

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

VANESSA ERNANDES DE AMO

**A conectividade possibilita o aumento da pressão de propágulos de  
*Limnoperla fortunei* (Dunker, 1857)**

Maringá

2018

VANESSA ERNANDES DE AMO

**A conectividade possibilita o aumento da pressão de propágulos de  
*Limnoperla fortunei* (Dunker, 1857)**

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

Orientador: Prof. Dr. Roger Paulo Mormul

Maringá

2018

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

A523c Amo, Vanessa Ernandes de, 1992-  
A conectividade possibilita o aumento da pressão de propágulos de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) / Vanessa Ernandes de Amo.-- Maringá, 2018.  
25 f. : il. (algumas color.).  
Dissertação (mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)--  
Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2018.  
Orientador: Prof. Dr. Roger Paulo Mormul.  
1. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalve) "mexilhão-dourado" - Pressão de propágulos - Lagoas conectadas - Planície de inundação - Alto rio Paraná. 2. Moluscos límnicos invasores - Lagoas conectadas - Planície de inundação - Alto rio Paraná. 3. Bivalves límnicos invasores. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. -594.417631809816  
NBR/CIP - 12899 AACR/2

VANESSA ERNANDES DE AMO

**A conectividade possibilita o aumento da pressão de propágulos de  
*Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857)**

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

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Roger Paulo Mormul

Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof. Dr. Dilermando Pereira Lima Júnior

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Prof. Dr. Bruno Renaly Souza Figueiredo

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Aprovada em: 26 de março de 2018.

Local de defesa: Anfiteatro Prof. “Keshiyu Nakatani”, Nupélia, Bloco G-90, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

Dedico este trabalho aos meus pais, irmão, meu namorado Daniel e a toda a minha família que, com muito apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, não posso deixar de agradecer a Deus, por me proporcionar o dom da vida e a capacidade de aprender. Agradeço aos meus pais que diante de tanto esforço, dedicação e carinho me ensinaram o valor do conhecimento e do estudo, sempre me apoiaram e não mediram esforços para que eu alcançasse os meus sonhos e realizasse os meus objetivos.

Agradeço à minha família pelo apoio incondicional que me deram, em especial à minha prima Jéssica Ernandes da Silva pelas revisões incansáveis ao longo da elaboração desta dissertação e ao meu namorado Daniel Pavanello Ferrari por todo o apoio e carinho.

Ao meu orientador o professor Dr. Roger Paulo Mormul, por toda a paciência, ajuda e aprendizado que obtive ao longo da elaboração deste trabalho. Aos meus amigos de laboratório e de turma pela ajuda nas coletas de campo e companheirismo.

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, e toda a equipe do Núcleo de Pesquisa em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura pelas contribuições na minha carreira profissional.

Agradeço também à Capes pela contribuição financeira durante a realização deste trabalho.

## **A conectividade possibilita o aumento da pressão de propágulos de *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857)**

### **RESUMO**

A dispersão de organismos em planícies de inundações é favorecida pela conectividade dos *habitat*. Dessa forma, é possível que espécies invasoras tenham a pressão de propágulos favorecidas nesses ecossistemas. Testou-se a hipótese de que a conexão entre *habitat* eleva a densidade de larvas de *Limnoperna fortunei*. Para esse teste realizou-se amostragens em lagoas conectadas e não conectadas na planície de inundação do alto rio Paraná, filtrando água das lagoas em rede de plâncton para avaliar a densidade das larvas de *L. fortunei*. Variáveis abióticas também foram amostradas para avaliar diferenças físicas e químicas da água entre os ambientes amostrados, porém não apresentaram diferença significativa. Contudo, a densidade total e por estágios larvais diferiram entre lagoas, exceto para o estágio de Pedivéliger. As maiores densidades de larvas foram registradas nas lagoas conectadas ao rio principal da planície, onde a ocorrência de larvas de *L. fortunei* é massiva. Os resultados corroboram a hipótese de que a conexão entre *habitat* eleva a densidade de larvas, sugerindo que ambientes conectados a fontes de propágulos invasores sofrem maior pressão de propágulos. A conectividade entre *habitat* é um fator relevante a ser considerado nas ações de controle e manejo da espécie.

**Palavras-chave:** Planície de inundação. Lagoas conectadas. Espécie invasora. Invasibilidade.

## **Connectivity may increase the propagule pressure of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857)**

### ***ABSTRACT***

The spread of organisms in floodplains is favored by connectivity between habitats. In this way, it is possible that invasive species have an increased propagules pressure in these ecosystems. Here, we tested the hypothesis that the connection between habitat raises the larval density of *Limnoperna fortunei*. In order to test the hypothesis, we performed samplings in connected and isolated shallow floodplain lakes in the upper Paraná River, filtering lake water through a plankton net to evaluate the density of *L. fortunei* larvae. Abiotic variables were also sampled to evaluate physical and chemical differences of water between the sampled environments, but did not present significant difference. However, total density of larvae and density of each larval stages differed between lake, except for the Pedivéliger stage. Larger densities were recorded in the lakes connected to the main river of the floodplain, where the occurrence of larvae of *L. fortunei* is massive. The results corroborate the hypothesis that the connection between habitat raises the density of larvae, suggesting that environments connected to sources of invasive propagules suffer greater propagule pressure. Thus, the connectivity between habitat is a relevant factor to be considered in actions of control and management of this species.

**Keywords:** Floodplain. Connected lakes. Invasive species. Invisibility.

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *Hydrobiologia*.

Disponível em:

[http://www.springer.com/life+sciences/ecology/journal/10750?detailsPage=pltc\\_i\\_911058](http://www.springer.com/life+sciences/ecology/journal/10750?detailsPage=pltc_i_911058)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	12
2.1	ÁREA DE ESTUDO .....	12
2.2	COLETA DE DADOS .....	13
2.3	ANÁLISE DE DADOS.....	14
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	15
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	18
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	21

## 1 INTRODUÇÃO

A pressão de propágulos tem sido considerada um dos principais fatores que pode explicar o sucesso de colonização das espécies invasoras (Von Holle & Simberloff, 2005; Berg et al., 2016). Como pressão de propágulos consideramos o número de propágulos de uma determinada espécie que chega em um ambiente, o que inclui a quantidade de propágulos liberados e o número de eventos de lançamento (Duncan, 2011). Portanto, quanto maior o número de propágulos que chegarem à um novo ambiente dentro de um determinado intervalo de tempo, maior a chance de estabelecimento da espécie em questão (Leung et al., 2004; Lockwood et al., 2005; Colautti et al., 2006; Simberloff, 2009; Duncan, 2011; Sousa et al., 2014).

As espécies invasoras podem apresentar características que facilitam seu estabelecimento e dispersão entre os *habitat* (McMahon, 2002). Dentre elas, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), conhecido popularmente como mexilhão dourado, é um bivalve invasor na América do Sul (Pastorino et al., 1993; Boltovskoy et al., 2006) capaz de crescer rapidamente e tolerar uma ampla gama de condições ambientais (Nakano et al., 2011; Bonel et al., 2013; Paolucci et al., 2014; Bonel & Lorda, 2015). As características biológicas dessa espécie como, por exemplo, uma fase adulta incrustante e uma larval planctônica, facilitam a sua dispersão (Nakano et al., 2010). Na etapa planctônica, a dispersão dos estágios larvais ocorre pelas correntes de água (Darrigran & Damborenea, 2009). O aumento da pressão de propágulo (Lockwood et al., 2005; Simberloff, 2009) associado a ambientes com alta susceptibilidade ambiental (Levine & D'Antonio, 1999; Sousa et al., 2014) e os traços da espécie invasora são elementos chave para o sucesso das invasões biológicas (Sousa et al., 2014).

Planícies de inundações são sistemas complexos compostos por diferentes tipos de *habitat*, dentre eles, rios, canais secundários, lagoas que apresentam conexão permanente e lagoas que são isoladas temporariamente (Agostinho et al., 2004). Nos períodos de inundação, o pulso aumenta a conectividade entre os *habitat* (Junk et al., 1989; Thomaz et al., 2007), a pressão de propágulos em conjunto com a variabilidade genética (Kinziger et al., 2011; Signorile et al., 2014), e a faixa etária das larvas planctônicas (Ernandes-Silva et al., 2016a) causam a disseminação e o sucesso do estabelecimento do *L. fortunei* em ambientes antes não colonizados (Anderson, 2011) como as lagoas marginais ao rio (Sousa et al., 2014).

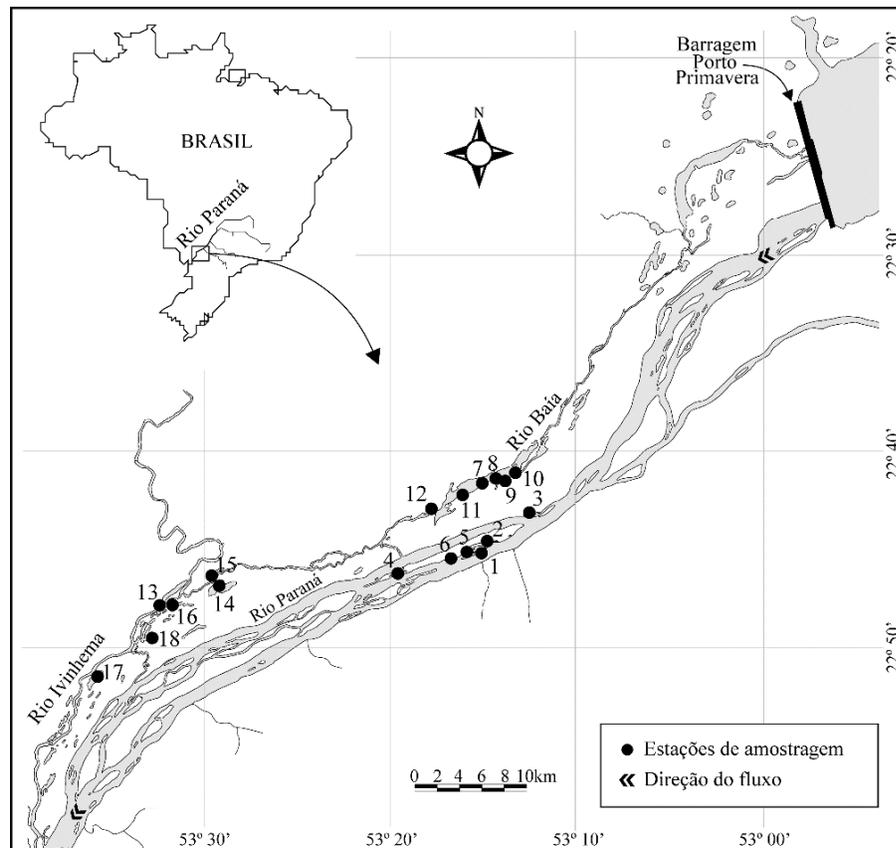
No entanto, independentemente da pressão de propágulo, alguns ecossistemas são mais resistentes à invasão do que outros devido aos filtros ambientais que influenciam o grau de invasão e podem conferir “resistência abiótica” ao processo de invasão (Rahel, 2002; Thomaz et al., 2015). As larvas de *L. fortunei* possuem um rápido desenvolvimento (Choi & Shin, 1985), e esses estágios larvais respondem de forma diferente aos fatores ambientais (Ernandes-Silva et al., 2016a). Dentre os fatores ambientais, os que mais se destacam são a temperatura da água, o oxigênio dissolvido e a presença do fitoplâncton, fatores que estão associados com a reprodução, sobrevivência e fontes de alimento respectivamente para o *L. fortunei* (Jeppesen et al., 1996; Cataldo et al., 2005; Darrigran et al., 2007). Depois de superar esses filtros, essa espécie se estabelece e dispersa. Quando isso ocorre, a espécie invasora pode afetar negativamente populações nativas, comunidades e ecossistemas (Levine, 2008; Hulme et al., 2011), uma vez que podem ser responsáveis pela extinção das espécies nativas (Gurevitch & Padilla, 2004).

Investigar os fatores que influenciam o estabelecimento e a sobrevivência de espécies invasoras como *L. fortunei* em novos *habitat* é importante para se entender o processo de invasão e projetar protocolos de prevenção, particularmente para espécies como *L. fortunei* (Sylvester et al., 2013). Para tanto, testamos a hipótese de que a conectividade aumenta a pressão de propágulo de *L. fortunei*. Assim, temos como predição que em áreas de inundação, lagoas conectadas ao rio apresentam maior número de larvas de *L. fortunei* do que lagoas não conectadas ao rio.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo compreende a planície de inundação do alto rio Paraná (22°45' S e 53°30' W), localizada a jusante da barragem de Engenheiro Sergio Motta (Porto Primavera) e a montante do reservatório de Itaipu (Orfeo & Stevaux, 2002). Foram amostradas 18 lagoas de inundação de três sistemas da planície aluvial do alto rio Paraná: Ivinhema, Baía e Paraná (Fig. 1). Dentre as lagoas amostradas, 9 delas apresentam conexão com o rio principal e as outras 9 são temporariamente isoladas.



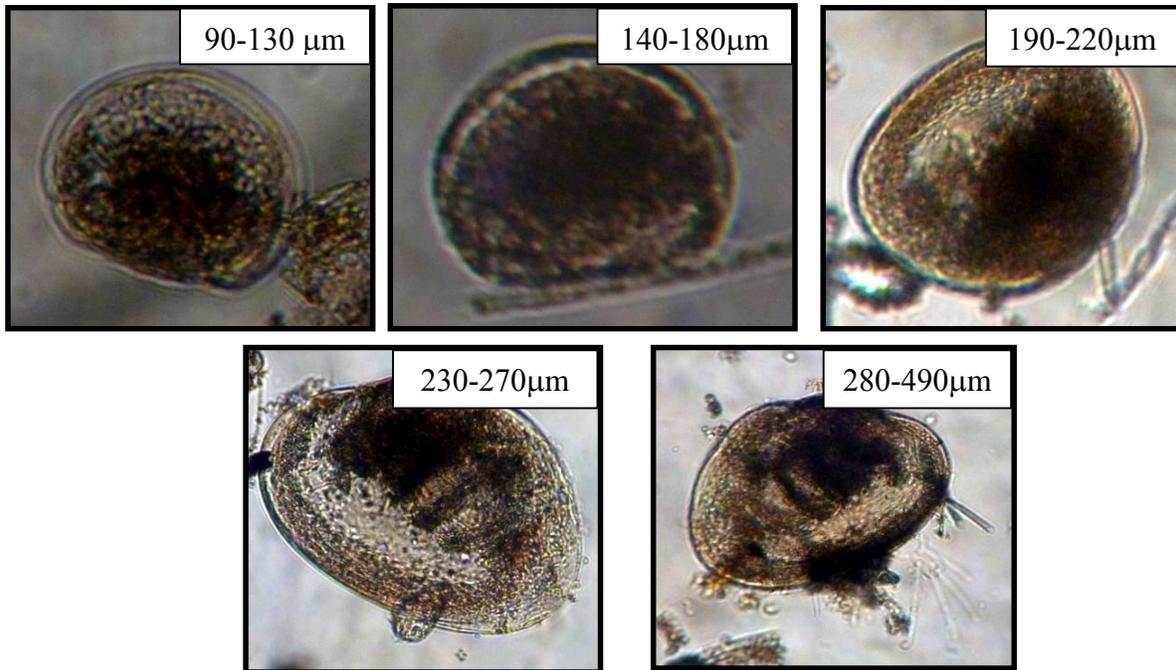
**Figura 1:** Mapa da planície aluvial do alto rio Paraná com a localizações das 18 lagoas amostradas.

**1:** Lagoa Clara (não conectada); **2:** Ressaco do Pau Velho (conectada); **3:** Lagoa Garças (conectada); **4:** Lagoa Osmar (não conectada); **5:** Ressaco do Leopoldo (conectada); **6:** Lagoa Preto (não conectada); **7:** Lagoa Pousada das Garças (conectada); **8:** Lagoa Porcos (conectada); **9:** Lagoa Eucalipto (não conectada); **10:** Lagoa Aurélio (não conectada); **11:** Lagoa Fechada (não conectada); **12:** Lagoa Guaraná (conectada); **13:** Lagoa Finado Raimundo (conectada); **14:** Lagoa Sumida (conectada); **15:** Lagoa Cervo (não conectada); **16:** Lagoa Capivara (não conectada); **17:** Lagoa Ventura (não conectada) e **18:** Lagoa Patos (conectada).

## 2.2 COLETA DE DADOS

As coletas realizadas nos meses de março e abril do ano de 2017, à subsuperfície, na região central e marginais dos ambientes. Em cada ponto foram filtrados 100 litros de água, com o auxílio de rede de plâncton 30  $\mu\text{m}$ , totalizando 300 litros filtrados em cada lagoa. Estas amostras foram preservadas em álcool 80% para posterior triagem das larvas em laboratório por meio de microscópio óptico nos aumentos de 5 e 10 vezes. As larvas foram contadas e medidas segundo

Kasyanov et al. (1998) e classificadas em cinco estádios larvais da espécie (Fig. 2) de acordo com Santos et al. (2005).



**Figura 2:** Estágios larvais: Larva D (90-130 µm); Charneira reta (140-180µm); Umbonada (190-220 µm); Pedivéliger (230-270 µm); Plantígrada (280-490 µm) (imagem de Ernandes-Silva et al., 2016b).

Concomitante às amostras biológicas foram amostradas as variáveis ambientais: temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH, turbidez e clorofila. Para as variáveis ambientais coletadas utilizou-se um equipamento de precisão para medição e análise (HORIBA) e também fornecidas pelo laboratório de Limnologia Básica/Núvelia. Essas variáveis foram selecionadas de acordo com uma pesquisa bibliográfica, baseando-se principalmente nas obras de Cataldo et al. (2005), Oliveira et al. (2011) e Ernandes-Silva et al. (2016a), que apontam como variáveis determinantes para o padrão de distribuição de *L. fortunei*.

### 2.3 ANÁLISE DE DADOS

Com o objetivo de detectar se as variáveis abióticas mais relevantes para o desenvolvimento da população de *L. fortunei* são afetadas pela conexão foi realizado o teste não paramétrico de Mann-Whitney para cada uma das variáveis coletadas em ambientes conectados e não conectados.

Para verificar se cada um dos estágios larvais (Larva D, Charneira Reta, Umbonada, Pedivéliger e Plantígrada) e a densidade total de larvas foram afetados pela conexão, foi realizado o teste não paramétrico de Mann-Whitney, uma vez que os dados não atingiram os pressupostos de normalidade e homocedasticidade, comparando lagoas conectadas e não conectadas quanto ao número de larvas encontrado. Para a realização destas análises foi utilizado o software Statistica 7.1 (Statsoft, 2005).

### **3 RESULTADOS**

As lagoas amostradas apresentaram grande variação nos valores das variáveis abióticas (Tab. 1). As maiores densidades larvais foram registradas em lagoas conectadas ao rio. O pH das lagoas variou de ácido (pH=5,61) a alcalino (pH=8,19), e água das lagoas foi caracterizada desde de clara (0,5 NTU) a turbidez (78,68 NTU). As lagoas amostradas também puderam ser caracterizadas desde hipóxicas (OD=1,04 mg/l) a lagoas com níveis normais de oxigênio (OD=8,32 mg/l). Independente dos valores registrados, foi possível registrar a presença de larvas.

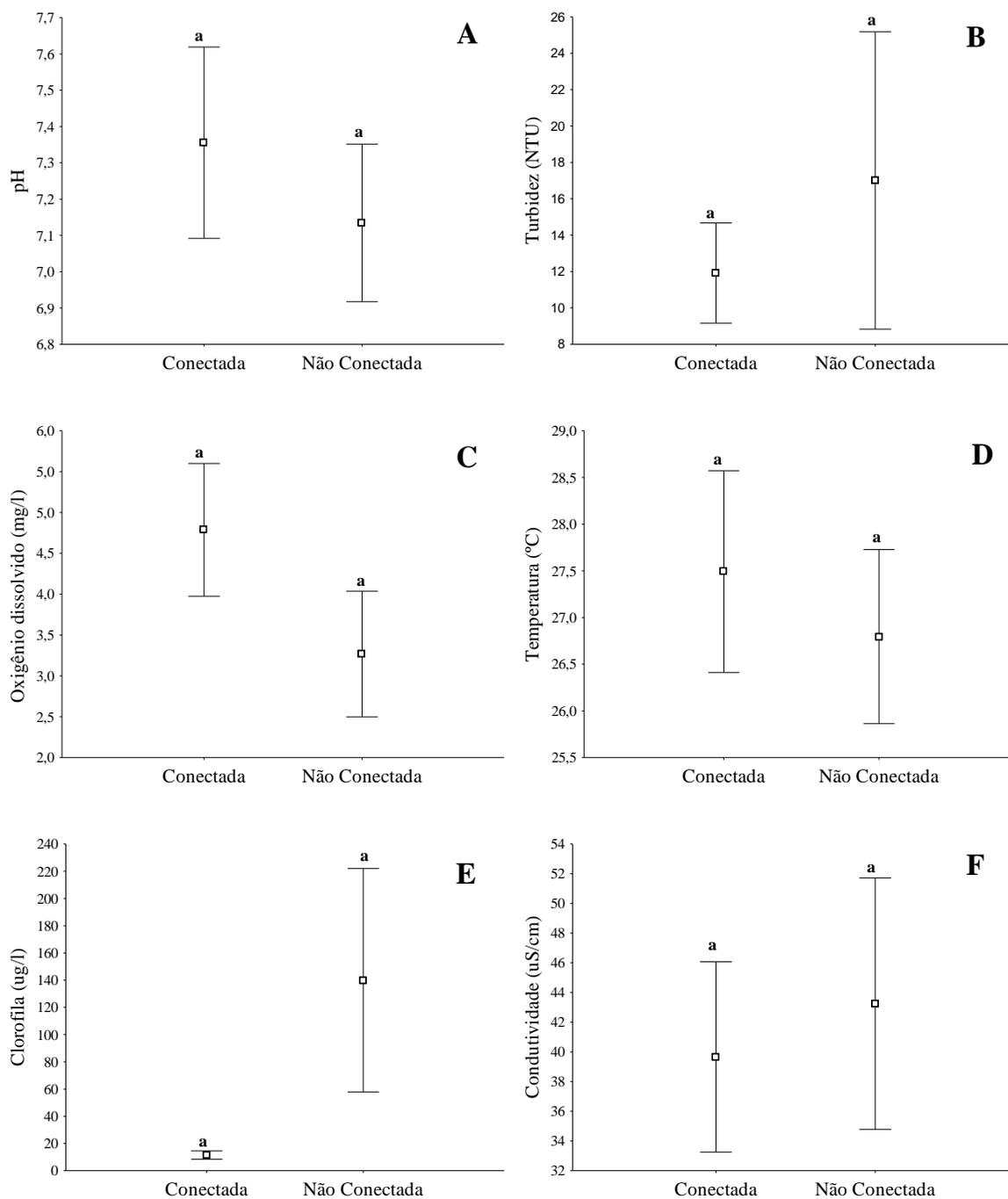
Por meio do teste não paramétrico de Mann-Whitney foi possível verificar que as variáveis abióticas mais relevantes para o desenvolvimento da população de *L. fortunei* (pH, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura, clorofila e condutividade) não apresentaram nenhuma diferença significativa entre as lagoas conectadas e não conectadas (Tab. 2, Fig. 3), indicando similaridade abiótica entre as 18 lagoas amostradas.

**Tabela 1:** Média das variáveis limnológicas em cada lagoa amostrada. **L:** Lagoa; **R:** Ressaco; **Temp.:** Temperatura; **OD:** Oxigênio dissolvido; **Cond.:** Condutividade; **Den. T.:** Densidade total de larvas de *L. fortunei*.

Ambientes	pH	Turbidez (NTU)	Temp. (°C)	OD (mg/l)	Cond. (µS/cm)	Clorofila (µg/l)	Den. T. (m <sup>3</sup> )
L. Patos	7,11	28,36	31,90	5,75	39,40	1,60	383,33
L. Sumida	7,08	13,90	24,06	3,24	23,00	8,70	19,66
L. Finado Raimundo	7,65	9,70	25,01	8,32	33,00	28,40	20,00
L. Guaraná	5,61	5,06	30,70	1,04	34,60	6,60	23,33
L. Porcos	7,98	7,10	24,40	6,57	18,00	4,90	20,00
L. Pousada Garças	8,19	14,4	24,52	6,90	19,00	6,60	96,66
R. Leopoldo	7,71	19,1	28,35	5,21	59,00	10,30	43,33
R. Pau Velho	7,94	0,50	26,89	1,68	64,00	10,20	140,00
L. Garças	6,93	9,15	31,60	4,37	67,00	25,90	6,66
<b>Média</b>	<b>7,35</b>	<b>11,91</b>	<b>27,49</b>	<b>4,78</b>	<b>39,66</b>	<b>11,46</b>	<b>83,66</b>
L. Ventura	7,65	78,68	31,40	6,17	32,30	10,20	26,66
L. Cervo	7,63	12,7	25,07	2,35	26,00	40,40	0,00
L. Capivara	7,77	5,30	25,58	1,98	44,00	18,60	3,33
L. Fechada	5,80	3,49	31,10	1,44	31,50	15,70	0,00
L. Aurélio	7,28	3,9	24,15	2,62	23,00	8,70	0,00
L. Eucalipto	7,06	1,10	24,82	3,22	22,00	2,20	0,00
L. Osmar	6,37	4,29	28,30	0,61	70,50	57,70	0,00
L. Clara	7,23	25,9	26,12	7,84	42,00	403,50	0,00
L. Preto	7,42	17,7	24,62	3,18	98,00	702,20	0,00
<b>Média</b>	<b>7,13</b>	<b>17,00</b>	<b>26,79</b>	<b>3,26</b>	<b>43,25</b>	<b>139,91</b>	<b>3,33</b>

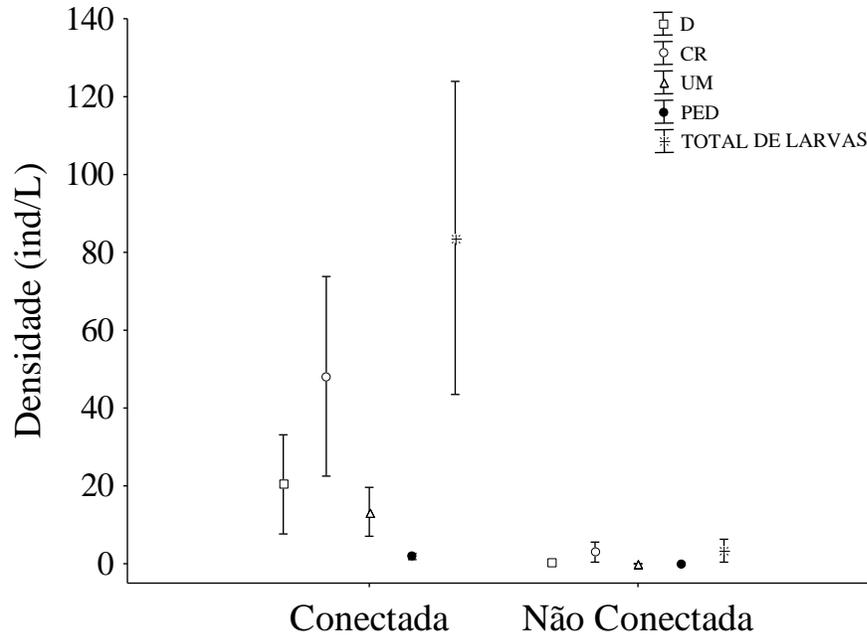
**Tabela 2:** Resultado do teste de Mann-Whitney para variáveis abióticas amostradas.

Variáveis	Z	P
pH	0,88	0,37
Turbidez	0,48	0,62
Oxigênio dissolvido	1,36	0,17
Temperatura	0,22	0,82
Clorofila	-1,81	0,07
Condutividade	-0,26	0,79



**Figura 3:** Média e erro padrão das principais variáveis abióticas utilizadas na realização do teste de Mann-Whitney comparando as lagoas conectadas e não conectadas. Letras iguais representam diferenças não significativas.

O teste de Mann-Whitney realizado para a densidade dos estágios larvais e densidade média de larvas de *L. fortunei* indicou que os estágios larvais D, Charneira Reta e Umbonada apresentaram diferença significativa entre os tipos lagoas, sendo que apenas o estágio Pedivéliger não apresentou diferença significativa entre os tipos de lagoas (Tab. 3, Fig. 4). Não foi encontrado indivíduos do último estágio larval (Plantígrada) em nenhuma das lagoas amostradas.



**Figura 4:** Média e erro padrão da densidade dos estágios larvais e densidade total de larvas nas lagoas conectadas e não conectadas. **D:** Larva D; **CR:** Charneira Reta; **UM:** Umbonada; **PED:** Pedivéliger.

**Tabela 3:** Resultado do teste de Mann-Whitney para as larvas de *L. fortunei* registradas. Valores em negrito indicam diferença significativa entre os tipos de lagoas.

Variáveis	Z	P
Larva D	<b>2,25</b>	<b>0,02</b>
Charneira reta	<b>2,25</b>	<b>0,02</b>
Umbonada	<b>2,38</b>	<b>0,01</b>
Pedivéliger	1,58	0,11
Total de larvas	<b>3,13</b>	<b>0,00</b>

#### 4 DISCUSSÃO

Por meio dos resultados, não rejeitou-se a hipótese de que a conectividade aumenta a pressão de propágulos em lagoas que apresentam conexão com o rio principal. Dentre as variáveis ambientais analisadas, verificou-se que os fatores de maior importância para a sobrevivência das larvas de *L. fortunei* são semelhantes entre todas as lagoas amostradas, portanto o efeito que a conectividade exerce sobre esses ambientes é o que diferencia as lagoas conectadas das não conectadas quanto a densidade de larvas.

É possível observar que a densidade total de larvas de *L. fortunei* foi maior nas lagoas conectadas. Devido a conectividade com o rio principal, a troca de materiais e a dispersão de indivíduos entre os *habitat* são facilitadas (Elosegi et al., 2010). Em quase todas lagoas temporariamente não conectadas, foi observado um número reduzido de larvas, isso porque a dispersão dessas larvas não ocorre constantemente, como nas lagoas conectadas (Elosegi et al., 2010). A dispersão de *L. fortunei* nesses ambientes pode ser facilitada durante o período de águas altas, pois é nesse período que se intensifica a troca de organismos entre *habitat* na maioria dos rios neotropicais (Espínola et al., 2014).

O estágio larval Pedivéliger não apresentou nenhuma diferença significativa, e o de Plantígrada não teve nenhum registro, o que provavelmente caracteriza uma alta mortalidade de ambos estágios larvais. Os modelos de probabilidade e os estudos de campo indicam uma correlação direta entre a pressão do propágulo e os níveis de variação genética dentro da população introduzida (Lockwood et al., 2005; Meyerson & Mooney, 2007; Roman & Darling, 2007). Assim, a alta pressão de propágulos pode aumentar a capacidade dos organismos introduzidos para se adaptar a novas pressões seletivas e sobreviver no ecossistema receptor (Lockwood et al., 2005).

Os resultados indicaram algumas condições ambientais teoricamente desfavoráveis para a sobrevivência dos estágios larvais de *L. fortunei*. De acordo com Ernandes-Silva et al. (2016), a ocorrência dos estágios larvais mais jovens (Larva D e Charneira Reta) diminui em ambientes com alta turbidez (superior a 25 NTU), pois, grandes quantidades de partículas inorgânicas podem impedir a filtração da água e entupir os sifões dessas larvas. A redução na ocorrência desses estágios não foi verificada e estudo, uma vez que a lagoa que apresentou a maior densidade de estágios larvais jovens apresentou turbidez acima de 25 NTU. A temperatura da água também é um fator importante para a reprodução do *L. fortunei* (Darrigran et al., 2007). Esses indivíduos

apresentam um desenvolvimento mais rápido em temperaturas entre 28°C e 30°C (Cataldo et al., 2005). Dentre as lagoas amostradas que obtiveram alta densidade de larvas, apresentaram temperatura próximas a 25°C e 32°C. Além disso, é possível que a ocorrência dos estágios larvais intermediários aumente com valores de condutividade superiores a 55  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Ernandes-Silva et al., 2016a), fator fundamental para a formação das válvulas de *L. fortunei* (Morton, 1973). Contudo, o valor médio encontrado nos ambientes amostrados não ultrapassou 40  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sendo que nas lagoas com maiores valores de condutividade (70,5 e 98  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) nenhuma larva foi registrada, isso sugere que nessas lagoas deve haver algum outro fator limitante.

A pressão de propágulos causa a disseminação dessa espécie para novos ambientes (Anderson, 2011), o que pode aumentar a variação genética (Lockwood et al., 2005), e a capacidade de alguns indivíduos tolerar uma ampla gama de variáveis químicas e físicas (Morton, 1977, 1982; Oliveira et al., 2011), provavelmente, seja a razão da baixa densidade dessa espécie nas lagoas. É possível, que esses indivíduos resistentes a essas condições até então desfavoráveis, consigam chegar a fase adulta, como observado nas lagoas Sumida, Leopoldo e Garças, e originarem outros indivíduos resistentes, aumentando a densidade desse invasor nesses ambientes.

De acordo com Ernandes-Silva et al. (2016a), a sincronia entre a fase de reprodução do *L. fortunei*, e o pulso de inundação pode aumentar a eficácia da pressão de propágulos. Similarmente, de acordo com os resultados, sugere-se que a conexão entre *habitat* esteja entre os principais fatores que facilitam o aumento da pressão de propágulo, acarretando em maior vulnerabilidade de ecossistemas conectados a uma fonte de propágulos de espécies invasoras. A dispersão e o estabelecimento de *L. fortunei* em lagoas da planície de inundação do alto rio Paraná pode estar ocorrendo devido a combinação entre as características ambientais locais (conexão) e regionais (ciclo hidrológico), as quais somadas a invasividade da espécie, geram a manutenção das populações de *L. fortunei* na região.

## REFERÊNCIAS

- Agostinho, A. A., S. M. Thomaz & L. C. Gomes, 2004. Threats for biodiversity in the floodplain of the Upper Paraná River: effects of hydrological regulation by dams. *Ecohydrology & Hydrobiology* 4: 255-268.
- Anderson, L. W. J., 2011. Freshwater plants and seaweeds. In Simberloff, D. & M. Rejmanek (eds), *Encyclopedia of Biological Invasions*. University of California Press, Berkeley: 248–258.
- Berg, J. A., G. A. Meyer & E. B. Young, 2016. Propagule pressure and environmental conditions interact to determine establishment success of an invasive plant species, glossy buckthorn (*Frangula alnus*), across five different wetland habitat types. *Biological Invasions* 18: 1363-1373.
- Bonel, N. & J. Lorda, 2015. Growth and body weight variability of the invasive mussel *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) across habitat and season. *Malacologia* 58: 129-145.
- Bonel, N., L. C. Solari & J. Lorda, 2013. Differences in density, shell allometry and growth between two populations of *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) from the Río De La Plata basin, Argentina. *Malacologia* 56: 43-58.
- Boltovskoy, D., N. Correa, D. Cataldo & F. Sylvester, 2006. Dispersion and ecological impact of the invasive freshwater bivalve *Limnoperna fortunei* in the Río de la Plata watershed and beyond. *Biological Invasions* 8: 947-963.
- Cataldo, D., D. Boltovskoy, J. L. Hermosa & C. Canzi, 2005. Temperature dependent larval development rates of *Limnoperna fortunei* (Mollusca, Bivalvia). *Journal of Molluscan Studies* 71: 41-46.
- Choi, S.S. & C. N. Shin, 1985. Study on the early development and larvae of *Limnoperna fortunei*. *Korean Journal of Limnology* 1:13-18.
- Colautti, R. I., I. A. Grigorovich & H. J. Macisaac, 2006. Propagule pressure: a null model for biological invasions. *Biological Invasions* 8: 1023-1037.

- Darrigran, G., C. Damborenea & N. Greco, 2007. An evaluation pattern for antimacrofouling procedures: *Limnoperna fortunei* larvae in a hydroelectric power plant in South America. *Ambio* 36: 575-579.
- Darrigran, G. & C. Damborenea, 2009. Características da espécie. In Darrigran, G. & C. Damborenea (eds), *Introdução a Biologia das Invasões. O mexilhão dourado na América do Sul: biologia, impacto, prevenção e controle*. Cubo editora, São Carlos SP: 43-60.
- Duncan, R. P., 2011. Propagule pressure. In Simberloff, D. & M. Rejmanek (eds), *Encyclopedia of Biological Invasions*. University of California Press, Berkeley: 561-563.
- Elosegi, A., J. Díez & M. Mutz, 2010. Effects of hydromorphological integrity on biodiversity and functioning of river ecosystems. *Hydrobiologia* 657: 199-215.
- Espínola, L. A., M. L. Amsler, A. R. Paira, E. E. Drago, M. C. M. Blettler & A. A. Agostinho, 2014. Effects of decadal changes in the hydrological regime of the middle reach of the Paraná River (Argentina) on fish densities. *Environmental Biology of Fishes* 97: 757-771.
- Ernandes-Silva, J., F. H. Ragonha, L. C. Rodrigues & R. P. Mormul, 2016a. Freshwater invasibility level depends on the population age structure of the invading mussel species. *Biological Invasions* 18: 1421-1430.
- Ernandes-Silva, J., F. H. Ragonha, S. Jati & A. M. Takeda, 2016b. *Limnoperna fortunei* Dunker, 1857 larvae in different environments of a Neotropical floodplain: relationships of abiotic variables and phytoplankton with different stages of development. *Brazilian Journal of Biology* 76: 154-161.
- Gurevitch, J. & D. K. Padilla, 2004. Are invasive species a major cause of extinctions? *Trends Ecology and Evolution* 19: 470-474.
- Hulme, P. E., P. Pysek & R. P. Duncan, 2011. Don't be fooled by a name: a reply to Thompson and Davis. *Trends in Ecology and Evolution* 26: 318.
- Jeppesen, E., M. Sondergaard, J. P. Jensen, E. Mortensen & O. Sortkjaer, 1996. Fish-induced changes in zooplankton grazing on phytoplankton and bacterioplankton: a long-term study in shallow hypertrophic Lake Sobygaard. *Journal of Plankton Research* 18: 1605-1625.

- Junk, W. J., P. B. Bayley & R. E. Sparks, 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 106: 110-127.
- Kasyanov, V. L., G. A. Kryuchkova, V. A. Kulikova & L. A. Medvedeva, 1998. Larvae of marine bivalves and equinoderms. Smithsonian Institution Libraries, Washington.
- Kinziger, A. P., R. J. Nakamoto, E. C. Anderson & B. C. Harvey, 2011. Small founding number and low genetic diversity in an introduced species exhibiting limited invasion success (speckled dace, *Rhinichthys osculus*). *Ecology Evolution* 1: 73-84.
- Leung, B., J. M. Drake & D. M. Lodge, 2004. Predicting invasions: propagule pressure and the gravity of Allee effects. *Ecology* 85: 1651-1660.
- Levine, J. M., 2008. Biological invasions. *Current Biology* 18: 81-158.
- Levine, J. M. & C. M. D'Antonio, 1999. Elton revisited: a review of evidence linking diversity and invasibility. *Oikos* 87: 15-26.
- Lockwood, J. L., P. Cassey & T. Blackburn, 2005. The role of propagule pressure in explaining species invasions. *Trends in Ecology and Evolution* 20: 223-228.
- Mcmahon, R. F., 2002. Evolutionary and physiological adaptations of aquatic invasive animals: r selection versus resistance. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 1235-1244.
- Meyerson, L. A. & H. A. Mooney, 2007. Invasive alien species in an era of globalization. *Frontiers Ecology Environment* 5: 199-208.
- Morton, B., 1973. Some aspects of the biology and functional morphology of the organs feeding and digestion of *Limnoperna fortunei* (Dunker) (Bivalvia:Mytilacea). *Malacologia* 12: 265-281.
- Morton, B., 1977. The population dynamics of *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) (Bivalvia: Mytilacea) in Plover Cove reservoir, Hong Kong. *Malacologia* 16: 165-182.
- Morton, B., 1982. The reproductive cycle in *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) (Bivalvia: Mytilidae) fouling Hong Kong's raw water supply system. *Oceanologia et Limnologia Sinica* 13: 312-325.

- Nakano, D., T. Kobayashi & I. Sakaguchi, 2010. Differences in larval dynamics of golden mussel *Limnoperna fortunei* between dam reservoirs with and without an aeration system. *Landscape and Ecological Engineering* 6: 53-60.
- Nakano, D., T. Kobayashi, N. Endo & I. Sakaguchi, 2011. Growth rate and settlement of *Limnoperna fortunei* in a temperate reservoir. *Journal of Molluscan Studies* 77: 142-148.
- Oliveira, M. D., D. F. Calheiros, C. M. Jacobi & S. K. Hamilton, 2011. Abiotic factors controlling the establishment and abundance of the invasive golden mussel *Limnoperna fortunei*. *Biological Invasion* 13: 717-729.
- Orfe, O. & J. C. Stevaux, 2002. Hydraulic and morphological characteristics of middle and upper reaches of the Paraná River (Argentina and Brazil). *Geomorphology* 44: 309-322.
- Paolucci, E. M., P. Sardina, F. Sylvester, P. V. Perepelizin, A. Zhan, S. Ghabooli, M. E. Cristescu, M. D. Oliveira & H. J. Macisaac, 2014. Morphological and genetic variability in an alien invasive mussel across an environmental gradient in South America. *Limnology Oceanography* 59: 400-412.
- Pastorino, G., G. Darrigran, S. Martin & L. Lunaschi, 1993. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae), nuevo bivalvo invasor en aguas del Río de La Plata. *Neotropica* 39: 34.
- Rahel, F. J., 2002. Homogenization of freshwater faunas. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 33: 291-315.
- Roman J. & J. Darling, 2007. Paradox lost: genetic diversity and the success of aquatic invasions. *Trends Ecology and Evolution* 22: 454-464.
- Santos, C. P., N. L. Würdig & M. C. D. Mansur, 2005. Fases larvais do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (Dunker) (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae) na bacia do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira Zoologia* 22: 702-708.
- Signorile, A. L., J. Wang, P. W. W. Lurz, S. Bertolino, C. Carbone & D. C. Reuman, 2014. Do founder size, genetic diversity and structure influence rates of expansion of North American grey squirrels in Europe? *Diversity and Distributions* 20: 918-930.

- Simberloff, D., 2009. The role of propagule pressure in biological invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40: 81-102.
- Sousa, R., A. Novais, R. Costa & D. L. Strayer, 2014. Invasive bivalve in fresh water: impacts from individuals to ecosystems and possible control strategies. *Hydrobiologia*, 735: 233-251.
- Statsoft, I. N. C., 2005. Statistica (data analysis software system), version 7.1.
- Sylvester, F., D. H. Cataldo, C. Notaro & D. Boltovskoy, 2013. Fluctuating salinity improves survival of the invasive freshwater Golden mussel at high salinity: implications for the introduction of aquatic species through estuarine ports. *Biological Invasions* 15: 1355-1366.
- Thomaz, S. M., L. M. Bini & R. L. Bozelli, 2007. Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia* 579: 1-13.
- Thomaz, S. M., R. P. Mormul & T. S. Michelan, 2015. Propagule pressure, invisibility of freshwater ecosystems by macrophytes and their ecological impacts: a review of tropical freshwater ecosystems. *Hydrobiologia* 746: 39-59.
- Von Holle, B. & D. Simberloff, 2005. Ecological resistance to biological invasion overwhelmed by propagule pressure. *Ecology* 86: 3212-3218.