



Universidade Federal do Rio Grande  
Instituto de Ciências Biológicas  
Pós-graduação em Biologia de  
Ambientes Aquáticos Continentais



**Predadores ou dispersores? A relação do mexilhão-  
dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857)  
(Bivalvia, Mytilidae) com quatro espécies de  
quelônios (Reptilia, Testudines) da planície  
costeira do Brasil subtropical**

**Cibele da Costa Cardoso**

Orientador: Daniel Loebmann  
Co-orientador: João Paes Vieira

Rio Grande  
2014



Universidade Federal do Rio Grande  
Instituto de Ciências Biológicas  
Pós-graduação em Biologia de Ambientes  
Aquáticos Continentais



**Predadores ou dispersores? A relação do mexilhão-dourado  
*Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) com  
quatro espécies de quelônios (Reptilia, Testudines) da  
planície costeira do Brasil subtropical**

**Aluno:** Cibele da Costa Cardoso

**Orientador:** Daniel Loebmann

**Co-orientador:** João Paes Vieira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

Rio Grande  
2014

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiramente ao meu orientador Daniel Loebmann, pela sua ótima orientação durante todas as etapas da pesquisa, também pelos seus mergulhos no canal da CORSAN nos dias de inverno, e sua paciência em explicar as coisas, principalmente às análises estatísticas!

Ao João Paes Vieira, co-orientador, sempre disposto a ajudar, corrigir e sugerir novas ideias a serem testadas!

Aos meus estagiários, Bruno Ijure Gonçalves, Arian de Souza Larroque, Lais Crizel de Oliveira, por me ajudarem na manutenção da sala do experimento e nas saídas de campo!

Aos membros do Laboratório de Vertebrados Ectotérmicos, pelas saídas a procura das tartarugas, e pelas vezes que não coletamos nada!

Aos meus pais José Luis da Costa Cardoso, Rosangela da Costa Cardoso, irmã Camila da Costa Cardoso, e ao meu namorado Norberto Emídio, por sempre apoiarem minhas escolhas e acreditarem no meu potencial!

E por fim aos meus amigos, Julio marinho, Dani Saúl, Jéssica Lauxen, Marluci Muller, Maria Nunes, Andrine Paiva, Thales Felipe, Rodier Mendes, Arian Larroque, Gabriela Guerra, e Fernanda Saldanha, por tornarem meus dias em Rio Grande mais alegres, muito obrigado!

## RESUMO

Nas últimas décadas, a invasão de espécies exóticas recebeu grande atenção da comunidade científica, sendo considerada a segunda causa de extinção de espécies nativas em todo o mundo. O mexilhão-dourado *Limnoperna fortunei* é um molusco bivalve nativo da China, o qual foi introduzido em diversos locais do mundo, principalmente através da água de lastro de navios, causando impactos econômicos e à biota nos locais de sua introdução. Na América do Sul, seu primeiro registro foi em 1991, no Rio da Prata. No Brasil, essa espécie tem sido registrada em diversas localidades, incluindo o sistema lagunar Patos/Mirim na planície costeira do Rio Grande do Sul. Essa dissertação teve como principal objetivo estudar a relação do mexilhão-dourado com as quatro espécies de quelônios de água doce que ocorrem nessa região. O primeiro capítulo, intitulado **“Does the invasive Golden Mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) engage in biofouling on native freshwater turtles?”**, testa através de experimentos *ex situ* a capacidade de fixação da espécie invasora *L. fortunei* nos quelônios da planície costeira do Brasil subtropical, e se esses quelônios poderiam atuar como vetores de dispersão do mexilhão-dourado. O segundo capítulo, intitulado **“Avaliando a capacidade de predação do molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) por quelônios aquáticos em condições laboratoriais,”** trata da capacidade de predação do molusco invasor pelos quelônios nativos. Os resultados encontrados indicam que *Acanthochelys spixii*, *Hydromedusa tectifera* e *Phrynops hilarii*, todas da família Chelidae, possuem alta capacidade de atuarem como vetor de dispersão da espécie invasora enquanto que *Phrynops hilarii* (Chelidae) e *Trachemys dorbigni* (Emydidae) são as espécies que apresentaram maiores taxas de predação do mexilhão-dourado. Estas informações ajudam na compreensão dos efeitos causados por esse bioinvasor na planície costeira do Rio Grande do Sul.

**Palavras-chave:** Bioincrustação, espécie invasora, *Limnoperna*, mexilhão-dourado, predação.

## ABSTRACT

In the past decades, the invasion of exotic species has received major attention from the scientific community, and is considered the second cause of extinction of native species worldwide. The golden mussel *Limnoperna fortunei* is a bivalve mollusk native from China, which was introduced in several localities around the world, primarily through the ballast water of ships, causing impacts both economic such biota. In South America its first record was in 1991 in the La Plata River. In Brazil, this species has been recorded in several localities, including the Patos/Mirim lagoons system in the coastal plain of Rio Grande do Sul. This dissertation, aimed to study the relationship of the Golden Mussel with four species of freshwater turtles that occur in this region. The first chapter entitled "**Does the invasive Golden Mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) engage in biofouling on native freshwater turtles?**" tested through *ex situ* experiments the ability of fixation of the invasive species *L. fortunei* on freshwater turtles from coastal plain of the subtropical Brazil and if these turtles could act as vectors of dispersal of Golden Mussel. The second chapter, entitled "**Assessing the ability of predation on the invasive Golden Mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) by aquatic turtles under laboratory conditions**", describes the ability of predation of native freshwater turtles on the Golden Mussel. The results indicate that the Chelids *Acanthochelys spixii*, *Hydromedusa tectifera* and *Phrynops hilarii*, have high capacity to acting as a dispersion vector of the invasive species while *Trachemys dorbigni* (Emydidae) is the species with higher rates of predation on the Golden Mussel. These findings help in understanding the effects caused by this bioinvasor in the coastal plain of Rio Grande do Sul.

**Key-words:** biofouling, exotic species, Golden Mussel, *Limnoperna*, predation.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	IV
ABSTRACT .....	V
LISTA DE FIGURAS .....	VII
LISTA DE TABELAS .....	VIII
INTRODUÇÃO GERAL .....	9
Referências .....	22
CAPÍTULO 1- Does the invasive Golden Mussel <i>Limnoperna fortunei</i> (Dunker, 1857) engage in biofouling on native freshwater turtles?.....	30
Abstract.....	31
Introduction .....	31
Material and Methods.....	33
Results .....	38
Discussion.....	45
References .....	49
CAPITULO 2- Avaliando a capacidade de predação do molusco invasor <i>Limnoperna fortunei</i> (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) por quelônios aquáticos em condições laboratoriais .....	55
Resumo .....	56
Abstract.....	57
Introdução.....	58
Material e Métodos.....	59
Resultados.....	62
Discussão.....	70
Referências .....	73
ANEXO.....	77

## LISTA DE FIGURAS

### Introdução Geral

- Figura 1- Ciclo de vida do mexilhão-dourado *Limnoperna fortunei* (Bivalvia, Mytilidae). **13**
- Figura 2- Exemplar de *Aegla platensis* com diversos mexilhões da espécie *Limnoperna fortunei* fixados ..... **15**
- Figura 3- Espécies de quelônios aquáticos da planície costeira do Brasil subtropical. A) *Acanthochelys spixii*; B) *Hydromedusa tectifera*; C) *Phrynops hilarii* e D) *Trachemys dorbignii*. ..... **19**
- Figura 4- Área de estudo. Localização da planície costeira do extremo Sul do Brasil, Rio Grande do Sul (em vermelho). Na figura é possível observar as principais lagoas costeiras da região, incluído o complexo lagunares Patos-Mirim. .... **21**

### Capítulo 1

- Figure 1- Total number of mussels attached in specimens of four freshwater turtle species under laboratorial conditions. HYDTEC = *Hydromedusa tectifera*, TRADOR = *Trachemys dorbignii*, ACASPI = *Acanthochelys spixii*, and PHRHIL = *Phrynops hilarii*. Lower case above boxes indicate results found a *posteriori* test (Tukey HSD test)..... **38**
- Figure 2- Scatterplots of the mean number of mussels attached in the turtles under laboratorial conditions. ACASPI = *Acanthochelys spixii*, HYDTEC = *Hydromedusa tectifera*, PHRHIL = *Phrynops hilarii* and TRADOR = *Trachemys dorbignii* ..... **39**
- Figure 3- Box plot (mean, standard error and confidence interval ( $p < 0.05$ ) of the total number of *Limnoperna fortunei* attached ( $\log x + 1$ ) in each chelonian species used in the experiment at distinct parts of body (plastron, carapace, member and tail). HYDTEC = *Hydromedusa tectifera*, TRADOR = *Trachemys dorbignii*, ACASPI = *Acanthochelys spixii*, and PHRHIL = *Phrynops hilarii* ..... **40**
- Figure 4- Biofouling of *Limnoperna fortunei* over chelonians' plastrons at laboratorial conditions (last day of experiment). A – *Acanthochelys spixii*; B – *Phrynops hilarii*; C – *Hydromedusa tectifera* Biofouling of *Limnoperna fortunei* over the plastron of three freshwater turtle species at laboratorial conditions (after 120 days of experiment). A – *Acanthochelys spixii*; B – *Phrynops hilarii*; C – *Hydromedusa tectifera*. .... **41**
- Figure 5- Mean and standard errors values of the number of *Limnoperna fortunei* attached in each freshwater turtle species used in a biofouling experiment over four months of observations. .... **43**
- Figure 6- Relationships between the number of attached mussels and terrestrial displacement of *Acanthochelys spixii* along a transect 400 meters long. .... **44**

### Capítulo 2

- Figura 1- Número total de mexilhões-dourados *Limnoperna fortunei* consumidos por quatro espécies de quelônios da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil..... **63**
- Figura 2- Média e erro padrão do número de mexilhões consumidos pelos indivíduos de quatro espécies de quelônios testadas: *Acanthochelys spixii* (n=6), *Hydromedusa tectifera* (n=4), *Phrynops hilarii* (n=8) e *Trachemys dorbignii* (n=16). .... **65**

Figura 3- Coeficiente de correlação entre o comprimento curvilíneo da carapaça (CCC, em cm) e o número de mexilhões consumidos para quatro espécies de quelônios.....	<b>68</b>
Figura 4- Média e erro padrão do número de mexilhões consumidos por amostragem para quatro espécies de quelônios: <i>Acanthochelys spixii</i> (n=21), <i>Hydromedusa tectifera</i> (n=22), <i>Phrynops hilarii</i> (n=22) e <i>Trachemys dorbigni</i> (n=24). .....	<b>70</b>

## **LISTA DE TABELAS**

### **Capítulo 1**

Table 1- Morphometric data of chelonians used in the study. CCL = curved carapace length, CCW = curved carapace width.....	<b>36</b>
--	-----------

### **Capítulo 2**

Tabela 1- Dados morfométricos dos quelônios utilizados no estudo. CCC= comprimento curvilíneo da carapaça, LCC= largura curvilínea da carapaça .....	<b>60</b>
Tabela 2- Número total de <i>Limnoperna fortunei</i> oferecidos e consumidos, Média, Amplitude e Desvio Padrão por indivíduos de quatro espécies de quelônios da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. ....	<b>62</b>



## INTRODUÇÃO GERAL

### **Espécies invasoras e seus impactos à Biota**

Espécies exóticas invasoras são aquelas introduzidas em locais diferentes de sua distribuição original e que se adaptam a esses novos locais causando impactos negativos à biota e aos ecossistemas (IUCN, 2012). Nas últimas décadas, a invasão de espécies exóticas recebeu grande atenção da comunidade científica, sendo considerada a segunda causa de extinção de espécies nativas em todo o mundo, sendo superada apenas pela perda de hábitat (Wilson, 1992; Wilcove *et al.*, 1998).

Para estabelecer-se em um novo ambiente, uma espécie invasora deve possuir algumas características, como ser abundante e amplamente distribuída em sua área de ocorrência natural, ter ampla tolerância ambiental, alta variabilidade genética, ciclo de vida curto, rápido crescimento, maturidade sexual precoce, alta capacidade reprodutiva e alimentação oportunista (Ricciardi & Rasmussen, 1998).

Segundo Parker *et al.*, (1999) os impactos causados por uma espécie invasora podem ser divididos em cinco categorias: 1) efeitos sobre os indivíduos, alterando as taxas de mortalidade e crescimento; 2) efeitos genéticos, podendo ocorrer até mesmo hibridização entre a espécie nativa e a invasora; 3) efeitos na dinâmica populacional, alterando o crescimento e abundância das populações, e em casos mais extremos podendo levar à extinção; 4) efeitos sobre as comunidades, influenciando na riqueza de espécies, diversidade e estrutura trófica; 5) efeitos nos ecossistemas, modificando a disponibilidade de nutrientes e a produtividade primária.

No Brasil são registradas cerca de 540 espécies exóticas invasoras, causando diversos impactos nos ambientes marinhos, continentais e terrestres, à saúde humana e aos sistemas de produção como silvicultura, pecuária e agricultura. Entre os

organismos invasores que afetam as águas continentais se destacam os crustáceos, macrófitas, microrganismos, peixes e moluscos (MMA, 2006).

Nos ambientes de água doce do Brasil temos espécies invasoras de moluscos tanto do grupo dos bivalves como dos gastrópodes. Atualmente, são encontradas quatro espécies de gastrópodes límnicos invasores: *Physa acuta*, *Melanoides tuberculata*, *Helisoma duryi* e *Helisoma trivolvis*, e cinco de bivalves: *Corbicula fluminea*, *Corbicula largillierti*, *Corbicula fluminalis*, *Corbicula* sp. e *Limnoperna fortunei* (Santos *et al.*, 2012).

A seguir faremos uma breve revisão das espécies de bivalves límnicos invasores do Brasil, com ênfase no mexilhão-dourado.

A espécie *Corbicula fluminea* é originária da Ásia, Coréia e sudeste da Rússia. Segundo Sousa *et al.*, (2008), é considerada como a espécie invasora de maior importância nos ecossistemas aquáticos. Nos últimos 80 anos essa espécie foi introduzida nas Américas, na África e na Europa. Habita somente ambientes de água doce e possui um comprimento que varia entre 2 e 6 cm, não forma aglomerados e vive livremente no sedimento onde costuma enterrar-se parcial ou totalmente. Seu comportamento é gregário, formando densas populações (Santos *et al.*, 2012).

Devido à invasão desta espécie em várias bacias hidrográficas brasileiras, houve uma diminuição drástica das populações nativas de moluscos bentônicos, principalmente dos bivalves (Beasley *et al.*, 2003). A espécie também pode causar obstrução de encanamentos, canais, sistemas de refrigeração de indústrias e de hidrelétricas. A areia utilizada na construção, uma vez contendo corbículas, forma um concreto de péssima qualidade, pois as conchas se descalcificam, favorecendo infiltrações de água que danificam a estrutura, provocando rachaduras (Santos *et al.*, 2012).

*Corbicula largillierti* é uma espécie de origem asiática, foi introduzida na América do Sul e no Brasil, provavelmente via água de lastro. Sua concha não ultrapassa 2,5 cm de comprimento e possui formato triangular. Assim como *Corbicula flumínea* não forma aglomerados e vive no sedimento onde costuma enterrar-se. Em grandes densidades *C. largillierti* provoca, assim como *C. flumínea*, alterações no sedimento dos mananciais e causa a diminuição drástica das populações da fauna nativa de moluscos bentônicos. A espécie tem causado os mesmos problemas de obstruções em sistemas de resfriamento e hidrelétricas (Santos *et al.*, 2012).

Originalmente descrita no Rio Eufrates, na Mesopotâmia, Ásia menor (Araujo *et al.*, 1993) e, posteriormente, registrada para Ásia Central, África e China (Glaubrecht *et al.*, 2007), *Corbicula fluminalis* foi introduzida na Europa, América do Sul e no Brasil, provavelmente via água de lastro. Apresenta concha robusta que varia de 1 a 3 cm. As populações desta espécie encontradas no sul do Brasil são pequenas e pouco densas, encontradas em margens rasas, arenosas e nas proximidades de juncais. Porém, por ser uma espécie invasora ainda pouco conhecida, há poucas informações sobre seu potencial invasor, pois se trata de uma introdução relativamente recente (Mansur *et al.*, 2012).

*Corbicula* sp. provavelmente tem origem no sudeste asiático. Apresenta concha robusta quase equilátera e seu comprimento pode chegar a 4,3 cm. Assim como *C. fluminalis* as populações dessa espécie são pequenas e pouco densas e estudos sobre seus impactos são desconhecidos (Santos *et al.*, 2012).

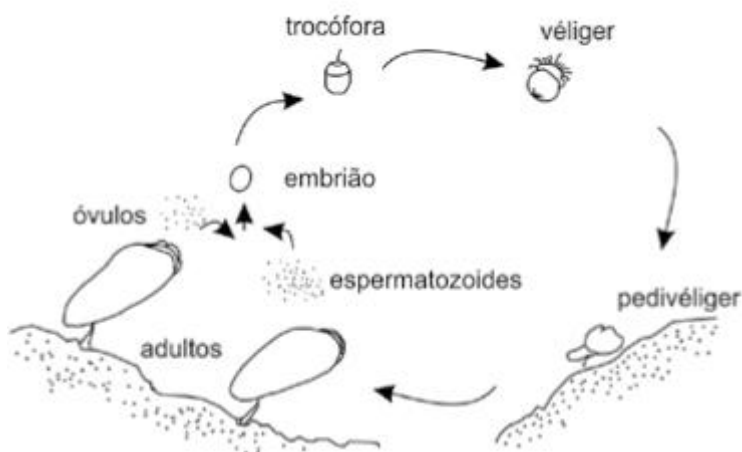
## **O mexilhão-dourado**

O mexilhão-dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mollusca, Mytilidae) é um molusco bivalve nativo da China, que foi introduzido em diversas regiões através da água de lastro de navios (Darrigran & Pastorino, 1995). O primeiro registro dessa espécie na América do Sul ocorreu em 1991, na Argentina, no rio da Prata (Pastorino *et al.*, 1993). O clima da região da bacia do Prata, semelhante ao do país de origem desta espécie invasora, parece ter contribuído para sua adaptação (Darrigran & Damborenea, 2005).

Entre os anos 1991 e 1999 o mexilhão-dourado já estava presente na Argentina, Brasil, Uruguai e Paraguai, e essa expansão é provavelmente devido a suas características morfofuncionais e pela falta de competidores (Darrigran & Drago, 2000). No Rio Grande do Sul, *L. fortunei* foi registrado pela primeira vez em 1998 no Delta do Jacuí e nos anos subsequentes no Rio Guaíba e na laguna Lagoa dos Patos (Mansur *et al.*, 2003). A presença de *L. fortunei* neste estado também foi relatada em 2001 no canal de São Gonçalo na Lagoa Mirim (Burns *et al.*, 2006).

O mexilhão-dourado é um bivalve pequeno (entre 2 e 3 cm), é dióico e apresenta sexos separados, libera os gametas para o meio ambiente e os ovos, fertilizados externamente, se desenvolvem numa larva planctônica. Os ovos fecundados (zigotos) são muito pequenos (aproximadamente 80  $\mu\text{m}$ ) e o desenvolvimento inicial do embrião, a partir da divisão dos primeiros blastômeros, passa à gástrula, depois à fase de trocófora que leva ao todo de 5 a 6 horas. A trocófora se transforma em véliger através do desenvolvimento do véu que é uma organela ciliada destinada à locomoção e filtração. O último estágio larval no qual o véu e o pé, já bem desenvolvidos, estão presentes, trata-se de um juvenil em estágio

inicial ou uma larva umbonada, pronta para assentar e colar ao substrato (Mansur *et al.*, 2012) (Figura 1).



**Fig. 1** Ciclo de vida do mexilhão-dourado *Limnoperna fortunei* (Bivalvia, Mytilidae) (Fonte: Mansur *et. al.*, 2012).

O mexilhão-dourado possui capacidade de se fixar em vários substratos firmes e endurecidos com o auxílio de um filamento chamado bisso, que é secretado por uma glândula localizada na base do pé muscular, podendo assim formar colônias (Mansur & Pereira, 2006).

### **Impactos causados pelo mexilhão-dourado**

Os impactos que a extensa proliferação e fixação de *L. fortunei* podem provocar ao homem são vastos e relativamente bem documentados na literatura. Dentre eles, destacam-se aqueles associados a problemas de ordem econômica como redução e/ou entupimento da passagem de água no interior de canais, tubulações, sistemas coletores de água, bombas, filtros e sistemas de refrigeração (Darrigran & Drago, 2000; Mansur *et al.*, 2003), além de infestações dos sistemas de refrigeração

dos navios, impedindo uma circulação de água adequada e causando superaquecimento e destruição de motores (Oliveira *et al.*, 2006). Além disso, problemas de saúde pública têm sido reportados como, por exemplo, a contaminação e/ou poluição de água devido à decomposição de mexilhões mortos (Darrigran & Drago, 2000; Mansur *et al.*, 2003). Por ser um filtrador, o mexilhão-dourado pode acumular substâncias tóxicas como metais pesados, que podem chegar até os humanos pelo consumo de peixes que predam tal espécie invasora (Santos *et al.*, 2012).

O mexilhão-dourado é também conhecido por causar impactos diretos à biota. Dentre os exemplos reportados na literatura estão deformidades na região anal de peixes que os consomem, deixando-os mais suscetíveis a patógenos e infecções (Lopes, 2010), alteração na vegetação marginal através da formação de macroaglomerados (Mansur *et al.*, 2003), alterações na cadeia trófica de comunidades de peixes (Cataldo *et al.*, 2002; Penchaszadeh *et al.*, 2000) e alterações na comunidade bentônica causando a morte precoce de invertebrados nativos (Mansur *et al.*, 2003).

### **Vetores de dispersão de invertebrados invasores**

A água de lastro dos navios é a principal forma de dispersão de *L. fortunei*, porém outros vetores como águas de cisternas de embarcações, areias retiradas de rios, aquicultura e utilização como isca são conhecidas (Darrigran & Damborenea, 2005; Fernandes *et al.*, 2012). O mexilhão-dourado também pode ser dispersado por vertebrados como peixes, que os consomem porém não os conseguem digerir e, assim, acabam contribuindo para sua dispersão (Oliveira *et al.*, 2010; Penchaszadeh *et al.*, 2000). Além disso, já se têm registros de fixação do mexilhão-dourado em

invertebrados aquáticos como outros bivalves (*Corbicula fluminea*, *Diplodon koseritzi*, *Leila blainvilliana*) e crustáceos como *Aegla platensis* (Lopes *et al.*, 2009; Mansur *et al.*, 2003) os quais podem estar também atuando como dispersores dessa espécie.



**Fig. 2** Exemplo de *Aegla platensis* com diversos mexilhões da espécie *Limnoperna fortunei* fixados (Fonte: Lopes *et al.*, 2009).

Diversos grupos de vertebrados, como mamíferos (Waterkeyn *et al.*, 2010), anfíbios (Bohonak & Whiteman, 1999) e aves (Figuerola & Green, 2002; Green & Figuerola, 2005) podem atuar como vetores de dispersão de invertebrados aquáticos. A dispersão mediada por animais é considerada uma das formas mais eficazes de dispersão passiva, se comparada com o vento e a água (Michels *et al.*, 2001). Além disso, já se têm registros de outras espécies de moluscos exóticos transportadas para novos ambientes através de outros animais, como a introdução dos moluscos invasores *C. flumínea*, na América do Norte por aves (McMahon, 1982) e *Rapana venosa*, introduzido na região de South Atlantic Bight, USA, nos cascos de tartarugas marinhas da espécie *Caretta caretta* (Harding *et al.*, 2011).

## **Controle biológico de espécies invasoras**

Uma das formas de regular a densidade populacional das espécies é através do controle biológico, no qual inimigos naturais atacam organismos considerados pragas. Normalmente, essas pragas não são nativas da região onde causam impactos, embora os organismos usados para o seu controle possam ser nativos ou introduzidos (Secord, 2003). Uma das vantagens da utilização do controle biológico é que pode-se controlar tais pragas sem muitos efeitos adversos, diferentemente do que ocorre com métodos mecânicos ou químicos (Samways, 1988).

Quando estabelecidas em seu novo ambiente as espécies exóticas podem ser incorporadas à cadeia alimentar, seja como predadoras ou como presas. Em ambas as situações, predadoras ou presas, as espécies invasoras podem mudar a disponibilidade das presas nativas, alterando a cadeia trófica do ambiente (Dudas *et al.*, 2005).

No mundo existem relatos de diversas espécies exóticas sendo predadas por nativas, como por exemplo: o consumo do gastrópode invasor *Rapana venosa* pela espécie de quelônio marinho *Caretta caretta* no estuário do Rio da Prata (Carranza *et al.*, 2010); a predação do caramujo exótico africano *Achatina fulica* pelo caranguejo *Ocypode quadrata* em Ilhéus, BA (Santos & Delabie, 2011); o bivalve exótico *Brachidontes pharaonis*, um dos principais itens alimentares da espécie nativa do gastrópode *Stramonita haemastoma* no Mar Mediterrâneo (Rilov *et al.*, 2002); diversas espécies de peixes nativos predando os moluscos invasores como, *Corbicula fluminea* e o mexilhão-dourado *Limnoperna fortunei*, no Rio de La Plata, Rio Paraná, e Canal São Gongalo (Cataldo *et al.*, 2002; Lopes, 2010; Oliveira *et al.*, 2010; Penchaszadeh *et al.*, 2000). Para o mexilhão-dourado, também há registros de sua



predação por répteis, como a espécie de quelônio dulcícola *Trachemys dorbigni* no Delta do Jacuí (Bujes *et al.*, 2007).

### **Os quelônios continentais da planície costeira do Rio Grande do Sul**

No Rio Grande do Sul são encontradas seis espécies de quelônios continentais, sendo que para a planície costeira do extremo sul do Brasil são registradas quatro delas, *Trachemys dorbigni*, (Emydidae), *Phrynops hilarii*, *Acanthochelys spixii* e *Hydromedusa tectifera* (Chelidae) todas frequentes na região (Quintela & Loebmann, 2009).

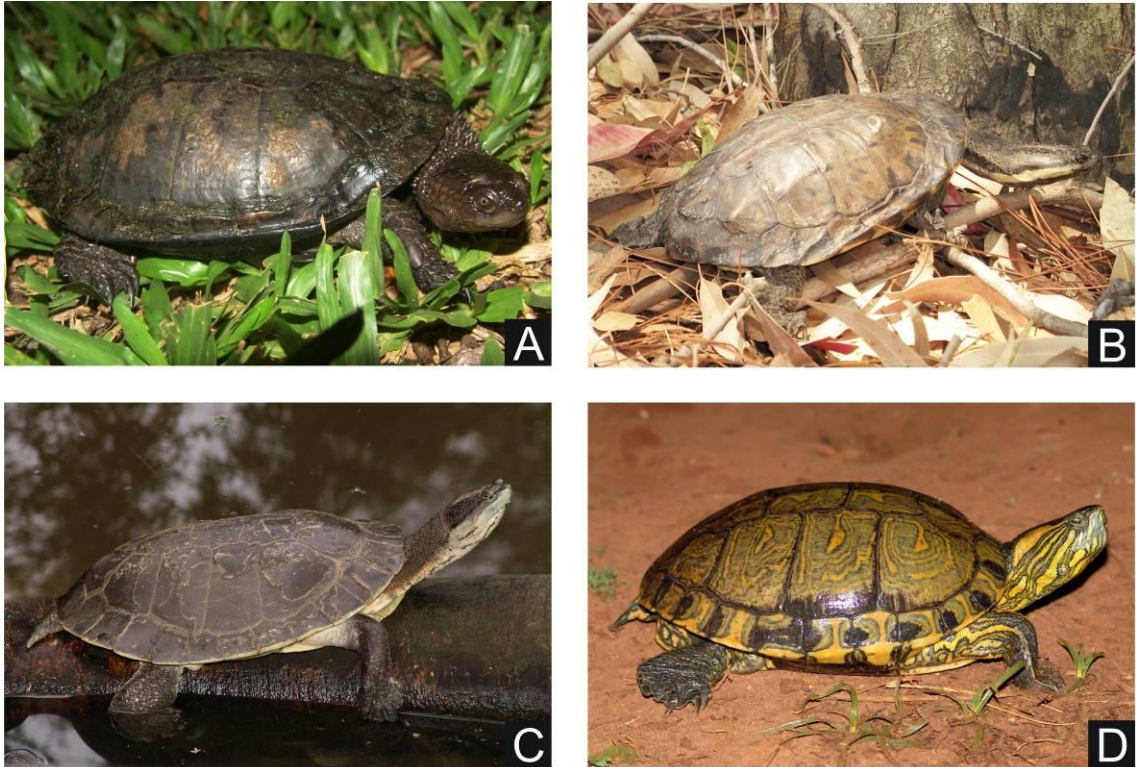
A espécie de quelônio *Trachemys dorbigni* (Cryptodira, Emydidae) é um dos quelônios mais abundantes no Rio Grande do Sul. É conhecido popularmente como tartaruga-tigre ou tartaruga-tigre-d'água (Bujes, 2010). Seus indivíduos podem atingir 260 mm de comprimento total de carapaça, onde as fêmeas apresentam maiores comprimentos que os machos. Esse quelônio prefere águas com correntes lentas, fundo lamacento e vegetação aquática abundante (Bonin *et al.*, 2006). A cópula ocorre na água, a fêmea põe de 8 a 14 ovos, a postura ocorre em outubro e a eclosão em janeiro (Quintela & Loebmann, 2009). É considerada onívora e oportunista (Bonin *et al.*, 2006). Em um trabalho realizado no extremo sul do Brasil foram identificados 37 itens alimentares compondo a dieta de *T. dorbigni*, sendo a maior parte desses itens macrófitas aquáticas e algas, seguidos por moluscos, crustáceos, artrópodes, hirudíneos e vertebrados (Hahn, 2005).

*Phrynops hilarii* (Pleurodira, Chelidae) é a segunda espécie mais abundante no estado do Rio Grande do Sul. É conhecido popularmente como cágado-de-barbelas (Bujes & Verrastro, 2009). Seus indivíduos atingem até 400 mm de comprimento, a carapaça é oval, achatada, com lados paralelos e mais largos

próximo ao centro (Bujes, 2010). Vivem em rios, arroios, canais e lagunas. As fêmeas põem de 2 a 23 ovos, os quais eclodem entre novembro e dezembro (Quintela & Loebmann, 2009). Em um estudo sobre a dieta e comportamento alimentar em cativeiro no Zoológico de São Paulo, adultos e jovens da espécie aceitaram todos os alimentos de origem animal oferecidos, e raramente aceitaram alimentos de origem vegetal (Molina *et al.*, 1998).

O cágado-preto ou cágado-de-espinhos *Acanthochelys spixii* (Pleurodira, Chelidae) é a menor espécie de quelônio da região, podendo atingir até 170 mm. Possui tubérculos alongados e pontiagudos no pescoço (Bujes, 2010). Com hábitos noturnos, habitam pequenas lagoas arenosas, charcos e lagunas (Quintela & Loebmann, 2009). Anfíbios adultos e girinos, larvas, pupas, ninfas e insetos adultos, além de matéria vegetal são descritos como parte de sua dieta (Brasil, 2008), mas esta não é conhecida para animais de vida livre no Rio Grande do Sul. E dados sobre reprodução são escassos (Bujes, 2010).

*Hydromedusa tectifera* (Chelidae) é conhecida popularmente como cágado-de-pescoço-de-cobra, seus indivíduos atingem até 300 mm de comprimento de carapaça (Bonin *et al.*, 2006), vivem em banhados e possuem hábitos noturnos. As fêmeas põem em média 10 ovos no mês de outubro, os quais eclodem em janeiro (Quintela & Loebmann, 2009). A dieta é carnívora, composta por caracóis, mexilhões, girinos, insetos, camarões, anfíbios, caranguejos e pequenos peixes (Bonin *et al.*, 2006).



**Fig. 3** Espécies de quelônios aquáticos da planície costeira do Brasil subtropical. A) *Acanthochelys spixii*; B) *Hydromedusa tectifera*; C) *Phrynops hilarii* e D) *Trachemys dorbigni* (Fonte: Daniel Loebmann).

### **A planície costeira do Brasil Subtropical**

A planície costeira do extremo sul do Brasil está situada entre a Barra do Chuí (33°45'09" S e 53°23'22" O) ao sul e a Barra do Rio Mampituba (29°20'34" S e 49°42'41" O) ao norte (Vieira & Rangel, 1988). Apresenta-se como um complexo de paisagens abertas, incluindo pastagens, lagoas temporárias/permanentes e centenas de lagos. Estes corpos d'água podem se conectar temporariamente durante a estação chuvosa, sendo essa conexão particularmente importante em relação ao potencial de dispersão de *L. fortunei*, o que aumenta consideravelmente nesse período, dificultando ações de controle e manejo da espécie.

A feição dominante da planície costeira é o complexo lagunar Patos-Mirim com uma superfície de aproximadamente 10.300 km<sup>2</sup> (Asmus, 1998). As duas grandes unidades geomorfológicas da planície costeira são as restingas de São José do Norte e Rio Grande, separadas pela zona estuarina da laguna Lagoa dos Patos.

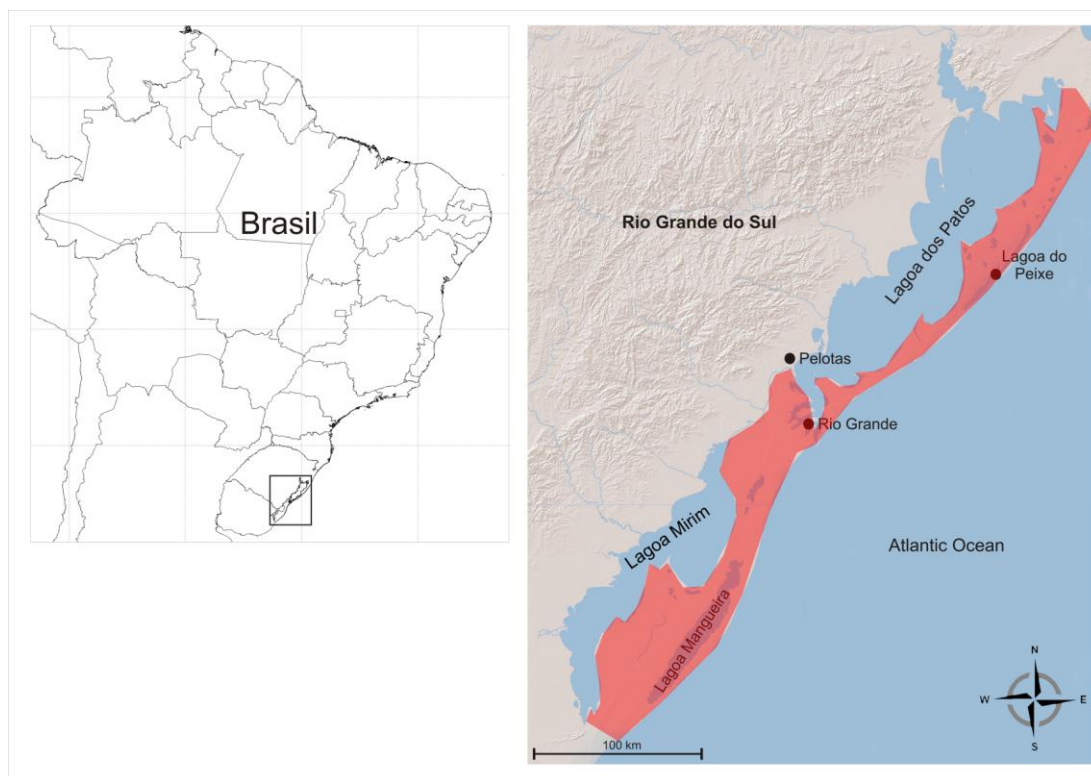
A restinga de São José do Norte se projeta no sentido NE-SO, sua área de emersão separa o ambiente marinho e lagunar, e nele estão presentes inúmeras pequenas lagoas que se alinham próximas à linha da praia. A restinga do Rio Grande se projeta para o norte, limitada pelo Oceano Atlântico a leste, o estuário da laguna a nordeste e Lagoa Mirim a oeste. Em seu interior encontram-se a Lagoa Mangueira, e o banhado do Taim (Vieira & Rangel, 1988).

As Lagoas Patos-Mirim, bem como os outros corpos d'água doce que compõem a planície costeira do Rio Grande do Sul, são formações relativamente jovens do ponto de vista geológico, tendo sido formados ao longo de quatro ciclos de transgressões marinhas que ocorreram no últimos 120 mil anos (Villwock *et al.*, 1986).

Nesses locais é possível encontrar duas Unidades de Conservação, a Estação Ecológica do Taim, fundada em 1986, com o intuito de proteger um dos últimos remanescentes do ecossistema banhado, e o Parque Nacional da Lagoa do Peixe, também criado em 1986, com o objetivo de preservar Áreas Úmidas.

O clima da área de estudo é influenciado pela Convergência Subtropical do Atlântico Sudoeste e também pelo Sistema Patos-Mirim (Klein, 1998). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região pode ser considerado subtropical úmido (Cfa) (Kottek *et al.*, 2006), com as estações bem definidas. A precipitação é relativamente constante ao longo do ano e o total de chuva acumulada varia de 1.150 a 1.450 mm/ano (Klein, 1998). A influência do anticiclone subtropical

do Atlântico Sul resulta em predominância de ventos do quadrante nordeste e sudoeste, especialmente no verão e inverno, respectivamente (Stech & Lorenzetti, 1992). A média de temperatura varia de 13°C a 24°C, nos meses mais frios e mais quentes, com amplitude mínima e máxima de 0 a 39 ° C (dados brutos da Estação Meteorológica da Universidade de Rio Grande).



**Fig. 4** Área de estudo. Localização da planície costeira do extremo Sul do Brasil, Rio Grande do Sul (em vermelho). Na figura é possível observar as principais lagoas costeiras da região, incluído o complexo lagunares Patos-Mirim.

A presente dissertação está dividida em dois capítulos. O primeiro intitulado: “Does the invasive golden mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) engage in biofouling on native freshwater turtles?”. Neste capítulo, hipotetizamos que os quelônios aquáticos encontrados na região *Acanthochelys spixii*, *Hydromedusa tectifera*, *Phrynops hilarii* e *Trachemys dorbigni* podem atuar como vetores de

dispersão do mexilhão-dourado *Limnoperna fortunei*. O segundo, intitulado: “Avaliando a capacidade de predação do molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) por quelônios aquáticos em condições laboratoriais”. Neste capítulo, hipotetizamos que os quelônios aquáticos encontrados na região podem atuar como potenciais predadores do mexilhão-dourado *Limnoperna fortunei*.

Os capítulos descritos acima estão de acordo com as normas da revista *Biological Invasions*, que se encontram anexadas no final da dissertação. Esse periódico publica trabalhos de pesquisa e de sínteses sobre os padrões e processos de invasões biológicas em ecossistemas terrestres, aquáticos e marinhos. Também, são de interesse trabalhos acadêmicos sobre questões de gestão e políticas que dizem respeito a programas de conservação e melhoramento ou controle de invasões em escala global.

## **Referências**

- Araujo R, Moreno D, Ramos MA. 1993. The asiatic clam *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) (Bivalvia, Corbiculidae) in Europe. American Malacological Bulletin 10(1):39-49.
- Asmus ML. 1998. A Planície Costeira e a Lagoa dos Patos. In: Seeliger U, Odebrecht C, Castello, JP. O Ecossistema Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Rio Grande, RS: Ecoscientia; p. 9-12.
- Beasley C, Tagliaro C, Figueiredo WB. 2003. The occurrence of the Asian clam *Corbicula fluminea* in the lower Amazon Basin. Acta Amazônica 33(2):317-323.

- Bohonak AJ, Whiteman HH. 1999. Dispersal of the fairy shrimp *Branchinecta coloradensis* (Anostraca): effects of hydroperiod and salamanders. *Limnology and Oceanography* 44:487–493.
- Bonin F, Devaux B, Dupré A. 2006. *Turtles of the World*. 1ª edição, Johns Hopkins University Press, 416p.
- Brasil MA. 2008. Ecologia alimentar de *Acanthochelys spixii* (Testudines, Chelidae) no Parque Nacional de Brasília, Distrito Federal. Dissertação de mestrado em Biologia Animal, Universidade de Brasília.
- Bujes C. 2010. Os Testudines continentais do Rio Grande do Sul, Brasil: taxonomia, história natural e conservação. *Iheringia, Série Zoologia* 100(4):413-424.
- Bujes CS, Ely I, Verrastro L. 2007. *Trachemys dorbigni* (Brazilian Slider) Diet. *Herpetological Review* 38(3):335.
- Bujes CS, Verrastro L. 2009. Nest temperature, incubation time, hatching, and emergence in the Hilaire's Side-necked Turtle (*Phrynops hilarii*). *Herpetological Conservation and Biology* 4(3):306-312.
- Burns MDM, Geraldi RM, Garcia AM, Bemvenuti CE, Capitoli RR, Vieira JP. 2006. Primeiro registro de ocorrência do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* na bacia de drenagem da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. *Biociências* 14(1):83-84.
- Carranza A, Estrades A, Scarabino F, Segura A. 2010. Loggerhead turtles *Caretta caretta* (Linnaeus) preying on the invading gastropod *Rapana venosa* (Valenciennes) in the Río de la Plata Estuary. *Marine Ecology* 32(2):1-6.
- Cataldo D, Boltovskoy D, Marini V, Correa N. 2002. Limitantes de *Limnoperna fortunei* en la cuenca del Plata: la predación por peces. Apresentado na: “Tercera jornada sobre conservación de la fauna íctica en el río Uruguay”

Organizada por la Comisión Administradora de Río Uruguay. Paysandu Uruguai.

- Darrigran G, Damborenea C. 2005. A bioinvasion history in South America. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), the golden mussel. American Malacological Bulletin 20(1):105–112.
- Darrigran G, Drago IE. 2000. Invasion of the exotic freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) in South America. The Nautilus 114(2):69-73.
- Darrigran G, Pastorino G. 1995. The recent introduction of a freshwater Asiatic bivalve, *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) into South America. Veliger 38(2):171-175.
- Dudas SE, McGaw IJ, Dower JF. 2005. Selective crab predation on native and introduced bivalves in British Columbia. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 325:8–17.
- Fernandes FC, Mansur MCD, Pereira D, Godoy LV, Campos SC, Danelon OM. 2012. Abordagem conceitual dos moluscos invasores nos ecossistemas límnicos brasileiros in: Mansur MDC, Santos CP, Pereira D, Paz ICP, Zurita MLL, Rodriguez MTR, Nehrke MV, Bergonci PEA. Moluscos límnicos invasores no Brasil: biologia, prevenção e controle. Porto Alegre, RS: Redes Editora; p. 18-23.
- Figuerola J, Green AJ. 2002. Dispersal of aquatic organisms bywaterbirds: a review of past research and priorities for future studies. Freshwater biology 47:483–494.
- Glaubrecht M, Fehér Z, Köhler F. 2007. Inventorizing an invader: Annotated Type Catalogue of Corbiculidae Gray, 1847 (Bivalvia, Heterodonta, Veneroidea),



- including Old World limnic *Corbicula* in the Natural History Museum Berlin. *Malacologia* 49(2):243-272.
- Green AJ, Figuerola J. 2005. Recent advances in the study of long-distance dispersal of aquatic invertebrates via birds. *Diversity and Distributions* 11:149–156.
- Hahn AT. 2005. Análise da dieta de *Trachemys dorbigni* (Duméril & Bibron, 1835) no sul do Rio Grande do Sul, Brasil (Testudines, Emydidae). Dissertação de Mestrado em Biologia Animal. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Harding JM, Walton WJ, Trapani CM, Frick MG, Mann R. 2011. Sea turtles as potential dispersal vectors for non-indigenous species: the veined rapa whelk as an epibiont of loggerhead sea turtles. *Southeastern naturalist* 2011:233–244.
- IUCN (The World Conservation Union). 2012. < [http:// www.iucn.org/](http://www.iucn.org/)>. (Acesso em 10/04/2012).
- Klein AHF. 1998. Clima Regional. In: Seeliger U, Odebrecht C, Castello JP. Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Rio Grande, RS: Editora Ecoscientia; p. 5-7.
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*. 15(3):259-263.
- Lopes MN, Vieira JP, Burns MDM 2009. Biofouling of the golden mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) over the Anomura crab *Aegla platensis* Schmitt, 1942. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 4(2):222-225.
- Lopes MN. 2010. Abundância de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em Zonas profundas do canal São Gonçalo, Lagoa Mirim/RS-Brasil, com ênfase na sua

- importância na dieta da icitiofauna. Dissertação de mestrado em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Federal do Rio Grande.
- Mansur MCD, Pereira D. 2006. Bivalves límnicos da bacia do rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, Brasil (Bivalvia, Unionoida, Verenoida e Mytiloida). *Revista Brasileira de Zoologia* 23(4): 1123-1147.
- Mansur MCD, Pimpão DM, Bergonci PEA, Santos CP., Figueiredo G.C.S. 2012. Morfologia e ciclo larval comparados de bivalves límnicos invasores e natives in: Mansur MDC, Santos CP, Pereira D, Paz ICP, Zurita MLL, Rodriguez MTR, Nehrke MV, Bergonci PEA. *Moluscos límnicos invasores no Brasil: biologia, prevenção e controle*. Porto Alegre, RS: Redes Editora; p. 95-110.
- Mansur MCD, Santos CP, Darrigran G, Heydrich I, Callil CT, Cardoso FR. 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.
- McMahon RF. 1982. The occurrence and spread of the introduced asiatic freshwater clam, *Corbicula fluminea* (Muller), in North America: 1924–1982. *Nautilus* 96:134–141.
- Michels EK, Cottenie K, Neys L, De Meester L. 2001. Zooplankton on the move: first results on the quantification of dispersal of zooplankton in a set of interconnected ponds. *Hydrobiologia* 442:117–126.
- Ministério do Meio Ambiente. 2006. *Espécies exóticas invasoras: situação brasileira*, Brasília: MMA, 24 p.

- Molina FB, Rocha MB, Lula LBM. 1998. Comportamento alimentar e dieta de *Phrynops hilarii* (Duméril & Bibron) em cativeiro (Reptilla, Testudines, Chelidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 15(1):73–79.
- Oliveira CRC, Fugi R, Brancalhão KP, Agostinho AA. 2010. Fish as potential controllers of invasive molluscs in a neotropical reservoir. *Nature Conservation* 8(2):140-144.
- Oliveira MD, Takeda AM, Barros LF, Barbosa DS, Resende EK. 2006. Invasion by *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) (Bivalvia, Mytilidae) of the Pantanal wetland, Brazil. *Biological Invasions* 8(1): 97–104.
- Parker LM, Simberloff D, Lonsdale WM, Goodell K, Wonham M, Kareiva PM, Williamson MH, Von Holle B, Moyle PB, Byers JE, Goldwasser L. 1999. Impact: toward a framework for understanding the ecological effects of invaders. *Biological Invasions* 1:3-19.
- Pastorino G, Darrigran G, Martin SM, Lunaschi L. 1993. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae), nuevo bivalvo invasor en aguas del Rio da Prata. *Neotropica* 39(101-102):34-36.
- Penchaszadeh PE, Darrigran G, Ângulo C, Averbuj A, Brogger M, Dogliotti A, Pérez 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. *Journal of Shellfish Research* 19(1):229-231.
- Quintela FM, Loebmann D. 2009. Guia Ilustrado: Os répteis da região costeira do extremo sul do Brasil. 1. ed. Pelotas: USEB, 84p.

- Ricciardi A, Rasmussen JB. 1998. Predicting the identity and impact of future biological invaders: a priority for aquatic resource management. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55(1):1759-1765.
- Rilov G, Gasith A, Benayahu Y. 2002. Effect of an exotic prey on the feeding pattern of a predatory snail. *Marine Environmental Research* 54:85–98.
- Samways MJ. 1988. Classical biological control and insect conservation: are they compatible?. *Environmental Conservation* 15:349-54.
- Santos JRM, Delabie JHC. 2011. Controle natural de *Achatina fulica* (Mollusca, Gastropoda) por *Ocypode quadrata* (Crustacea, Decapoda) em restinga antropizada de Ilhéus, Bahia, Brasil. *Sitientibus série Ciências Biológicas* 11(1):94–98.
- Santos SB, Thiengo SC, Fernandez MA, Miyahira IC, Gonçalves ICB, Ximenes RF, Mansur MCD, Pereira D. 2012. Espécies de moluscos límnicos invasores no Brasil in: Mansur MDC, Santos CP, Pereira D, Paz ICP, Zurita MLL, Rodriguez MTR, Nehrke MV, Bergonci PEA. *Moluscos límnicos invasores no Brasil: biologia, prevenção e controle*. Porto Alegre, RS: Redes Editora; p. 25-49.
- Secord D. 2003. Biological control of marine invasive species: cautionary tales and land-based lessons. *Biological Invasions* 5:117–31.
- Sousa R, Rufino M, Gaspar M, Antunes C, Guilhermino L. 2008. Abiotic impacts on spatial and temporal distribution of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in the River Minho Estuary, Portugal. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18(1):98 –110.

- Stech, JL, Lorenzetti JA. 1992. The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. *Journal of Geophysical Research*. 97(66):9507-9520.
- Vieira EF, Rangel SS. 1988. Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Geografia Física, Vegetação e Dinâmica Sócio-demográfica. Porto Alegre, RS: SAGRA; p. 13-22.
- Villwock JA, Tommazelli LJ, Loss EL, Horn NH, Bachi FA, Dehnhardt BA. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. In: Rabassa J. Quaternary of South America Antartica Province, vol. 4. Rotterdam, SH: Balkema; p. 79-97.
- Waterkeyn A, Pineau O, Grillas P, Brendonck L. 2010. Invertebrate dispersal by aquatic mammals: a case study with nutria *Myocastor coypus* (Mammalia, Rodentia) in Southern France. *Hydrobiologia* 654:267–271.
- Wilcove DS, Rothstein D, Dubow J, Phillips A, Losos E. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. *BioScience* 48(8):607-615.
- Wilson EO. 1992. The diversity of life. W.W. Norton, New York, USA.

## CAPÍTULO 1

Manuscrito submetido ao periódico Biological Invasions

### **Does the invasive golden mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) engage in biofouling on native freshwater turtles?**

Cibele C. Cardoso<sup>1</sup>, João P. Vieira<sup>2</sup> and Daniel Loebmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Programa de Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Ciências Biológicas, Laboratório de Vertebrados Ectotérmicos. Av. Itália, Km 8, Vila Carreiros, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brazil, CEP 96.203-900.*

<sup>2</sup>*Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Oceanografia, Laboratório de Ictiologia. Av. Itália, Km 8, Vila Carreiros, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brazil, CEP 96.203-900.*

*\*Corresponding author: contato@danielloebmann.com, Phone: 55(53)32935176, Fax 55(53)32336848*

**Abstract:** Transportation on basibionts is one of the most effective ways for freshwater invertebrates dispersion. We tested if freshwater turtles could act as dispersion vectors of the golden mussel *Limnoperna fortunei*. Chelonians were kept individually during 120 days in a 55 x 74 cm box filled with 300 mussels (1 to 2 cm). By the end of the experiment, mussels had attached to the bodies of individuals of all chelonian species, and the numbers attached were significantly higher ( $p < 0.05$ ) in chelids (*Acanthochelys spixii* =  $13.26 \pm 14.45$ ; *Phrynops hilarii* =  $11.42 \pm 14.75$ ; *Hydromedusa tectifera* =  $5.45 \pm 6.65$ ) than in the only Emydidae evaluated (*Trachemys dorbigni* =  $0.08 \pm 0.35$ ). One *A. spixii* individual was selected to test the capacity of mussels to remain attached during terrestrial displacement, a behavior commonly performed by this species in the wild. We found a strong negative correlation between the number of attached mussels and turtle terrestrial movement ( $r^2 = 0.95$ ). This study represents the first report of *L. fortunei* biofouling on a vertebrate and the first observation of its potential for terrestrial dispersion.

**Keywords:** *Chelidae*, *Emydidae*, *Mitylidae*, vector of dispersion.

## Introduction

The role of vertebrates as dispersion vectors for aquatic invertebrates, including alien species, is well documented worldwide in the literature for species such as amphibians (Bohonak and Whiteman 1999), birds (Figuerola and Green 2002; Green and Figuerola 2005; McMahon 1982), mammals (Waterkeyn et al. 2010) and reptiles (Harding et al. 2011; Lezama et al. 2013). This form of dispersion has been regarded as one of the most effective pathways for freshwater invertebrates to colonize new environments (Michels et al. 2001). These invertebrates can be

transported by settling in the integument or digestive tract of a basibiont (Vanschoenwinkel et al. 2008).

Although the invasive mussel *Limnoperna fortunei* is dispersed mainly through ballast water, it can also be dispersed through other methods such as ship water tanks, sands taken from rivers, aquaculture and use as bait (Darrigran and Damborenea 2005; Fernandes et al. 2012). From a biological point of view, *L. fortunei* can be dispersed by fishes that prey on mussels but are unable to digest them (Oliveira et al. 2010; Penchaszadeh et al. 2000). The use of aquatic invertebrates as basibionts (Lopes et al. 2009; Mansur et al. 2003), i.e., as a substrate organism which is host to the *L. fortunei* (Epibiont) (Wahl 1989) may represent another avenue of species dispersion, although this hypothesis has not yet been tested.

The first record of *L. fortunei* in South America, at Rio da Prata, Argentina (Pastorino et al. 1993) dates back to 1991. Ten years later, this species was already widely distributed in South American countries including Bolivia, Brazil, Paraguay, and Uruguay (Darrigran and Mansur 2006). In the state of Rio Grande do Sul, Brazil, *L. fortunei* was first recorded in 1998 in the Delta Jacuí river, and the species was subsequently found in the Guaíba River, a tributary of the Lagoa dos Patos lagoon (Mansur et al. 2003), and in the São Gonçalo Channel at Lagoa Mirim lake (Burns et al. 2006).

Among the six continental chelonian species recorded in Rio Grande do Sul, the southernmost state of Brazil (see Bujes 2010), four of them, *Trachemys dorbigni* (Emydidae), *Phrynops hilarii*, *Acanthochelys spixii*, and *Hydromedusa tectifera* (Chelidae), inhabit the coastal plain of the state (Quintela et al. 2006; Quintela and Loebmann 2009). All of these species are relatively abundant in this region, especially *Trachemys dorbigni* (Quintela and Loebmann 2009).



Recently, we have investigated if freshwater turtles can prey on *L. fortunei* in the Southern coastal plain of Brazil (SCPB). Our primary observations have identified that mussels have the capacity to attach to chelonians. Based on the ability of the Golden Mussel to biofouling on aquatic organisms, we hypothesized that aquatic chelonians could act as dispersion vectors of *L. fortunei* in the Patos-Mirim system, SCPB. This hypothesis is based on the ability of the golden mussel to biofoul on other aquatic organisms, a phenomenon that can increase in the winter season, when chelonians remain submerged and motionless for extended periods (Lema, 2002).

Moreover, we investigated if the number of attached mussels differed among turtle species as well as among distinct parts of the turtle body. This second hypothesis was based on the idea that distinct species have different morphological features. Additionally, the solid parts of the chelonian body (carapace and plastron) could be more susceptible to biofouling than others, as these regions are less mobile and turtles would be unable to remove mussels from them. Finally, we tested the capacity of *L. fortunei* to remain attached to the chelonian body over the course of terrestrial dislocation.

## **Materials and methods**

### ***Study area***

The coastal plain of southern Brazil encompasses an extensive beach of 620 km of coastline, which is located between the border of Uruguay (municipality of Chuí; 33°45'09" S, 53°23'22" W) and the Mampituba river, in the limits between the two southernmost Brazilian states, Rio Grande do Sul and Santa Catarina (municipality of Torres; 29°20'34" S, 49°42'41" W) (Vieira and Rangel 1988). In

addition to the sand beaches and coastal dunes of the coastline, the coastal plain contains a complex of open landscapes including grasslands, temporary/permanent ponds and hundreds of lakes. These water bodies are often connected after heavy storms, and this temporary connection is of particular concern regarding the dispersion potential of *L. fortunei*. Dispersion increases considerably in these periods, hampering the control and management of the species.

Among these water bodies, the Patos-Mirim Lagoon system (PMLS), covering an area of approximately 10,300 km<sup>2</sup> (Asmus 1998), deserves special attention. The PMLS is oriented parallel to the shore line and is isolated from the Atlantic Ocean by presence of two continental units, the São José do Norte and Rio Grande restingas, both of which are separated by the estuarine zone of the Lagoa dos Patos Lagoon. The São José do Norte restinga is located in the northern coastal plain, isolating the Patos Lagoon from the Atlantic Ocean. The Rio Grande restinga comprises the southern part of the coastal plain, isolating the Lagoa Mirim lake from the Atlantic Ocean. The number of lakes in this restinga is lower than in the São José do Norte restinga, but it contains wetlands and a large lake (Lagoa Mangueira) (Vieira and Rangel 1988). The PMLS and the other freshwater bodies that compose the coastal plain of Rio Grande do Sul are relatively young formations from a geological point of view. These water bodies were formed through four sea transgression/regression cycles that occurred over the past 120 kyears (Villwock et al. 1986). Two protected areas, the Taim Ecological Station and the Lagoa do Peixe National Park, have been established in the study area. However, aquatic invasive species have been reported in these protected areas, including *Limnoperna fortunei* in Taim (Burns et al. 2006) and the crab *Rhithropanopeus harrisi*, native to the Atlantic Coast of North America in Lagoa do Peixe (Loebmann and Vieira 2005).

The climate of the study area is influenced by the subtropical convergence of the Atlantic southwest and the PMLS (Klein 1998). According to the Köppen climate classification system, the region can be considered as humid subtropical (Cfa) (Kottek et al. 2006), with well-defined seasons. Rainfall is relatively constant throughout the year, and the total rainfall accumulation varies from 1,150 to 1,450 mm.year<sup>-1</sup> (Klein 1998). The influence of the South Atlantic anticyclone results in a predominance of northwest and southwest winds, especially in summer and winter, respectively (Stech and Lorenzetti 1992). The average temperature ranges from 13°C to 24°C in the coldest and warmest months, respectively, with a minimum-maximum amplitude of 0°C to 39°C (raw data from the Meteorological Station of the University of Rio Grande).

### ***Sample collection***

All chelonian specimens used in the experiment were collected on the coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil. To collect the specimens, we used a beach seine net 30 m in length.

The golden mussels utilized in the experiments were collected manually from an artificial channel of the water and sanitation company (Companhia Riograndense de Saneamento) located in the municipality of Rio Grande (32°03'15" S, 52°22'18" W, 5 m above sea level). Mussels collected were adults with shell size ranging from 1 to 2 cm. The collection procedures, temporary maintenance of the animals in captivity, and the use of vertebrates in the experiments were authorized by ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - License n° 32620-1) and CEUA-FURG (Comissão de Ética em Uso Animal da Universidade Federal do Rio Grande Proc. n° 23116.003385/2012-15).

## ***Experimental design***

### *Experiment 1*

To perform the experiment, we used the four species of continental chelonians that occurred in the region (see Sample collection section) as model dispersion vectors, employing a total of 16 individuals (four of each species). The morphometric data of the chelonians used in the study are presented in Table 1. The species used as the biofouling model was the golden mussel *Limnoperna fortunei*.

Over the course of the experiment, the temperature was kept at 20°C and photoperiod at 12 hours. The collected mussels were maintained in 80 l aquariums with submersible pumps, while the turtles were housed individually in microcosms (55 x 74 cm rectangular boxes with approximately 100 l of water).

At the beginning of the experiment, a total of 300 mussels with shell lengths of 1 to 2 cm were placed in each microcosm that contained a chelonian. To evaluate mussel colonization, observations were conducted twice weekly over four months (August to November, 2012). At every inspection, we counted the mussels attached to the turtle were counted, and recorded their points of attachment to the turtle (carapace, plastron, tail or members) were also recorded. The dermal shield of the plastron, on which there was a higher incidence of attached mussels, was subdivided into seven distinct parts: (1) gular, (2) subgular, (3) humeral, (4) pectoral, (5) abdominal, (6) femoral, and (7) anal. Only six parts were considered for *T. dorbigni*, as the subgular region is not present in this species. During each inspection, the water of microcosms was renewed and dead mussels were replaced by living individuals.

**Table 1** Morphometric data of chelonians used in the study. CCL = curved carapace length, CCW = curved carapace width

Species	Individual	CCL (cm)	CCW (cm)	Weight (g)
<i>Acanthochelys spixii</i>	1	17.4	14	384.1
<i>Acanthochelys spixii</i>	2	17.8	14.7	465
<i>Acanthochelys spixii</i>	3	19	15.6	625.5
<i>Acanthochelys spixii</i>	4	14	12.3	304.2
<i>Hydromedusa tectifera</i>	1	26	20	890.3
<i>Hydromedusa tectifera</i>	2	26	19	930.2
<i>Hydromedusa tectifera</i>	3	23	18.5	834.9
<i>Hydromedusa tectifera</i>	4	26	20	922
<i>Phrynops hilarii</i>	1	25.5	20	1,256.7
<i>Phrynops hilarii</i>	2	20	17	522.3
<i>Phrynops hilarii</i>	3	20.7	17.1	711.9
<i>Phrynops hilarii</i>	4	37.4	31.5	3,867
<i>Trachemys dorbigni</i>	1	22.5	19.5	1,037.2
<i>Trachemys dorbigni</i>	2	23.1	20	1,024.3
<i>Trachemys dorbigni</i>	3	20	18	716.5
<i>Trachemys dorbigni</i>	4	19.2	17	638.5

### Experiment 2

To evaluate the hypothesis that chelonians are able to disperse *L. fortunei* terrestrially, a second experiment was designed. For this experiment, one individual of *Acanthochelys spixii* (curved carapace width = 17.4 cm, curved carapace length = 14 cm, weight = 384 g) with 45 attached mussels (the greatest number of attached

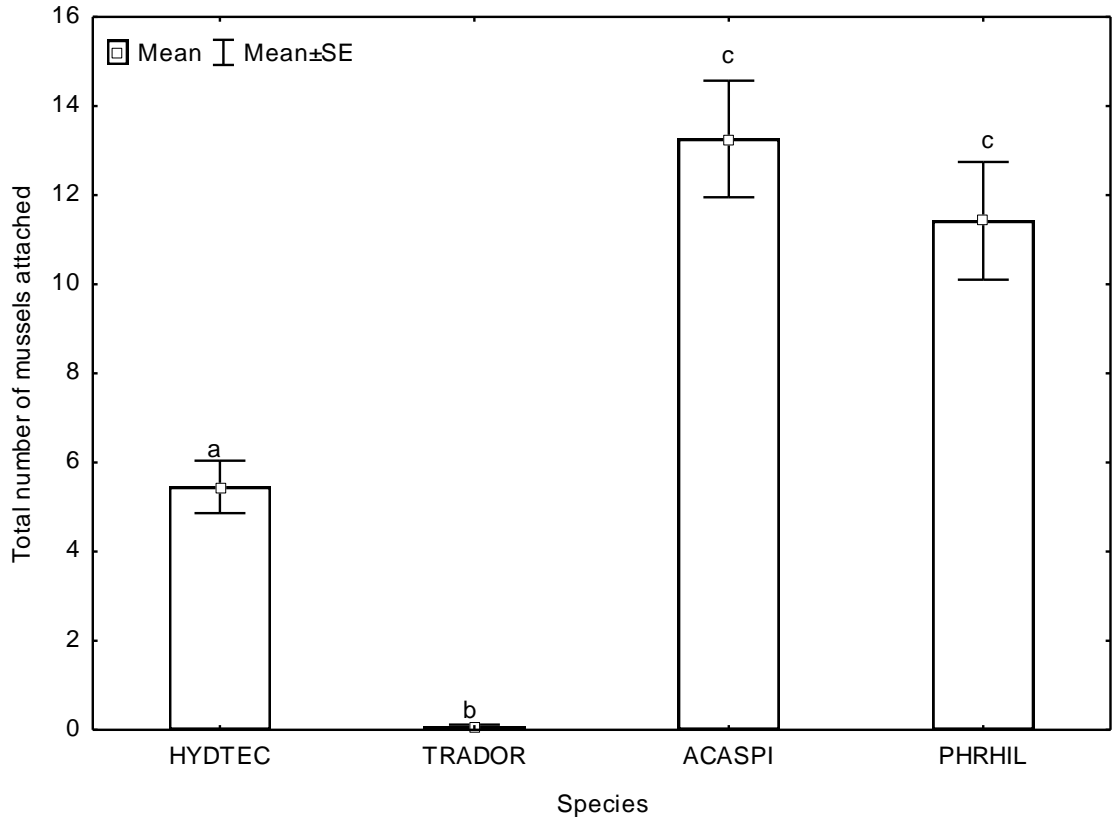
mussels observed at the end of experiment 1) was employed. The individual of *A. spixii* was removed from the microcosm of experiment 1 and placed in a grassland with plants that were approximately 10 cm in height. The turtle was monitored over a displacement of 400 m, and the number of mussels remaining on the shell after each 20 m was recorded. We opted to use *A. spixii* as a model of the potential terrestrial dispersion of *L. fortunei* because this species is frequently found dislocating outside of water bodies (Quintela and Loebmann 2009).

#### *Data analysis*

We used ANOVA to determine a) significant differences in the number of attached mussels among the species and b) significant differences in the number of attached mussels among the different parts of plastron in each species. To evaluate the dispersion ability, we used regression analysis to plot turtle displacement versus the number of mussels observed after each track. The results were considered statistically significant at the level of  $p < 0.05$ .

#### **Results**

The number of *L. fortunei* attached to the chelonians over the course of Experiment 1 ranged from 0 (all species) to 69 (*P. hylarum*). Significant differences ( $p < 0.05$ ) were observed among the mean values of *L. fortunei* attached to each species ( $F(3, 499) = 38.903$ ;  $p = 0.00$ ), with *A. spixii* (mean  $\pm$  standard error) ( $13.26 \pm 14.45$ ) showing the highest mean value, followed by *P. hylarum* ( $11.42 \pm 14.75$ ), *H. tectifera* ( $5.45 \pm 6.65$ ), and finally *T. dorbignii* ( $0.08 \pm 0.35$ ) (Figure 1).

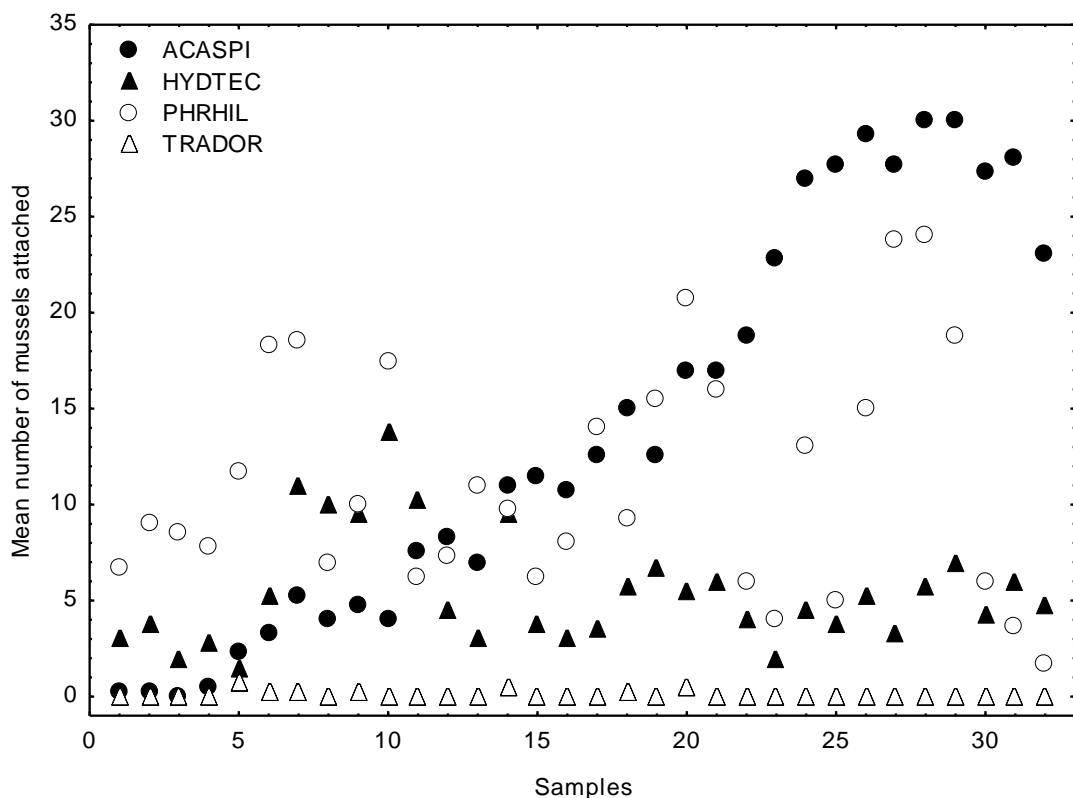


**Fig. 1** Total number of mussels attached in specimens of four freshwater turtle species under laboratorial conditions. HYDTEC = *Hydromedusa tectifera*, TRADOR = *Trachemys dorbigni*, ACASPI = *Acanthochelys spixii*, and PHRHIL = *Phrynops hilarii*. Lower case above boxes indicate results found *a posteriori* test (Tukey HSD test)

As expected, the number of Golden Mussels attached to the chelonians was low in the beginning of the experiment. After the first 15 days of the experiment, most golden mussels had relatively little ability to attach to the chelonians and frequently detached from the turtles. Except for *A. spixii*, which exhibited a steadily increasing number of attached Golden Mussels, the number of mussels on the chelonian species tended to oscillate over the experiment (Figure 2). However, Golden Mussel attachment was observed in all chelid species (*A. spixii*, *H. tectifera*

and *P. hilarii*), while in *T. dorbignii*, many individuals had no *L. fortunei* attached to their bodies (Figure 2).

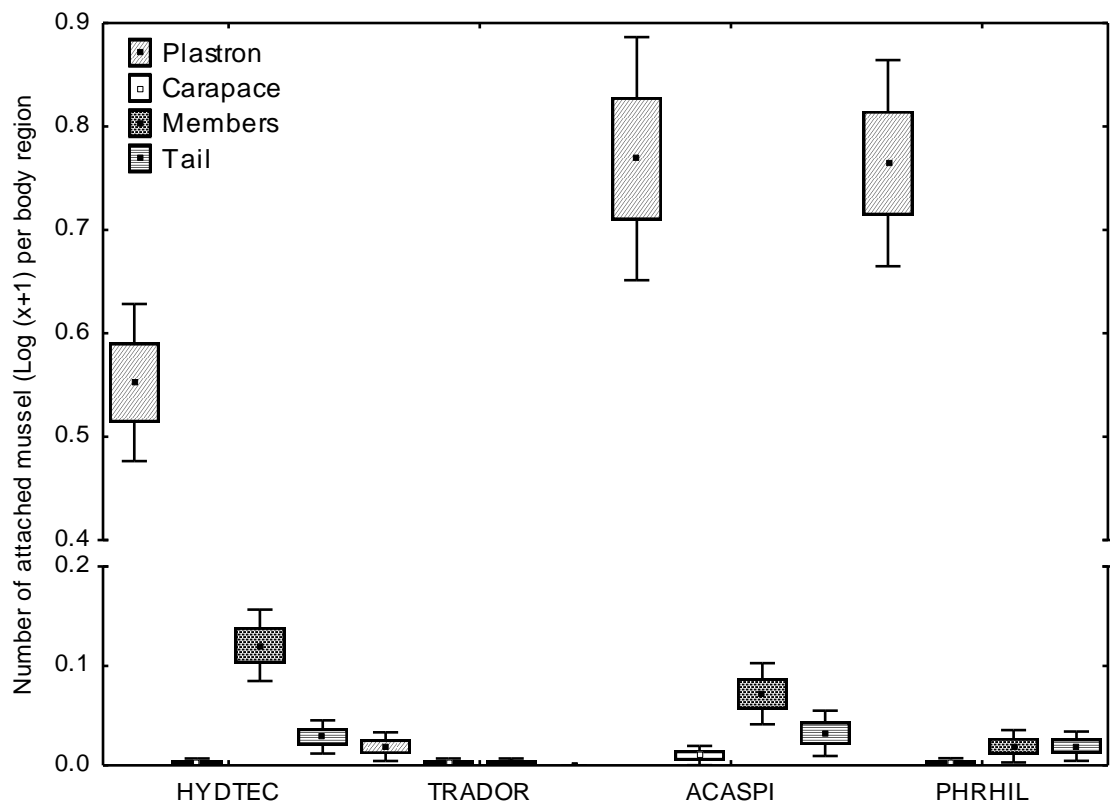
We found significant differences among the number of golden mussels attached to different regions of the body (carapace, plastron, tail and members) (Figure 3) in all species of freshwater turtles: *Acanthochelys spixii* ( $F(3, 484) = 99.427, p = 0.00$ ), *Phrynops hilarii* ( $F(3, 496) = 72.117, p = 0.00$ ), *Hydromedusa tectifera* ( $F(3, 508) = 65.889, p = 0.00$ ), *Trachemys dorbignii* ( $F(3, 508) = 4.2677, p = 0.05$ ). The plastron had the highest incidence of attached mussels (Figure 4), especially in chelids. The remaining parts of the body evaluated (carapace, members and tail) had a lower incidence of attached mussels in all of turtle species.



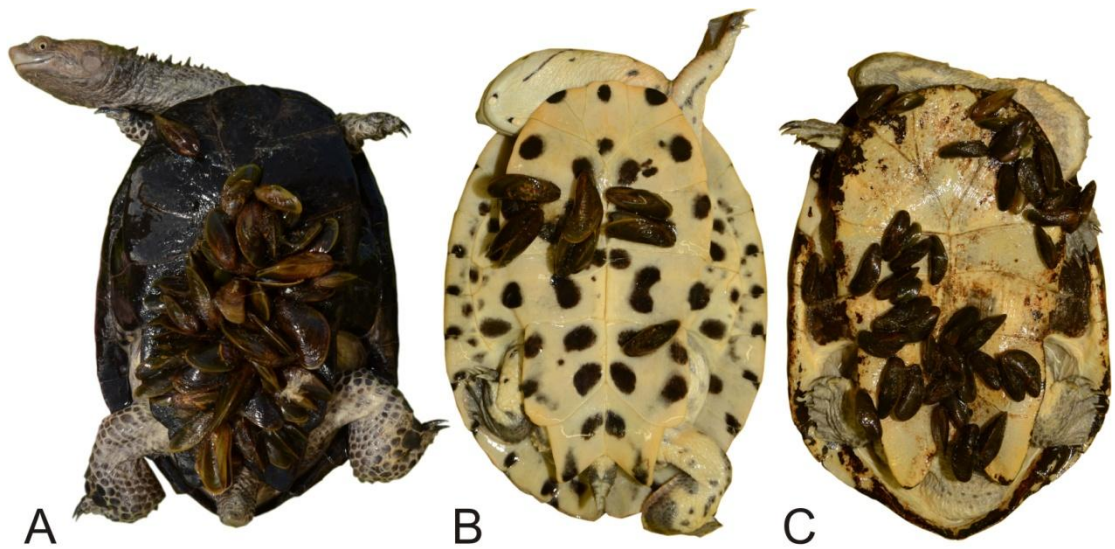
**Fig. 2** Scatterplots of the mean number of mussels attached in the turtles under laboratorial conditions. ACASPI = *Acanthochelys spixii*, HYDTEC = *Hydromedusa tectifera*, PHRHIL = *Phrynops hilarii* and TRADOR = *Trachemys dorbignii*



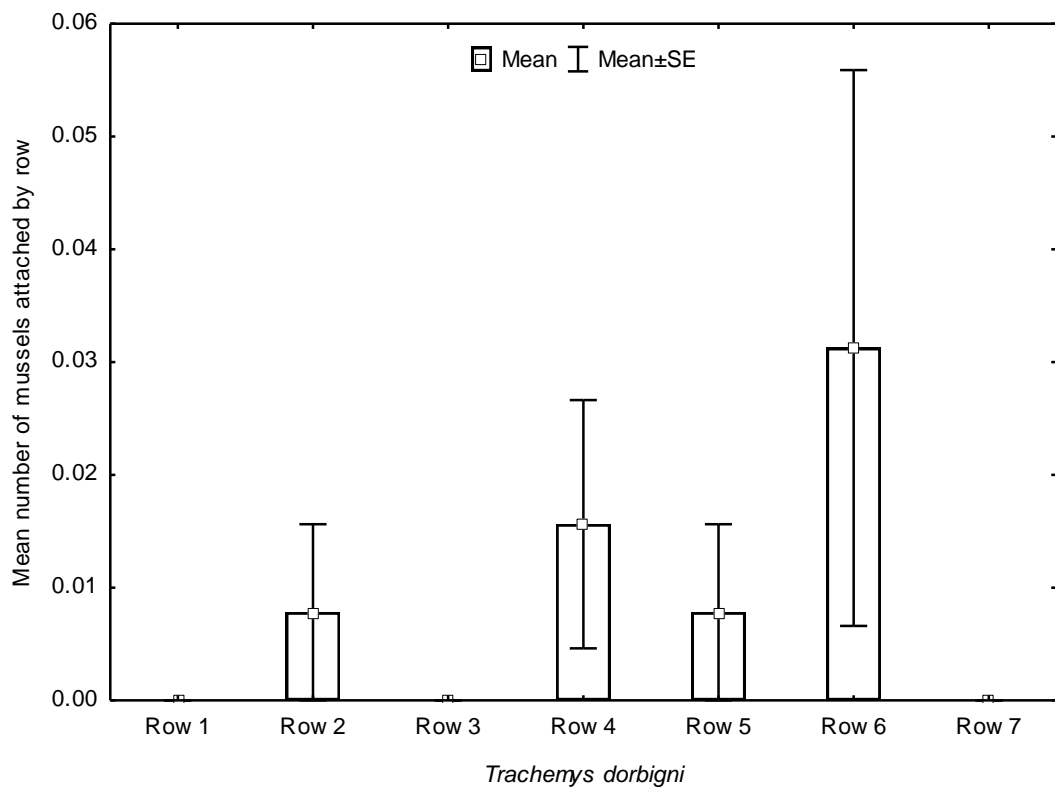
Significant differences in the number of golden mussels were found among the regions of the plastron [1<sup>st</sup> (most anterior) to 7<sup>th</sup> (most posterior) row of dermic scutes], except in *T. dorbigni* ( $F(6, 889) = 1.0763, p = 0.37$ ). Significant higher values of golden mussels were observed in the 1<sup>st</sup>, 3<sup>rd</sup> and 6<sup>th</sup> rows of *Hydromedusa tectifera* ( $F(6, 889) = 27.357, p = 0.00$ ); the 3<sup>rd</sup>, 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> rows of *P. hilarii* ( $F(6, 868) = 25.355, p = 0.00$ ) and the 5<sup>th</sup>, 6<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup> rows of *A. spixii* ( $F(6, 847) = 32.678, p = 0.00$ ) (Figure 5).

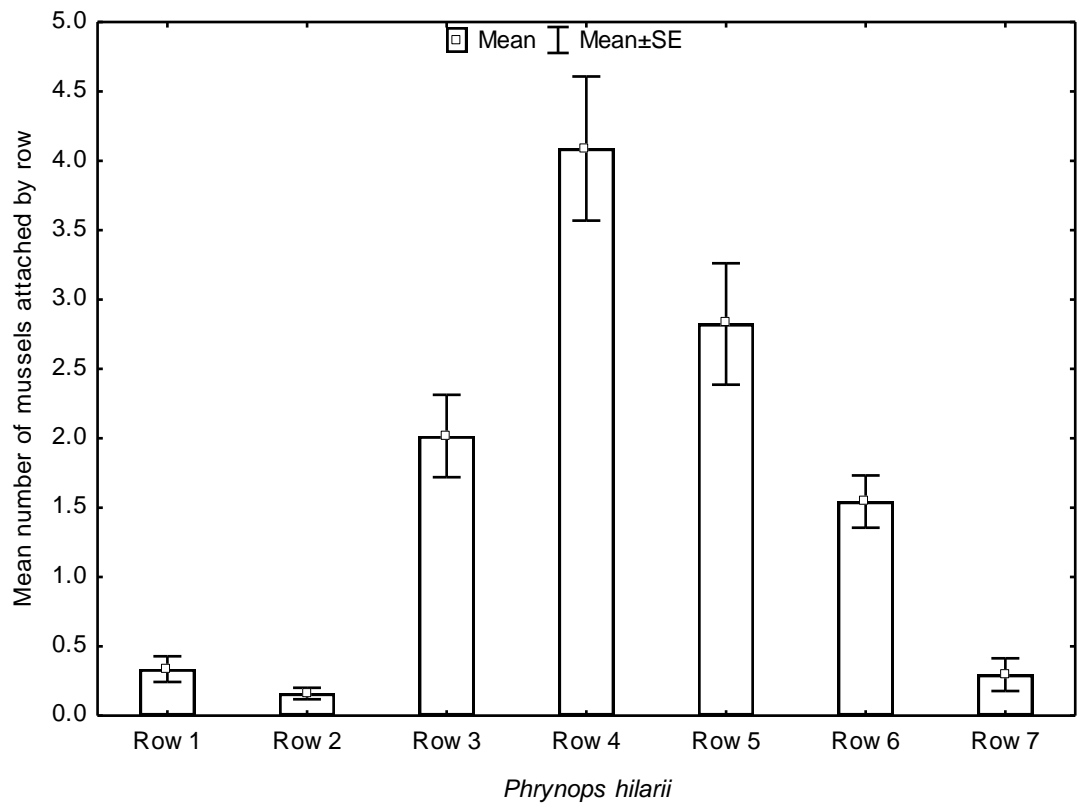
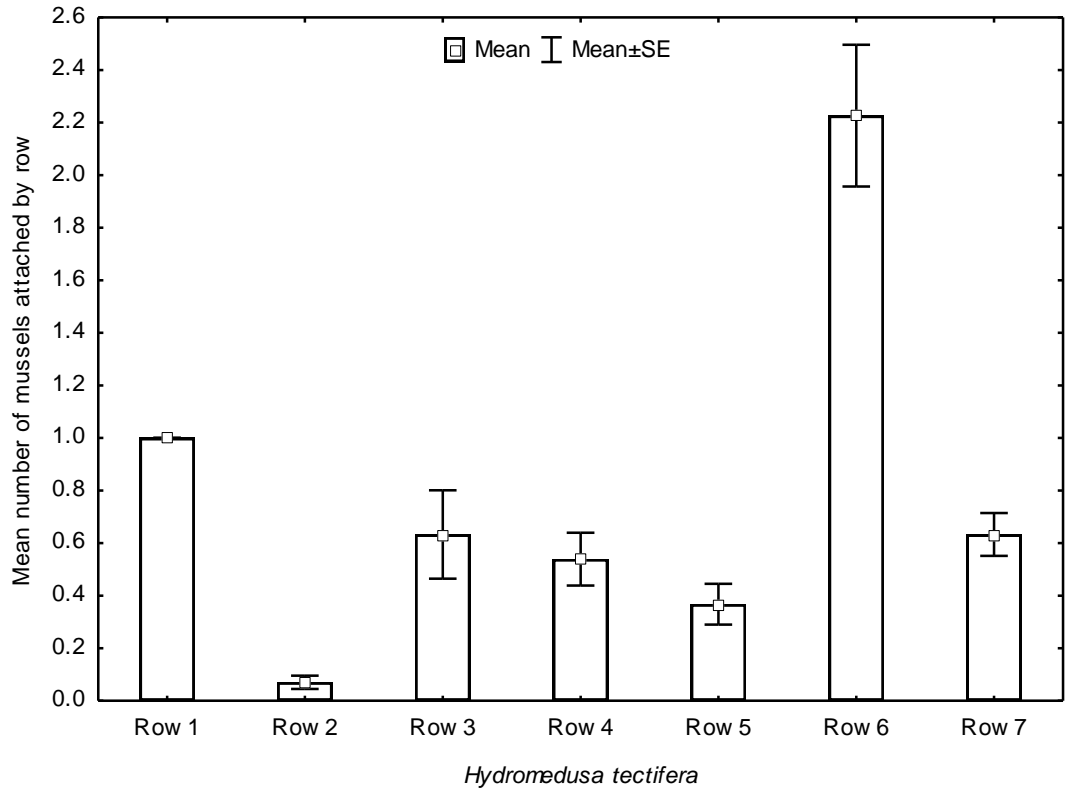


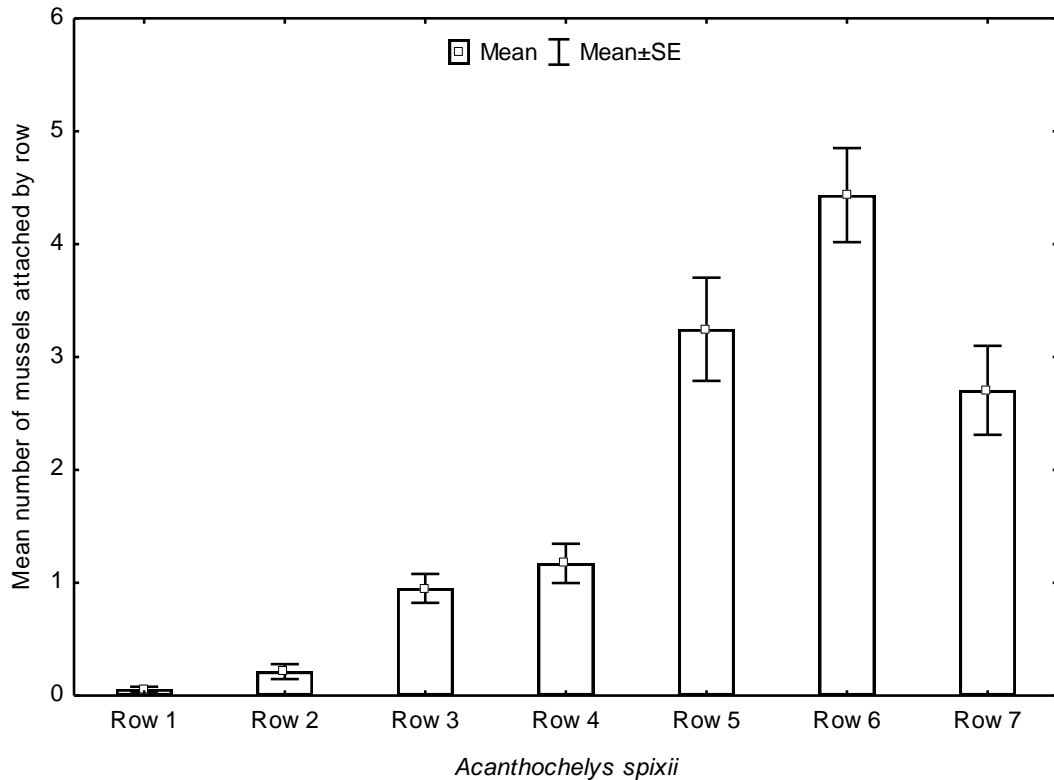
**Fig. 3** Box plot (mean, standard error and confidence interval ( $p < 0.05$ )) of the total number of *Limnoperna fortunei* attached ( $\text{Log } x+1$ ) in each chelonian species used in the experiment at distinct parts of body (plastron, carapace, member and tail). HYDTEC = *Hydromedusa tectifera*, TRADOR = *Trachemys dorbigni*, ACASPI = *Acanthochelys spixii*, and PHRHIL = *Phrynops hilarii*



**Fig. 4** Biofouling of *Limnoperna fortunei* over the plastron of three freshwater turtle species at laboratorial conditions (after 120 days of experiment). A – *Acanthochelys spixii*; B – *Phrynops hilarii*; C – *Hydromedusa tectifera*

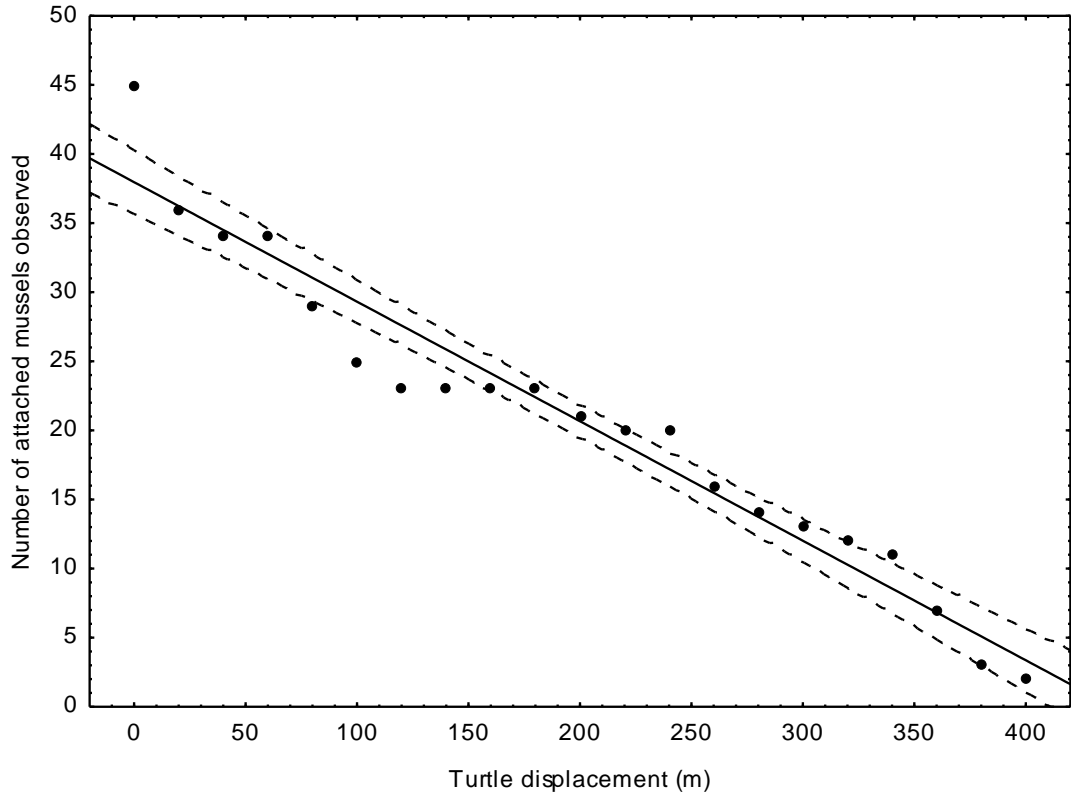






**Fig. 5** Mean and standard errors values of the number of *Limnoperna fortunei* attached in each freshwater turtle species used in a biofouling experiment over four months of observations

Regarding the second experiment performed in this study, we found a strong negative correlation between the number of attached mussels and turtle terrestrial movement ( $r^2 = 0.95$ ;  $p = 0.00$ ; Figure 6). Although most mussels released of turtles' body, two of the original 45 mussels remained attached to the individual of *Acanthochelys spixii* after it had covered a transect of 400 m. This result corroborates the hypothesis that chelonians have the potential to disperse golden mussels terrestrially, especially in environments such as the coastal plain of Rio Grande do Sul that contain a great number of relatively close aquatic bodies.



**Fig. 6** Relationships between the number of attached mussels and terrestrial displacement of *Acanthochelys spixii* along a transect 400 meters long

## Discussion

The use of other animal taxa as substrates of fixation by *L. fortunei* has been reported for several invertebrates such as crustaceans, mollusks and gastropods (Darrigran 2005; Lopes et al. 2009; Mansur et al. 2003). Biofouling with *L. fortunei* may directly influence the activity of specimens in those taxa, including their ability to escape from predators, foraging behavior, and rates of energy consumption (Lopes et al. 2009). Suffocation caused by mussels and the proliferation of fungi and bacteria due to the accumulation of pseudofeces are other important ecological factors that cause negative impact for native biota (Mansur et al. 2003).

Our findings support the two predictions resulting from our initial hypothesis. First, all of the chelonian species tested in the experiment showed the potential to act

as aquatic dispersion vectors of the golden mussel. Second, the results suggest that the chelids *Acanthochelys spixii*, *Phrynops hilarii* and *Hydromedusa tectifera* have higher potential as dispersion vectors than does *T. dorbigni* (Emydidae). Additionally, large and significant differences were observed in the numbers of *L. fortunei* attached to different regions of the chelonian's bodies, with a predominance of mussels on the plastron region. That is, we concluded that golden mussel biofouling tends to occur in the central region of the plastron in *P. hilarii*, while in the other species, biofouling is most concentrated in the posterior region of the plastron, especially in the 6<sup>th</sup> row.

Although the low number of attached mussels on *T. dorbigni* in comparison with that of other species cannot be definitively explained by the present study, several hypotheses may be considered. First, *T. dorbigni* is more active than the other species (D. Loebmann pers. obs.), and it is therefore likely that mussels have more difficulty in attaching and in remaining attached to this species. Second, the chemical composition and/or abrasiveness of the dermic scutes may differ among chelonians, resulting in different probabilities of mussel fixation. In fact, previous studies that have reported biofouling by plants (algae) and invertebrates (Temnocephalidae and Hirudinae), which seems to be more frequent in turtles of the Chelidae than in those of the Emydidae (Brusa and Damborenea 2000; Davy and Shim 2009; Dioni 1967; Ferreira et al. 1993; Neil and Allen 1954). Differential capacity of the turtle species evaluated, i.e., the ability of each species to detach mussels, based on their distinct behaviors and morphological features, might also be involved. For example, the high mean values of attached mussels on *A. spixii* compared to those on other species may be attributed to the underwater behavior of this turtle: among the turtles utilized in

this study, *A. spixii* has been recognized as a typical bottom walker (Bujes 2010), a behavior that could increase its contact with and consequent epibiosis by mussels.

During the experiment, no chelonians died as consequence of biofouling of *L. fortunei*. However, we believe that epibiosis may be responsible for negative impacts to the chelonians over extended periods because with the increase in the number of mussels on the turtle body, it is possible that some behaviors may be changed, including those related with swimming capacity, reproduction and foraging. For example, the region of *H. tectifera* most susceptible to biofouling by *L. fortunei* was that corresponding to the femoral scutes (6<sup>th</sup> row). In males, this area is severely concaved, as an adaptation for mating (Lema 2002) and, therefore, it is possible that the accumulation of mussels on this area could prevent reproductive success.

In these experiments, we used only large individuals of *L. fortunei* (10 to 20 mm TL). Large individuals are known to have lower abilities of locomotion and fixation in comparison to smaller individuals and larvae (Uryu et al. 1996). Under natural conditions, colonies of *L. fortunei* can reach densities of over 5,000 mussels m<sup>-1</sup> (Boltovskoy and Cataldo 1999). Consequently, it is possible that under conditions of golden mussel infestation with individuals in several distinct life cycle phases, the fixation of golden mussels on chelonians could be a severe issue. Additionally, in the region where the experiment was conducted, all species of chelonians remain submerged and practically immobile for three to four months (Lema 2002), considerably favoring biofouling with the golden mussel.

This study represents the first report of the potential for terrestrial dispersion of the golden mussel, a situation that is apparently uncommon for aquatic mollusks. To our knowledge, the only previous comparable report concerned the dispersion of *Corbicula fluminea* on the members and feathers of aquatic birds (Darrigran 2002).

This new potential form of dispersion of the golden mussel deserves special attention, especially in regions like Rio Grande do Sul coastal plain, where water bodies are relatively near each other, providing a new way of dispersion of this invasive species to water bodies without connection.

However, the results indicated that the potential of chelonians as dispersion vectors is much higher for aquatic dispersion. It is important to stress that aquatic environments are considered more susceptible to the introduction of alien species than are terrestrial ones (Sala et al. 2000). This situation is of particular concern to the study area due to the high number of coastal lagoons that compose the Rio Grande do Sul coastal plain, as previously described.

In conclusion, this study identifies native freshwater turtles as potential aquatic and terrestrial dispersion vectors of *L. fortunei*. An understanding of the different forms of introduction and dispersion of invasive species is important for efforts to control the populations of these species and, perhaps, to reduce the impacts caused by their extensive proliferation. Therefore, the results presented in this article provide new insights into the dispersion capacity of the golden mussel and highlight the necessity for investing in management and control programs for *Limnoperna fortunei* in the Patos-Mirim Lagoon system, that include periodical examination of representatives of freshwater turtles from populations inhabiting this region.

### **Acknowledgements**

The authors are grateful to Bruno Iguere Gonçalves, Lais Crizel de Oliveira and Arian de Souza Larroque for their help during the *ex situ* experiments. Ana Cecília Giacometti Mai, Daniele Corrêa, Gabriel Eberts, Marcos Antônio Silva Marques provided support during field collection. This research was supported by a grant from



the Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) (proc. 478250/2012-6). C. Cardoso is supported by a MSc. scholarship from the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## References

- Asmus ML (1998) A Planície Costeira e a Lagoa dos Patos. In: Seeliger U, Odebrecht C, Castello, JP. O Ecossistema Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Ecoscientia, Rio Grande, RS, pp 9-12
- Bohonak AJ, Whiteman HH (1999) Dispersal of the fairy shrimp *Branchinecta coloradensis* (Anostraca): effects of hydroperiod and salamanders. *Limnol Oceanogr* 44:487–493
- Boltovskoy D, Cataldo DH (1999) Population Dynamics of *Limnoperna fortunei*, an Invasive Fouling Mollusc, in the Lower Paran River (Argentina). *Biofouling* 14:255-263
- Brusa F, Damborenea MC (2000) First Report of *Temnocephala brevicornis* Monticelli 1889 (Temnocephalidae: Platyhelminthes) in Argentina. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 95:81-82
- Bujes C (2010) Os Testudines continentais do Rio Grande do Sul, Brasil: taxonomia, história natural e conservação. *Iheringia Sér Zool* 100:413-424
- Burns MDM, Geraldi RM, Garcia AM, Bemvenuti CE, Capitoli RR, Vieira JP (2006) Primeiro registro de ocorrência do mexilhão-dourado *Limnoperna fortunei* na bacia de drenagem da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. *Biociências* 14:83-84
- Darrigran G (2002) Potential impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments. *Biol Invasions* 4:145–156

- Darrigran G, Damborenea C (2005) A South American bioinvasion case history: *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), the golden mussel. *Am Malacol Bull* 20:105-112
- Darrigran G, Mansur MCD (2006) Distribución, abundancia y dispersión. In: Darrigran G, Damborenea C. Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano. Edulp, La Plata, BA, pp 93-110
- Davy CM, Shim KC (2009) Leech (Annelida: Hirudinea) infestations on Canadian turtles, including the first Canadian record of *Helobdella modesta* from fresh water turtles. *Can Field Nat* 123:44–47
- Dioni W (1967) *Temnocephalas uruguayas* II. Descripción de *Temnocephala talicei* n. sp. y notas sobre *T. axenos* Monticelli (Platyhelmintha). *Physis* 26:477-484
- Fernandes FC, Mansur MCD, Pereira D, Godoy LV, Campos SC, Danelon OM (2012) Abordagem conceitual dos moluscos invasores nos ecossistemas límnicos brasileiros in: Mansur MDC, Santos CP, Pereira D, Paz ICP, Zurita MLL, Rodriguez MTR, Nehrke MV, Bergonci PEA. Moluscos límnicos invasores no Brasil: biologia, prevenção e controle. Redes Editora, Porto Alegre, RS, pp 18-23
- Ferreira Yuki VL, Damborenea MC, Osorio Mallman MT (1993) *Acantochelys spixii* (Duméril et Bibron, 1835) (Chelidae) e *Trachemys dorbigni* (Duméril et Bibron, 1835) (Emydidae) (Testudines) como hospedeiros de *Temnocephala brevicornis* Monticelli 1889 (Temnocephalidae) (Platyhelminthes). *Comum Mus Ciênc PUCRS sér zool* 6:75-83
- Figuerola J, Green AJ (2002) Dispersal of aquatic organisms by waterbirds: a review of past research and priorities for future studies. *Freshw Biol* 47:483–494

- Green, AJ, Figuerola J (2005) Recent advances in the study of long-distance dispersal of aquatic invertebrates via birds. *Diversity and Distributions* 11:149–156. doi: 10.1111/j.1366-9516.2005.00147.x
- Harding JM, Walton WJ, Trapani CM, Frick MG, Mann R (2011) Sea turtles as potential dispersal vectors for non-indigenous species: the veined rapa whelk as an epibiont of loggerhead sea turtles. *Southeast Nat* 2011:233–244. doi: 10.1656/058.010.0204
- Klein AHF (1998) Clima Regional. In: Seeliger U, Odebrecht C, Castello JP. *Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil*. Editora Ecossocientia, Rio Grande, RS, pp 5-7
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F (2006) World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol Z* 15:259-263. doi: 10.1127/0941-2948/2006/0130
- Lema T. 2002. Os Répteis do Rio Grande do Sul: Atuais e fósseis—Biogeografia e ofidismo. EDIPUCRS, Porto Alegre, RS, pp 35-39
- Lezama C, Carranza A, Fallabrino A, Estrades A, Scarabino F, Mendilaharsu ML (2013) Unintended backpackers: bio-fouling of the invasive gastropod *Rapana venosa* on the green turtle *Chelonia mydas* in the Río de la Plata Estuary, Uruguay. *Biol Invasions* 15:483–487. doi: 10.1007/s10530-012-0307-9
- Loebmann D, Vieira JP (2005) Composição e abundância dos peixes do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, Rio Grande do Sul, Brasil e comentários sobre a fauna acompanhante de crustáceos decápodos. *Atlântica*. 27:131-137
- Lopes MN, Vieira JP, Burns MDM (2009) Biofouling of the golden mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) over the Anomura crab *Aegla platensis* Schmitt, 1942. *Panam- J Aquat Sci* 4:222-225

- Mansur MCD, Santos CP, Darrigran G, Heydrich I, Callil CT, Cardoso FR (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. *Rev Bras Zool* 20:75-84
- McMahon RF (1982) The occurrence and spread of the introduced asiatic freshwater clam, *Corbicula fluminea* (Muller), in North America: 1924–1982. *Nautilus* 96: 134–141
- Michels EK, Cottenie K, Neys L, De Meester L (2001) Zooplankton on the move: first results on the quantification of dispersal of zooplankton in a set of interconnected ponds. *Hydrobiologia* 442:117–126
- Neill WT, Allen ER (1954) Algae on turtles: some additional considerations. *Ecology* 35:581-584
- Oliveira CRC, Fugi R, Brancalhão KP, Agostinho AA (2010) Fish as potential controllers of invasive molluscs in a neotropical reservoir. *Nat Conserv* 8(2):140-144. doi: 10.4322/natcon.00802006
- Pastorino G, Darrigran G, Martin SM, Lunaschi L (1993) *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae), nuevo bivalvo invasor en aguas del Rio da Prata. *Neotropica* 39:34-36
- Penchaszadeh PE, Darrigran G, Angulo C, Averbuj A, Brögger M, Dogliotti A, Pérez N (2000) Predation of the invasive freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) by the fish *Leporinus obtusidens* Valenciennes, 1846 (Anostomidae) in the Río de la Plata, Argentina. *J Shellfish Res* 19:229–231
- Quintela FM, Loebmann D, Gianuca NM (2006) Répteis continentais do município de Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biociências* 14:180-188

- Quintela FM, Loebmann D (2009) Guia Ilustrado: Os répteis da região costeira do extremo sul do Brasil. 1. Ed., USEB, Pelotas, RS
- Sala OE, Chapin FS, Armesto JJ, Berlow E, Bloomfield J, Huber-Sanwald RDE, Huenneke LF, Jackson RB, Kinzig A, Leemans R, Lodge DM, Mooney HA, Oesterheld M, Poff NL, Sykes MT, Walker BH, Walker M, Wall DH (2000) Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287:1770-1774. doi: 10.1126/science.287.5459.1770
- Stech, JL, Lorenzetti JA (1992) The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. *J Geophys Res* 97:9507-9520. doi: 10.1029/92JC00486
- Uryu Y, Iwasaki K, Hinoue M (1996) Laboratory Experiments on Behaviour and Movement of a Freshwater Mussel, *Limnoperna fortunei* (DUNKER). *Moll Stud* 62:327-341. doi: 10.1093/mollus/62.3.327
- Vanschoenwinkel B, Waterkeyn A, Vandecaetsbeek T, Pineau O, Grillas P, Brendonck L (2008) Dispersal of freshwater invertebrates by large terrestrial mammals: a case study with wild boar (*Sus scrofa*) in Mediterranean wetlands. *Freshw Biol* 53:2264–2273. doi: 10.1111/j.1365-2427.2008.02071.x
- Vieira EF, Rangel SS (1988) Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Geografia Física, Vegetação e Dinâmica Sócio-demográfica. SAGRA, Porto Alegre, RS
- Villwock JA, Tommazelli LJ, Loss EL, Horn NH, Bachi FA, Dehnhardt BA (1986) Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. In: Rabassa J. Quaternary of South America Antartica Province, vol. 4. Rotterdam, SH: Balkema, pp 79-97
- Wahl, M. 1989. Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling: some basic aspects. *Mar. Ecol Prog. Ser* 58. 175-189

Waterkeyn A, Pineau O, Grillas P, Brendonck L (2010) Invertebrate dispersal by aquatic mammals: a case study with nutria *Myocastor coypus* (Mammalia, Rodentia) in Southern France. *Hydrobiologia* 654:267–271. doi: 10.1007/s10750-010-0388-3

## CAPÍTULO 2

Manuscrito a ser submetido ao periódico Biological Invasions

**Avaliando a capacidade de predação do molusco invasor *Limnoperna fortunei*  
(Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) por quelônios de água doce: uma  
abordagem *ex situ***

Cibele C. Cardoso<sup>1</sup>, Bruno Iguere Gonçalves<sup>2</sup>, João P. Vieira<sup>3</sup> & Daniel Loebmann<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>*Programa de Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Ciências Biológicas, Laboratório de Vertebrados Ectotérmicos. Av. Itália, Km 8, Vila Carreiros, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brazil, CEP 96.203-900. (55 53) 32935176.*

<sup>2</sup>*Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Ciências Biológicas, Laboratório de Vertebrados Ectotérmicos. Av. Itália, Km 8, Vila Carreiros, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brazil, CEP 96.203-900.*

<sup>3</sup>*Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Oceanografia, Laboratório de Ictiologia. Av. Itália, Km 8, Vila Carreiros, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brazil, CEP 96.203-900.*

*\*Corresponding author: contato@danielloebmann.com, Phone: 55(53)32935176, Fax 55(53)32336848*

**Resumo:** Um dos maiores problemas quando uma espécie invasora se estabelece em um novo ambiente é a falta de predadores capazes de consumi-las. Testamos em uma abordagem *ex situ* a capacidade de predação do molusco invasor *Limnoperna fortunei* o mexilhão-dourado, por quatro espécies de quelônios nativos da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. Um total de 34 quelônios foram mantidos individualmente em microcosmos, onde 100 mexilhões eram mantidos constantemente durante um período de 90 dias. Todas as espécies apresentaram potencial de predação do mexilhão-dourado, tendo sido consumidos 28% dos mexilhões oferecidos. No entanto, foram observadas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) no número de mexilhões consumidos, com maior consumo registrado em *T. dorbigni* ( $36,98 \pm 43,06$ ) e *P. hilarii* ( $39,69 \pm 43,44$ ), do que em *H. tectifera* ( $2,23 \pm 4,79$ ) e *A. spixii* ( $0,12 \pm 0,39$ ). Comparações intraespecíficas revelaram variação individual no número de mexilhões consumidos por observação: 0-2 mexilhões em *Acanthochelys spixii*, 0-22 em *Hydromedusa tectifera* e 0-100 em *Phrynops hilarii* e *Trachemys dorbigni*. Uma regressão linear mostrou tendência para o aumento do número de mexilhões consumidos em indivíduos com tamanhos maiores, em todas as espécies, mas apenas para *T. dorbigni* essa tendência foi significativamente diferente ( $r = 0,50$ ,  $p < 0,05$ ). Apesar de que foi detectado diferenças significativas no número de mexilhões consumidos ao longo do tempo para *Acanthochelys spixii* ( $F = 2,46$ ,  $p \approx 0,00$ ) nenhuma relação entre o número de mexilhões consumidos e observações foi detectada. Concluimos que tanto *P. hilarii* como *T. dorbigni* são espécies com elevado potencial para predação de *L. fortunei* sendo ambas candidatas a atuar no controle desta espécie invasora. No entanto, estudos futuros na natureza são necessários para avaliar esta viabilidade.

**Palavras-chave:** Chelidae; controle biológico; Emydidae; Mytilidae.



**Abstract:** One of the major problems once that an invasive species has been established in a new environment is the lack of predators which are able for preying upon them. Herein, we tested throughout *ex situ* approach the capacity of four species of freshwater turtles from Rio Grande do Sul state coastal plain, Brazil for feeding on the invasive Golden Mussel *Limnoperna fortunei*. Each chelonian was kept individually in microcosms where a total of 100 mussels were maintained during a period of 90 days. All species showed potential to preying on mussels and 28% of total amount of mussels offered were consumed. However, significant differences ( $p < 0.05$ ) in the number of consumed mussels were observed being the number of consumed mussels higher in *T. dorbigni* ( $36.98 \pm 43.06$ ) and *P. hiliarii* ( $39.69 \pm 43.44$ ) than *H. tectifera* ( $2.23 \pm 4.79$ ) and *A. spixii* ( $0.12 \pm 0.39$ ). Intraspecific comparisons revealed individual variation in the number of consumed mussels per observation, ranging from 0-2 in *Acanthochelys spixii*, 0-22 in *Hydromedusa tectifera* and 0-100 in *Phrynops hiliarii* and *Trachemys dorbigni*. Linear regression showed a tendency in the increase of the number of consumed mussels in individuals with higher size in all species, but only for *T. dorbigni* it was significantly different ( $r = 0.50$ ,  $p < 0.05$ ). In spite that was detected significant differences in the consumption of mussels through the time for *Acanthochelys spixii* ( $F = 2.46$ ,  $p \approx 0.00$ ) no relationships between number of mussels consumed and observations was detected. We concluded that both *P. hiliarii* such *T. dorbigni* are species with high potential for preying upon *L. fortunei* and both are species candidate to acting in the control of this invasive mussel. However, future studies in the wild are necessary to evaluate this viability.

**Keywords:** Biological control; Chelidae; Emydidae; Mytilidae.

## Introdução

Uma das formas de regular a densidade populacional de espécies invasoras é através do controle biológico, onde inimigos naturais atacam organismos considerados pragas, os quais prejudicam os interesses humanos. Normalmente essas pragas não são nativas da região onde causam os impactos, porém os organismos usados para o seu controle podem ser nativos ou introduzidos (Secord 2003). A principal vantagem do controle biológico frente aos métodos mecânicos ou químicos é o controle de pragas sem causar *a priori* efeitos deletérios ao meio (Samways 1988).

A utilização de espécies exóticas para o controle de pragas, no entanto, tem se demonstrado uma alternativa catastrófica, na maioria dos casos. A utilização de espécies exóticas de peixes (e.g. Lloyd 1990; Howart 1991), anfíbios (Shine 2010), lagartos (Peres Jr 2001), moluscos (Civeyrel & Simberloff 1996), mamíferos (Yamada 2002) e insetos (Louda et al. 1997) para controle de pragas tem causado diversos impactos negativos ao meio ambiente, ao contrário do que previamente se esperava. Uma das formas de evitar os impactos causados pelo controle biológico com espécies exóticas é a utilização de espécies nativas para realizar esse papel.

Espécies exóticas, quando estabelecidas em seu novo ambiente, podem ser incorporadas à cadeia alimentar local, seja como consumidoras ou como presas (Dudas et al. 2005). Assim, a predação pode torna-se uma das principais formas de controle biológico natural de espécies invasoras.

A dieta dos quelônios aquáticos de água doce é bastante ampla, sendo estes considerados de maneira geral, como onicarnívoros (Souza 2004) ou onívoros oportunistas (Legler 1993). Os principais itens são larvas de insetos que tem parte de seu desenvolvimento na água, como Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera,

Trichoptera, além de outros invertebrados e vertebrados (Souza 2004). A dieta desses quelônios também está relacionada diretamente com a disponibilidade do recurso no ambiente (Assman et al. 2013) e pode variar de acordo com a estação climática, indivíduos, sexo e idade (Pough 2004).

Em uma região de planície costeira no Brasil subtropical são encontradas quatro espécies de quelônios aquáticos: *Acanthochelys spixii*, *Hydromedusa tectifera*, *Phrynops hilarii* e *Trachemys dorbigni* (Quintela et al. 2006; 2009; Bujes 2010). Dentre elas, é sabido que *T. dorbigni* preda o mexilhão-dourado *Limnoperna fortunei* na natureza (Bujes et al. 2007). Assim, nós testamos através de experimentos *ex situ* se os quelônios aquáticos nativos podem atuar como potenciais predadores do molusco invasor *Limnoperna fortunei*, exercendo um papel no controle populacional dessa espécie invasora.

## **Material e Métodos**

### ***Área de estudo***

A planície costeira do extremo sul do Brasil está situada entre a barra do Chuí (33°45'09" S e 53°23'22" W) ao sul e a barra do Rio Mampituba (29°20'34" S e 49°42'41" W) ao norte (Vieira and Rangel 1988). A feição dominante da planície costeira é o complexo lagunar Patos-Mirim, com uma superfície de aproximadamente 10.300 km<sup>2</sup> (Asmus 1998). As duas grandes unidades geomorfológicas da planície costeira são as restingas de São José do Norte e Rio Grande, que são separadas pela zona estuarina da laguna dos Patos. O clima da região segundo a classificação *Köppen-Geiger* é subtropical húmido (Cfa). As estações de verão e inverno são bem definidas, com ocorrência de precipitações durante todos os meses do ano (Kottek et al. 2006).

### ***Coleta de Material Biológico***

Os quelônios foram coletadas na Planície costeira do extremo sul do Brasil. Os indivíduos foram capturados com a utilização de redes de arrasto manual com 30 metros de comprimento. Os mexilhões utilizados durante o experimento foram coletados no canal da CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), localizado no município de Rio Grande, (32°03'15" S, 52°22'18" W, 5 m a.s.l.) através de coleta manual ou com o auxílio de uma draga. Maiores detalhes da Área de Estudo e Coleta de Material Biológico podem ser vistos no item Capítulo 1.

### ***Experimento***

Para o experimento foram utilizados 34 quelônios, sendo *Acanthochelys spixii* (n=6), *Hydromedusa tectifera* (n=4), *Phrynops hilarii* (n=8) e *Trachemys dorbigni* (n=16). Cada quelônio submetido ao experimento foi pesado e feitas duas medidas biométricas: comprimento curvilíneo da carapaça (CCC) e largura curvilínea da carapaça (LCC) em cm (Tabela 1).

A sala do experimento foi mantida à temperatura de 20°C e 12/12 horas de fotoperíodo. Os quelônios foram acondicionados individualmente em microcosmos (55 cm x 74 cm) com aproximadamente 100 l de água, por 90 dias, onde foram oferecidos 100 mexilhões (1 a 2 cm de comprimento máximo da concha) para cada indivíduo. Para constatar se a predação estava ocorrendo, foram feitas duas vistorias semanais, quando foi realizada a contagem no número de mexilhões em cada microcosmos, e os mexilhões predados e mortos eram substituídos.

**Tabela 1** Dados morfométricos dos quelônios utilizados no estudo. CCC= comprimento curvilíneo da carapaça, LCC= largura curvilínea da carapaça

<b>Espécie</b>	<b>Individuo</b>	<b>CCC (cm)</b>	<b>LCC (cm)</b>	<b>Peso (g)</b>
<i>Acanthochelys spixii</i>	1	18	15	500
<i>Acanthochelys spixii</i>	2	19	15.6	625.5
<i>Acanthochelys spixii</i>	3	17.4	14	384.1
<i>Acanthochelys spixii</i>	4	14	12.3	304.2
<i>Acanthochelys spixii</i>	5	17.8	14.7	465
<i>Acanthochelys spixii</i>	6	16.7	13.5	300
<i>Hydromedusa tectifera</i>	1	26	19	930.2
<i>Hydromedusa tectifera</i>	2	26	20	890.3
<i>Hydromedusa tectifera</i>	3	23	18.5	834.9
<i>Hydromedusa tectifera</i>	4	26	20	922
<i>Phrynops hilarii</i>	1	40	31.5	4,330
<i>Phrynops hilarii</i>	2	36.5	30	3,763
<i>Phrynops hilarii</i>	3	39	31.3	4,410.5
<i>Phrynops hilarii</i>	4	36.5	30.5	3831,9
<i>Phrynops hilarii</i>	5	25.5	20	1256,7
<i>Phrynops hilarii</i>	6	20.7	17.1	711,9
<i>Phrynops hilarii</i>	7	39.8	30	4450
<i>Phrynops hilarii</i>	8	17.9	14.9	422
<i>Trachemys dorbigni</i>	1	23	20	1152,2
<i>Trachemys dorbigni</i>	2	24.5	21	1350,7
<i>Trachemys dorbigni</i>	3	25	21	1357,1
<i>Trachemys dorbigni</i>	4	23.7	20	1270,7
<i>Trachemys dorbigni</i>	5	19	16.3	693,2
<i>Trachemys dorbigni</i>	6	18.2	16.3	715,2
<i>Trachemys dorbigni</i>	7	25.5	24	1929
<i>Trachemys dorbigni</i>	8	22.5	19.5	1037,2
<i>Trachemys dorbigni</i>	9	23.1	20	1024,3
<i>Trachemys dorbigni</i>	10	26	24	1900
<i>Trachemys dorbigni</i>	11	25.5	23.5	1500
<i>Trachemys dorbigni</i>	12	20	18	716, 5
<i>Trachemys dorbigni</i>	13	19.2	17	638,5
<i>Trachemys dorbigni</i>	14	25	21.7	1320
<i>Trachemys dorbigni</i>	15	23	19	1000
<i>Trachemys dorbigni</i>	16	24	21	1250

### ***Análise dos dados***

Utilizamos ANOVA ( $p < 0,05$ ) para verificar se ocorriam diferenças significativas entre o número de mexilhões consumidos por cada espécie, também para identificar se existiam diferenças no consumo entre os indivíduos de uma mesma espécie. Para averiguar a possível relação entre o número de mexilhões consumidos e o tamanho dos quelônios foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson.

### **Resultados**

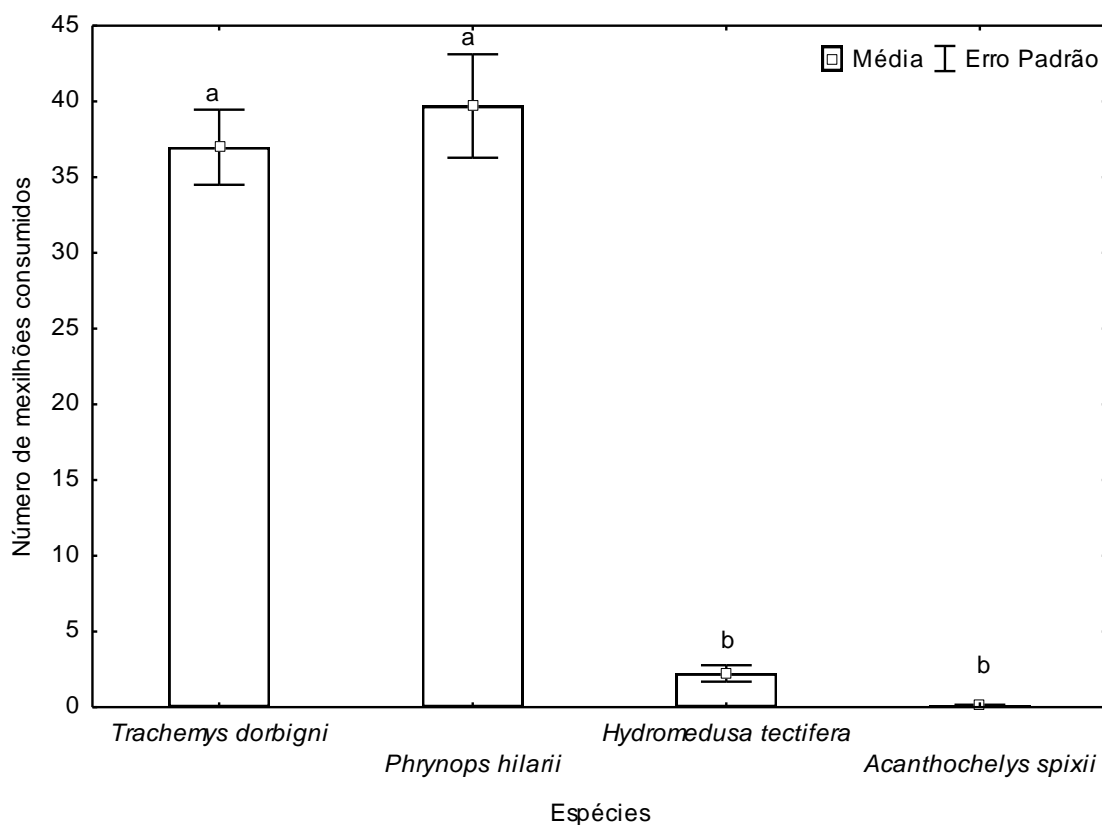
Dos 62200 mexilhões oferecidos durante o experimento, 17751 (28%) deles foram consumidos. Todas as espécies demonstraram capacidade de predar mexilhões, sendo que *Acanthochelys spixii* consumiu 0,1% dos mexilhões oferecidos, *Hydromedusa tectifera* 2%, *Phrynops hilarii* 40% e *Trachemys dorbigni* 37% (Tabela 2).

Diferenças significativas foram encontradas no consumo de mexilhões entre as espécies ( $F(3, 658)=48.689$ ,  $p=0.00$ ), sendo que o número de mexilhões consumidos foi significativamente maior em *T. dorbigni* [(36,98±43,06) n=301] e *P. hilarii* [(39,69±43,44) n=162] do que em *H. tectifera* [(2,23±4,79) n=78] e *A. spixii* [(0,12±0,39) n=121] (Figura 1).

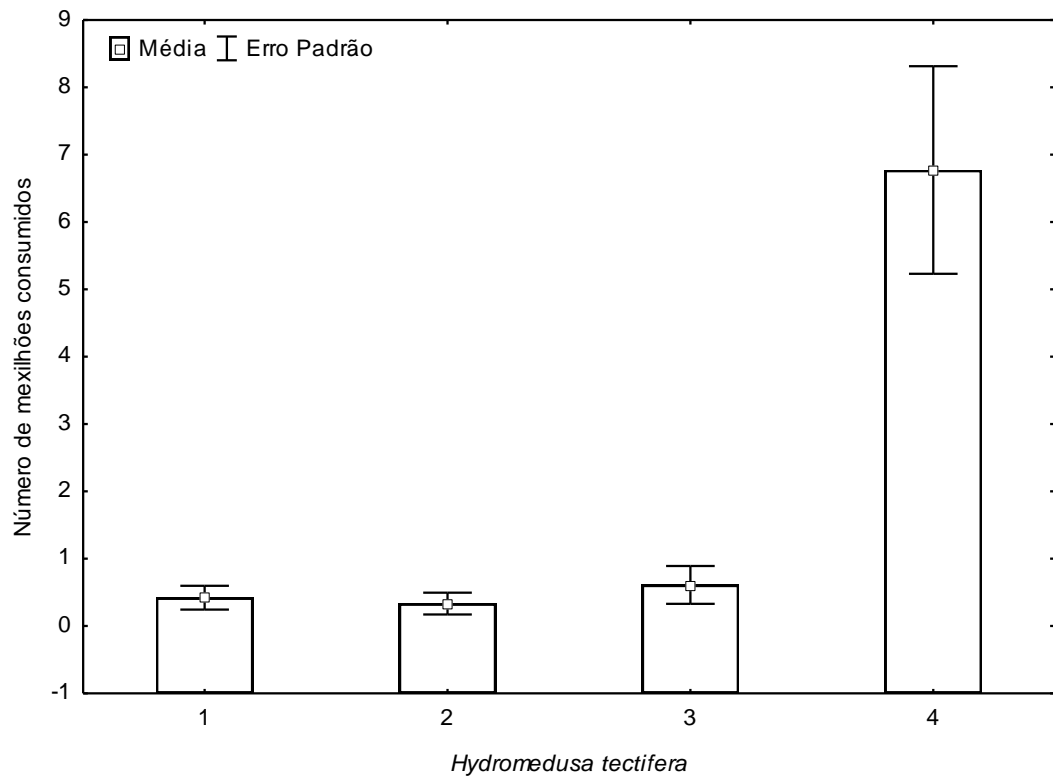
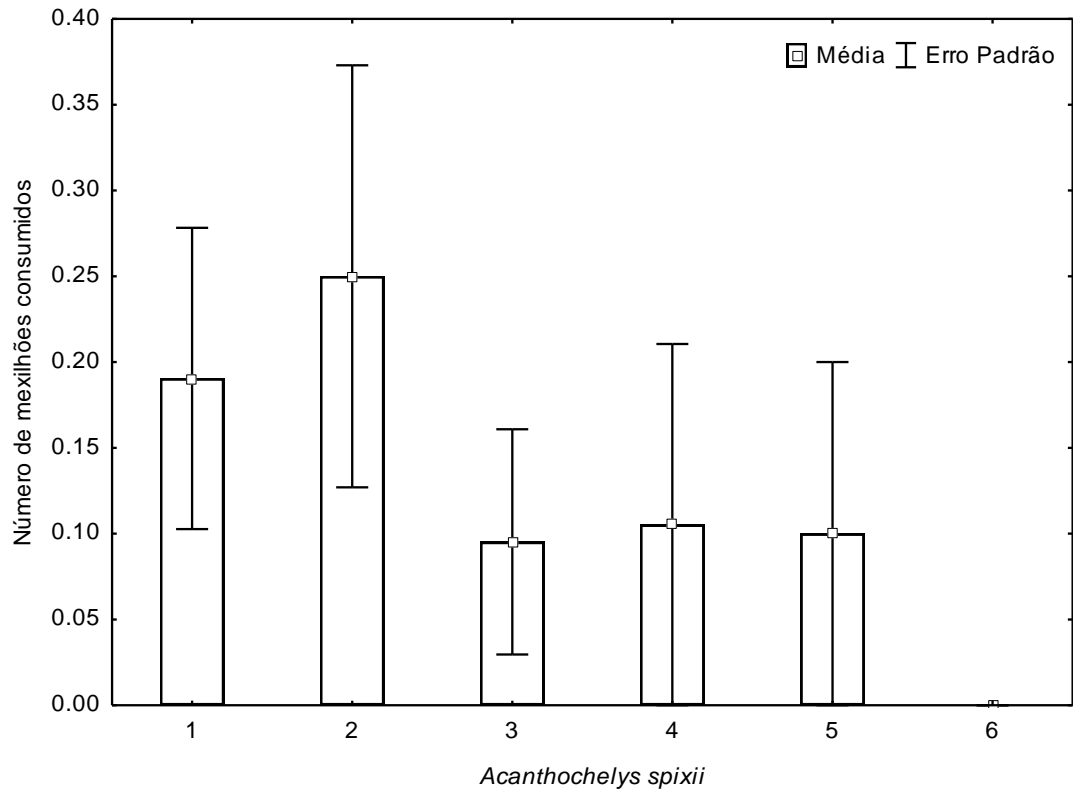
Foi possível observar variação acentuada no número de mexilhões consumidos pelos indivíduos de cada espécie testada. Essa variação foi menor em *Acanthochelys spixii* (0-2) e *Hydromedusa tectifera* (0-22), mas bastante acentuada em *Phrynops hilarii* (0-100) e *Trachemys dorbigni* (0-100). Ou seja, para as duas últimas espécies alguns indivíduos consumiram todos os mexilhões oferecidos enquanto outros não comeram nenhum (Tabela 2; Figura 2).

**Tabela 2** Número total de *Limnoperna fortunei* oferecidos e consumidos, Média, Amplitude e Desvio Padrão por indivíduos de quatro espécies de quelônios da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil

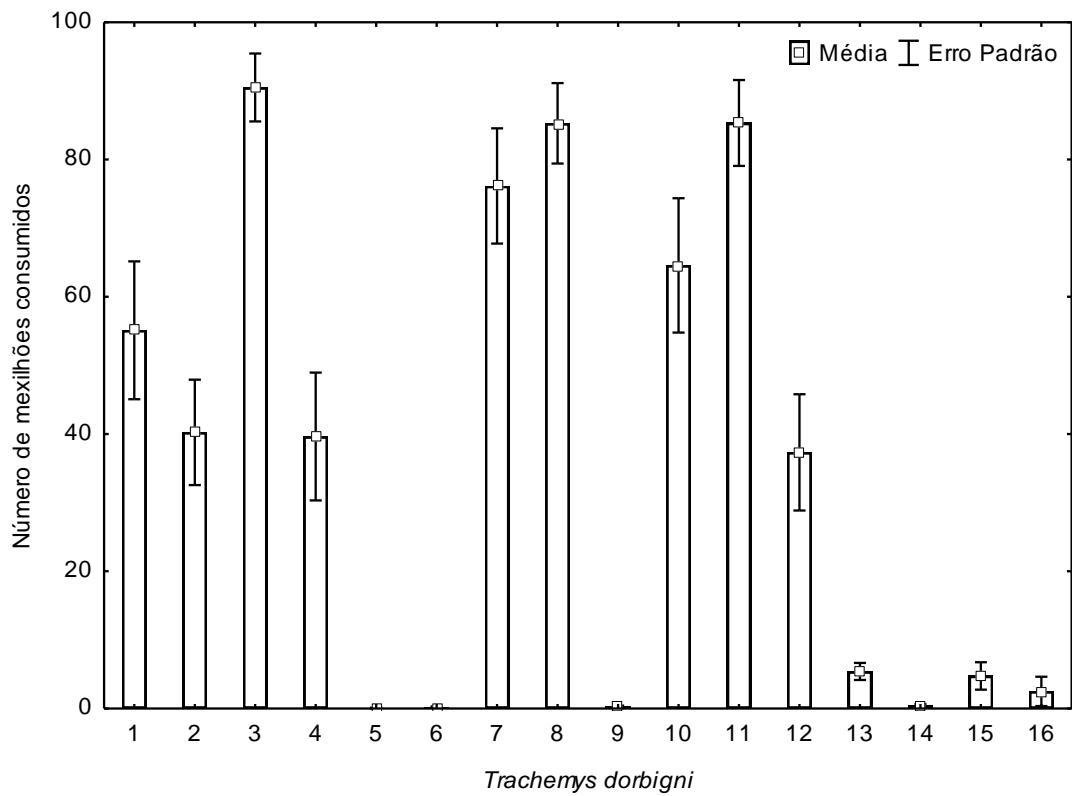
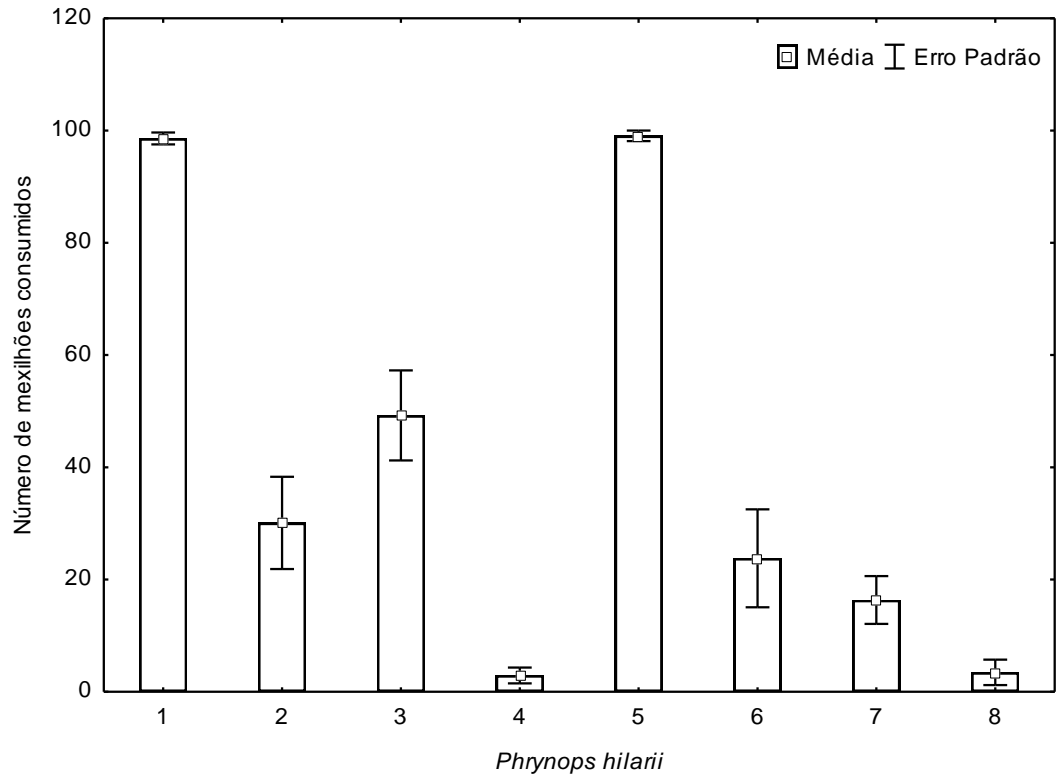
Espécies	Total consumido	Total oferecido	Média	Amplitude	Desvio Padrão
<i>Acanthochelys spixii</i>	15 (0,1%)	12100	0,12	0-2	0,39
<i>Hydromedusa tectifera</i>	174(2,0%)	7800	2,23	0-22	4,79
<i>Phrynops hilarii</i>	6431(40%)	16200	39,69	0-100	43,44
<i>Trachemys dorbigni</i>	11131(37%)	30100	36,98	0-100	43,06



**Fig. 1** Número total de mexilhões-dourados *Limnoperna fortunei* consumidos por quatro espécies de quelônios da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil

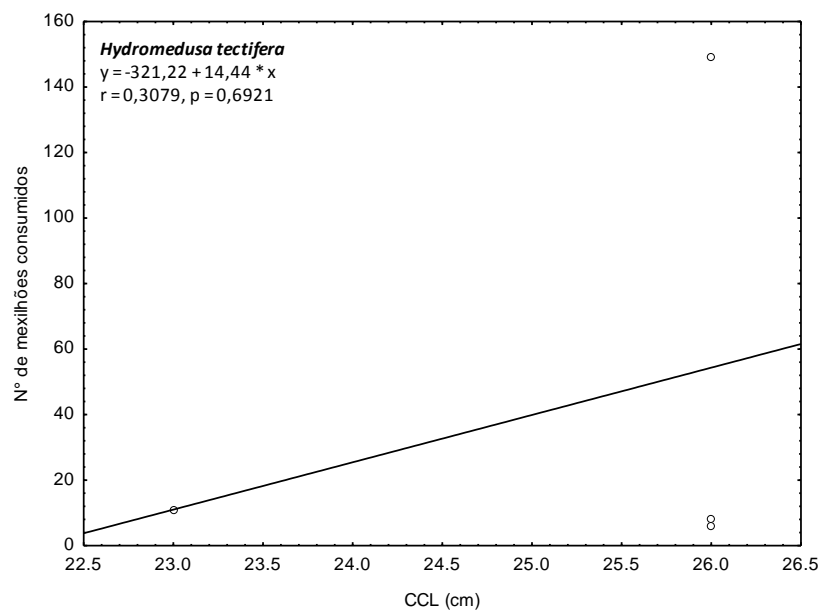
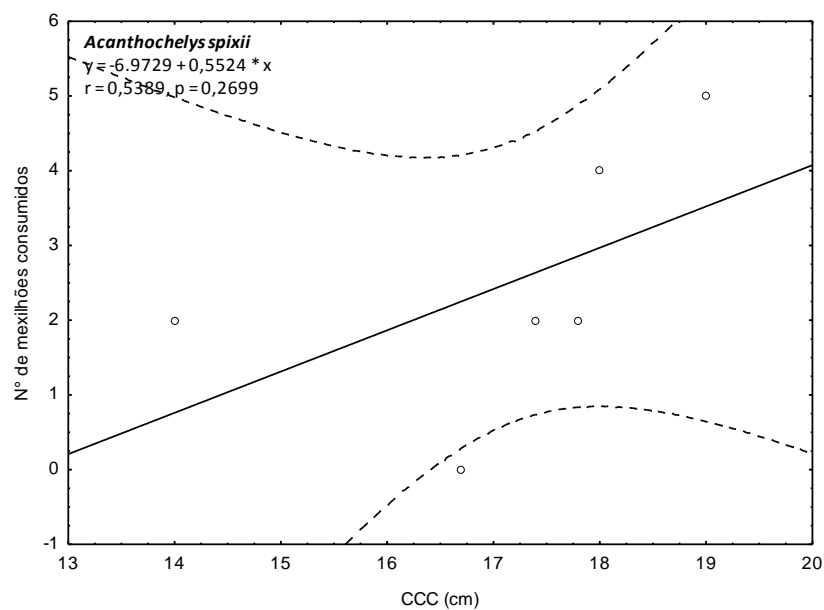


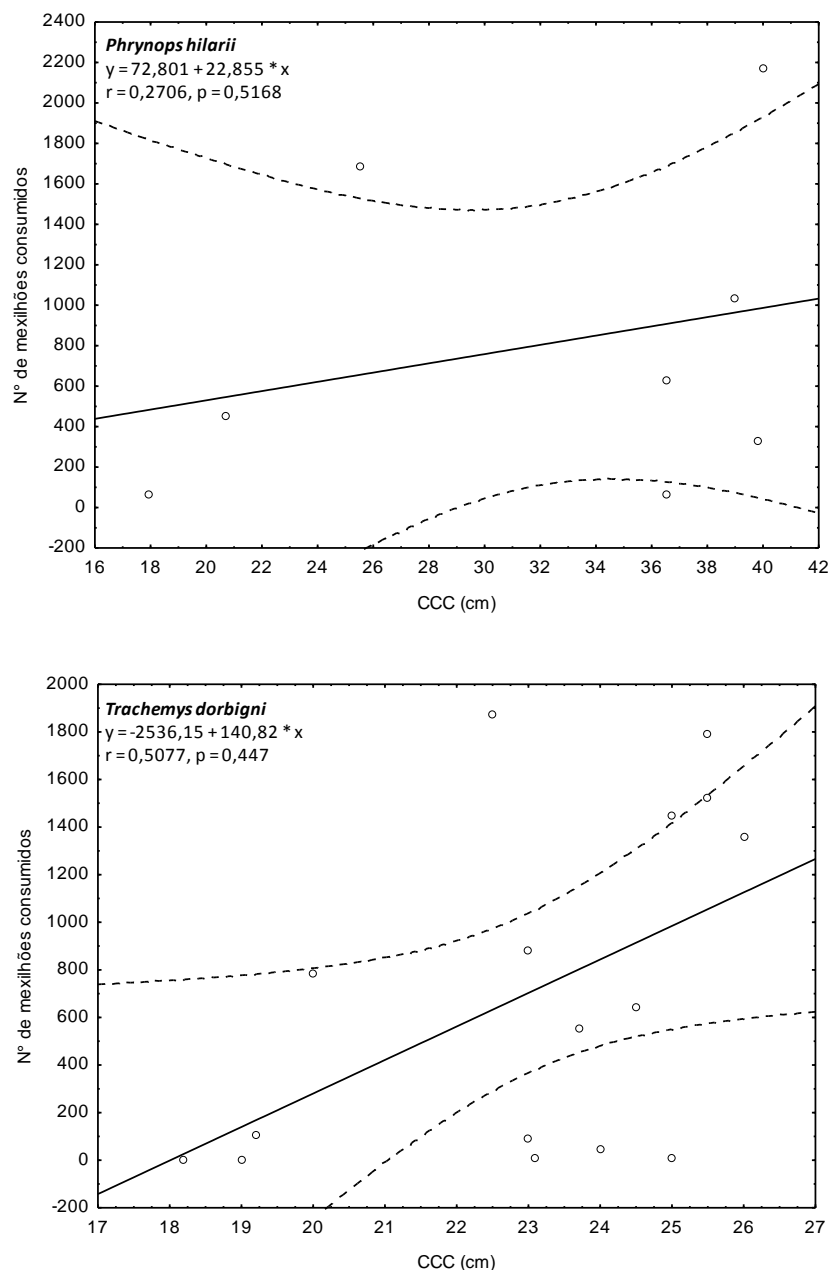




**Fig. 2** Média e erro padrão do número de mexilhões consumidos pelos indivíduos de quatro espécies de quelônios testadas: *Acanthochelys spixii* (n=6), *Hydromedusa tectifera* (n=4), *Phrynops hilarii* (n=8) e *Trachemys dorbigni* (n=16)

A regressão linear mostrou correlação positiva com tendência de aumentar o número de mexilhões consumidos conforme maior o indivíduo submetido ao experimento, para todas as espécies. No entanto, os valores da correlação foram significativos e moderados para *Trachemys dorbigni* ( $r = 0,5077$ ,  $p = 0,0477$ ), não significativos e moderados para *Acanthochelys spixii* ( $r = 0,5389$ ,  $p = 0,2699$ ), não significativos e fracos para *Hydromedusa tectifera* ( $r = 0,3079$ ,  $p = 0,6921$ ) e *Phrynops hilarii* ( $r = 0,2706$ ,  $p = 0,5168$ ) (Figura 3).

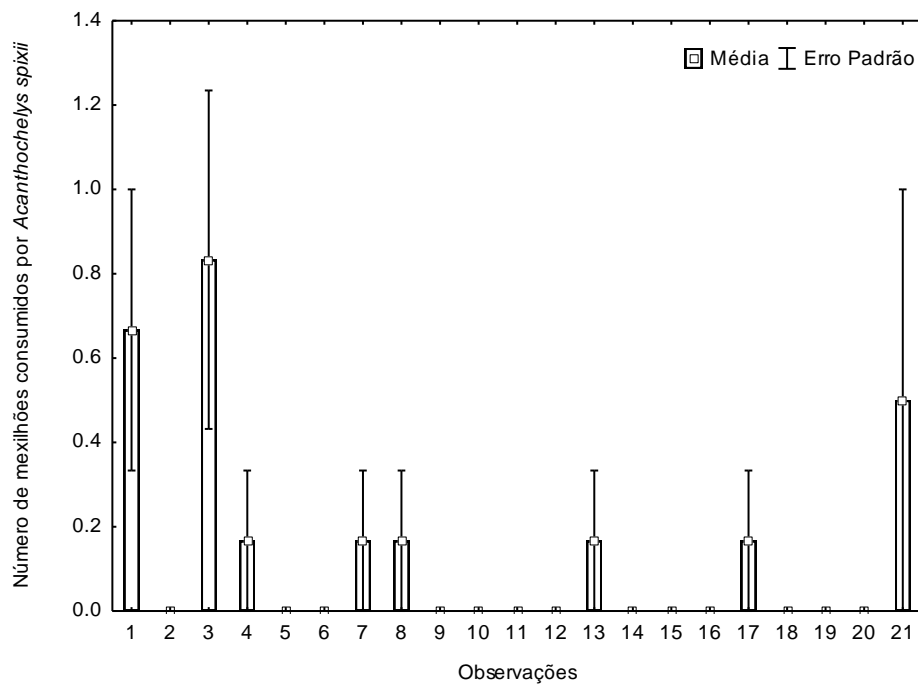


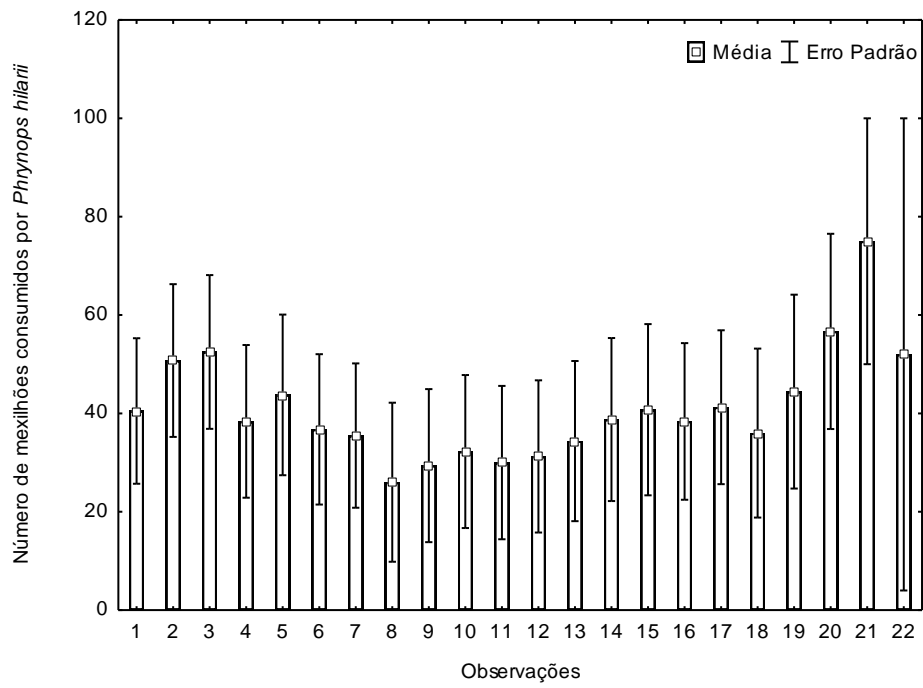
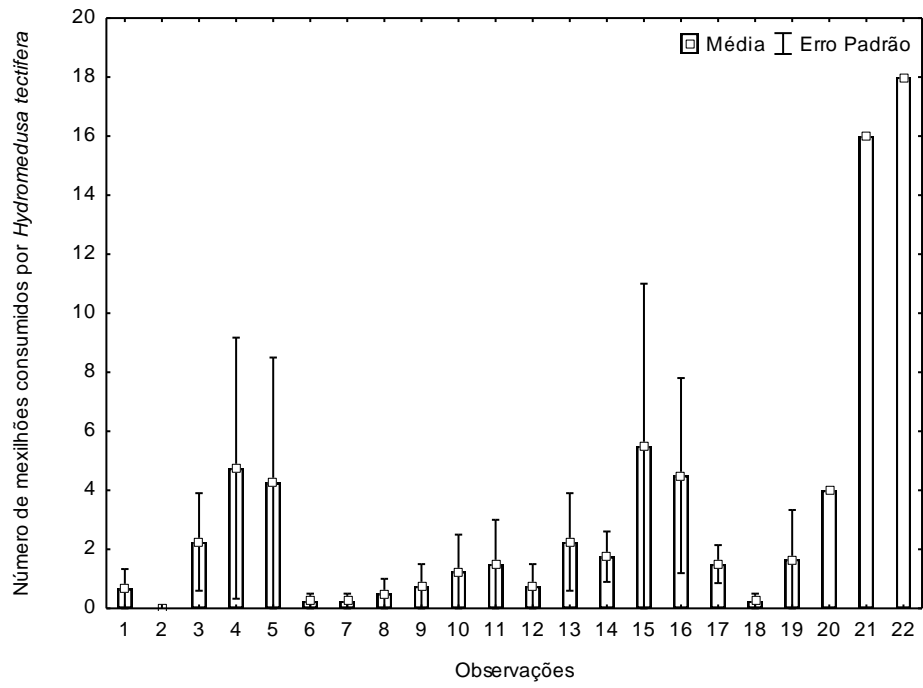


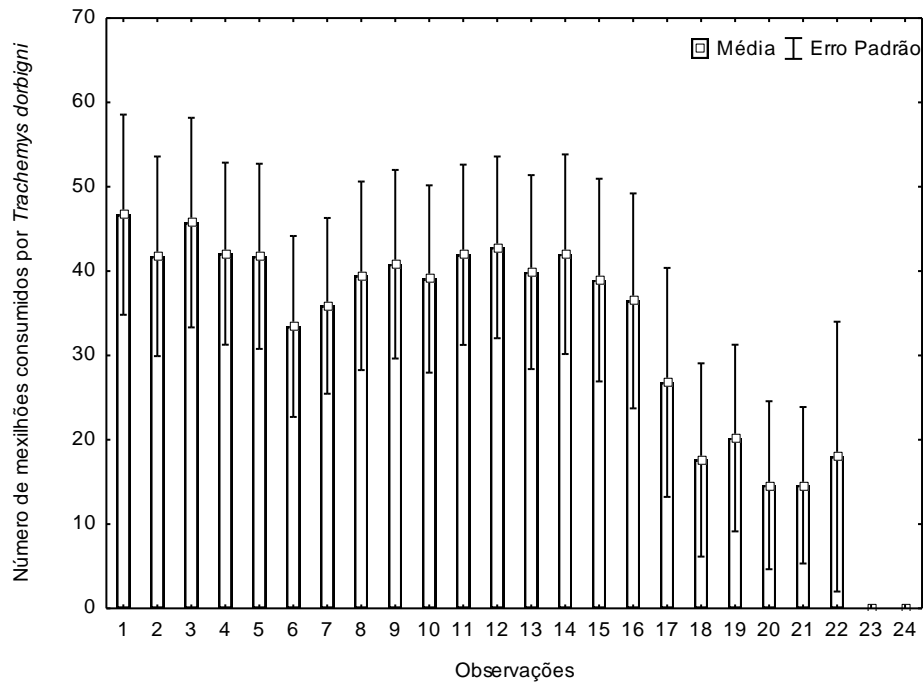
**Fig. 3** Coeficiente de correlação entre o comprimento curvilíneo da carapaça (CCC, em cm) e o número de mexilhões consumidos para quatro espécies de quelônios

Em relação ao número de mexilhões consumidos ao longo do tempo de cada experimento foram encontrados dois padrões. Para *Acanthochelys spixii* ( $F(20,100) = 2.4573, p = 0.0018$ ), houve diferença significativa no consumo de mexilhões consumidos ao longo do tempo, todavia, o consumo foi aleatório, não havendo

relação entre o número de mexilhões consumidos e a duração do experimento. Para *Hydromedusa tectifera* ( $F(21,55) = 1.5598$ ,  $p = 0.0954$ ), *Phrynops hilarii* ( $F(21,140) = 0.3296$ ,  $p = 0.9977$ ) e *Trachemys dorbigni* ( $F(23,277) = 0.5576$ ,  $p = 0.9519$ ), não foram identificadas diferenças significativas entre as médias de consumo ao longo do experimento. No entanto, para *Phrynops hilarii* e *Trachemys dorbigni* o consumo de mexilhões foi praticamente constante durante as amostragens, indicando que essas espécies se alimentam de mexilhão-dourado independentemente do tempo que são privadas de qualquer tipo de alimento.







**Fig. 4** Média e erro padrão do número de mexilhões consumidos por amostragem para quatro espécies de quelônios: *Acanthochelys spixii* (n=21), *Hydromedusa tectifera* (n=22), *Phrynops hilarii* (n=22) e *Trachemys dorbigni* (n=24)

## Discussão

Neste estudo foi possível constatar que duas das quatro espécies de quelônios dulcíaquícolas avaliadas, *Phrynops hilarii* (Chelidae) e *Trachemys dorbigni* (Emydidae), possuem alto potencial de predação sobre o mexilhão-dourado. Esse resultado é particularmente interessante sob o ponto de vista destas espécies atuarem como potenciais controladores biológicos, pois dentre os quelônios que habitam a planície costeira do Rio Grande do Sul, ambas são consideradas as espécies mais abundantes (Quintela and Loebmann 2009).

O estabelecimento de espécies exóticas em um novo ambiente pode alterar as relações tróficas da biota local, seja atuando como consumidoras ou como presas. Quando consumidoras, por exemplo, podem mudar a disponibilidade das presas

locais, alterando assim o padrão alimentar dos predadores nativos (Dudas et al. 2005). Além disso, é sabido que em diversas situações predadores podem adaptar as técnicas de predação para explorar esse novo recurso (Morton 2008). Portanto, a predação pode se tornar uma das principais formas de controle biológico natural de espécies invasoras.

Em um contexto global, diversos são os exemplos de espécies exóticas sendo predadas por espécies nativas de diferentes *taxa* (e.g. Rilov et al. 2002; Carranza et al. 2010; Santos and Delabie 2011). Predação do mexilhão-dourado *Limnoperna fortunei* fora de sua área de ocorrência natural é relatada para algumas espécies de peixes (Lopes 2010; Oliveira et al. 2010; Penchaszadeh et al. 2000) e por *Trachemys dorbigni* (Bujes et al. 2007). Nesse contexto, os resultados aqui demonstrados através de uma abordagem *ex situ* corroboram com evidências conhecidas na natureza, incluindo a bacia de drenagem da planície costeira do Rio Grande do Sul.

Do ponto de vista do controle biológico, a predação de espécimes é mais efetiva em locais onde as populações das presas se encontram densas ou concentradas, do que aquelas que estão esparsas (Parra et al. 2002). No contexto de predação do mexilhão-dourado, esse fato é particularmente importante, visto que suas populações se encontram nessas características, podendo assim ser potencializada a capacidade de predação dos quelônios aquáticos no ambiente natural.

Os quelônios em geral são considerados onívoros (Souza 2004) ou onívoros oportunistas (Legler 1993). Porém, para a fauna brasileira de cágados, o estudo da história natural das espécies é bastante incipiente, onde dados sobre dieta em ambiente natural são considerados pouco conhecidos (Souza 2004). No caso de *Trachemys dorbigni*, a espécie é tida como onívora oportunista, sendo conhecidos

aproximadamente 40 itens alimentares distintos em sua dieta, tanto de origem animal como vegetal (Hahn 2005). Tendo em vista esta plasticidade é plausível hipotetizar que indivíduos dessa espécie na planície costeira, podem ter o mexilhão-dourado como principal recurso alimentar, considerando a alta disponibilidade de mexilhões em diversas áreas desse ecossistema.

Foi possível observar que o consumo de mexilhões variou bastante entre os indivíduos da mesma espécie. Segundo Pough et al. (2004) essa variação individual na dieta dos quelônios pode ocorrer, e está relacionada à estação climática, sexo e idade. Essa hipótese, todavia, não pôde ser testada no presente estudo, devido ao baixo número de réplicas para as espécies utilizadas no experimento.

O baixo potencial de predação da espécie *Acanthochelys spixii*, pode ter sido influenciado pelo tamanho dos indivíduos usados no experimento; sendo esta espécie a de menor porte dentre as avaliadas (CCC = 17 cm) (Bujes 2010), o que pode ter dificultado a predação dos mexilhões oferecidos (1 a 2 cm). É possível que mexilhões menores a 1 cm menores que os utilizados nesse trabalho, possuam a concha mais frágil sendo, portanto, mais susceptíveis à predação. Considerando que com a metodologia utilizada não foi possível obter mexilhões de tamanhos menores em grandes quantidades, essa hipótese deve ser avaliada em futuros estudos.

O presente estudo demonstrou a capacidade que os quelônios aquáticos da planície costeira do Rio Grande do Sul possuem para predar indivíduos adultos de *L. fortunei*. Esses resultados, ainda que preliminares, são promissores e sugerem que os quelônios podem auxiliar no controle populacional do mexilhão-dourado, juntamente com outras espécies que o utilizam como alimento. Assim, esses quelônios podem contribuir para a diminuição dos impactos que a extensa proliferação do mexilhão-dourado pode causar no ambiente. O molusco invasor também pode ser utilizado



como um novo recurso alimentar na natureza. Porém, os prejuízos que esse consumo pode trazer ainda são desconhecidos.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem Lais Crizel de Oliveira e Arian de Souza Larroque pela ajuda durante os experimentos *ex situ*. Ana Cecília Giacometti Mai, Daniele Corrêa, Gabriel Eberts, Marcos Antônio Silva Marques ajudaram nas saídas de campo. Essa pesquisa recebeu recursos do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) (proc. 478250/2012-6). C. Cardoso recebeu bolsa de nível mestrado da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

### **Referências**

- Asmus ML (1998) A Planície Costeira e a Lagoa dos Patos. In: Seeliger U, Odebrecht C, Castello, JP. O Ecossistema Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Ecoscientia, Rio Grande, RS, pp 9-12
- Assmann B, Silva JEA, Marinho JR (2013) Análise da Dieta Alimentar de Tartarugas-de-água-doce da Família Chelidae em Lagos Rasos Costeiros em Rio Grande, RS. *Vivências* 9(16):36-52
- Bujes C (2010) Os Testudines continentais do Rio Grande do Sul, Brasil: taxonomia, história natural e conservação. *Iheringia, Sér. Zool* 100(4):413-424
- Bujes CS, Ely I, Verrastro L (2007) *Trachemys dorbigni* (Brazilian Slider). *Diet. Herpetol Rev* 38(3):335
- Carranza A, Estrades A, Scarabino F, Segura A (2010) Loggerhead turtles *Caretta caretta* (Linnaeus) preying on the invading gastropod *Rapana venosa*

- (Valenciennes) in the Rio de la Plata Estuary. *Marine Ecology* 32 (2): 1-6.  
doi: DOI: 10.1111/j.1439-0485.2010.00424.x
- Civeyrel L, Simberloff D (1996) A tale of two snails: is the cure worse than the disease?. *Biodiversity and Conservation* 5:1231-1252. Doi: 10.1007/BF00051574
- Dudas SE, McGaw IJ, Dower JF (2005) Selective crab predation on native and introduced bivalves in British Columbia. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol* 325:8-17.  
doi: doi:10.1016/j.jembe.2005.04.015
- Hahn AT (2005) Análise da dieta de *Trachemys dorbigni* (Duméril & Bibron, 1835) no sul do Rio Grande do Sul, Brasil (Testudines, Emydidae). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- Howart FG (1991) Environmental Impacts of Classical Biological Control. *Annu. Rev. Entomol* 36:485-509
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F (2006) World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol Z* 15(3):259-263. doi: 10.1127/0941-2948/2006/0130
- Legler JM (1993) Morphology and Physiology of the Chelonia. In: Glasby CJ, Ross GJB Fauna of Australia. Australian Government Printing Service, Canberra, pp 108-119
- Lloyd L (1990) Native fishes as alternatives to the exotic fish, *Gambusia*, for insect control. In: Introduced and translocated fishes and their ecological effects, ed. D. A. Pollard. Department of Primary Industries and Energy, Bureau of Rural Resources, Canberra, pp 115-22
- Lopes MN (2010) Abundância de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) em Zonas profundas do canal São Gonçalo, Lagoa Mirim/RS-Brasil, com ênfase na sua

importância na dieta da ictiofauna. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande

Louda SM, Kendall D, Connor J, Simberloff D (1997) Ecological Effects of an Insect Introduced for the Biological Control of Weeds. *Science* 277: 1088–1090. doi: 10.1126/science.277.5329.1088

Morton B (2008) Attack responses of the southern Australian whelk, *Lepsiella vinosa* (Lamarck, 1822) (Gastropoda: Muricidae), to novel bivalve prey: an experimental approach. *Biol. Invasions* 10:1265–1275. doi:10.1007/S10530-007-9201-2

Oliveira CRC, Fugi R, Brancalhão KP, Agostinho AA (2010) Fish as potential controllers of invasive molluscs in a neotropical reservoir. *Nat Conserv* 8(2):140-144. doi: 10.4322/natcon.00802006

Parra JRP, Botelho PSM, Corrêa-Ferreira BS, Sento JMS (2002) Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores. Manole, Barueri, SP

Penchaszadeh PE, Darrigran G, Angulo C, Averbuj A, Brögger M, Dogliotti A, Pérez N (2000) Predation of the invasive freshwater mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) by the fish *Leporinus obtusidens* Valenciennes, 1846 (Anostomidae) in the Río de la Plata, Argentina. *J Shellfish Res* 19:229–231

Peres Jr AK (2001) A maldição de Noronha. *National Geographic Brasil*. 14:15.

Pough FH, Heiser J.B, McFarland WN (2004) A vida dos vertebrados. Atheneu, São Paulo

Quintela FM, Loebmann D (2009) Guia Ilustrado: Os répteis da região costeira do extremo sul do Brasil. 1. ed. USEB, Pelotas, RS

Quintela FM, Loebmann D, Gianuca NM (2006) Répteis continentais do município de Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biociências* 14:180-188

- Rilov G, Gasith A, Benayahu Y (2002) Effect of an exotic prey on the feeding pattern of a predatory snail. *Mar. Environ. Res* 54: 85–98
- Samways MJ (1988) Classical biological control and insect conservation: are they compatible?. *Environ. Conserv* 15:349-54
- Santos JRM, Delabie JHC (2011) Controle natural de *Achatina fulica* (Mollusca, Gastropoda) por *Ocypode quadrata* (Crustacea, Decapoda) em restinga antropizada de Ilhéus, Bahia, Brasil. *Sitientibus série Ciências Biológicas* 11(1): 94–98. 2011
- Secord D (2003) Biological control of marine invasive species: cautionary tales and land-based lessons. *Biol. Invasions* 5:117–31
- Shine R (2010) The ecological impact of invasive cane toads (*Bufo marinus*) in Australia. *Q. Rev. Biol* 85:253–291
- Souza FL (2004) Uma revisão sobre padrões de atividades reprodutivas e alimentação de cágados brasileiros (Testudines, Chelidae). *Phyllomedusa* 3 (1):15-27
- Vieira EF, Rangel SS (1988) Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Geografia Física, Vegetação e Dinâmica Sócio-demográfica. SAGRA, Porto Alegre, RS
- Yamada F (2002) Impacts and control of introduced small Indian mongoose on Amami Island, Japan. In: *Turning the Tide: the eradication of invasive species*. IUCN, Gland, Switzerland, pp 389-392

## ANEXOS

### INSTRUCTIONS FOR AUTHORS: Biological Invasions

Biological Invasions publishes research and synthesis papers on patterns and processes of biological invasions in terrestrial, freshwater, and marine (including brackish) ecosystems. Also of interest are scholarly papers on management and policy issues as they relate to conservation programs and the global amelioration or control of invasions. The journal will consider proposals for special issues resulting from conferences or workshops on invasions. Paper categories

#### **ORIGINAL PAPERS**

Novel empirical and theoretical research on topics in invasion biology, such as ecological consequences of invasions (including changes in community and ecosystem structure and processes), factors that influence transport, establishment, and spread of invasions, mechanisms that control the abundance and distribution of invasive species, biogeography, genetics of invaders (as genetics casts light on processes and pathways of invasions), dispersal vectors, evolutionary consequences of invasions in both historical and geological time, innovative management techniques, and analytical syntheses and overviews of invasive biotas. Authors must, in their cover letters, explain how the reported research is novel and exciting.

#### **PERSPECTIVES, PARADIGMS, AND SYNTHESSES**

Overviews of policies on invasion management; perspectives on invasions and paradigms of invasion biology; syntheses of literature reports. Prospective authors should contact the Editor-in-Chief about suitability of proposed topics.

#### **REVIEWS**

Synthetic, timely reviews of topics in invasion biology for which there is a substantial literature. Prospective authors must contact the Editor-in-Chief about suitability of proposed review topic.

#### **INVASION NOTES**

Short reports (10 manuscript pages including cover page, less than 25 references, figures, and tables) of new and particularly noteworthy invasions, important changes in status or range of existing invasions, novel and promising techniques for managing particular invasions, evidence on an invasion pathway of particular interest, and the like. A note simply reporting a new species in a new location would not merit publication as an Invasion Note. Invasion Notes are not full research papers and must have (a) an abstract of one short paragraph, (b) a short introductory paragraph explaining the context of the note, (c) the reported information, and (d) a brief discussion of the significance of the note.

#### **BOOK REVIEWS**

To be solicited by the Editor-in-Chief

#### **PAPER LENGTH**

Papers must be concise and well written. While there are no specific page or word limits for any paper category except Invasion Notes, as a guide the average original paper contains approximately 8,000 words. Longer papers may be considered if the information justifies the length.

#### GENERAL INSTRUCTIONS

- 1) Please recall that *Biological Invasions* is read by specialists in invasion biology, so that introductory material pointing to the general importance of invasions is unnecessary and inappropriate.
  
- 2) Authors must submit, with their manuscripts, names and e-mail addresses of 4 unbiased, expert potential referees who have not previously read the manuscript. Authors may submit names of potential referees that they request not be used and may also request a particular handling editor.

#### AUTHORSHIP GUIDELINES

Authorship credit should be based on:

1) substantial contributions to conception and design, acquisition of data, or analysis and interpretation of data;

AND

2) drafting the article or revising it critically for important intellectual content;

AND

3) final approval of the version to be submitted for publication.

All of these conditions should be met by all authors.

Acquisition of funding, collection of data, or general supervision of the research group alone does not constitute authorship.

All contributors who do not meet the criteria for authorship should be listed in an acknowledgments section.

All authors must agree on the sequence of authors listed before submitting the article.

All authors must agree to designate one author as the corresponding author for the submission. It is the responsibility of the corresponding author to dialogue with the co-authors during the peer-reviewing and proofing stages and to also act on their behalf.

If the article is accepted for publication, after acceptance, no changes in authorship, the order of authors, or designation of the corresponding author will be permitted.

#### Title Page

The title page should include:

- The name(s) of the author(s)
- A concise and informative title
- The affiliation(s) and address(es) of the author(s)
- The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

#### Abstract

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

#### Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

#### Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

- Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
- Use italics for emphasis.
- Use the automatic page numbering function to number the pages.
- Do not use field functions.
- Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
- Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
- Use the equation editor or MathType for equations.
- Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

- [LaTeX macro package \(zip, 182 kB\)](#)

### **Headings**

Please use no more than three levels of displayed headings.

### **Abbreviations**

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

### **Footnotes**

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

### **Acknowledgments**

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section before the reference list. The names of funding organizations should be written in full.

### **Citation**

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

- Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).
- This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).
- This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999).

### **Reference list**

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work.

- Journal article  
Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. doi: 10.1007/s00421-008-0955-8

Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of “et al” in long author lists will also be accepted:

Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 965:325–329

- Article by DOI  
Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med*. doi:10.1007/s001090000086
- Book  
South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics*. Blackwell, London
- Book chapter  
Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) *The rise of modern genomics*, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257
- Online document  
Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing PhysicsWeb. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007
- Dissertation  
Trent JW (1975) *Experimental acute renal failure*. Dissertation, University of California

Always use the standard abbreviation of a journal’s name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations, see

- [ISSN.org LTWA](http://www.issn.org/LTWA)  
For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of in-text citations and reference list.
- [EndNote style \(zip, 3 kB\)](#)

## **TABLES**

- All tables are to be numbered using Arabic numerals.
- Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
- For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
- Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.
- Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

## **Artwork and Illustrations Guidelines**

For the best quality final product, it is highly recommended that you submit all of your artwork – photographs, line drawings, etc. – in an electronic format. Your art will then be produced to the highest standards with the greatest accuracy to detail. The published work will directly reflect the quality of the artwork provided.

## **Electronic Figure Submission**

- Supply all figures electronically.
- Indicate what graphics program was used to create the artwork.
- For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MS Office files are also acceptable.



- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.
- Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.
  - Definition: Black and white graphic with no shading.
  - Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.
  - All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.
  - Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

### **Halftone Art**

- Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.
- If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.
- Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.
- Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.
- Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

### **Color Art**

- Color art is free of charge for online publication.
- If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.
- If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.
- Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

### **Figure Lettering**

- To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).
- Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).
- Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.
- Avoid effects such as shading, outline letters, etc.
- Do not include titles or captions within your illustrations.

### **Figure Numbering**

- All figures are to be numbered using Arabic numerals.
- Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.
- Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).
- If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures, "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

### **Figure Captions**

- Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.
- Figure captions begin with the term **Fig.** in bold type, followed by the figure number, also in bold type.
- No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.
- Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.
- Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

### **Figure Placement and Size**

- When preparing your figures, size figures to fit in the column width.
- For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.
- For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm.

### **Permissions**

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

### **Accessibility**

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that

- All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)
- Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (color-blind users would then be able to distinguish the visual elements)
- Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1