas) temos que:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B)$$

Logo a probabilidade de encontrar moluscos adultos ou larvas na atividade de transporte de peixes vivos (com base em amostras coletadas da região do rio Paraná) é dada por:

$$P(A \cup B) = 0,01036 + 0,9995 - 0,01035 = 0,9995 * 100 = 99,95\%$$

Fica evidente que a piscicultura tem um grande potencial como vetor de dispersão de *L. fortunei* para áreas ainda não invadidas, já que juvenis e adultos dessa espécie de molusco podem ser transportados vivos no trato digestivo de peixes que incluem o molusco em sua dieta e larvas da espécie podem ser transportadas vivas na água de transporte de peixes. Além disso, embora *P. granulatus* e *M. aculeatus* não sejam espécies migradoras, a permanência de moluscos vivos no trato digestório de peixes capturados do ambiente natural indica que a migração de peixes pode ser considerada um vetor de dispersão de *L. fortunei* entre bacias hidrográficas conectadas, o que não é o caso do rio Iguaçu que apresenta as Cataratas do Iguaçu como uma grande barreira física à migração, mas é o caso do rio Paraná e Paraguai.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia Paranaense de Energia e à Agência Nacional de Energia Elétrica pelo investimento financeiro e aos pesquisadores do Nupelia/UEM pelo apoio durante as coletas.

## CAPÍTULO VI ANÁLISE DE RISCO

### 6.1- PREFÁCIO

Este último capítulo tem como objetivo apresentar uma metodologia para analisar todos os dados obtidos durante o trabalho de forma sucinta e clara para que possa se transformar em uma ferramenta, que nas mãos dos governos Federal e Estadual, em parceria com instituições de pesquisa e o setor privado, possa ser utilizada para a prevenção da invasão por *L. fortunei* em outros corpos d'água.

Como todo modelo, este foi desenvolvido para que possa ser discutido e aprimorado constantemente, agregando mais informações e novos conhecimentos, podendo ser desenvolvido inclusive para outras espécies invasoras.

Os modelos probabilísticos e de análise fatorial aplicados neste trabalho se mostraram apropriados para os dados. O cálculo do perigo de cada atividade, identificada como vetor de dispersão do molusco, necessitava de uma metodologia capaz de transformar os dados qualitativos, obtidos com a aplicação dos questionários, em dados quantitativos, que no final, gerassem um número, de zero a um, que fosse capaz de representar a força com que essas atividades atuam em cada região. Segundo FURTADO *et al.* (2003), a análise fatorial objetiva descrever, se possível, as relações de covariância entre diversas variáveis em função de poucas, não observáveis, quantidades aleatórias chamadas fatores. Ou seja, essa técnica permite que se extraia um número reduzido de fatores, que são combinações lineares das variáveis originais, perdendo o mínimo de informação possível, permitindo o cálculo de valores não observáveis nos dados originais como por exemplo os escores fatoriais (JOHNSON & WICHERN, 1998).

Estes escores estarão quantificando e ordenando a diferença entre os indivíduos que foram abordados durante a aplicação dos questionários, diminuindo ao máximo a interpretação subjetiva dos resultados.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) foi utilizado para que os resultados obtidos com a aplicação de novos questionários ou novos dados de probabilidade possam ser agregados automaticamente ao modelo, gerando novos resultados e para que os resultados sejam visualizados espacialmente de forma precisa e clara.

**ANÁLISE DE RISCO DE BIOINVASÃO POR *LIMNOPERNA FORTUNEI* (DUNKER, 1857) (MOLLUSCA-MYTILIDAE) NA BACIA DO RIO IGUAÇU, PARANÁ, BRASIL.**

**ABSTRACT.** Risk analysis for *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mollusca-Mytilidae) bioinvasion for Iguaçú River basin, Paraná, Brasil. The invasive golden mussel *Limnoperna fortunei* had dispersed in many hydrographic basins in Argentina, Uruguay, Paraguay, Bolivia and Brazil, reaching high densities and causing great economic and ecological impacts. Remediation or mitigation of impacts is difficult and prevention measures, although important, are rarely used. The objective of this work is to develop a risk analysis method for *L. fortunei* bioinvasion, taking in consideration dispersion vectors and their strengths for three reservoirs in Iguaçú basin. The main vectors identified were: sport fishery, transport and commerce of sand and aquaculture. Questionnaires were used at the three reservoirs and a factorial analysis was applied to scores for each activity. These scores multiplied by the probability of find the mussel adults or larvae for the activities yield a risk coefficient for each region. The Foz do Areia presented the highest coefficient ( $CRG = 0,2113$ ). These coefficients and data were represented in a Geographical Information System (GIS).

**KEY WORDS:** Bioinvasion; Invasive mollusks; Risk analysis, Iguaçú River, GIS.

**RESUMO.** O bivalve invasor *Limnoperna fortunei* tem dispersado por várias bacias hidrográficas da Argentina, Uruguai, Paraguai, Bolívia e Brasil. As altas densidades que esta espécie tem alcançado nestes locais vêm gerando grandes impactos econômicos e ambientais de difícil correção e medidas de prevenção, embora importantes, estão sendo pouco utilizadas. Este trabalho teve como objetivo propor um método de análise de risco de bioinvasão pela espécie, levando em consideração seus vetores de dispersão e uma análise da força destes vetores em três reservatórios de água da bacia do rio Iguaçú. Questionários foram aplicados em cada um dos três reservatórios onde foram identificados como principais vetores de dispersão: a pesca esportiva, o transporte e comercialização de areia e a piscicultura. Uma análise fatorial foi utilizada para obtenção de escores para cada atividade. Estes escores multiplicados



pela probabilidade de encontrar adultos ou larvas da espécie nas três atividades geraram um coeficiente de risco para cada região. O reservatório de Foz do Areia obteve o maior coeficiente ( $CRG = 0,2113$ ). Estes coeficientes foram espacializados com a utilização de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

**PALAVRAS CHAVE:** Bioinvasão; Moluscos Invasores; Rio Iguaçu; Risco, SIG.

O molusco invasor *Limnoperna fortunei* é originário de rios do sudeste asiático (MORTON, 1973). Seu primeiro caso de bioinvasão ocorreu em 1965, quando foi encontrado em águas de Hong Kong (MORTON, 1975). Mais tarde, também foi introduzido no Japão (KIMURA, 1994), na Korea e em Taiwan (RICCIARDI, 1998). Em 1991, *L. fortunei* foi detectado pela primeira vez no estuário do Rio da Prata na Argentina (PASTORINO *et al.*, 1993) e desde então a espécie vem expandindo sua distribuição por outros países da América do Sul como Uruguai, Paraguai e Brasil (DARRIGRAN & PASTORINO, 2003; SCARABINO & VERDE, 1994; DARRIGRAN & EZCURRA DE DRAGO, 2000; MANSUR *et al.*, 2003 e AVELAR *et al.*, 2004).

Sua presença nestes locais tem gerado uma série de impactos ambientais e econômicos (DARRIGRAN, 2002) que ainda necessitam de maiores estudos, mas já demonstraram que são irreversíveis em muitos dos casos. Neste sentido, tornam-se importantes os trabalhos de prevenção da invasão de novos ambientes. Porém, a rápida disseminação da espécie e a existência de um grande número de vetores de dispersão, muitos deles ainda desconhecidos, dificultam a implementação de ações de prevenção. O objetivo deste trabalho é desenvolver e aplicar um modelo de análise de risco de dispersão da espécie baseado em observações de campo e levantamento do perfil dos principais vetores de dispersão identificados até o momento para a bacia do rio Iguaçu, no Estado do Paraná. O modelo tem como objetivo fornecer subsídios para tomadas de decisões por parte de gestores ambientais, fornecendo informações de forma clara e objetiva para que esforços possam ser direcionados para áreas prioritárias. A inserção dos dados em um Sistema de Informações Geográficas torna possível a constante atualização das informações e introdução de novos dados, como novos vetores de dispersão que possam ser identificados.

## MATERIAL E MÉTODO

O trabalho foi desenvolvido entre o período de outubro de 2004 e outubro de 2005 em três reservatórios de água da bacia do rio Iguazu (Salto Caxias, Foz do Areia e Irai). Os dois primeiros de usinas hidrelétricas da Companhia Paranaense de Energia (Coordenadas planas UTM SAD69 7172484,086 S - 248103,889 W / 7123268,672 S - 432655,958 W) e o terceiro de abastecimento de água do município de Curitiba, gerenciado pela Companhia de Saneamento do Paraná (Coordenadas planas UTM SAD69 7186592,401 S - 689794,542 W) (Figura 1).

Para obtenção do risco de bioinvasão associado a cada uma das atividades identificadas como potenciais dispersoras de larvas e adultos do molusco foi considerada a equação ( $R = P_b \times P_e$ ) onde  $R$  é o risco de cada vetor de dispersão,  $P_b$  é a probabilidade que cada vetor possui de transportar larvas ou adultos do molusco e  $P_e$  corresponde ao perigo deste vetor para cada uma das regiões. As probabilidades foram extraídas dos capítulos anteriores desta tese (Cap. IV – seções 3, 4 e 5). Para a estimativa dos perigos ou forças de cada vetor em cada uma das três regiões foi traçado um perfil das atividades (pesca esportiva, transporte de areia e piscicultura) a partir da aplicação de questionários e entrevistas com informantes-chave (Tabelas I). As perguntas foram direcionadas para pescadores esportivos com embarcação própria, empresas de comercialização de materiais de construção e fazendas de piscicultura em cada uma das três regiões de estudo. Foram realizados no total, 106 questionários para pescadores, 95 para materiais de construção e 92 para fazendas de piscicultura. As respostas foram dicotomizadas para zero ou um (0 – 1), sendo zero para as respostas que não representavam risco de dispersão e 1 quando as respostas estavam associadas a algum risco de dispersão de formas larvais ou adultas da espécie.

Tabela I – Perguntas aplicadas para traçar o perfil de cada atividade nas três regiões de estudo.

Pesca Esportiva	Transporte de Areia	Piscicultura
Pesca na região infestada*	Extraída de região infestada*	Compra Alevinos*
Pesca na região infestada + 1 vez/mês*	Contato final com água*	Compra alevinos de região próxima à infestada*
Pesca na região onde foi entrevistado + 1 vez/mês*	Transporta mais que 1 vez/semana*	Compra mais de 60000 alevinos / ano*
Carrega o Barco p/ Pescaria*	A areia é tratada*	Compra peixes adultos*
Barco sujo*	Areia úmida*	Compra peixes adultos de região próxima à infestada*
Esgota água do barco	Granulometria grossa*	Compra mais de 10000 adultos / ano*
Usa Isca viva*	Monte com mais de 10 dias	Trata água
Ancora o barco*	Sabe do problema	Compra de distâncias maiores que 450 km*
Prefere pescar no reserv. que foi entrevistado		Troca a água no caminho
Pesca em outras regiões*		Compra espécies que se alimentam do mexilhão*
Percorre distâncias > que 150km*		Sabe do problema
Sabe do problema		
Possui embarcação > que 6m*		

\* Corresponde às perguntas cujas respostas positivas valem 1 e as negativas valem 0. Nas demais perguntas o sim vale 0 e o não vale 1.

Os resultados foram tratados pelo método de análise fatorial, consistindo de 6 etapas: 1- Cálculo do coeficiente de correlação das respostas obtidas com os questionários. Para este cálculo utilizou-se o coeficiente de correlação tetracórico, já que os dados obtidos eram qualitativos e dicotomizados; 2- Com a matriz de coeficientes gerada, calculam-se os carregamentos fatoriais por meio da multiplicação da raiz quadrada dos autovalores pelos seus respectivos autovetores. 3- Gera-se uma matriz de multiplicação que multiplicada pelos dados originais dos questionários padronizados, produz uma matriz de escores fatoriais. 4- Transforma-se a matriz de escores fatoriais em um vetor de escores para cada grupo de respostas de cada entrevistado. 5- Obtém-se um escore fatorial para cada entrevistado e padronizam-se os valores para uma escala de zero a um. 6- Para cada questionário calcula-se a mediana dos valores dos escores padronizados, obtendo-se os valores que convencionalmente foram chamados de perigo.

Depois de calculado o risco de bioinvasão para cada atividade em cada região e assumindo que se tratam de riscos independentes, utilizou-se a equação abaixo para estimar o coeficiente de risco global inerente a cada região de estudo.

$$CRG = \frac{(P_b \text{ pesca} \times P_e \text{ pesca}) + (P_b \text{ areia} \times P_e \text{ areia}) + (P_b \text{ piscicultura} \times P_e \text{ piscicultura})}{3}$$

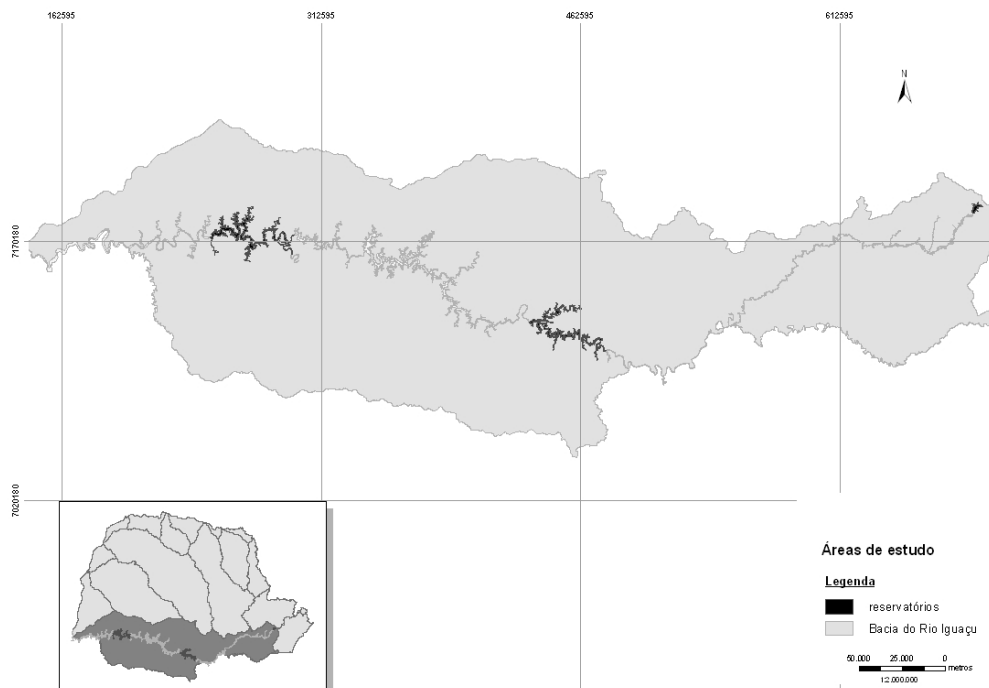


Fig. 1 – Localização das três áreas de estudo na bacia do rio Iguazu.

A tabela obtida com os valores de  $P_b$ ,  $P_e$ ,  $R$  e  $CRG$  foi inserida no software *ArcView 9,0* com o objetivo de criar um banco de dados georreferenciado que possa ser atualizado constantemente e no qual o risco global de cada região possa ser visualizado de forma clara e didática, apresentando cada resultado com um padrão de cores diferenciado.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos com o modelo proposto estão descritos na Tabela II. A maior probabilidade de encontrar larvas ou adultos da espécie foi atribuída à atividade piscicultura. Isto é coerente com o observado em campo, já que as condições da água de transporte de peixes são adequadas para a sobrevivência das larvas do mexilhão dourado. A menor probabilidade foi atribuída ao transporte de areia, já que o número de mexilhões vivos encontrados nesta atividade foi muito baixo em relação à quantidade de areia analisada. Os valores de probabilidade são os mesmos independentemente da região estudada, já que se referem às probabilidades de encontrar moluscos em cada uma das atividades em locais infestados. No entanto, o perigo foi calculado com base no perfil da atividade em cada região de estudo. No caso dos barcos, o maior perigo foi atribuído à região de Foz do Areia, o que é condizente com as características deste reservatório. Foz do Areia é um reservatório de regulação, no qual o nível da água varia bastante. Este fato faz com que muitos pescadores da região se desloquem para áreas afastadas para pescar. Já em Salto Caxias existe uma preferência muito maior pela pesca no próprio reservatório, onde existe um maior número de áreas de lazer.

No caso da areia, o maior perigo foi atribuído à região de Caxias, já que a grande maioria das empresas entrevistadas na região compra areia do rio Paraná, onde existe a presença do molusco. No reservatório do Irai o perigo da areia é baixo, pois a grande distância até o rio Paraná faz com a maioria da areia comercializada seja das proximidades da região. Mesmo com a areia apresentando um perigo elevado, a multiplicação pela probabilidade gerou um risco baixo para este vetor.

O vetor com maior risco foi a piscicultura ( $R = 40,69\%$ ), resultado da multiplicação de uma alta probabilidade por um alto perigo, que seguiu um mesmo padrão para as três regiões.

O Coeficiente de Risco Global ( $CRG$ ) foi maior para o reservatório de Foz do Areia. O reservatório de Salto Caxias é o mais próximo da área já invadida, o que gerou a expectativa de que esta seria a região com maior risco. Porém, o fato da região apresentar um grande número de áreas de lazer de propriedade dos moradores locais, do turismo regional ser pouco explorado além das fronteiras municipais e do vetor transporte de areia, que é o que gerou maior perigo para a região, ter tido pouca expressão sobre o resultado final, fizeram com esta região fosse a de menor risco global. Mesmo assim, todos os riscos globais foram considerados significativos, com uma média geral de 19,7%.

Tabela II – Valores de risco e risco global para cada uma das regiões estudadas.

Parâmetros	Salto Caxias	Foz do Areia	Irai
$P_{b\_barcos}$	0,6482	0,6482	0,6482
$P_{e\_barcos}$	0,2020	0,2990	0,2303
$R_{barcos}$	0,1309	0,1938	0,1493
$P_{b\_areia}$	0,0055	0,0055	0,0055
$P_{e\_areia}$	0,9000	0,6023	0,2468
$R_{areia}$	0,0049	0,0033	0,0013
$P_{b\_piscic.}$	0,9995	0,9995	0,9995
$P_{e\_piscic.}$	0,4071	0,4369	0,4470
$R_{piscic.}$	0,4069	0,4367	0,4468
<b>CRG</b>	<b>0,1809</b>	<b>0,2113</b>	<b>0,1991</b>

$P_b$  – Probabilidade,  $P_e$  – Perigo,  $R$  – Risco e  $CRG$  – Coeficiente de Risco Global

A metodologia probabilística e a análise fatorial se mostraram ferramentas adequadas para aplicação em análise de risco. Um método semelhante de cálculo de probabilidades foi aplicado por JOHNSON *et al.* (2001) na tentativa de estimar a probabilidade de encontrar larvas ou adultos de *Dreissena polymorpha* em barcos de pesca no lago St. Clair, Michigan, USA. Porém, o método de *Bernoulli*, que estima a probabilidade, baseado na presença ou ausência de moluscos, associado ao método de *Poisson*, que considera também a quantidade de organismos encontrada em cada

atividade, se mostrou mais adequado aos dados. Vários autores têm utilizado métodos matemáticos para estimar o risco de bioinvasões (HASTINGS, 1996). O modelo de análise fatorial tem sido utilizado em várias pesquisas, como o trabalho de TOLEDO & NICOLELLA (2002), onde o método foi utilizado para calcular um índice de qualidade de água em microbacias, ou o trabalho de FURTADO *et al.* (2003), no qual o modelo foi utilizado para ordenar áreas de conservação de acordo com sua importância. Trata-se de um método que objetiva descrever, quando possível, a estrutura de covariância do relacionamento entre várias variáveis em termos de um número menor de variáveis não observáveis, denominadas fatores que podem ser analisados e ordenados na forma de escores, reduzindo ao máximo a subjetividade na interpretação dos dados (JOHNSON & WICHERN, 1998).

O resultado final depende da formatação e do número de questionários aplicados. Por este motivo, o modelo proposto deve ser constantemente aprimorado e utilizado para outras regiões ou outras espécies invasoras. A ênfase maior foi dada para vetores antrópicos e para a dispersão de *L. fortunei* para corpos d'água não conectados, já que são as condições encontradas na área de estudo (rio Iguazu). Porém, para outras bacias hidrográficas é possível acrescentar ao modelo outros vetores como migração de peixes e transporte fluvial, que têm maior relação com a dispersão por corpos d'água conectados.

A utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) permite uma atualização automatizada dos dados e uma visualização espacial dos resultados, tornando-se uma ferramenta de grande aplicação na sistematização do processo (GOODCHILD *et al.*, 1993). Vários pesquisadores que trabalham com espécies invasoras têm aplicado esta tecnologia a seus dados como MILLER & IGNÁCIO (1994) e HALTUCH *et al.* (2000). As figuras 2, 3 e 4 representam espacialmente os resultados obtidos com a criação do banco de dados no software ArcView 9,0.

**Coefficiente de Risco Global (CRG) das áreas estudadas**

**Reservatório de Salto Caxias**  
**CRG = 0,1809**

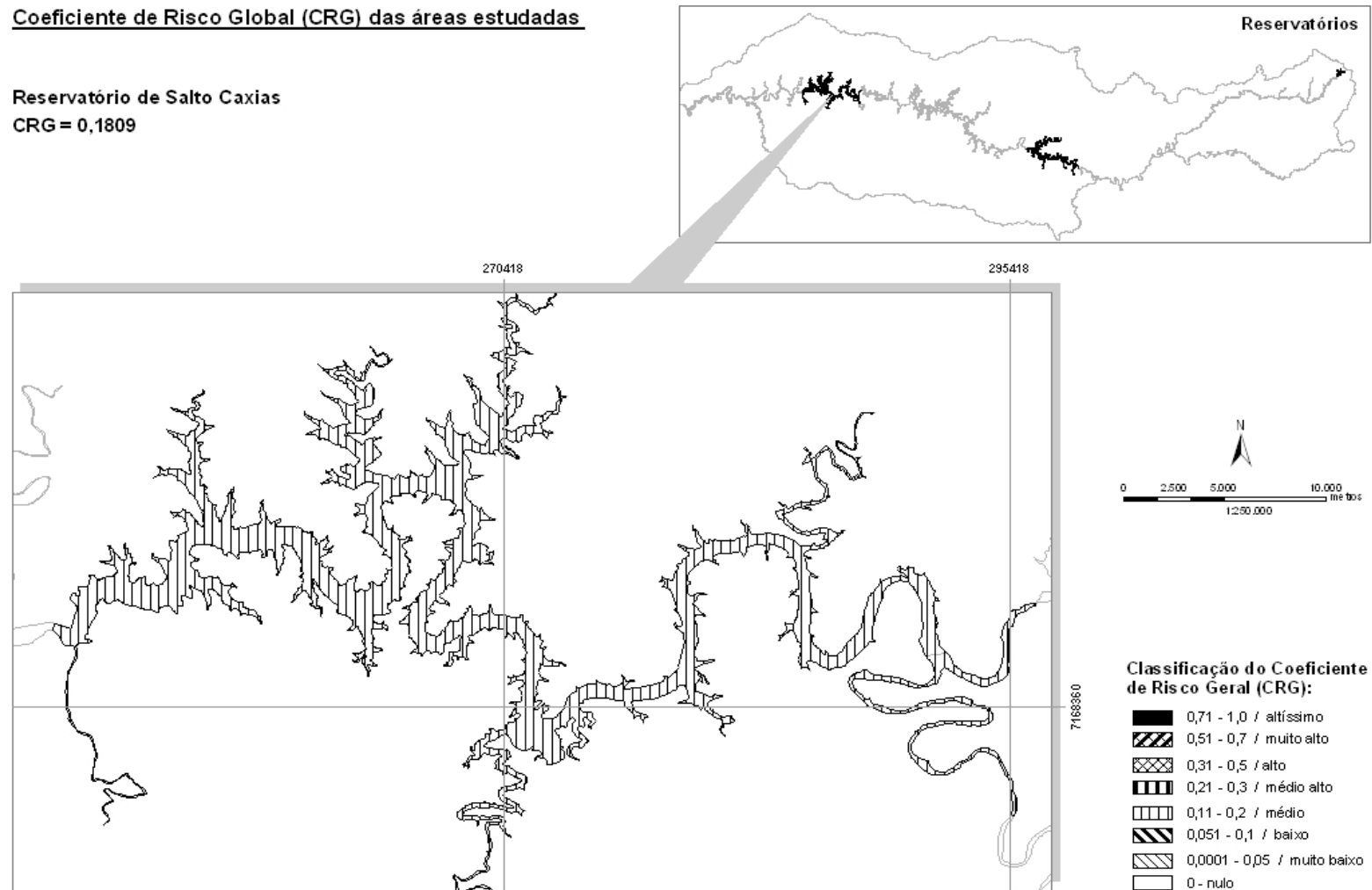


Fig. 2 – Imagem gerada pelo banco de dados do software ArcView 9,0 com o valor do (CRG) para o reservatório de Salto Caxias

Coefficiente de Risco Global (CRG) das áreas estudadas

Reservatório de Foz do Areia  
CRG = 0,2113

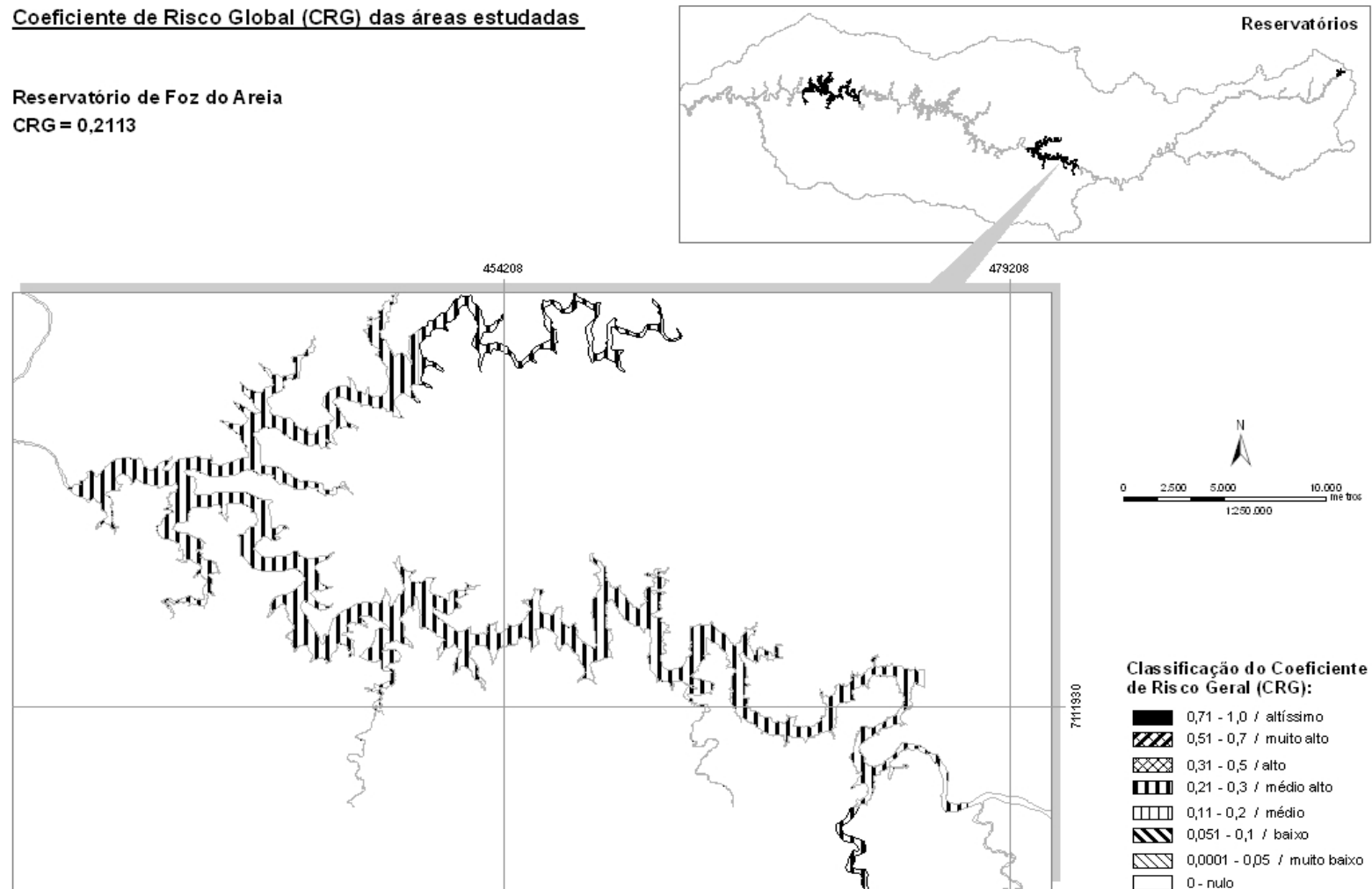


Fig. 3 – Imagem gerada pelo banco de dados do software ArcView 9,0 com o valor do (CRG) para o reservatório de Foz do Areia.



Coefficiente de Risco Global (CRG) das áreas estudadas

Reservatório do Irai  
CRG = 0,1991

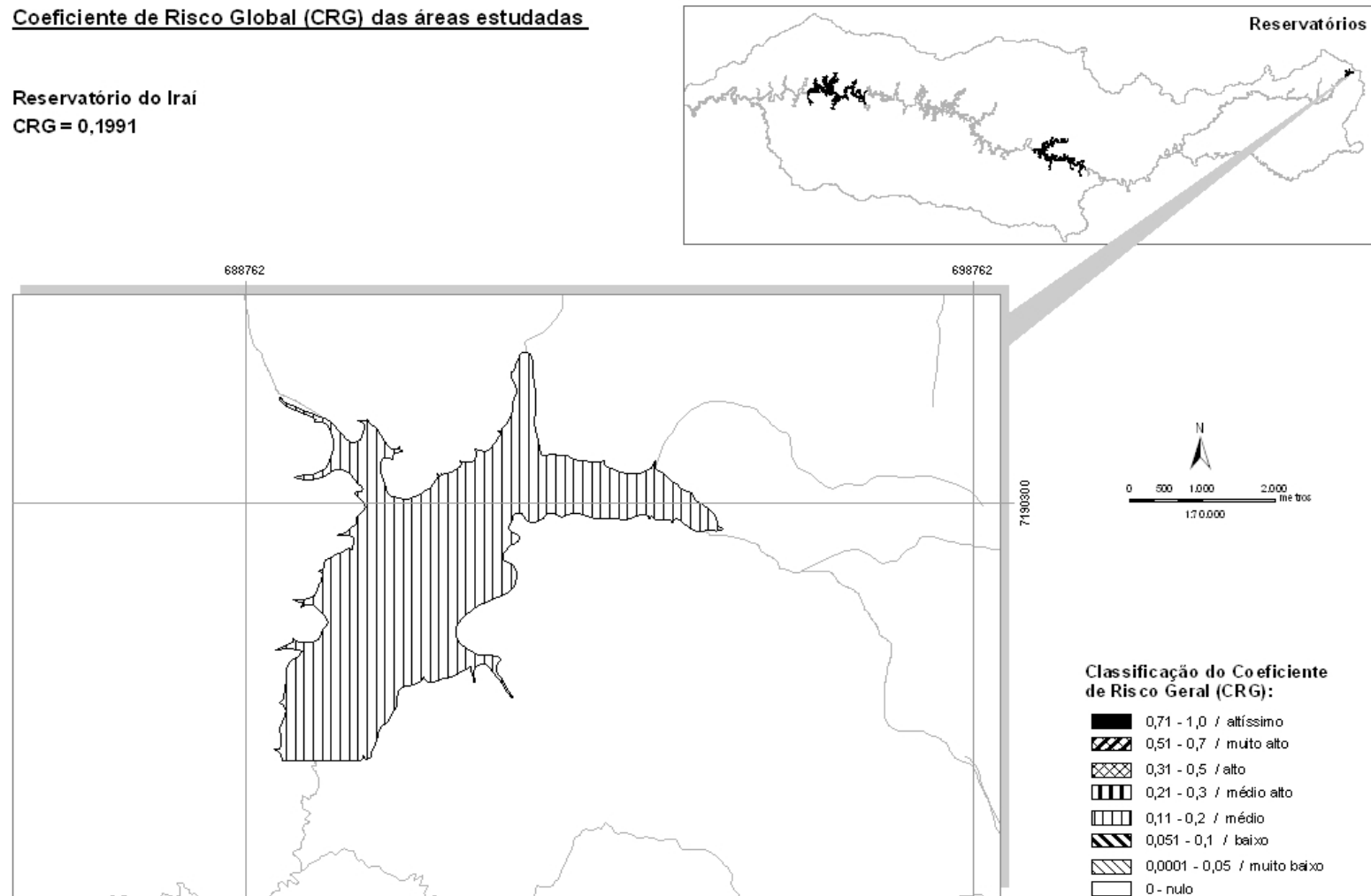


Fig. 4 – Imagem gerada pelo banco de dados do software ArcView 9,0 com o valor do (CRG) para o reservatório do Irai.

## CAPÍTULO VII CONCLUSÕES

Espécies invasoras vêm há muito tempo causando importantes alterações globais, como degradação de habitats, extinção de espécies da flora e fauna nativas e alterações na estrutura dos ecossistemas, além de causar uma série de impactos econômicos (ANTONIO *et al.*, 2001). Embora seja um assunto discutido há muitos anos e ultimamente esteja fazendo parte do discurso de ambientalistas no mundo todo, o que se vê na prática é que pouca importância tem se dado ao assunto. Muitas pesquisas têm direcionado seu foco para a biologia das espécies e o monitoramento de sua dispersão e pouca ênfase tem sido dada a trabalhos de prevenção. O trabalho de CARLTON & RUIZ (2004) que discute o conceito e aplicação da ciência dos vetores e o trabalho de ARIM *et al.* (2006) que discute a teoria da invasão, indicam que o caminho mais sensato a seguir passa por uma análise profunda dos processos que envolvem a chegada e a dispersão destas espécies em novos ambientes. Somente desta forma seremos capazes de intervir no processo e minimizar os impactos causados pelas invasões biológicas.

Muitas visões pessimistas cercam o tema prevenção. Realmente, aprofundamentos neste tema exigem muito esforço e poucas vezes se chega a algum resultado conclusivo com apenas um trabalho, mas é um caminho que evidencia o quanto ainda se desconhece do assunto.

Este trabalho é uma tentativa de uma discussão mais criteriosa sobre o avanço de *L. fortunei* pelas bacias hidrográficas brasileiras. Embora alguns temas como a suscetibilidade dos ambientes à invasão por esta espécie tenham tido pouca ênfase, a identificação de possíveis vetores de dispersão e a proposição de um modelo de análise de risco, criam subsídios para adoção imediata de ações concretas de prevenção, com a atuação direta sobre os principais vetores e sobre áreas prioritárias, onde o risco é mais elevado. Porém, isto depende também de ações políticas, o que torna necessário levar estes conhecimentos a instâncias governamentais. Por outro lado, a intervenção direta sobre os vetores de dispersão, principalmente sobre os antrópicos, exige cuidado para que atividades econômicas envolvidas não sejam penalizadas pela falta de conhecimento mais aprofundado do processo de dispersão da espécie e da sua biologia.

O caminho a ser seguido deve ser o da união de esforços e da multidisciplinaridade, criando uma frente única de discussão do tema, somando esforços de pesquisadores de diferentes regiões e diferentes áreas do conhecimento para juntos criarem mecanismos para controlar este problema.

## REFERÊNCIAS

- ACKERMAN, J. D.; ETHIER, C. R.; ALLEN, D. G. & SPELT, J. K. 1993. Biomechanics of byssal adhesion in zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): tests with a rotating disk.1 (16): 265-282.
- ACKERMAN, J. D.; SIM, B.; NICHOLS, S. J. & CLAUDI, R. 1994. A review of the early life history of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): comparisons with marine bivalves. Canadian Journal of Zoology. Ottawa, 72: 1169-1179.
- ANTONIO, C. D.; MEYERSON, L. A. & DENSLOW, J. 2001. In: Conservation Biology Research Priorities for the Next Decade, eds. Soulé, M. E. & Orians, G. H. Island, Washinton, DC. pp. 59-80.
- ARIM, M.; ABADES, S. R.; NEILL, P.E.; LIMA, M. & MARQUET, P.A. 2006. Spread dynamics of invasive species. PNAS, 103(2): 374-378.
- AVELAR, W. E. P.; MARTIM, S. L. & VIANNA, M. P. 2004. A new occurrence of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1856) (Bivalvia, Mytilidae) in the State of São Paulo, Brazil. Braz. J. Biol., 64(4): 739-742.
- BAGGIO, E. C.; SHIBATA, E. K.; LOURENÇO, G. M.; VOLACO, G. & JUCHEN, P. A. 1992. Cenário hidroelétrico-ambiental para o Estado do Paraná. Curitiba: Surehma. p. 79.
- BELANGER, S. E.; FARRIS, J. L.; CHERRY, D. S. & Jr. CAIRNS, J. 1985. Sediment preference of the freshwater Asiatic clam, *Corbicula fluminea*. The Nautilus. 99(2-3) 66-73.
- BELZ, C. E.; BOEGER, W. A. P.; ALBERTI, S. M.; PATELLA, L. & VIANNA, R. T. 2005. Prospecção do molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em reservatórios e sistemas de usinas hidrelétricas da Companhia Paranaense de Energia – Copel. Acta Biológica Leopoldensia. 27(2): 123-126.
- BELZ, C. E.; NETTO, O. S. M.; SILVA, A. S.; BOEGER, W.; ALBERTI, S. M. & RODRIGUES, L. H. 2005. Prospecção de moluscos bivalves invasores na bacia do rio Iguaçu, Paraná, Brasil. Congresso Brasileiro de Malacologia. Rio de Janeiro, RJ. Anais, p. 320.
- BERTALANFFY, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. Human Biology, Baltimore, 10: 181-213.
- BHATTACHARYA, C. G. 1967. A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components. Biometrics, Washington, 23: 115-135.
- BOLTOVSKOY, D. & CATALDO, D. H. 1999. Population dynamics of *Limnoperna fortunei*, an invasive fouling mollusc, in the lower Parana river (Argentina).Biofouling 14 (3): 255-263.

- BRIGHT, C. 1998. Life out of Bounds: Bio-invasion in a borderless world p. 287. W.W. Norton & Company, New York.
- BRUGNOLI, E. & CLEMENTE, J. M. 2002. Los moluscos exóticos en la Cuenca del Plata: su potencial impacto ambiental y económico. Sección Limnología. Facultad de Ciencias. Universidad de la República Oriental del Uruguay.
- BUCHAN, L. A. J. & PADILLA, D. K. 1999. Estimating the probability of long-distance overland dispersal of invading aquatic species. *Ecological Applications* 9:254-265.
- BURLAKOVA, L. E.; KARATAYEV, A. Y.; & PADILLA, D. K. 2000. The impact of *Dreissena polymorpha* (Pallas) invasion on unionid bivalves. *International Review of Hydrobiology* 85 (5-6): 529-541.
- CALLIL, C. T. & MANSUR, M. C. D. 2002. Corbiculidae (Mollusca, Bivalvia) in Pantanal of Mato Grosso, high Paraguay Basin, Brazil: distribution and population density. *Amazoniana*, Kiel, 17 (1/2): 1-15.
- CARLTON, J. T. 1993. Dispersal mechanisms of the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. pp. 677-697. In.: Nalepa, T. F. & Schloesser, D. W., editors. *Zebra mussels: biology, impact and control*. CRC, Ann Arbor, Michigan, USA.
- CARLTON, J. T. 1999. The scale and ecological consequences of biological invasions in the World's oceans. *Invasive Species and Biodiversity Management*. p. 195-212. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- CARLTON, J. T. & GELLER, J. B. 1993. Ecological roulette: biological invasions and the global transport of nonindigenous marine organisms. *Science* 261: 78-82.
- CARLTON, J. T. & RUIZ, G. M. 2004. Vector science and integrated vector management in bioinvasion ecology: conceptual frameworks. In.: Money, H. A.; McNeely, J.; Neville, L. E.; Schei, P. J. & Waage J. K. eds., *Invasive Alien Species: A New Synthesis*. Island Press, Covelo California.
- CATALDO, D. & BOLTOVSKOY, D. 1998. Variación temporal en la actividad reproductiva de *Limnoperna fortunei* (Bivalvia) en el Rio de la Plata (Argentina). Simpósio internacional sobre gestão de recursos hídricos. Instituto de pesquisas hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CATALDO, D. & BOLTOVSKOY, D. 2000. Yearly reproductive activity of *Limnoperna fortunei* (Bivalvia) as inferred from the occurrence of its larvae in the plankton of the lower Parana river and the Rio de la Plata estuary (Argentina). *Aquatic Ecology* 34 (3): 307-317.
- CATALDO, D.; BOLTOVSKOY, D. & 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.
- CATALDO, D.; BOLTOVSKOY, D.; MARINI, V. & CORREA, N. 2002. Limitantes de *Limnoperna fortunei* en la cuenca del Plata: La predacion por peces. In. Tercera jornada sobre conservación de la fauna en el río Uruguay. Paysandu, Uruguay.
- CHOI, S. S. & KIM, J. S. 1985. Studies on the metamorphosis and the growth of larva in *Limnoperna fortunei*. Korean Journal of Limnology, Seoul, 1: 13-18.
- CLAUDI, R. 1995. Zebra mussel mitigation; Overview. In. Proceedings of the Fifth International Zebra Mussel and Other Aquatic Nuisance Organisms Conference, Toronto, Canada. pp. 47-55.
- COWIE, R. H. 2004. Disappearing snails and alien invasions: the biodiversity/conservation interface in the pacific. *Journal of Conchology*. Especial Publication 3 : 23-37.
- DARRIGRAN, G. 1997. Invading bivalves in South América. *Aliens* 5p. 3-4.
- DARRIGRAN, G. 2000. Invasive Freshwater Bivalves of the Neotropical Region. *Dreissena* 11:7 – 13.
- DARRIGRAN, G. 2002. Potencial impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments. *Biol. Invasions* 4: 145-156.
- DARRIGRAN, G. & COLAUTTI, D. 1994. Potencial control biologico del molusco invasor *Corbicula fluminea* (Muller, 1774) em el Rio de la Plata. *Com. Soc. Malac. Urug.* 7 (368-373).
- DARRIGRAN, G. & EZCURRA DE DRAGO, I. 2000. Ivasion of the exotic freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) in South America. *The Nautilus*, 114(2): 69-73.
- DARRIGRAN, G. & PASTORINO, G. 1993. Bivalvos invasores en el Río de La Plata, Argentina. *Comunicações de la Sociedad Malacologica Del Uruguay*, 7: 309-313.
- DARRIGRAN, G. & PASTORINO, G. 1995. The recent introduction of asiatic bivalve, *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) into Soth America. *The Veliger* 38: 183-187.
- DARRIGRAN, G. 2000. Potencial impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments. *Biological Invasions*. 4: 145-156.
- DARRIGRAN, G. & PASTORINO, G. 2003. Distribution of the golden mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), (Family Mytilidae) alter 10 years invading America. *Journal of Conchology*. Special Publication 3: 1-7.

- DARRIGRAN, G. A.; DAMBORENEA, M. C. & PENCHASZADEH, P. E. 1998. A case of hermaphroditism in the freshwater invading bivalve *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) from Rio de la Plata, Argentina. *Iberus*. 16(2):99-104.
- DARRIGRAN, G.; DAMBORENEA, C.; PENCHASZADEH, P. & TARABORELLI, C. 2003. Adjustments of *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae) after ten years of invasion in the Americas. *Journal of Shellfish Research*. 22(1): 141-146.
- DARRIGRAN, G.; MAROÑAS, M. E. & COLAUTTI, D. C. 2001. Tolerancia del “mejillón dorado” *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia:Mytilidae) a la exposición al aire. In.: Actas Seminario Internacional sobre gestión ambiental e hidroelectricidad. Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande. Argentina-Uruguay. p.123.
- DARRIGRAN, G.; MARTIN, S. M.; GULLO, B. & ARMENDARIZ, L. 1998. Macroinvertebrates associated with *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) in Rio de la Plata, Argentina. *Hydrobiologia* 367 (1-3): 223-230.
- DARRIGRAN, G.; PENCHASZADEH, P. & DAMBORENEA, M. C. 1999. The reproductive cycle of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) from a neotropical temperate locality. *Journal of Shellfish Research* 18 (2): 361-365.
- DARRIGRAN, G.; PENCHASZADEH, P. & DAMBORENEA, M. C. 2000. An invasion tale: *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) in the Neotropics. Proc. 10th International Aquatic Nuisance Species and Zebra-Mussels Conference, Toronto, Canadá: 219-224.
- DELARIVA, R. L. & AGOSTINHO, A. A. 2001. Relationship between morphology and diets of six neotropical loricariids. *Journal of Fish Biology*. 58: 832 – 847.
- Di CASTRI, F. 1989. History of biological invasions with special emphasis on the old world. Pages 130 in J. A. Drake, H. A. Mooney, F. di Castri, R. H. Groves, F. J. Kruger, M. Rejmanek, and M. Williamson, editors. *Biological invasions: a global perspective*. John Wiley & Sons, New York, New York. USA.
- DI PERSIA, D. & BONETTO, A. A. 1997. Nuevas citas de *Limnoperna fortunei* para la cuenca del río Paraná, Argentina. *Neotropica*. 43(109-110): 119-120.
- DRAKE, J. & BOSSENBROEK, J. 2004. The potential distribution of zebra mussels in the United States. *BioScience*. v54: 931-941.
- EZCURRA de DRAGO, I.; DARRIGRAN, G.; SCARABINO, F. & OLIVEROS, O.B. 1998. Actualización de la distribución de *Limnoperna fortunei* (Bivalvia, Mytilidae): Rio Uruguay y algunos tributarios. V Congreso Latinoamericano de Ecología.

- FERRIZ, R. A.; VILLAR, C. A.; COLAUTTI, D. & BONETTO, C. 2000. Alimentación de *Pterodoras granulosus* (Valenciennes) (Pisces, Doradidae) em la baja cuenca del Plata. Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat., n.s. 2: 151-156.
- FERRIZ, R. A.; VILLAR, C. A.; COLAUTTI, D. & BONETTO, C. 2000. Feeding habits of *Pterodoras granulosus* (Valenciennes) (Pisces, Doradidae) in the lower Plata Basin. Rev. Mus. Argent Cienc. Nat. Nueva. Ser. 2 (2): 151-156.
- FRENCH III, J. R. P. & BUR, M. T. 1993. Predation of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* by freshwater drum in western Lake Erie, 453-464 p. In: NALEPA, T. F. & SCHLOESSER, D. S. (eds.). "Zebra mussels: biology, impacts and control". Lewis Publishers, Inc. (Boca Raton). 810 p.
- FRENCH III, J. R. P. & BUR, M. T. 1996. The effect of Zebra Mussel consumption on growth of Freshwater Drum in Lake Erie. Journ. Freshwat. Ecol. 11 (3): 283-290.
- FRENCH III, J. R. P. & LOVE, J. G. 1995. Size limitation on Zebra Mussels consumed by Freshwater Drum may preclude the effectiveness of Drum as a biological controller. Journ. Freshwat. Ecol. 10 (4): 379-383.
- FURTADO, E. M.; NETO, A. C.; DOMINGUES, Z. H. & HOSOKAWA, R. T. 2003. Ranqueamento de faxinais do Estado do Paraná através da análise fatorial. Revista Ciências Exatas e Naturais. 5(1): 85-99.
- GARCÍA, M. L. & PROTOGINO, L. C. 2005. Invasive freshwater molluscs are consumed by native fishes in South América. J. Appl. Ichthyol. 21 (34-38).
- GAYANILO Jr., F. C.; SPARRE, P. & PAULY, D. 1996. FAO-ICLARM Stock Assessment tools. User's manual. Rome, Computerized information Series, Fisheries, 23p.
- GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O. & STEYAERT, L. T. 1993. Environmental modeling with GIS. Oxford University Press, New York, New York. USA.
- GOTO, Y. 2002. Behavior of nuisance mussel, *Limnoperna fortunei*, in water supply facilities. Water Science and Technology 46(11-12): 45-50.
- GRIFFITHS, R. W.; SCHLOESSER, D. W.; LEACH, J. H. & KOVALAK, W. P. 1991. Distribution and dispersal of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in the Great Lakes region. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 48: 1381-1388.
- GUILAM, M. C. R. 1996. O conceito de risco. Sua utilização pela epidemiologia, engenharia e ciências sociais. In: [www.ensp.fiocruz.br/projetos/esterisco/maryfim1.htm](http://www.ensp.fiocruz.br/projetos/esterisco/maryfim1.htm)



- HALTUCH, M. A.; BERKMAN, P. A. & GARTON, D. W. 2000. Geographic information system (GIS) analysis of ecosystem invasion: exotic mussels in Lake Erie. *Limnol. Oceanogr.*, 45(8). 1778-1787.
- HASTINGS, A. 1996. Models of spatial spread: a synthesis. *Biological Conservation*. 78: 143-148.
- HIGGINS, S. I. & RICHARDSON, D. M. 1996. A review of models of alien plant spread. *Ecological Modelling*. 87: 249-265.
- HIGGINS, S. I. & RICHARDSON, D. M. 1998. Pine invasions in the southern hemisphere: modeling interactions between organisms, environment and disturbance. *Plant. Ecology*. 135: 79 - 93.
- IEYAMA, H. 1996. Chromosomes and nuclear DNA contents of *Limnoperna* in Japan (Bivalvia: Mytilidae). *Venus (Jap. Jour. Malac.)*, 55(1): 65-68.
- ITUARTE, C. F. 1981. Primeira noticia acerca de la introduccion de pelecipodos asiáticos em la área rioplantese (Mollusca, Corbiculidae). *Neotropica, La Placa*, 27(7):79-82.
- IWASAKI, K. & URYU, Y. 1998. Life cycle of a freshwater mitilid mussel, *Limnoperna fortunei*, in Uji River, Kyoto. *Venus Jap J. Malacol.* 57 (2): 105-113.
- JASANOFF, S. 1993. Bridging the two cultures of the risk analysis. *Risk Analysis*, 1(1): 11-27.
- JOHNSON, L. E. & CARLTON, J. T. 1996. Post-establishment spread in large-scale invasions: dispersal mechanisms of the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *Ecology*. 77(6): 1686-1690.
- JOHNSON, L. E. & PADILLA, D. K. 1996. Geographic spread of exotic species: ecological lessons and opportunities from the invasion of zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *Biological Conservation*. 78, 23:33.
- JOHNSON, L. E.; RICCIARDI, A. & CARLTON, J. T. 2001. Overland dispersal of aquatic invasive species: a risk assessment of transient recreational boating. *Ecological applications* 11(6): 1789-1799.
- JOHNSON, R. A. & WICHERN, D. W. 1998. Applied multivariate satatistical analysis. 4ed. New Jersey: Prentice Hall, Englewood cliffs, 816p.
- JONES, C. G.; LAWTON, J. H. & SHACHAK, M. 1997. Positive and Negative Effects of Organisms as Physical Ecosystem Engineers. *Ecology*. 78(7), pp. 1946-1957.
- KARATAEV, A. Yu. & BURLAKOVA, L. E. 1995. The role of *Dreissena* in lake ecosystems. *Russian Journal of Ecology*. 26:207-211.

- KASYANOV, V. L.; KRYUCHKOVA, G. A.; KULIKOVA, V. A. & MEDVEDEVA, L. A. 1998. Larvae of marine bivalves and equinoderms. Washington, Smithsonian Institution Libraries, V + 288p.
- KELCH, D. O. 1992. Boater – Slow the spread of zebra mussels, and protect your boat. OHSU-FS-054. Ohio Sea Grant College Program. Columbus, Ohio, USA.
- KERLEY, B.; BRODIE, G. & HELTON, B. 2000. Hydro plant interim zebra mussel control strategy. Public Power Institute Study Closure Report 97026, Tennessee Valley Authority. Knoxville, Tennessee.
- KIMURA, T. 1994. The earliest record of *Limnoperna fortunei* (Dunker) from Japan. Chirobatan, 25: 34-35 (in Japanese).
- KIMURA, T. & SEKIGUCHI, H. 1994. Larval and Post-Larval Shell Morphology of Two Mytilid Species *Musculista shousia* (Benson) and *Limnoperna fortunei kikuchii* (Habe). Venus. Jap. Jour. Malac. 53(4): 307 – 318.
- KIMURA, T. & SEKIGUCHI, H. 1996. Effects of temperature on larval development of two mytilid species and their implication. Venus. Jap. J. Malacol. 55 (3): 215-222.
- KIMURA, T. & TABE, M. 1997. Large genetic differentiation of the mussels *Limnoperna fortunei fortunei* (Dunker) and *Limnoperna fortunei kikuchii* (Habe, 1981) (bivalvia: mytilidae). Venus. Jap. J. Malacol. 56 (1): 27-34.
- KIMURA, T.; TABE, M. & SHIKANO, Y. 1999. *Limnoperna fortunei kikuchii* (Habe, 1981) (Bivalvia: Mytilidae) is a synonym of *Xenostrobus securis* (Lamarck, 1918): introduction into Japan from Australia and/or New Zealand. Venus. Jap. J. Malacol. 58 (3): 101-117.
- KROLAK, E. & ZDANOWSKI, B. 2001. The bioaccumulation of heavy metals by the mussels *Anodonta woodiana* (Lea, 1834) and *Dreissena polymorpha* (pall.) in the Heated Konin Lakes. Arch. Rybactwa. Polskiego.
- LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento & GIA – Grupo Integrado de Aqüicultura e Estudos Ambientais da Universidade Federal do Paraná. 2005. In.: Projeto Aneel/Copel CGER-023 “Desenvolvimento de sistema de detecção de organismos invasores, por meio de marcador molecular, estudo de riscos operacionais/ambientais e sistemas de controle utilizando como modelo *Limnoperna fortunei*”. Relatório Final. Curitiba, Paraná.
- LEI, J.; PAYNE, B. S. & WANG, S. Y. 1996. Filtration dynamics of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 29 – 37.
- LÓPEZ ARMENGOL, M. F. & CASCIOTTA, J. R. 1998. First record of the predation of the introduced freshwater bivalve *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) by the

- native fish *Micropogonias furnieri* (Scienidae) in the Rio de la Plata estuary, South America. *Iberus* 16 (105-108).
- MAACK, R. 1981. Geografia física do Estado do Paraná. 2.ed. Rio de Janeiro: J. Olympio. p. 442.
- MACK, R. N. 1995. Understanding the processes of weed invasions: the influence of environmental stochasticity. In C. Stirton, editor. Weeds in a changing world. British Crop Protection Council, Symposium Proceedings n. 64. p. 65-74. Brighton, UK.
- MACK, R. N.; Simberloff, D.; Lonsdale, W. M.; Evans, H.; Clout, M. & Bazzaz, F. A. 2000. Biotic Invasions: Causes, Epidemiology, Global Consequences and Control. *Ecological Applications*. 10(3), pp. 689-710.
- MAGARA, Y.; MATSUI, Y.; GOTO, Y. & YUASA, A. 2001. Invasion of the non-indigenous nuisance mussel, *Limnoperna fortunei*, into water supply facilities in Japan. *Aqua Journal of Water Supply: Research and Technology* 50 (3): 113-124.
- MANSUR, M. C. D.; CALLIL, C. T.; CARDOSO, F. R. & IBARRA, J. A. A. 2004. Uma retrospectiva e mapeamento da invasão de espécies de *Corbicula* (Mollusca, Bivalvia, Veneroidea, Corbiculidae) oriundas do sudeste asiático, na América do Sul. In: Água de lastro e bioinvasão. Ed. Interciência. Rio de Janeiro. Cap. 5 pp. 39-58.
- MANSUR, M. C. D.; RICHINITTI, L. M. Z. & SANTOS, C. P. dos. 1999. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), molusco bivalve invasor, na bacia do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biociências*. 7 (2): 147-150.
- MANSUR, M. C. D.; SANTOS, C. P. DOS; DARRIDRAN, G.; HEYDRICH, I.; CALLIL, C. T. & CARDOSO, F. R. 2003. Primeiros dados quali-quantitativos do mexilhão-dourado, *Limnoperna 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* 20 (1): 75-84.
- MAROÑAS, M.; DARRIGRAN, G.; SENDRA, E. & BRECKON, G. 2003. Shell grow of the golden mussel, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae), from a Neotropical temperate locality. *Hydrobiologia*, 495: 41-45).
- MARSDEN, J. E. 1997. Common carp diet includes zebra mussels and lake trout eggs. *J. Freshwat. Ecol.* 12 (491-492).
- MARTIN, S. M. e DARRIGRAN, G. A. 1994. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em el Balneário Bagliardi, Rio de la Plata. Alteración em la composición de la malacofauna litoral. *Tankay*, 1: 161-166.

- MATSUI, Y.; NAGAYA, K.; FUNAHASHI, G.; GOTO, Y.; YUASA, A.; YAMAMOTO, H.; OHKAWA, K. & MAGARA, Y. 2002. Effectiveness of antifouling coatings and water flow in controlling attachment of the nuisance mussel *Limnoperna fortunei*. *Biofouling*. 18(2): 137-148.
- Mc MAHON, R. F. 1977. Tolerance of aerial exposure in the asiatic freshwater clam, *Corbicula fluminea* (Müller, 1774). *Proceedings, First International Corbicula Symposium*. Texas Christian University. Fort Worth, Texas, U.S.A. pp. 227-241.
- MILLER, A. H. & IGNACIO, A. 1994. An approach to identify potencial zebra mussel colonization in large water bodies using best available data and a Geografic Information System. In: *Proceedings of the Fourth International Zebra Mussel Conference*. Madison, Wisconsin.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA - SECRETARIA DE QUALIDADE AMBIENTAL NOS ASSENTAMENTOS HUMANOS. 2004. Relatório Final Força Tarefa Nacional para Controle do Mexilhão-Dourado. Brasília, DF.
- MONTALDO, L.; OLIVEROS, O. B.; EZCURRA DE DRAGO, I. & DEMONTE, L. D. 1999. Peces del Rio Paraná médio predadores de una especie invasora: *Limnoperna fortunei* (Bivalvia, Mytilidae). *Revista Fabricib* 3: 85-101.
- MORTON, B. 1973. Some aspects of the Biology and functional morphology of the feeding and digestion of *Limnoperna fortunei* (Dunker) (Bivalvia: Mytilacea). *Malacologia*, 12: 265-281.
- MORTON, B. 1975. The Colonization of Hong Kong's raw water supply system by *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilacea) from China. *Malacol. Rev.*, 8: 91-105.
- MORTON, B. 1977. Freshwater fouling bivalves. *Proceedings of the First International Corbicula Symposium*. Texas Christian University: 1-14.
- MORTON, B. 1982. The reproductive cycle in *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) fouling Hong Kong's raw water supply system. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 13 (14): 312-324.
- MORTON, B.; PREZANT, R. S. & WILSON, B. 1998. Class Bivalvia. pp. 195-234. In: BEELEY, P. L.; ROSS, G. J. B. & WELLS, A. (eds) *Mollusca: The Southern Synthesis*. Fauna of Australia. Vol. 5 CSIRO Publishing: Melbourne, Part. A xvi 563 pp.
- NETO, A. de C. L. & JABLONSKI, S. 2004. O programa GloBallast no Brasil. In: SILVA, J. S. V. & SOUZA, R. C. C. L. 2004. *Água de Lastro e Bioinvasão*. Editora Interciência. Rio de Janeiro, RJ.

- NEWELL, N. D. 1969. Classification of Bivalvia. In: R. Moore. (Ed.). Treatise on Invertebrate Paleontology. Lawrence, University of Kansas, Part N, vol. 1, XXXVIII+489. p. 205-223.
- O'NEILL, C. R. Jr. 1997. Economic impact o zebra mussels – results of the 1995 National zebra mussel information clearinghouse study. Great Lakes Research Review. 3(1). 35-42.
- OLIVEIRA, M. D.; TAKEDA, A. M.; BARROS, L. F. de; BARBOSA, D. S. & RESENDE, E. K. de. 2006. Invasion by *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) of the Pantanal Wetland, Brazil. Biological Invasions 18 (1): 97-104.
- OLIVEIRA, M.D.; TAKEDA, A. M.; BARBOSA, D.S. e CALHEIROS, D.F. 2000. Ocorrência da espécie exótica Mexilhão Dourado (Bivalvia, Mytilidae) no rio Paraguai, Pantanal, Brasil. In: Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal. Manejo e Conservação 3. Resumo. Embrapa/CPAP. Corumbá: p. 264.
- PASTORINO, G.; DARRIGRAN, G.; MARTIN, S. & LUNASCHI, L. 1993. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae), nuevo bivalvo invasor em águas Del Rio de la Plata. Neotropica, 39 (101-102): 34.
- PAULY, D. & CADDY, J. F. 1985. A modification of Bhattacharya's method for analysis of mixtures of normal distributions. FAO Fisheries Circular, Rome, 781: 1-16.
- PENCHASZADEH, P.; DARRIGRAN, G.; ANGULO, C.; AVERBUJ, A.; BRÖGGER, M.; DOGLIOTTI, A. and PÍREZ, N. 2000. Predation on the invasive freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) by the fish *Leporinus obtusidens* Valenciennes, 1846 (Anostomidae) in the Rio de la Plata, Argentina. J. Shellfish Res. 19: 229-231.
- PHILLIPS, S.; DARLAND, T. & SYTSMA, M. 2005. 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. <http://www.psmfc.org/>
- PORTA, A. 2001. Biomarkers of contamination in coastal aquatic organisms of Rio de la Plata (Argentina). Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana 35 (2): 261-271.
- RAM, J. L.; FONG, P.; CROLL, R. P.; NICHOLS, S. J. & WALL, D. 1992. The zebra mussel (*Dreissena polymorpha*), a new pest in North America: Reproductive mechanisms as possible targets of control strategies. Invertebr. Reprod. Dev. 22 (1-3): 77-86.

- RICCIARDI, A. 1998. Global range expansion of the asian mussel *Limnoperna fortunei* (Mytilidae): Another fouling threat to freshwater systems. *Biofouling* 13 (2): 97-106.
- RIGGINS, S. I. & RICHARDSON, D. M. 1996. A review of models of alien plant spread. *Ecological Modelling*. 87: 249-265.
- RIGGINS, S. I. & RICHARDSON, D. M. 1998. Pine invasions in the southern hemisphere: modeling interactions between organisms, environment and disturbance. *Plant Ecology*. 135: 79-93.
- RINGUELET, R. A.; ARÁMBURU, R. A. & ALONSODE ARÁMBURU, A. 1967. Los peces argentinos de água Dulce. *Com. Invest. Cient. Prov, Buenos Aires*, 602 pp.
- RÜCKERT, G. V.; CAMPOS, M. C. S. & ROLLA, M. E. 2004. Alimentação de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): taxas de filtração com ênfase ao uso de Cyanobacteria. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. 26(4): 421-429.
- RUPERT, E. E.; FOX, R. S. & BARNES, R. D. 2004. *Invertebrate Zoology*. 7<sup>th</sup> ed. Brooks/Cole. ISBN 0-03-025982-7.
- RUPPERT, E. E. & BARNES, R. D. 1996. *Zoologia dos Invertebrados*. Ed. Roca. São Paulo, SP: pp. 412-413.
- SANTOS, C. P. dos; WÜRDIG, N. L. & MANSUR, M. C. D. 2005. Fases larvais do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) na bacia do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil.
- SCARABINO, F. & VERDE, M. 1994. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em la costa Uruguay del Río de la Plata (Bivalvia; Mytilidae). *Com. Soc. Malac. Urug.*, 7(66-67): 374-376.
- SILVA, J. S. V.; FERNANDES, F. da C.; SOUZA, R. C. C. L.; LARSEN, K. T. S. & DANELON, O. M. 2004. Água de Lastro e Bioinvasão. In: SILVA, J. S. V. & SOUZA, R. C. C. L. 2004. *Água de Lastro e Bioinvasão*. Editora Interciência. Rio de Janeiro, RJ.
- SIMKINS, L. J. and JONES, J. D. 1997. The impact of Zebra Mussels on corrosion of steel structures. In: *Zebra Mussels and Aquatic Nuisance Species*. Edited by Frank M. D'Itri. 305-327.
- STOECKMANN, A. M. & GARTON, D. W. 1992. Metabolic responses of zebra mussels to increased food supply and induced spawning. *Shellfish Res.* 11 (1): 239.
- TAKEDA, A. M.; HIGUTI, J.; FUJITA, D. S. & BUBENA, M. R. 2000. Proliferação de uma espécie de bivalve invasora, *Corbicula fluminea*, na área alagável do alto

- rio Paraná (Brasil). In.: Seminário Brasileiro sobre Água de Lastro, 1, Arraial do Cabo, p.11.
- TAKEDA, A. M.; MANSUR, M. C. D.; FUJITA, D. S. e BIBIAN, J. P. R. 2003. Ocorrência da espécie invasora de Mexilhão Dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em dois pequenos reservatórios próximos a Curitiba, PR. Acta Biológica Leopoldensia. Vol. 25 n.2.
- TOLEDO, L. G. & NICOLELLA, G. 2002. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. Scientia Agrícola. 59(1): 181-186.
- TUCKER, J. K.; CRONIN, F. A.; SOERGEL, D. W. & THEILING, C. H. 1996. Predation on zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) by common carp (*Cyprinus carpio*). J. Freshwater Ecol. 11 (363-372).
- URYU, Y.; IWASAKI, K. & HINOUE, M. 1996. Laboratory experiments on Behavior and movement of a freshwater mussel, *Limnoperna fortunei* (Dunker), J. Moll. Stud. 62 : 327-341.
- VAKILY, I. M., 1992. Determination and Comparison of Bivalve Growth, with Emphasis on Thailand and other Tropical Areas. ICLARM Tech. Rep. 36p. 125.
- VILLAR, C.; MERCADO, L.; CAPÍTULO, A. R. & BONETTO, C. 1997. Presencia del molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia; Mytilidae) en el bajo Paraná. Gayana Zool. 61(2): 87-96.
- VILLAR, C.; STRIPEIKIS, J.; D'HUICQUE, L.; TUDINO, M.; TROCCOLI, O. & BONETTO, C. 1999. CD, CU and ZN concentrations in sediments and the invasive bivalves *Limnoperna fortunei* and *Corbicula fluminea* at the Rio de la Plata basin, Argentina. Hydrobiologia 416: 41-49.
- WAINMAN, B. C.; HINCKS, S. S.; KAUSHIK, N. K. & MACKIE, G. L. 1996. Biofilm and substrate preference in the dreissenid larvae of Lake Erie. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 53: 134-140.
- WANG, G. T. & WANG, W. J. 2000. The life cycle of *Dollfustrema vaneyi*. Acta Hydrobiologica Sinica. 24-1-2000. Ref Type: Journal (Full).
- ZANATTA, D. T.; MACKIE, G. L.; METCALFE-SMITH, J. L. & WOOLNOUGH, D. A. 2002. A refuge for native freshwater mussels (Bivalvia: Unionidae) from impacts of the exotic zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in lake St. Clair. Journal of Great Lakes Research 28 (3): 479-489.
- ZANELLA, O. & MARENDA, L.D. 2002. Ocorrência de *Limnoperna fortunei* na Central Hidrelétrica de Itaipu. In: V Congresso Latinoamericano de Malacologia. Instituto Butantan/ Instituto de Biociências – USP. São Paulo, Brasil: p. 41.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)



[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)