

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG  
PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA BIOLÓGICA**

**Utilização da zona de arrebenção de praias  
arenosas do extremo sul do Brasil pelos estágios  
iniciais de pós-larvas do camarão-rosa *Penaeus  
paulensis* Pérez-Farfante, 1967 (Decapoda,  
Penaeidae)**

**ANA LUIZA NEUNFELD MÜLLER**

**Orientador: Prof. Dr. Luiz Felipe Cestari Dumont  
Co-orientadores: Dr. Fábio Lameiro Rodrigues  
Dr. Rony Roberto Ramos Vieira**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação  
em Oceanografia Biológica  
da Universidade Federal do  
Rio Grande, como requisito  
parcial à obtenção do título  
de MESTRE.

**RIO GRANDE  
SETEMBRO/2016**

***“tudo posso naquele que me fortalece.”***

Fp 4. 13

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao meu bom Deus, por estar sempre ao meu lado.

Ao professor Luiz Felipe Cestari Dumont, meu orientador, por me apresentar as pós-larvas de *Penaeus paulensis*.

Aos meus co-orientadores Fábio Lameiro Rodrigues e Rony Roberto Ramos Vieira, pelos “puxões de orelha”, contribuindo muito para o meu crescimento acadêmico e pessoal e pela ajuda nas coletas e na identificação das pós-larvas.

À banca, pelas contribuições feitas.

Ao pessoal do Laboratório de Crustáceos Decápodes, pela ótima convivência e aprendizado com todos vocês. Agradeço especialmente aos que me ajudaram durante as coletas, Chris, Diego, Ileana, Lucas, Renan, Cyro e Rony. E a Isadora, estagiária, pela ajuda na triagem e identificação das pós-larvas. Aos que me ajudaram com as análises estatísticas, Ileana, Lucas e Gabi, muito obrigada!

Ao CNPq, pelo auxílio concedido.

Ao meu marido e amigo, Charles Müller, que sempre me apoiou e me deu forças com muito amor e paciência.

À minha mãe, pelo apoio, incentivo que sempre mostrou a mim em mais uma etapa de minha vida!

À todos vocês, muito obrigada!

## ÍNDICE

LISTA DE TABELAS.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	6
PREFÁCIO.....	8
RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
1.INTRODUÇÃO.....	11
2.OBJETIVOS .....	21
2.1. Objetivo Geral.....	21
2.2. Objetivos Específicos.....	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1. Área de estudo.....	22
3.2.Trabalho de campo.....	24
3.3.Trabalho de laboratório.....	25
3.4.Análise de dados.....	26
4. RESULTADOS.....	28
4.1. Variáveis ambientais.....	28
4.2. Abundância de pós-larvas.....	34
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
6. PERSPECTIVAS FUTURAS.....	47
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
8. APÊNDICE.....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Direção e velocidade do vento mensal para os três períodos amostrados. A velocidade está expressa por  $m^3 s^{-1}$ .

Tabela 2. Resultado da análise PERMANOVA para abundância de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* para os três períodos de amostragem, nas duas praias e seis pontos. GL=graus de liberdade, SQ=soma de quadrados, QM=quadrados médios, Pseudo-F=razão pseudo-F, P(permutation)=permutação do valor P. Diferenças significativas em negrito.

Tabela 3. Resultado da análise PERMANOVA para abundância de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* para cada período de amostragem. GL=graus de liberdade, SQ=soma de quadrados, QM=quadrados médios, Pseudo-F=razão pseudo-F, P(permutation)=permutação do valor P. Diferenças significativas em negrito.

Tabela 4. Resultado da comparação múltipla “a posteriori” para abundância de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* entre os meses das estações no período II. Diferenças significativas em negrito.

Tabela 5. Resultado da comparação múltipla “a posteriori” para abundância de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* entre as praias e os meses das estações no período III. Diferenças significativas em negrito.

Tabela 6. Resultado da análise de correspondência canônica (CCA) com p-valor e coeficiente de correlação dos eixos. Variáveis ambientais que foram significativas para explicar a abundância de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* foram listadas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fases larvais de Dendrobranchiata. (A) náuplio, (B) protozoé, (C) misis, (D) pós-larva. Retirado de D'Incao (1999).

Figura 2. Localização dos pontos de coleta nas praias arenosas do Cassino, em Rio Grande, e, Mar Grosso, em São José do Norte. Pontos (1), (2) e (3), localizados na Praia do Mar Grosso e (4), (5) e (6), localizados na Praia do Cassino.

Figura 3. Identificação de pós-larvas de *Penaeus paulensis* segundo Iwai (1978). (A) Rostro, (B) Cerdas do 5º somito abdominal, (C) Dente epigástrico e (D) Espinho hepático. Retirado de Iwai (1978).

Figura 4. Flutuação temporal da temperatura nas duas praias e nos três períodos amostrados.

Figura 5. Flutuação temporal da salinidade nas duas praias e nos três períodos amostrados.

Figura 6. Flutuação temporal da vazão de água doce nos três períodos amostrados.

Figura 7. Flutuação temporal da transparência da água nas duas praias e nos três períodos amostrados.

Figura 8. Média anual de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* nas praias e nos três períodos amostrados.

Figura 9. Média mensal de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* nas praias e nos três períodos amostrados.

Figura 10. Abundância de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* nas praias e nos três períodos amostrados.

Figura 11. Média sazonal de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* nas praias e nos três períodos amostrados.

Figura 12. Abundância de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus Paulensis* nos pontos de cada praia nos períodos amostrados. Cinza escuro= praia do Mar Grosso e cinza claro= praia do Cassino.

Figura 13. Relação entre abundância dos estágios (5-10) de pós-larvas de *Penaeus paulensis* e variáveis ambientais baseados na análise de correspondência canônica (CCA). Diagrama de ordenação para os três períodos, apresentando as variáveis ambientais significativas em preto e os estágios em cinza.

## PREFÁCIO

Conforme exigências do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica da FURG, esta dissertação é composta de uma seção em português, constituída de uma introdução geral, objetivos, materiais e métodos, resultados, considerações finais, perspectivas futuras e bibliografia; tendo como apêndice o trabalho escrito na língua inglesa intitulado “*Abundance and distribution of early planktonic post-larvae of the pink shrimp Penaeus paulensis Pérez-Farfante, 1967 (Decapoda, Penaeidae) in the surf zone of sandy beaches in southern Brazil*” a ser submetido ao periódico “*Journal of Plankton Research*”.

## RESUMO

O ciclo de vida de camarões peneídeos é complexo e depende de diferentes variáveis ambientais ao longo de suas fases. No entanto, a ecologia da fase larval que antecede a fase estuarina ainda é pouco conhecida, assim como os principais processos oceanográficos que levam a um recrutamento de sucesso. Nesse contexto, a importância da zona de arrebentação para a ecologia das larvas de *Penaeus paulensis* foi investigada. Duas praias arenosas no extremo sul do Brasil foram analisadas, em três períodos, buscando: I) elucidar os estágios larvais presentes; II) identificar variações espaciais e temporais e, III) estabelecer possíveis relações da distribuição e abundância das pós-larvas com os parâmetros ambientais medidos. Um total de 5.498 pós-larvas foram capturadas, pertencentes aos estágios 5 a 10, com predominância do estágio 8. As pós-larvas ocorreram na zona de arrebentação durante todo o ano com picos na primavera e verão. Períodos com alto volume de vazão de água da Lagoa dos Patos ( $>4.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) foram os principais responsáveis por explicar a abundância de pós-larvas na zona de arrebentação, justamente por retê-las neste ambiente impedindo a sua penetração no ambiente estuarino. A partir deste trabalho, foi possível identificar que as pós-larvas de *P. paulensis* utilizam a zona de arrebentação antes de entrar no estuário e se dirigirem para as áreas de crescimento.

Palavras-chave: Dendrobranchiata, recrutamento, distribuição e abundância, plâncton, ecologia larval.

## ABSTRACT

The life cycle of penaeid shrimps is complex and is influenced by a variety of environmental parameters through its different phases. However, the larval ecology associated to the pre-recruitment phase, as well as the oceanographic mechanisms that result in successful recruitment, are still poorly investigated. Therefore, the importance of surf zone for the ecology of the post-larvae of *Penaeus paulensis* was investigated. Two sandy beaches in southern Brazil were analyzed in three periods, in attempt to: i) to elucidate the larval stages that use the surf zone; II) to identify spatial and temporal variations of distribution of the larvae and III) to establish possible relationships among the distribution and abundance of post-larvae with the environmental parameters recorded. A total of 5.498 post-larvae were captured, belonging to stages 5 to 10, with a predominance of stage 8. The post-larvae occurred in the surf zone throughout the year with peaks in spring and summer. Periods with high freshwater outflow of the Patos Lagoon ( $>4.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) were responsible for explaining the abundance of post-larvae in the surf zone, since it prevents them from entering the estuarine area. Based on our findings, we confirmed that the post-larvae of *P. paulensis* use the surf zone before entering the estuary and steer to the growth areas.

Key words: Dendrobranchiata, recruitment, distribution and abundance, plankton, larval ecology.

## 1. INTRODUÇÃO

O camarão-rosa *Penaeus paulensis* (Pérez-Farfante, 1967) pertence ao subfilo Crustacea Brünnich, (1772), ordem Decapoda Latreille, (1802), subordem Dendrobranchiata Spence Bate, (1888) e família Penaeidae Rafinesque, (1815). Os Dendrobranchiata apresentam quatro fases larvais na seguinte ordem de ocorrência: náuplio, protozoé, misis e pós-larva (Figura 1). Na fase de náuplio (Fig. 1, A), apresentam três pares de apêndices cefálicos, antênula (unirreme), antena e mandíbula (birremes). Os apêndices cefálicos têm função de natação, e a alimentação é devida apenas ao consumo do vitelo. A fase de protozoé (Fig. 1, B) apresenta os mesmos apêndices do náuplio, mas já se evidencia a carapaça e a parte posterior é composta pelo tórax e abdome. Alimentam-se de fitoplâncton. Na fase de misis (Fig. 1, C), as larvas já são semelhantes a um pequeno camarão, com os maxilípodos e pereiópodos apresentando exopoditos longos e cerdosos. A natação é realizada pelos apêndices torácicos (maxilípodos e pereiópodos), enquanto que os pleópodos não têm cerdas nem função. Alimentam-se de zooplâncton. Na fase de pós-larva (Fig. 1, D) são semelhantes aos juvenis, diferenciando-se pelo número de dentes rostrais e pelas proporções do corpo. A natação é realizada pelos apêndices abdominais (pleópodos) e como nas fases anteriores vivem no plâncton e posteriormente, a partir do estágio 10, no bentos. Alimentam-se de pequenos organismos em suspensão como no sedimento (D'Incao, 1999).

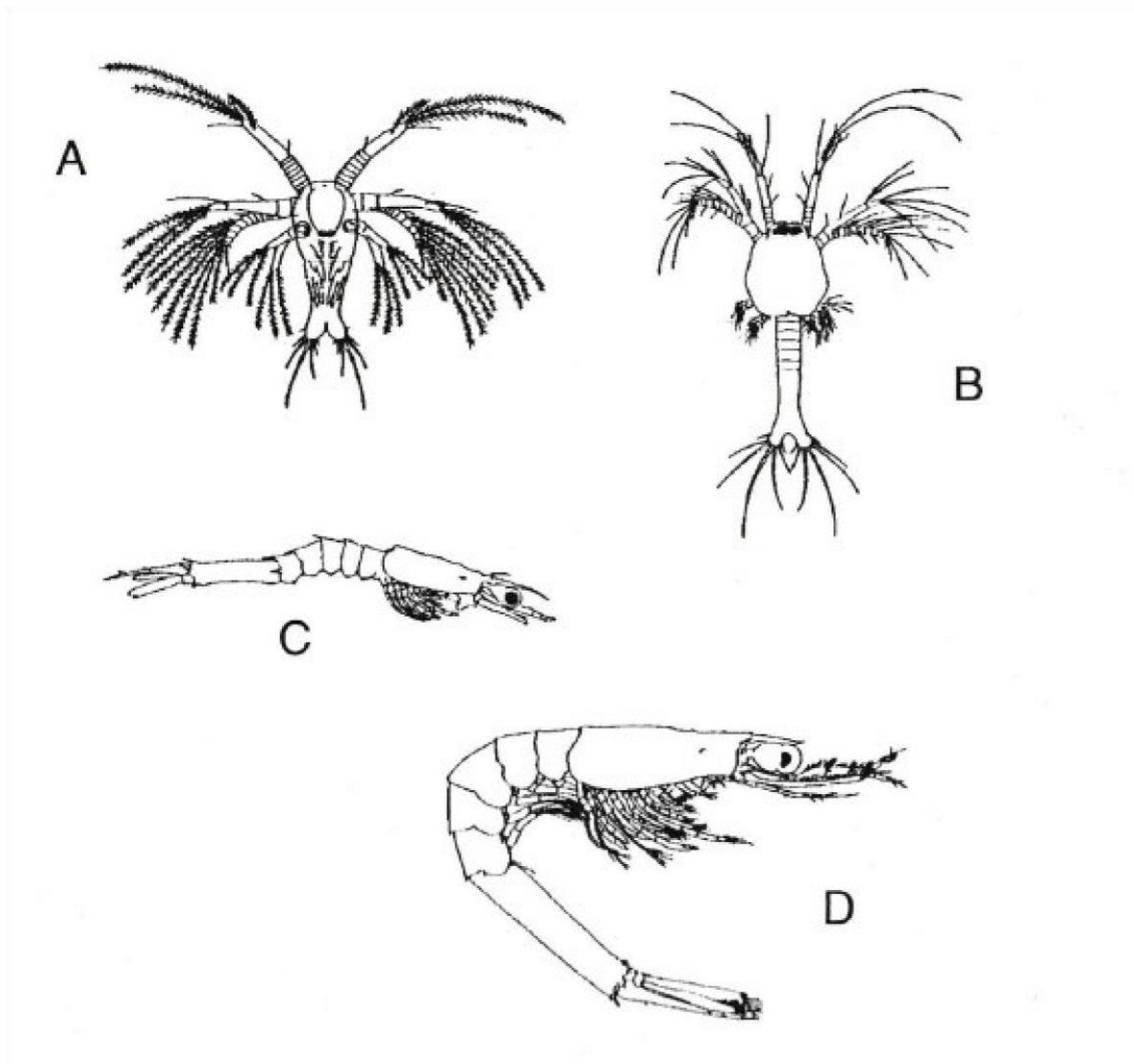


Figura 1. Fases larvais de Dendrobranchiata. (A) náuplio, (B) protozoé, (C) misis, (D) pós-larva. Retirado de D'Incao (1999).

O termo **pós-larva** foi adotado de acordo com Gurney (1942), que definiu a fase larval e pós-larval de *Penaeidae* de acordo com o modo de locomoção (natação) utilizado que seria por meio da propulsão abdominal. Assim, a fase pós-larval de peneídeos é caracterizada por apresentar: natação realizada principalmente pelos pleópodos, e com os exópodos dos apêndices torácicos podendo permanecer até a 9<sup>a</sup> ou 10<sup>a</sup> pós-larva, também

servindo à função natatória. É dentro dessa fase que se completam as principais estruturas do corpo do camarão adulto (Iwai, 1978).

A espécie é endêmica do sudoeste do Atlântico Sul, com distribuição desde o litoral da Bahia (Brasil) até Mar del Plata (Argentina) ocorrendo em águas rasas até 150 m de profundidade (D’Incao, 1995). O camarão-rosa é um organismo estuarino-dependente que utiliza as zonas rasas dos estuários como área de crescimento e é tido como um dos principais recursos pesqueiros da região Sudeste/Sul do Brasil por conter nessa região importantes criadouros naturais para espécie (D’Incao, 1991; D’Incao *et al.*, 2002; Haimovici *et al.*, 2006). A pesca no Estuário da Lagoa dos Patos (ELP) está entre as mais rentáveis, sendo importante para os pescadores artesanais da região (D’Incao, 1991). Registros de desembarque em torno de 8000 t.ano<sup>-1</sup> foram anotados ao final da década de 1970 para o ELP. Entretanto, a sobrepesca levou ao colapso do estoque adulto no oceano, afetando também o recrutamento no ELP, que atualmente é responsável por menos de 3.000 t.ano<sup>-1</sup> (D’ Incao & Dumont, 2010).

Assim como outros peneídeos, o camarão-rosa possui um ciclo de vida bastante complexo envolvendo diferentes fases larvais e diferentes ambientes. A espécie se reproduz na plataforma continental, na costa de Santa Catarina, além da isóbata de 50 m, com picos de reprodução na primavera e verão, mas, ocorrendo durante todo ano. As fêmeas liberam ovos planctônicos que após eclodirem, passam por diversas metamorfoses como, por exemplo, cinco a seis estágios naupliares, três estágios de

protozoé, três estágios de misis e 22 a 24 estágios de pós-larvas (Iwai, 1978; D’Incao, 1991). Após a desova, há o transporte passivo das larvas pelas correntes costeiras em direção ao sul com as fases larvais migrando do mar aberto para o interior dos estuários. A distância a ser percorrida pelas larvas para chegarem até as áreas de crescimento é grande, mas a velocidade das correntes costeiras é suficiente para permitir a chegada em 11 a 24 dias (0,7 a 1,5 milhas náuticas por hora) (D’Incao, 1999). Ao terminar o período de crescimento juvenil nos estuários, os sub-adultos (7 a 8 cm) já estão migrando de volta para zonas de reprodução em águas oceânicas, recrutando ao estoque adulto na costa de Santa Catarina e completando seu ciclo de vida (D’Incao & Dumont, 2010).

Diversos estudos envolvendo o ciclo de vida da espécie sugerem que as larvas se deslocam da área de desova em direção ao sul entrando do mar aberto diretamente para os estuários para se desenvolverem (Iwai, 1978; D’Incao, 1991). No entanto, sabe-se que as larvas de crustáceos decápodes são importantes componentes do zooplâncton costeiro, podendo representar mais de 50% da biomassa planctônica total (McCounagha, 1992) e devido a sua elevada abundância, diversidade e papéis que ocupam na cadeia trófica possuem relevante importância ecológica (Fernandes *et al.*, 2002; Pan *et al.*, 2011; Pohle *et al.*, 1999).

A presença de fases larvais de Decapoda em zonas costeiras do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Brasil) foi observada por alguns autores (Bersano, 1994; Brandão *et al.*, 2015; Calazans, 2002). Brandão *et al.*,

(2015), encontraram maior abundância larval de camarões dendrobranquiados bentônicos na plataforma continental sul. Altos valores de abundância foram encontrados em associação com a Água Continental Subtropical, e secundariamente, com a pluma do Rio da Prata. A abundância larval para todos os estágios apresentou uma correlação positiva com a clorofila e salinidade enquanto que a temperatura e a distância da costa apresentaram correlação negativa significativa. Da Superfamília Penaeoidea foram capturados indivíduos apenas na fase de protozoé, nos estágios 1 a 3, encontrados em maior abundância na área oceânica. Calazans (2002) realizou cruzeiros na região costeira em torno da desembocadura do ELP e encontrou fases larvais de sete espécies de camarões, dentre eles, pequeno número de protozoés, misis e pós-larvas de *P. paulensis*. O autor sugere que a pequena abundância de fases larvais de *P. paulensis* indica uma pequena atividade de desova, mas homogênea durante a primavera e verão.

É importante salientar que as pós-larvas nos estágios 1 ao 9 apresentam hábito de vida planctônico e é somente no estágio 10 que adquire hábito bentônico estando aptas a entrada nos estuários para se desenvolverem (Iwai, 1978). Os resultados encontrados pelos trabalhos de Calazans (2002) e Brandão *et al.*, (2015) que encontraram principalmente indivíduos na fase de protozoé, nos leva a criar a hipótese de que as pós-larvas de *P. paulensis* utilizam a zona de arrebentação como área de transição entre o oceano e os estuários, esperando por condições ideais para a entrada nos estuários, e posterior crescimento nas zonas rasas.

Rohtlisberg *et al.*, (1995) estudaram os principais mecanismos de retenção pós-larval próximo à costa para o peneídeo *Melicertus plebejus* (Hess, 1865) no sudeste de Queensland, Austrália. Segundo os autores, a concentração larval costeira é causada pelas pós-larvas sendo presas na costa pela maré. As pós-larvas de *M. plebejus* usam a maré de enchente como sinal de entrada para os estuários, mudando os padrões de migração vertical diurna, para uma migração vertical de maré. Para as pós-larvas de *Penaeus aztecus* (Ives, 1981), Cházaro-Olvera *et al.*, (2009) em seu estudo sobre o transporte larval da região costeira para três sistemas lagunares do sudoeste do Golfo do México, encontra que altas densidades de pós-larvas ocorrem em elevadas salinidades (>23) e o recrutamento para o interior desses sistemas ocorre com a entrada de água salgada proveniente da região costeira. No entanto, ainda não se conhece como ocorre a retenção e o recrutamento das pós-larvas de *P. paulensis* presentes na zona de arrebenção, naqueles ambientes onde a influência de maré é muito pequena, como é o caso das praias arenosas do sul do Brasil.

Vários são os fatores que podem estar associados à retenção e ao recrutamento larval de peneídeos. Calazans (1978) observou que a entrada de pós-larvas de camarão-rosa *P. paulensis* no ELP parece não ter relação com a salinidade e temperatura, mas sim com os ventos dos quadrantes sul e sudeste que influenciam a entrada de água salgada no estuário. D’Incao (1978) concluiu que a coexistência de mais de uma classe de tamanho no ELP seria devido a diferentes épocas de entrada de pós-larvas, ocasionadas pelos ventos que provocam a entrada de água marinha no estuário. Poli &

Calderon (1987) constataram para sistema lagunar Huizache-Caimero (México) que a densidade de pós-larvas de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) e *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1871) esteve diretamente relacionada com a temperatura da água.

Trabalhos como os de D'Incao (1991) e Möller *et al.*, (2009) ressaltam a importância do ventos do quadrante sul (S e SO) na abundância de *P. paulensis* no ELP, pois são ventos que auxiliam a entrada de água salgada para o interior do estuário, enquanto que ventos de NE, predominantes na região, atuam no escoamento de água da Lagoa dos Patos, dificultando a entrada de água salgada e conseqüentemente, de pós-larvas para o interior do estuário. A vazão de água da Lagoa dos Patos, devido aos altos volumes de precipitação na bacia de drenagem (que é composta principalmente pelos rios Jacuí, Taquari e Camaquã) tem se destacado como fator importante na abundância de *P. paulensis* no ELP (Pereira & D'Incao, 2012; Möller *et al.*, 2009). Ventos de NE associados à altos volumes de vazão de água doce irá gerar uma barreira que bloqueará a entrada de água salgada e de pós-larvas. Ao contrário, ventos de SO, auxiliam a entrada de água salgada e conseqüentemente, de pós-larvas de *P. paulensis*. Altos volumes de vazão de água doce são fortemente influenciados quando há a presença do fenômeno *El Niño* (Grimm *et al.*, 1998). Foi bem documentado que o sul do Brasil apresenta uma forte e consistente precipitação associada a estes eventos (Grimm *et al.*, 2000). O efeito do *El Niño* é principalmente associado ao aumento da descarga de rios, e o efeito prolongado coincide com o período crítico da entrada de pós-larvas no estuário. Diante destes fatos, a

vazão de água doce da Lagoa dos Patos associado aos padrões de ventos e a variação de salinidade, exercem forte influência na abundância de pós-larvas de *P. paulensis* presentes na zona de arrebentação (Möller *et al.*, 2009).

As zonas de arrebentação de praias arenosas são ambientes altamente dinâmicos, considerados como ecossistema semifechado e autossustentável, onde a estrutura física do ambiente marinho é determinada pela interação entre sedimento, ondas, ventos, correntes costeiras e maré (McLachlan & Brown, 2006). Muitos estudos salientam a importância das zonas de arrebentação como áreas de berçário para diversas espécies marinhas e estuarinas, principalmente para peixes; no entanto, estes ambientes abrigam uma fauna (peixes, diatomáceas, crustáceos) caracterizada pela baixa diversidade e alta dominância de poucas espécies (Beyst *et al.*, 2001; Lasiak, 1986; Lima & Vieira, 2009; Macedo-Soares *et al.*, 2014; Monteiro & Musick, 1994; Odebrecht *et al.*, 2014). Brown & McLachlan (1990), enfatizam que muitas espécies zooplancônicas poderiam ser atraídas à zona de arrebentação a fim de aproveitar as grandes concentrações de diatomáceas e detritos como fonte alimentar, resultando em um ambiente com elevada produção primária. Adicionalmente, essa zona é considerada como um importante refúgio contra a predação, pois apresenta muito material em suspensão e conseqüentemente baixa visibilidade, diminuindo a predação visual.

Além das pós-larvas de peneídeos, outros grupos utilizam as zonas de arrebenção como ambiente temporário, incluindo as diatomáceas, moluscos, crustáceos, ictioplâncton, peixes, peixes juvenis como a savelha *Brevoortia pectinata* (Jenyns, 1842) e as tainhas *Mugil curema* (Valenciennes, 1836), *M. gaimardianus* (Desmarest, 1831) e *M. liza* (Valenciennes, 1836). A savelha e as tainhas em sua fase juvenil são componentes da zona de arrebenção da Praia do Cassino, durante o outono a primavera. A temperatura da água possui um importante papel, determinando o tempo de migração para áreas de reprodução e desova que irá determinar as variações sazonais na abundância de espécies no recrutamento de juvenis (Monteiro-Neto *et al.*, 2003; Rodrigues & Vieira, 2012). Para o ictioplâncton presente na zona de arrebenção, o vento pode estar relacionado com o seu aumento na região costeira, induzindo o afloramento costeiro, uma vez que, o aumento da produção primária e secundária garante a disponibilidade de alimento para as futuras larvas (Macedo-Soares *et al.*, 2014). Algumas espécies de diatomáceas, conhecidas como “surf diatoms”, podem prosperar nas zonas de arrebenção. Sua ocorrência é controlada por fatores físicos e químicos, incluindo a energia das ondas, inclinação e comprimento da praia, padrões de circulação de água na zona de arrebenção e da disponibilidade de nutrientes para sustentar a alta biomassa (Odebrecht *et al.*, 2014).

O entendimento sobre parte do ciclo de vida de *P. paulensis* que ocorre na zona de arrebenção, no entanto, carece de muitas informações essenciais para o conhecimento completo do ciclo de vida da espécie,

incluindo a caracterização dos estágios larvais que utilizam este ambiente e o tempo que as larvas ficam retidas neste ambiente antes de penetrar nos estuários (Bersano, 1994). Adicionalmente, variações ambientais entre os anos podem gerar diferenças na abundância de pós-larvas, conseqüentemente, gerando mudanças no recrutamento para os estuários e alterando posteriormente as safras de pesca do camarão-rosa no ELP, sendo importante a comparação temporal. Essa importância já foi levantada por Gonzalez-Gordillo & Gutierrez-Aguirre (2007) que dizem ser fundamental compreender como os fatores bióticos e abióticos presentes nas zonas de arrebentação afetam o ciclo de vida do camarão-rosa *P. paulensis*. Nesse contexto, entender o uso da zona de arrebentação pelas pós-larvas do camarão-rosa *P. paulensis* como habitat durante a fase anterior ao recrutamento estuarino é central para um melhor entendimento sobre o ciclo de vida da espécie.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Identificar os estágios larvais das pós-larvas de *Penaeus paulensis* que ocorrem na zona de arrebentação das praias arenosas do Mar Grosso e Cassino e sua variação espaço-temporal.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Identificar os estágios de pós-larvas e suas possíveis variações espaciais e temporais na distribuição e abundância das pós-larvas de *P. paulensis* encontradas na zona de arrebentação das praias do Mar Grosso e Cassino ao longo de três períodos;
- Estabelecer possíveis relações com os parâmetros ambientais que influenciam a distribuição e abundância das pós-larvas de *P. paulensis* encontradas na zona de arrebentação das praias do Mar Grosso e Cassino.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. Área de estudo**

Wright & Short (1984) classificam as praias arenosas em três tipos, de acordo com a morfodinâmica: dissipativas, intermediárias e refletivas. A área de estudo compreende as praias do Mar Grosso e do Cassino, situadas no extremo sul do Brasil (Figura 2), sendo classificadas como praias arenosas dissipativas, segundo a classificação de Wright & Short (1984). Na classificação dissipativa, a zona de arrebentação é larga, apresenta baixo gradiente topográfico e elevado estoque de areia na porção subaquosa da praia. Condições dissipativas são favorecidas pela ocorrência de ondas altas ou pela presença de areias de granulometria fina (3 a 2,2 phi). A energia é transformada em "set-up" (subida do nível médio do mar) e em fluxos de correntes de retorno, os quais podem ocorrer devido a variações espaciais na altura da arrebentação.

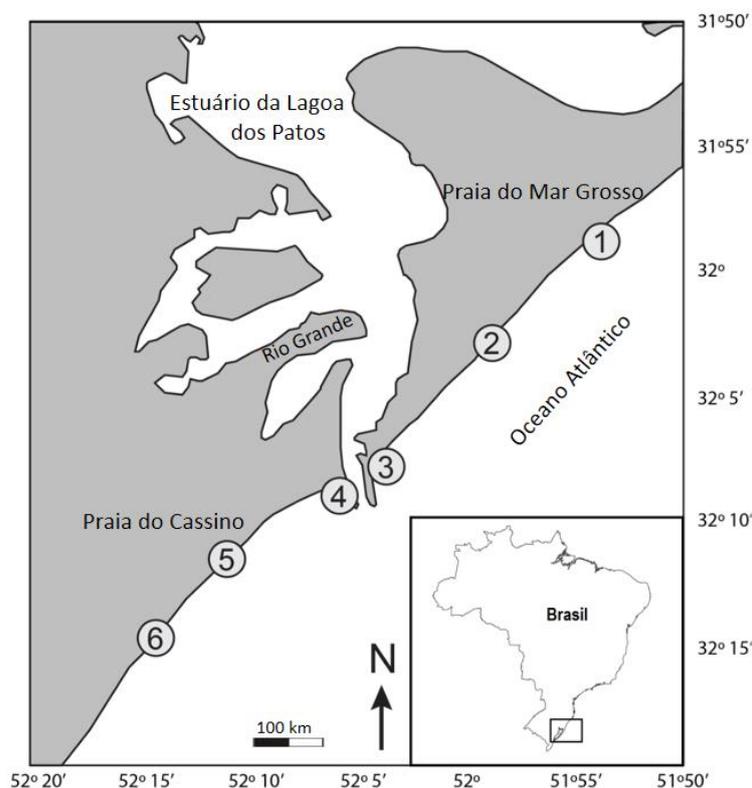


Figura 2. Localização dos pontos de coleta nas praias arenosas do Mar Grosso e Cassino. Pontos (1), (2) e (3), localizados na Praia do Mar Grosso e (4), (5) e (6), localizados na Praia do Cassino.

As praias do Mar Grosso e do Cassino sofrem influência de sedimentos continentais provenientes do ELP e do Rio da Prata com águas menos salinas e ricas em nutrientes. Estas massas de água sofrem expansões e retrações sazonais, que afetam a circulação, estratificação e a distribuição de nutrientes, bem como a distribuição de diversas espécies (por exemplo: anchova e sardinha) (Piola *et al.*, 2005). A circulação de ventos predominantes na Lagoa dos Patos é de nordeste (NE) – sudoeste (SO), nestas condições, a vazão de água doce da Lagoa dos Patos segue em direção ao sul, se afastando da costa (Marques *et al.*, 2006). Os ventos SO

forçam as águas do Rio da Prata para baixas latitudes ( $\sim 28^\circ$ ) no inverno, com baixas salinidades e temperaturas; já no verão, os ventos NE fazem com que as águas do Rio da Prata fiquem retraídas em volta da sua desembocadura (Möller *et al.*, 2008).

### **3.2. Trabalho de campo**

Parte do material utilizado neste trabalho provém do banco de dados do Laboratório de Ictiologia (IO/FURG), em coletas realizadas durante dois anos consecutivos (julho/2009 a junho/2011), além de coletas realizadas pelo Laboratório de Crustáceos Decápodes (IO/FURG) entre agosto/2014 e julho/2015. Desta forma, criaram-se três períodos para a análise dos dados: período I (julho/2009 a junho/2010), período II (julho/2010 a junho/2011) e período III (agosto/2014 a julho/2015). Nos três períodos foram feitas coletas mensais nos mesmos locais e utilizando as mesmas técnicas de coleta do material biológico e registro das variáveis ambientais.

As coletas foram realizadas em seis pontos, três ao norte da barra da Lagoa dos Patos (Praia do Mar Grosso) e três ao sul (Praia do Cassino), totalizando uma área de 46 km retilíneos, com pontos de coleta distribuídos em intervalos de aproximadamente 7,5 km. Para os arrastos, foi utilizada uma rede de plâncton cônica com 48 cm de diâmetro, com malha de 300  $\mu\text{m}$ , equipada com fluxômetro mecânico modelo 2030 (General Oceanics Inc.). A rede foi arrastada manualmente paralela a linha de praia, contra a corrente, em profundidade variando entre 1,0 a 1,5 m durante dois minutos.

Após cada coleta, a amostra foi fixada em formalina tamponada com tetraborato de sódio a 4%.

Juntamente à coleta das amostras de plâncton foram medidas as seguintes variáveis ambientais: temperatura superficial da água e salinidade com um multiparâmetro (YSI 556MPS) e transparência da água com o disco de Secchi. A direção e a velocidade do vento foram obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), utilizando os valores médios de cinco dias antes ao dia da coleta para que fosse utilizada a direção e a velocidade do vento que influenciou na abundância de pós-larvas no dia de coleta. A descarga dos principais tributários da Lagoa dos Patos (rios Jacuí, Taquari e Camaquã) foi obtida na página da Agência Nacional de Águas (ANA), obtendo a média mensal da vazão de água calculado a partir da soma dos tributários dividido pelo número de dias do mês.

### **3.3. Trabalho de laboratório**

No laboratório, as todas as pós-larvas foram separadas e identificadas sob microscópio estereoscópio e microscópio óptico segundo Iwai (1978). Outros organismos contidos na amostra não foram identificados. De acordo com Iwai (1978), pós-larvas de *P. paulensis* possuem cerdas ventrais na pleura do 5º somito abdominal que caracterizam os estágios conforme o número de cerdas. Como características, as pós-larvas apresentam: rostro longo e delgado que atinge a margem distal ou ultrapassa os olhos; dente epigástrico maior do que o 1º e 2º dente dorsoventral e espinho hepático sempre posterior ao dente epigástrico (Figura 3).

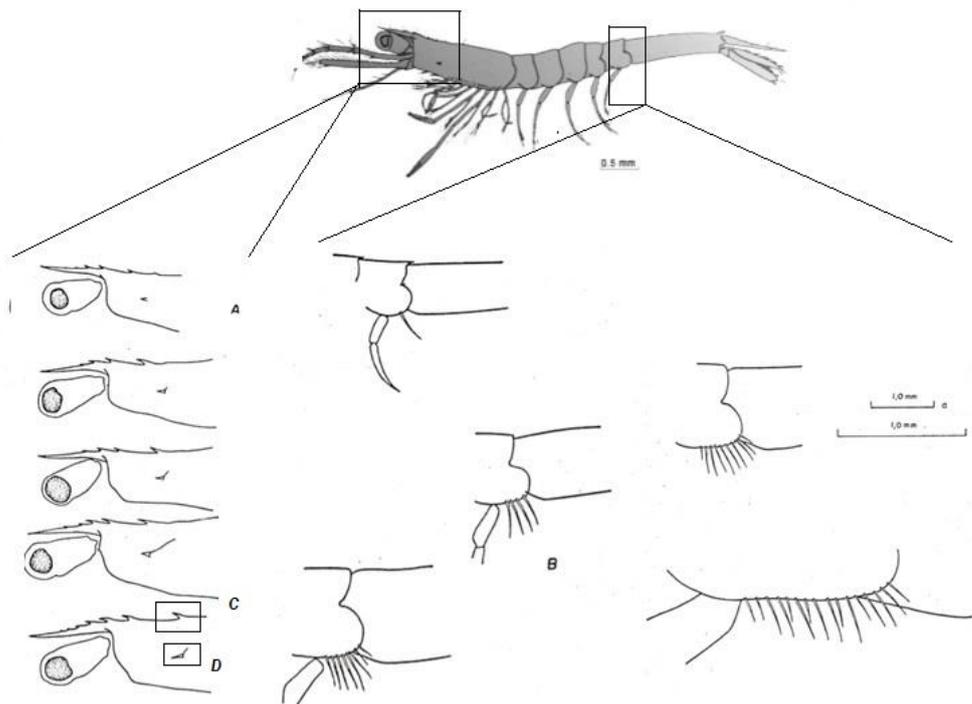


Figura 3. Identificação de pós-larvas de *Penaeus paulensis* segundo Iwai (1978). (A) Rostro, (B) Cerdas do 5º somito abdominal, (C) Dente epigástrico e (D) Espinho hepático. Retirado de Iwai (1978).

O volume filtrado pela rede em cada arrasto foi calculado pela fórmula  $\pi.r^2.Cte.diff$ . Em que:  $r$  = é o raio da rede; Cte = Constante do fluxômetro; diff.=Diferença do fluxômetro (valor entre o início e final do arrasto). O número de indivíduos foi padronizado para  $100 \text{ org m}^{-3}$  e transformadas por  $\text{Log}(X+1)$  para estabilizar a variância dos dados.

### 3.4. Análise de dados

Previamente foram testadas possíveis diferenças na abundância dos estágios das pós-larvas entre os períodos, praias e locais de coleta por meio

de uma análise de variância multivariada por permutação (PERMANOVA) (Anderson, 2001), usando uma matriz de similaridade de Bray-Curtis. Para esta análise, as abundâncias foram transformadas em Log (X+1) para normalização dos dados e reduzir a variância. Os p-valores foram calculados usando 9999 permutações. Não havendo diferenças significativas entre os locais, foram utilizados os locais de coleta como réplicas de cada praia. Assim, foi feita uma nova análise PERMANOVA para testar possíveis diferenças entre as praias, meses, estações do ano e entre os estágios, e também para testar diferenças entre as variáveis ambientais. Os 12 meses foram agrupados, previamente, em estações do ano como segue: VER – Janeiro a Março; OUT – Abril a Junho; INV – Julho a Setembro e PRI – Outubro a Dezembro. Foi realizada uma análise “*a posteriori*” – *Pairwise Test*, a fim de testar as combinações possíveis mostrando onde há diferenças significativas. Todas as análises foram realizadas no programa PRIMER V6 + PERMANOVA (Clark e Gorley, 2006).

A análise de correspondência canônica (CCA) foi utilizada para testar a influência das variáveis ambientais sobre a abundância das pós-larvas (Ter Braak, 1986), usando o pacote *vegan* por meio do software livre R. Foi realizada uma análise para cada período amostrado, a fim de obter as variáveis ambientais que influenciaram a distribuição das pós-larvas em cada período analisado. As variáveis ambientais medidas foram incluídas na análise, no entanto, para o diagrama de ordenação, foram incluídas apenas as variáveis ambientais significativas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Variáveis ambientais

A temperatura superficial da água diferiu ( $p= 0,0073$ ) entre os períodos amostrados, e entre as estações do ano ( $p= 0,0001$ ) mostrando uma clara flutuação sazonal apresentando os meses de primavera e verão com altas temperaturas (16,4 a 27,6° C) e os meses de outono e inverno com temperaturas mais baixas (8,8 a 23,4 °C). O período III apresentou diferenças significativas na temperatura em relação aos períodos I e II, ocasionado principalmente por conter as temperaturas mais baixas registradas. Houve diferenças significativas na temperatura entre o verão e outono no período I, inverno e primavera no período II e III (Figura 4). Em relação à salinidade, houve diferenças entre os períodos amostrados ( $p=0,0007$ ), com o período III sendo diferente significativamente dos mais períodos. No entanto, não apresentou nenhum padrão sazonal, variando de 15 a 37,5, o que pode estar atrelado a vazão de água doce da Lagoa dos Patos (Figura 5).

Os valores de vazão de água doce da Lagoa dos Patos mostraram diferenças significativas entre os períodos ( $p=0,0371$ ) e entre as estações do ano ( $p=0,0001$ ). A vazão de água doce apresentou diferenças significativas apenas entre o período II e III. Entre as estações do ano, a primavera foi diferente das demais estações no período III, por conter maiores valores de vazão de água doce nos períodos amostrados, que chegou a  $11.110 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  no mês de dezembro (Figura 6). A transparência da água diferiu entre os períodos ( $p=0,0021$ ) mostrando que o período III é diferente dos demais. Os

valores variaram de 5 a 71,7 cm. (Figura 7). Dados de direção do vento não apresentaram padrões anuais nem sazonais, mostrando diferenças entre todos os meses do ano ( $p=0,0001$ ) (Tabela 1).

Tabela 1. Direção e velocidade do vento mensal para os três períodos amostrados. A velocidade está expressa por  $m^3 s^{-1}$ .

	Período I		Período II		Período III	
	Direção	Velocidade	Direção	Velocidade	Direção	Velocidade
JUL	NO	2,2	S	4,1	NE	1,3
AGO	SE	3,6	SO	1,5	E	2,4
SET	E	5,7	NE	3,3	SE	4,1
OUT	ESE	4,9	E	1,9	S	2,3
NOV	E	3,5	SO	5,1	E	4,4
DEZ	ESE	6,4	E	5,5	NE	3,7
JAN	ENE	4,3	E	5,1	OSO	3,3
FEV	O	2,3	SO	4,1	ENE	4,2
MAR	SE	3,5	SO	4	E	2,9
ABR	SE	3,1	S	2,3	OSO	1,9
MAI	ONO	2,2	SO	3,6	NE	2,4
JUN	SO	3,2	OSO	2,7	SO	2,9

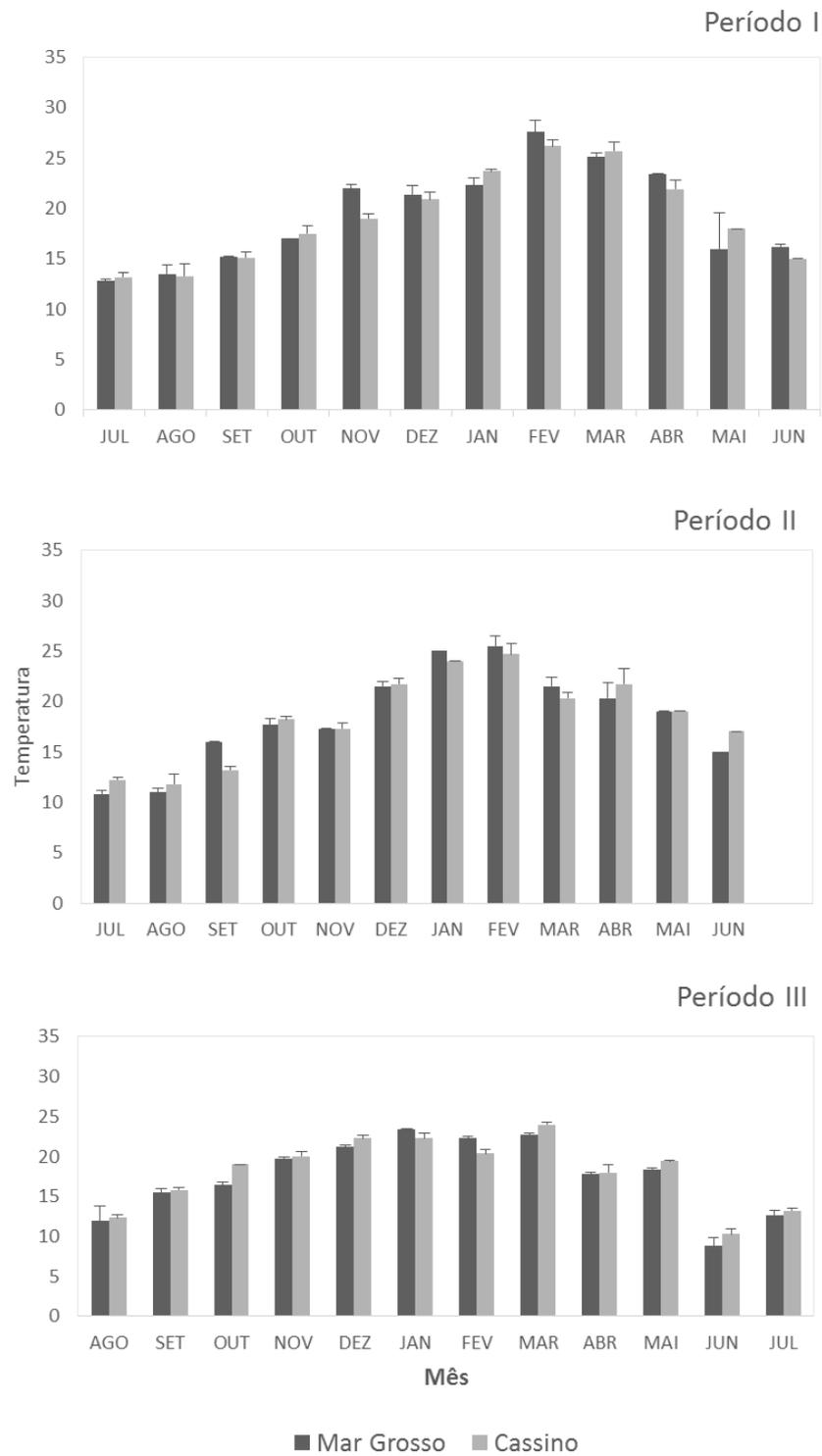


Figura 4. Flutuação temporal da temperatura nas duas praias e nos três períodos amostrados.

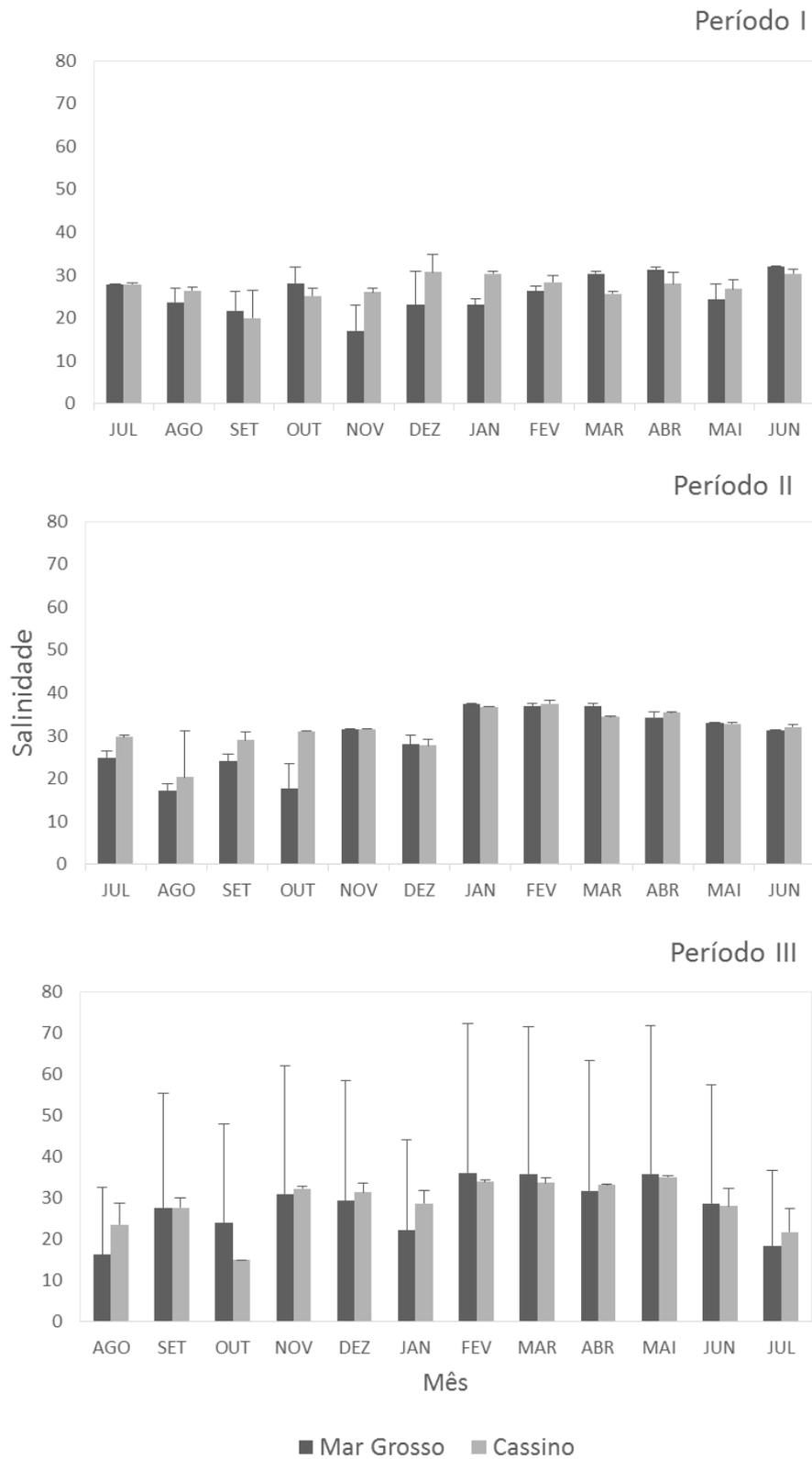


Figura 5. Flutuação temporal da salinidade nas duas praias e nos três períodos amostrados.

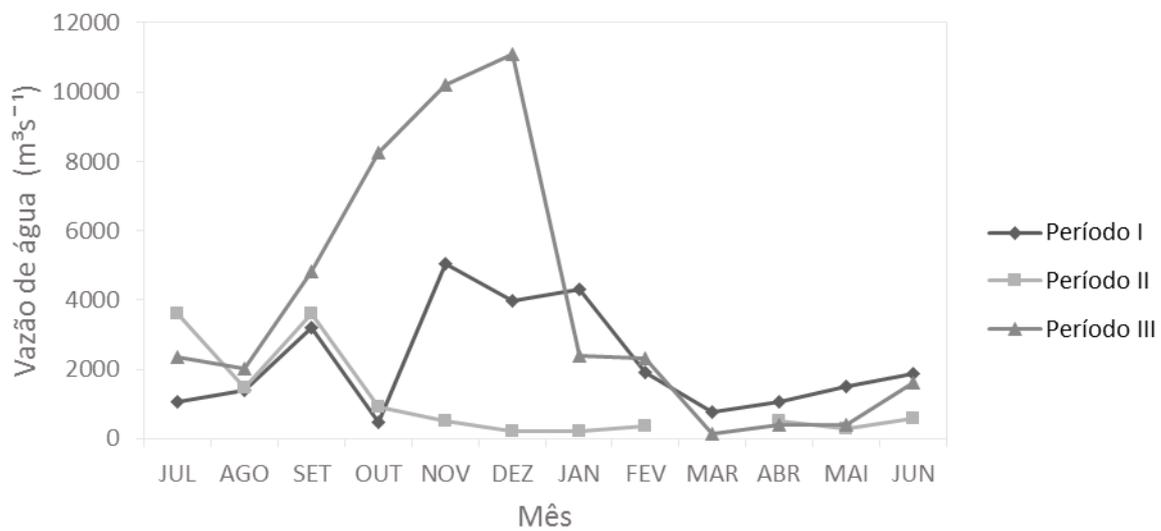


Figura 6. Flutuação temporal da vazão de água doce nos três períodos amostrados.

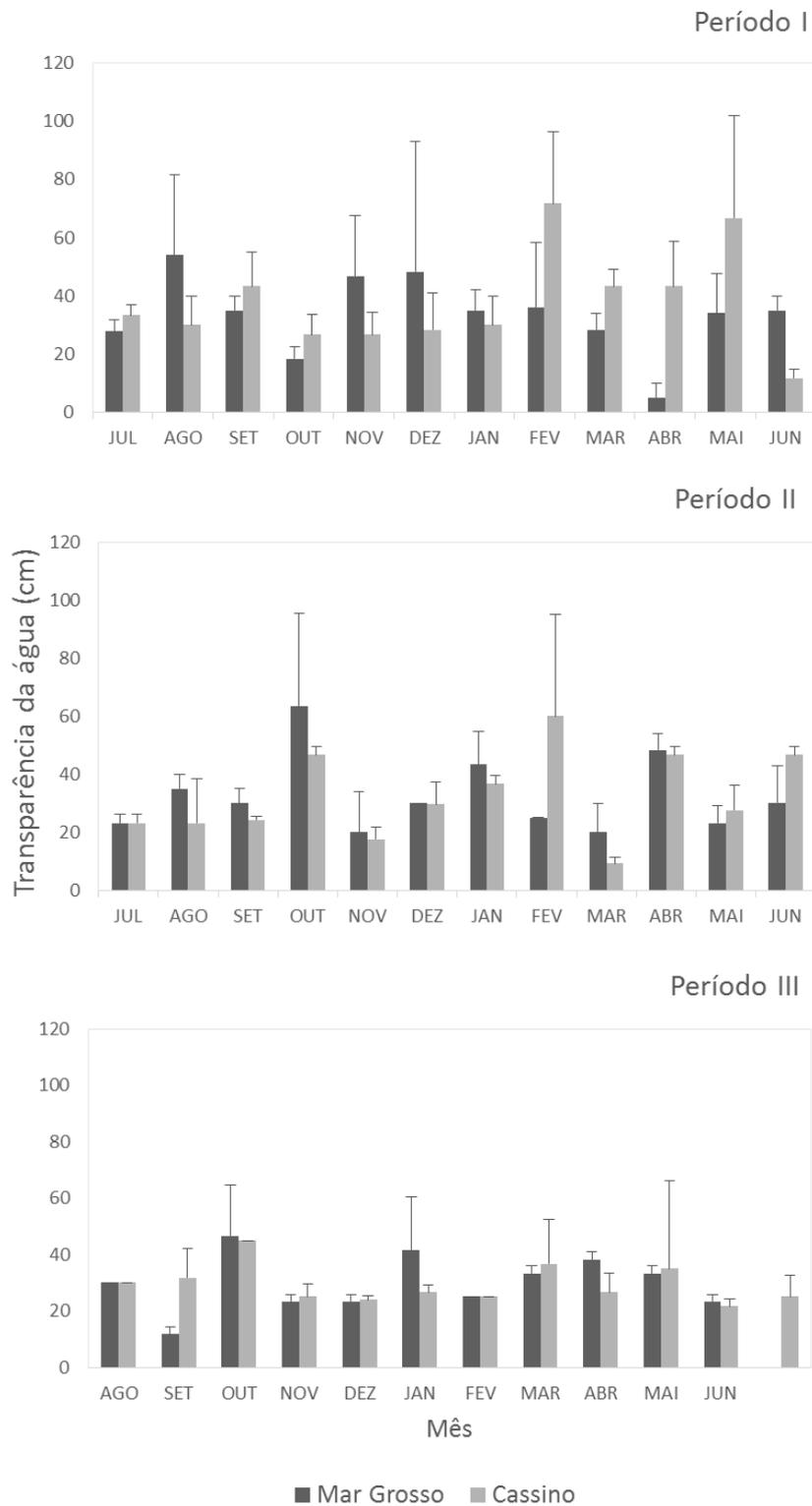


Figura 7. Flutuação temporal da transparência da água nas duas praias e nos três períodos amostrados.

## 4.2. Abundância de pós-larvas

Foram coletadas ao longo dos três períodos 5.498 pós-larvas de *Penaeus paulensis*. A maior abundância de pós-larvas foi observada no período I, seguido do período III e em menor abundância, o período II (Figura 8), não apresentando diferenças significativas entre os períodos amostrados ( $p=0,11$ ) (Tabela 2). No período de amostragem, as pós-larvas já estavam presentes na zona de arrebentação, ou seja, há ocorrência de pós-larvas de *P. paulensis* o ano todo, mas seu pico de maior abundância está na primavera e verão (Figura 9), coincidindo com os meses de elevadas temperaturas.

Do total de pós-larvas capturadas, foram observadas pós-larvas pertencentes aos estágios 5 a 10. No período I, foram encontradas pós-larvas nos estágios 6 ao 10; período II, pós-larvas nos estágios 5 ao 10 e o período III, pós-larvas nos estágios 6 ao 9. Em todos os períodos amostrados, observou-se o predomínio de pós-larvas nos estágios 7 e 8 (Figura 10). Houve diferenças significativas apenas do estágio 5 e 10 em relação aos demais.

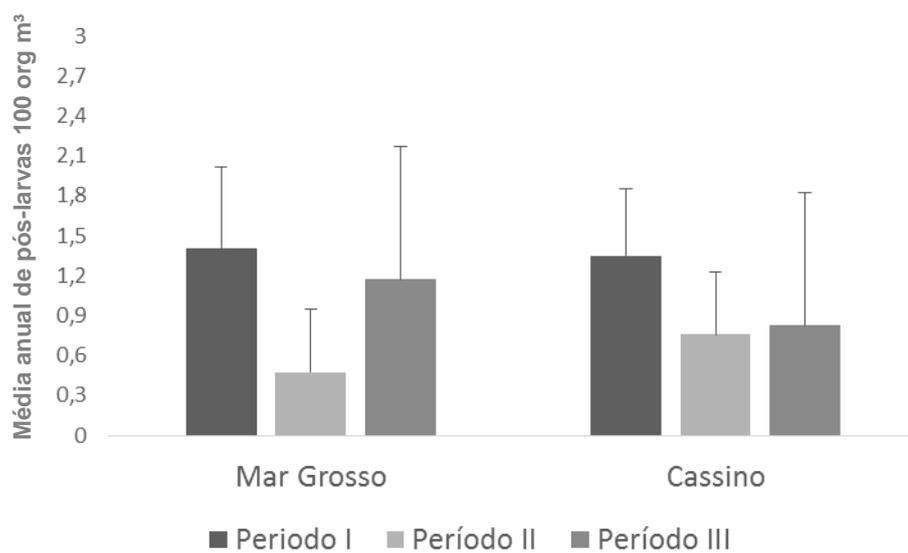


Figura 8. Média anual de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* nas praias e nos três períodos amostrados.

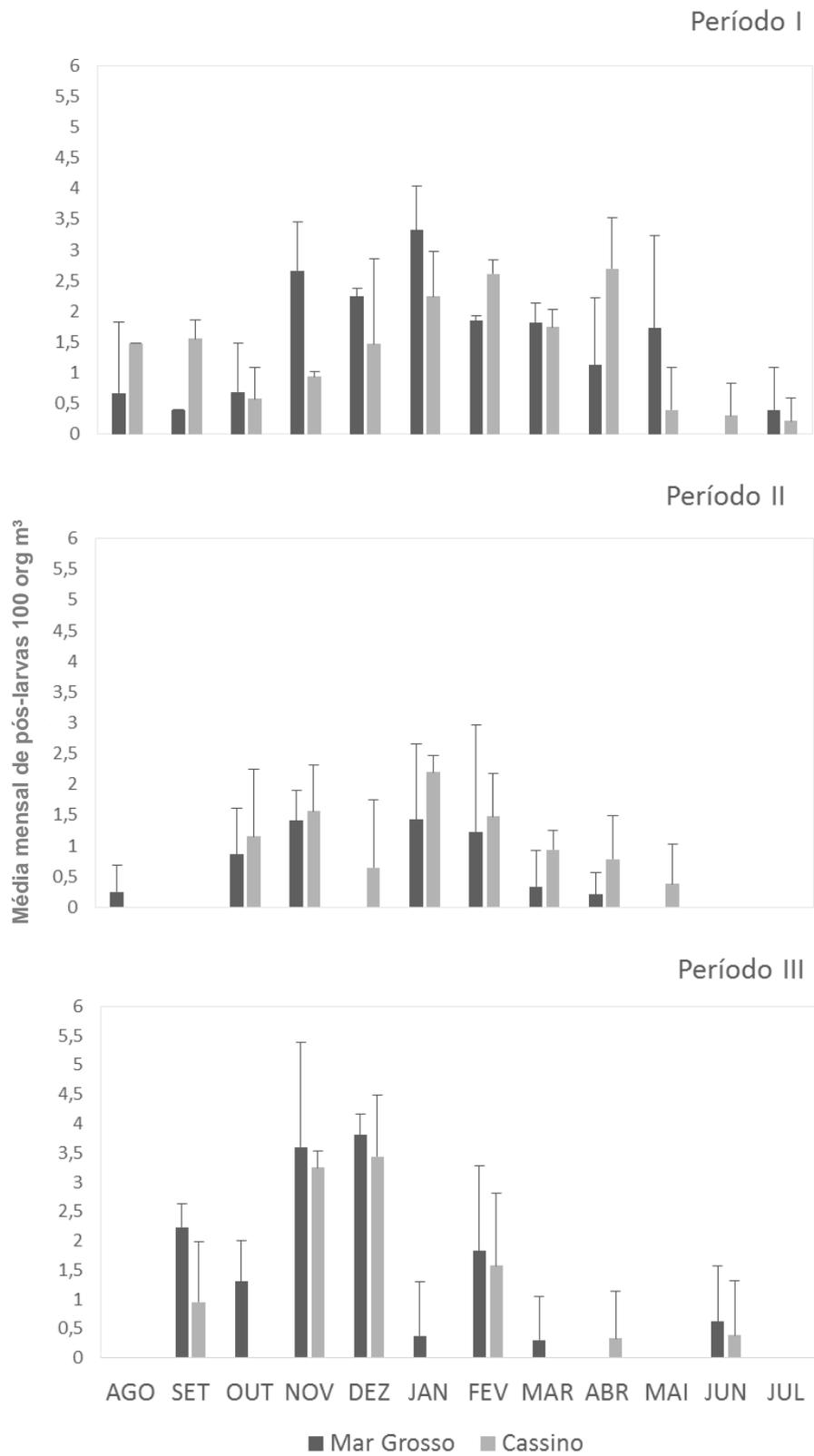


Figura 9. Média mensal de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* nas praias e nos três períodos amostrados.

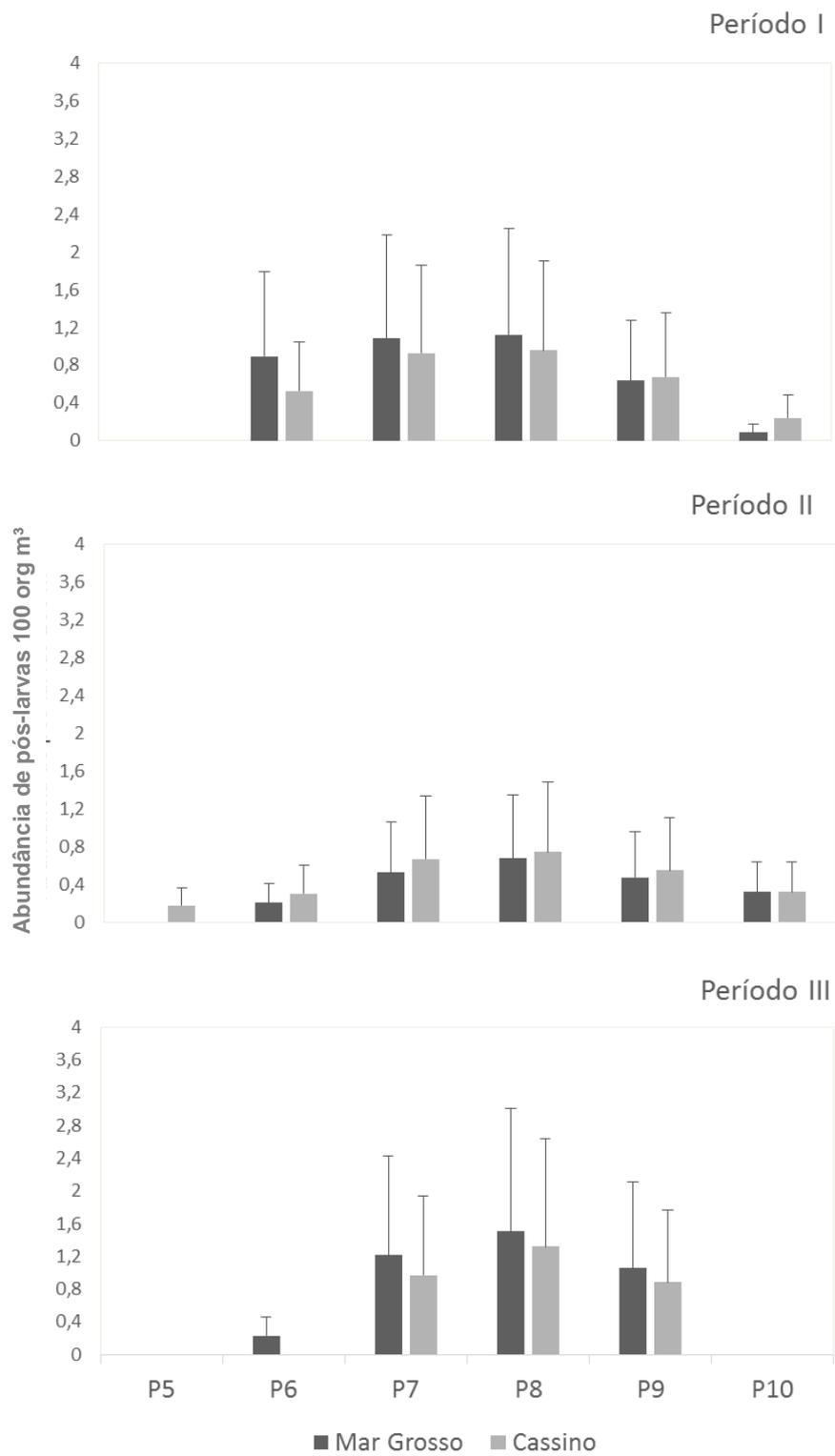


Figura 10. Abundância de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* nas praias e nos três períodos amostrados.

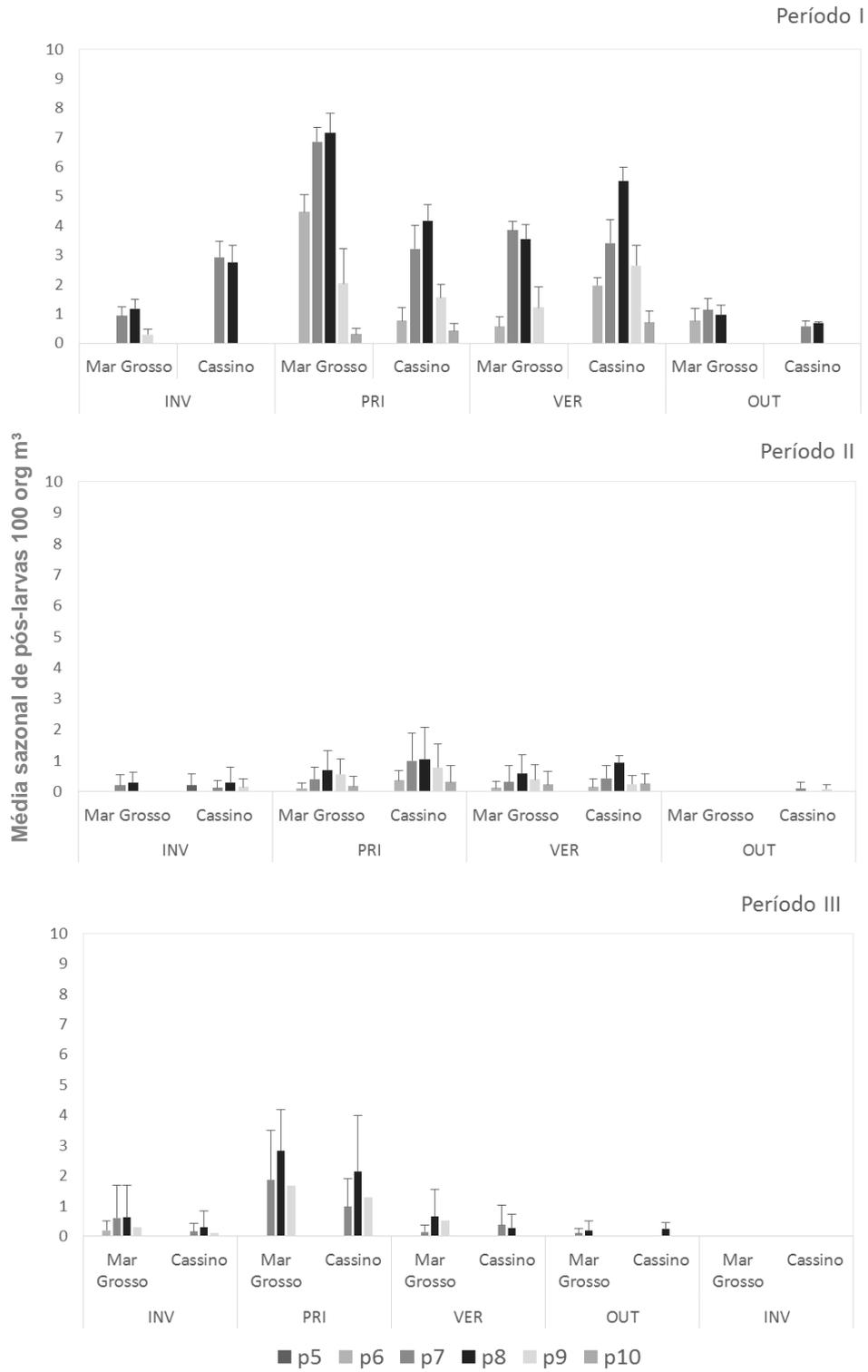


Figura 11. Média sazonal de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* nas praias e nos três períodos amostrados.

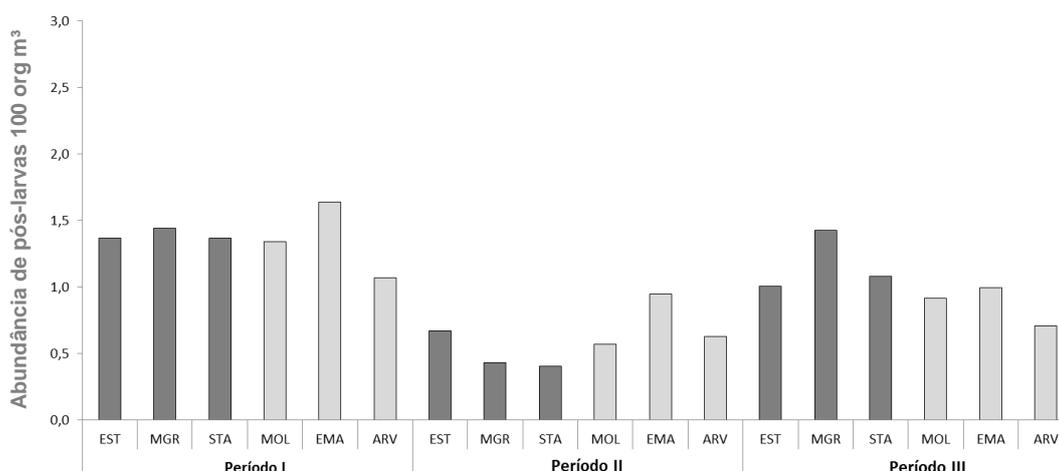


Figura 12. Abundância de pós-larvas (5-10) de *Penaeus Paulensis* nos pontos de cada praia nos períodos amostrados. Cinza escuro= praia do Mar Grosso e cinza claro= praia do Cassino.

Quando comparada a abundância de pós-larvas entre os pontos estudados de cada praia, houve uma homogeneidade nos locais, não apresentando diferenças significativas ( $p=0,211$ ) (Tabela 2). Mesmo não apresentando diferenças significativas, podemos observar uma concentração de pós-larvas no ponto EMA (Praia do Cassino). A diferença significativa foi encontrada, quanto a abundância de pós-larvas entre as praias, apenas nos períodos II ( $p= 0,052$ ) e III ( $p= 0,007$ ) (Figura 12). No período II houve o predomínio de pós-larvas na Praia do Cassino enquanto que, no período III, houve o predomínio de pós-larvas na Praia do Mar Grosso. No entanto, no período III no mês de dezembro, mês de maior vazão de água doce, a abundância de pós-larvas foi maior na Praia do Cassino.

Os resultados da PERMANOVA mostrou um efeito significativo ( $p=0,02$ ) das estações do ano na abundância das pós-larvas de *P. paulensis*

para o período I (Tabela 3). Houve presença de pós-larvas em todas as estações do ano, mas o pico de maior abundância esteve na primavera e no verão, e a abundância mais baixa no inverno e no outono.

No período II, foi considerada a diferença significativa entre as praias ( $p= 0,052$ ). As estações do ano foram mais homogêneas, apresentando diferenças significativas apenas para os meses dentro da estação da primavera ( $p=0,0001$ ). A primavera apresentou um pico de maior abundância de pós-larvas, mas neste período em particular, no mês de novembro não houve nenhuma pós-larva de *P. paulensis* causando a diferença entre os outros dois meses, outubro e novembro ( $p=0,0122$ ) e, novembro e dezembro ( $p=0,0036$ ) (Tabela 4).

Já no período III podemos também observar diferenças significativas entre as praias ( $p=0,02$ ) e diferenças entre os meses do ano ( $p= 0,0001$ ). Ao contrário do período II, o período III apresentou diferenças em todos os meses do ano. Apenas os meses de outono não apresentaram diferenças, por conterem pouca ou nenhuma pós-larva (Tabela 5). Na interação Mês (Estação) x Praia houve diferenças significativas nos meses de janeiro, março e outubro por conterem pós-larvas apenas na Praia do Mar Grosso enquanto que o mês de abril apresentou pós-larvas apenas na Praia do Cassino. Nesses meses, houve a presença de poucas pós-larvas.

Tabela 2. Resultado da análise PERMANOVA para abundância de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* para os três períodos de amostragem, nas duas praias e seis pontos. GL=graus de liberdade, SQ=soma de quadrados, QM=quadrados médios, Pseudo-F= razão pseudo-F, P(perm)=permutação do valor P. Diferenças significativas em negrito.

Escalas	GL	SQ	QM	Pseudo-F	P(perm)
Período	2	9859,3	4929,6	18.011	0,0933
Praia	1	493,62	493,62	0,92367	0,4449
Ponto(Praia)	4	1817,5	454,39	14.637	0,1987
Total	7	1,61E+09			

Tabela 3. Resultado da análise PERMANOVA para abundância de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* para cada período de amostragem. GL= graus de liberdade, SQ= soma de quadrados, QM= quadrados médios, Pseudo-F= razão pseudo-F, P(perm)= permutação do valor P. Diferenças significativas em negrito.

Período I					
Escalas	GL	SQ	QM	Pseudo-F	P(perm)
Praia	1	119,94	119,94	0,27863	0,7698
Estação	3	24138	8045,9	53.879	<b>0,0212</b>
Mês(Estação)	8	11955	1494,4	16.674	0,0899
PraiaxEstação	3	1393,6	464,54	10.812	0,4066
Mês(Estação)xPraia	8	3430,6	428,82	0,47848	0,9397
Res	47	42123	896,23		
Total	70	83500			
Período II					
Escalas	GL	SQ	QM	Pseudo-F	P(perm)
Praia	1	1080,8	1080,8	34.474	<b>0,052</b>
Estação	3	16405	5468,4	19.565	0,171
Mês(Estação)	8	22392	2799	48.701	<b>0,0001</b>
PraiaxEstação	3	1955	651,68	2,08	0,0721
Mês(Estação)xPraia	8	2502,7	312,84	0,54432	0,909
Res	47	27012	574,73		
Total	70	73506			
Período III					
Escalas	GL	SQ	QM	Pseudo-F	P(perm)
Praia	1	3093	3093	45.884	<b>0,027</b>
Estação	3	26167	8722,2	32.183	0,0738
Mês(Estação)	8	22030	2753,8	10.374	<b>0,0001</b>
PraiaxEstação	3	1764,3	588,1	0,86662	0,5483
Mês(Estação)xPraia	8	5488	686	25.843	<b>0,0019</b>
Res	46	12211	265,45		
Total	69	81365			

Tabela 4. Resultado da comparação múltipla “*a posteriori*” para abundância de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* entre os meses das estações no período II. Diferenças significativas em negrito.

Teste <i>Pair-Wise</i>			Termo 'Mês(Estação)'		
Nível 'INV' do fator 'Estação'			Nível 'VER' do fator 'Estação'		
Grupos	t	P(perm)	Grupos	t	P(perm)
JUL, AGO	1	0,4868	JAN, FEV	16.748	0,1215
JUL, SET	18.712	0,0632	JAN, MAR	1.961	0,0632
AGO, SET	22.497	0,0574	FEV, MAR	0,65746	0,7344
Nível 'PRI' do fator 'Estação'			Nível 'OUT' do fator 'Estação'		
Grupos	t	P(perm)	Grupos	t	P(perm)
OUT, NOV	3.394	<b>0,0122</b>	ABR, MAI	1	0,481
OUT, DEZ	11.978	0,2447	ABR, JUN	1	0,4869
NOV, DEZ	45.528	<b>0,0036</b>	MAI, JUN	Den. is 0	

Tabela 5. Resultado da comparação múltipla “*a posteriori*” para abundância de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* entre as praias e os meses das estações no período III. Diferenças significativas em negrito.

Teste <i>Pair-Wise</i>		Termo 'Praia'			
Grupos	t	P(perm)			
1, 2	21.421	<b>0,0239</b>			
Teste <i>Pair-Wise</i>		Termo 'Mês(Estação)'			
Nível 'INV' do fator 'Estação'		Nível 'VER' do fator 'Estação'			
Grupos	t	P(perm)	Grupos	t	P(perm)
JUL, AGO	Den. is 0		JAN, FEV	23.868	<b>0,0238</b>
JUL, SET	45.896	<b>0,0031</b>	JAN, MAR	11.247	0,3264
AGO, SET	45.896	<b>0,0025</b>	FEV, MAR	23.241	<b>0,0287</b>
Nível 'PRI' do fator 'Estação'		Nível 'OUT' do fator 'Estação'			
Grupos	t	P(perm)	Grupos	t	P(perm)
OUT, NOV	82.377	<b>0,0009</b>	ABR, MAI	Den. is 0	
OUT, DEZ	27.915	<b>0,0072</b>	ABR, JUN	14.142	0,4623
NOV, DEZ	0,41989	0,8688	MAI, JUN	14.142	0,4576

A CCA revelou para o primeiro período cinco eixos de influência das variáveis ambientais na distribuição dos estágios das pós-larvas de *P.*

*paulensis* com uma variância total (inércia) de 26,8%. De acordo com o escore dos dois primeiros eixos, eixo 1 e eixo 2 representaram 30,2% e 04,1% da variação, respectivamente. Das seis variáveis ambientais medidas e incluídas na análise, somente a vazão de água doce foi significativa, explicando 6% da variação na distribuição dos estágios das pós-larvas de *P. paulensis* no período I, sendo explicada totalmente pelo eixo 1 (CCA1) (Tabela 6; Figura 13).

O período II também mostrou cinco eixos de influência das variáveis ambientais na distribuição dos estágios das pós-larvas com uma variância total de 21,3%. Os dois primeiros eixos representaram para eixo 1 e eixo 2, 37,1% e 1,0%, respectivamente. As variáveis ambientais significativas para este período foram a temperatura superficial da água e a salinidade, que juntas, explicaram 7,6% da variação na abundância de pós-larvas. Assim como no período I, as variáveis ambientais no período II pouco explicam a variação na distribuição dos estágios das pós-larvas de *P. paulensis*. No entanto, associadas a estas variáveis estão os estágios 7 e 8 que possivelmente estão correlacionados ao aumento da temperatura e o estágio 10 ao aumento da salinidade (Tabela 6; Figura 13).

No período III, diferentemente dos demais períodos, a CCA revelou quatro eixos de influência das variáveis ambientais na distribuição dos estágios das pós-larvas com uma variância total de 45,6%. Os dois primeiros eixos representaram para o eixo 1, 68,5% e para o eixo 2, 6,0%. As variáveis ambientais significativas para o período III foram a vazão de água doce e

velocidade do vento, que juntas explicaram 31,1% da variação na abundância das pós-larvas. A abundância de pós-larvas na zona de arrebentação se deve ao aumento da vazão de água doce nesse período, que foi a maior vazão entre os períodos estudados, e também à velocidade do vento, que foi importante para a concentração de pós-larvas no estágio 7 presentes em maior abundância no mês de novembro onde registrou-se a maior velocidade de vento (leste) (Tabela 6; Figura 13).

Tabela 6. Resultado da análise de correspondência canônica (CCA) com p-valor e coeficiente de correlação dos eixos. Variáveis ambientais que foram significativas para explicar a abundância de pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* foram listadas.

<b>Período I</b>	<b>p-valor</b>	<b>CCA1</b>	<b>CCA2</b>	<b>CCA3</b>	<b>CCA4</b>	<b>CCA5</b>
Proporção explicada cumulativa		30,2	34,3	34,6	34,7	3,47E-01
Vazão	<b>0,02</b>	6,4	0	0	0	0
<b>Período II</b>						
Proporção explicada cumulativa		37,1	38	38,6	38,8	38,9
Temperatura + Salinidade	<b>0,005</b>	7,6	0,1	0	0	0
<b>Período III</b>						
Proporção explicada cumulativa		68,5	74,5	74,9	75	
Vazão + Velocidade do vento	<b>0,005</b>	31,1	1,4	0	0	

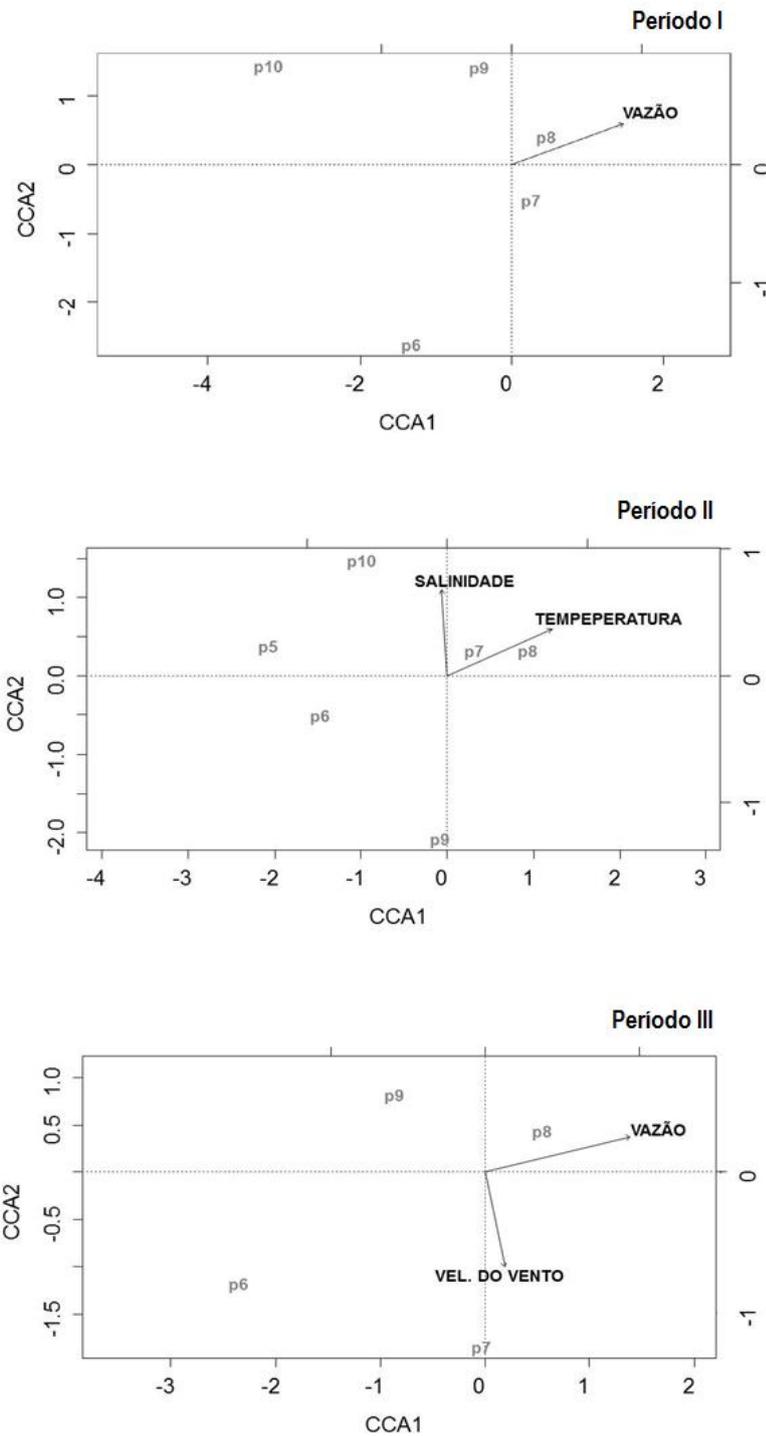


Figura 13. Relação entre abundância dos estágios (5-10) de pós-larvas de *Penaeus paulensis* e variáveis ambientais baseados na análise de correspondência canônica (CCA). Diagrama de ordenação para os três períodos, apresentando as variáveis ambientais significativas em preto e os estágios em cinza.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ A zona de arrebentação de praias arenosas representa um ambiente de transição, entre o oceano aberto e os estuários, utilizado pelas pós-larvas nos estágios 5-10 de *Penaeus paulensis* em parte de seu ciclo de vida.
- ✓ Nesses ambientes, os estágios mais abundantes são o 7 e 8, que antecedem a entrada para o estuário. As pós-larvas de *P. paulensis* nos estágios de 5-10 ocorrem na zona de arrebentação o ano todo, com picos de abundância na primavera e verão.
- ✓ São igualmente distribuídas entre as duas praias estudadas, no entanto, quando há a influência de algumas variáveis como o aporte de nutrientes, ação de ventos e correntes, poderá haver concentração em determinadas praias e locais.
- ✓ As variáveis ambientais que podem afetar a abundância de pós-larvas de *P. paulensis* nos estágios 5-10 são a temperatura da água, vazão de água da Lagoa dos Patos e a salinidade.

## 6. PERSPECTIVAS FUTURAS

- ✓ Para melhor entendimento da distribuição espacial e temporal das pós-larvas de *Penaeus paulensis* seria fundamental ampliar a coleta de dados por um período maior de tempo e coletar as pós-larvas recrutando para o interior dos estuários, como no Estuário da Lagoa dos Patos, permitindo observar quais os estágios que entram e assentam nesse ambiente obtendo uma visão geral do ciclo de vida da espécie.
- ✓ A predominância de pós-larvas no estágio 8, em diferentes épocas do ano e mesmo entre anos diferentes, levanta a hipótese de que as pós-larvas podem estar cessando a metamorfose enquanto esperam, na zona de arrebentação, por condições favoráveis para penetrar nos estuários. Nesse sentido, sugere-se o desenvolvimento de experimentos de ecologia teórica no sentido de comprovar o atraso na metamorfose como estratégia para se manter por mais tempo na zona de arrebentação e no ambiente planctônico.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Agência Nacional de Águas.

Anderson, M. J. (2001) A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26, 32–46.

Bersano Filho, J. G. (1994) Zooplâncton da zona de arrebentação, de praias arenosas situadas ao sul de Rio Grande - RS. Primavera 1990 - verão 1991. Dissertação de Mestrado. 163 pp.

Brandão, M. C., Garcia, C. A. E., and Freire, A. S. (2015) Large-scale spatial variability of decapod and stomatopod larvae along the South Brazil Shelf. *Continental Shelf Research*, 107, 11-23.

Brown, A. C. and McLachlan, A. (1990) *Ecology of sandy shores*.

Calazans, D. K. (1978) Penetração das post-larvas do camarão-rosa (*Penaeus paulensis*) no estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. In: V Simpósio Latinoamericano sobre Oceanografia Biológica, São Paulo. Anais. P.125-126.

Calazans, D. (2002) Seasonal larval composition and abundance of shrimps in the surrounding area of the Patos Lagoon Mouth. *Nauplius*, 10(2): 111-120.

Cházaro-Olvera, S., Winfield, I. and Coria-Olvera, V. (2009) Transport of *Farfantepenaeus aztecus* postlarvae in three lagoon-system inlets in the southwestern Gulf of Mexico. *Crustaceana*, 82(4): 425-437.

Clarke, K.R. and Gorley, R.N. (2006) PRIMER v6: User Manual/ Tutorial. PRIMER-E, Plymouth.

D'Incao, F. (1978) Curva de crescimento do "camarão-rosa" (*Penaeus paulensis*, Pérez-Farfante, 1967) na Lagoa dos Patos, RS, Brasil. *Atlântica*, 3: 75-78.

D'Incao, F. (1991) Pesca e biologia de *Penaeus paulensis* na Lagoa dos Patos, RS. *Atlântica*, v. 13, p. 159-169, 1991.

D'Incao, F. (1995) Taxonomia, padrões distribucionais e ecológicos dos Dendrobranchiata (Crustacea: Decapoda) do Brasil e Atlântico Ocidental. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.

D'Incao, F. (1999) Subordem Dendrobranchiata (camarões marinhos). In: Buckup, L.; Bond-Buckup, G. Os crustáceos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS. P.275-299.

D'Incao, F., Valentini, H., and Rodrigues, L. F. (2002) Avaliação da pesca de camarões nas regiões sudeste e sul do Brasil. *Atlântica*, 24(2), 103-116.

D'Incao, F and Dumont, L. F. C., 2010. A comunidade de crustáceos decápodes. In: Seeliger, U & Odebrecht, C (Org.). O estuário da Lagoa dos Patos: Um século de transformações. Rio Grande: FURG, 2010 – 115p.

Fernandes, L. D. A., Bonecker, S. L. C. and Valentin, J. L. (2002) Dynamic of Decapod Crustacean Larvae on the Entrance of Guanabara Bay. *Braz. Arc. Biol. Technol.*, 45 (4): 491-498.

Gonzalez-Gordillo and Gutierrez-Aguirre, M.A. (2007) Factores bióticos y abióticos que determinam el asentamiento del meroplancton. *Teoria y Praxis.*, v. 4, p. 87-97.

Grimm, A. M. and Feuser, V. R. (1998) Relações entre temperaturas da superfície do mar sobre o Atlântico e precipitação no sul e sudeste do Brasil. In *Congresso Brasileiro de Meteorologia (Vol. 10)*. Rio de Janeiro: SBMET.

Grimm, A. M., Barros, V. R. and Doyle, M. E. (2000) Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of climate*, 13(1), 35-58.

Gurney, R. (1924) Crustacea. Part IX. Decapod Larvae. *British Antarctic Terra Nova Expedition (Zoology)* 8:37-202.

Haimovici, M., Vasconcellos, M., Kalikoski, D. C., Abdalah, P., Castello, J. P. and Hellebrandt, D. (2006) Diagnóstico da pesca no litoral do estado do Rio Grande do Sul. *A Pesca Marina e Estuarina do Brasil no Início do Século XXI: recursos, tecnologias, aspectos sócio-econômicos e institucionais*, eds. V. J. Isaac, AS Martins, M. Haimovici and JM Andriguetto, 157-180.

INMET, I. (2008) Instituto Nacional de Meteorologia.

Iwai, M., (1978) Desenvolvimento larval e pós-larval de *Penaeus (Melicertus) paulensis* Pérez-Farfante, 1967 (Crustacea, Decapoda) e o ciclo de vida dos camarões do gênero *Penaeus* da região centro-sul do Brasil. *Desenvolvimento larval e pós-larval de Penaeus (Melicertus) paulensis*

Pérez-Farfante, 1967 (Crustacea, Decapoda) e o ciclo de vida dos camarões do gênero *Penaeus* da região centro-sul do Brasil.

Lasiak, T. A. (1986) Juveniles, food and the surf zone habitat: implications for teleost nursery areas. *South African Journal of Zoology*, 21(1), 51-56.

Lima, M.S.P. and Vieira, J.P. (2009) Variação espaço-temporal da ictiofauna da zona de arrebentação da Praia do Cassino, Rio Grande do Sul (Brasil). *Zoologia*, 26(3): 499-510.

Macedo-Soares, L.C.P., Garcia, C.A.E., Freire, A.S. and Muelbert, J.H. (2014) Large-Scale Ichthyoplankton and Water Mass Distribution along the South Brazil Shelf. *Plos One* 9, e91241.

Marques, W. C., Monteiro, I. O., Möller Junior, O. O., and Fernandes, E. H. L. (2006) A dinâmica da pluma costeira da Lagoa dos Patos, Brasil.

McConaughy, J. R. (1992) Decapod larvae: dispersal, mortality, and ecology. A working hypothesis. *American Zoologist*, 32(3), 512-523.

McLachlan, A. and Brown, A. C. (2006) *Ecology of sandy shores*. Academic Press.

Möller, O. O., Piola, A. R., Freitas, A. C. and Campos, E. J. (2008) The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Continental Shelf Research*, 28(13), 1607-1624.

Möller Jr, O. O., Castello, J. P. and Vaz, A. C. (2009) The effect of river discharge and winds on the interannual variability of the pink shrimp *Penaeus paulensis* production in Patos Lagoon. *Estuaries and Coasts*, 32(4), 787-796.

Monteiro-Neto, C. and Musick, J. A. (1994) Effects of beach seine size on the assessment of surf-zone fish communities. *Atlantica (Brazil)*.

Monteiro-Neto, C., Cunha, L. P. R., & Musick, J. A. (2003). Community structure of surf-zone fishes at Cassino Beach, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 492-501.

Odebrecht, C., Du Preez, D. R., Abreu, P. C. and Campbell, E. E. (2014) Surf zone diatoms: a review of the drivers, patterns and role in sandy beaches food chains. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 150, 24-35.

Pan, G.J., Cunningham, C.O. and Hay, S.J. (2011) Seasonal and interannual Variation of decapod larval abundance from two coast allocations in Scotland,

UK. *J.Mar.Biol.Ass.UK*91,1443–1451.

Pereira, N., and D’Incao, F. (2012) Relationship between rainfall, pink shrimp harvest (*Penaeus paulensis*) and adult stock, associated with El Niño and La Niña phenomena in Patos Lagoon, Southern Brazil. *J. Mar. Biol. Ass. UK*7, 1451–1456.

Piola, A. R., Möller, Jr O.O. and Elbio, D. P. (2005) O impacto do rio da Prata no Oceano Atlântico. *Ciência Hoje*, v. 36, p. 30-37.

Pohle, G., Fransozo, A., Negreiros-Fransozo, M.L. and Mantellato, F.L.M. (1999) Larval Decapoda (Brachyura). In: Boltovskoy, D. South Atlantic Zooplankton. Leiden, Brachhuys Publishers. 1281-1352.

Rodrigues, F. L. and Vieira, J. P. (2012) Surf zone fish abundance and diversity at two sandy beaches separated by long rocky jetties. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 93, p. 867-875.

Rothlisberg, P.C., Church, J.A. and Fandry, C.B. (1995). A mechanism for near-shore concentration and estuarine recruitment of post-larval *Penaeus plebejus* Hess (Decapoda, Penaeidae). *Estuar. Coast Shelf Sci.*, 40: 115–138.

Ter Braak, C. J. (1986) Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67(5), 1167-1179.

Wright, L. D. and Short, A. D. (1984) Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine geology*, 56(1-4), 93-118.

## 8. APÊNDICE

Manuscrito: formatado para o periódico Journal of Plankton Research.

Abundance and distribution of early planktonic post-larvae (5-10) of the pink shrimp *Penaeus paulensis* Pérez-Farfante, 1967 (Decapoda, Penaeidae) in the surf zone of sandy beaches in southern Brazil

A. L. NEUNFELD-MÜLLER<sup>1\*</sup>, R. R. R. VIEIRA<sup>1</sup>, F. L. RODRIGUES<sup>2</sup> AND L. F. C. DUMONT<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LABORATÓRIO DE CRUSTÁCEOS DECÁPODES, INSTITUTO DE OCEANOGRÁFIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE, CAIXA POSTAL 474, RIO GRANDE, CEP 96201-900, RS, BRASIL AND <sup>2</sup> LABORATÓRIO DE ICTIOLOGIA, INSTITUTO DE OCEANOGRÁFIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE, CAIXA POSTAL 474, RIO GRANDE, CEP 96201-900, RS, BRASIL

\*CORRESPONDING AUTHOR: ananeunfeld@gmail.com

### ABSTRACT

Larval stages of Decapoda are temporary components of the coastal zooplankton and may represent up to 50% of the total planktonic biomass, including species of commercial interest, such as the pink shrimp *Penaeus*

*paulensis*. In this study, the use of sandy beach surf zones by the post-larvae of *P. paulensis* was investigated, since it is necessary to understand the mechanisms involved in larval transport and retention, especially in environments where the tidal influence is negligible. In this sense, two sandy beaches in southern of Brazil were studied in three different periods, in order to identify the occurrence of larval stages; spatial and temporal variations and to establish possible relationships among the distribution and abundance of post-larvae and environmental variables recorded. Pink shirimp post-larvae were sampled by using a plankton net with 300  $\mu\text{m}$  mesh size, equipped with a fluxometer, in the surf zone throughout the year with peaks in Spring and Summer, belonging to stages 5-10, with higher abundance in stages 7 and 8. The PERMANOVA showed significant differences in the abundance of post-larvae between seasons in the three periods and between the beaches studied in periods II ( $p = 0.05$ ) and III ( $p=0.03$ ). Periods with high freshwater outflow ( $> 4,000 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ) of the Patos Lagoon were related to high abundance of post-larvae in the surf zone, since they depend on the marine water pumping into the estuary as a dispersal mechanism for settlement. As a strategy to stay in surf zone post-larvae seems to undergo a delay process in the metamorphosis, responsible for the dominance of individuals belonging to stage 8.

Keywords: Dendrobranchiata, recruitment, pink shrimp, surfzone, larval ecology

## INTRODUCTION

Decapod larvae are temporary components of the coastal and oceanic zooplankton communities, and may contribute with up to 50% of the total planktonic biomass of these environments (Dall *et al.*, 1990). Additionally, decapod larvae include several species of commercial interest, such as penaeid shrimps, that represent about 15% of the global fish market, despite of representing only 3492.781 tons landed in 2014. It makes shrimp exploitation a very profitable business, yielding circa US\$ 600 billions/ year worldwide (SOFIA, 2016).

Penaeid shrimps are characterized by having a very complex life cycle, that usually includes an oceanic and a coastal/estuarine phase (D’Incao, 1991). Since their life strategy is based on high growth, early maturation and large amount of eggs produced (r-selected), environmental conditions play a central role on recruitment success (Iwai, 1978; Gebauer *et al.*, 2003). Therefore, predicting the recruitment success of these group of shrimps and understanding how environmental parameters act to result in a successful recruitment event is one of the main questions for several sectors involved in this activity.

*Penaeus paulensis* spawns off the continental shelf of Santa Catarina (29° S – Southern Brazil), in depths between 40 and 60 m. Two marked spawning peaks are reported, in Spring and Summer, in spite of keeping a continuous reproduction trough the year. Females release demersal eggs that hatch into 4 planktonic phases divided in several named nauplius (6 stages), protozoae

(3), mysis (3) and post-larvae (22-24). The post-larvae from stages 1 to 10 have planktonic habits and from the stage 11 to 24 they become members of the benthic realm (Iwai, 1978; D’Incao, 1991). After hatching, the larvae are transported southward by coastal currents to the estuaries and shallow bays where the juvenile grow out phase takes place. The distance from the spawning stock to the Patos Lagoon Estuary, the main nursery ground for this species, is long (~ 600 km) and, according to the estimates based on the speed of coastal currents ( $0.31$  to  $0.67 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) is fast enough to allow the dispersal phase to be accomplished in a time interval that ranges from 11 to 24 days (D’Incao, 1999). The grow out phase takes approximately 5 months and when the juveniles reach the size of 7-8 cm they start the migration back to marine areas and to spawning stock northward (D’Incao & Dumont, 2010).

The presence of Decapod larvae in the coastal areas of Rio Grande do Sul and Santa Catarina has been previously recorded, either in shallow marine areas of surf zone or in farther depths of continental shelf (Bersano, 1994; Calazans, 2002; Brandão et al., 2015). Very reduced numbers of pink shrimp larvae has been previously recorded in the continental shelf (10-50 m) close to the estuarine mouth of Patos Lagoon Estuary, mainly composed by protozoa, mysis and an even lower number of post-larvae (Calazans, 2002). A sporadic occurrence of post-larvae *P. paulensis* in the surf zone, surrounding the Patos Lagoon estuary, was reported, but its role on the life cycle of this species was not investigated. Oceanographic cruises performed in deeper waters off the continental shelf (10 -50 meters) detected protozoa, mysis and post-larvae ( $9.13 \text{ ind.}100\text{m}^3$ ) of *P. paulensis* in low abundance, in

spite of its constancy through the Spring and Summer (Calazans, 2002). Additionally, a concentration of Dendrobranchiata larvae was recorded in association with freshwater discharges originated from estuaries (Brandão et al., 2015).

Previous investigations on the life cycle suggest that larvae are passively transported from the spawning area to estuaries for the grow out phase (Iwai, 1978; D’Incao, 1991). However, there is a lack of information regarding the path of these larvae and how they use different environments during larval dispersion (Iwai, 1978; D’Incao, 1991). Therefore, the previous investigations on larval ecology of *P. paulensis* indicate that protozoa are mainly transported over the inner continental shelf, associated to large freshwater discharges, but the ecology of post-larvae, the phase where metamorphosis allows them to penetrate estuaries, is still unknown.

The post-larval phase of penaeid shrimps marks the transition from the planktonic to benthic realm. It is during this phase that larvae perform vertical migration and penetrate the estuaries, taking advantage of the salty wedge, and settling in shallow areas with adequate food and protection. Therefore, they must synchronize their metamorphosis to the natural cycles of water exchange of this environment. Mechanisms of larval retention are a central part in the recruitment success of penaeids and its proper understanding may help predicting the amount of shrimp production, as well as supporting management decisions. The main mechanisms of post-larval retention are well understood for tidal estuaries, where once or twice a day, the salty

wedge penetration provides an effective vector for larval penetration (Rohtlisberg *et al.*, 1995; Cházaro-Olvera *et al.*, 2009). For the post-larvae of *Melicertus peblejus* (Hess, 1865), the incoming tides trigger the shift of daily vertical migration to a tidal synchronized migration. To take advantage of the salty wedge penetration, the post-larvae of *Penaeus aztecus* (Ives, 1891) aggregate in waters with salinities higher than 23 as an indication of incoming tides (Cházaro-Olvera *et al.*, 2009).

However, the mechanisms of larval retention and estuarine penetration for penaeid shrimps, in estuaries where tidal variation is despicable, is still unknown. Such estuaries are mainly regulated by wind stress and rainfall amounts, resulting in a less predictable patterns of salt water intrusion (Odebrecth, 2010). In this sense, investigate the adaptations and strategies of post-larvae living in these environments are essential to understand the mechanisms and processes resulting in recruitment success or fail. The absence of post-larvae in the inner continental shelf leads to hypothesize that the penaeid shrimp *P. paulensis* uses the shallow region of the sandy beaches (surf zone) surrounding estuaries to aggregate and wait for a chance to invade these ecosystems. The surf zone may therefore represent an essential transition environment for the post-larvae awaiting for favorable conditions of reduced rainfall and intense southerly winds to penetrate the estuarine region for the grow out phase. The surf zone provides favorable conditions for feeding and growth of the initial stages of post-larvae, but once they migrate to the benthic environment, this ecosystem is not suitable anymore which leads to the hypothesis that there must be a limited time

interval where post-larvae may successfully invade estuarine areas. Similarly, small juveniles of the mullet *Mugil liza* (Valenciennes, 1836) are retained in the surf-zone while waiting for the estuarine phase. As a strategy to extend the time frame to penetrate in the estuarine area, this juveniles ceases growth for a variable period of time, maximizing the chances of recruitment success (Monteiro-Neto *et al.*, 2003).

Therefore, understanding how the pink shrimp post-larvae are using the surf zone in surrounding area of the Patos Lagoon Estuary, based on temporal and spatial variation of their abundance, is vital to elucidate the mechanisms of larval transport and retention for penaeid shrimps where tides are neglectable. In this sense, this investigation aims to assess the habitat use of post-larvae during the possible transition phase from marine to estuarine waters, by identifying the larval stages that occur in this area and their abundances, as well as to assess their relation with environmental parameters.

## **METHODS**

### **Study Area**

The study area included two different sandy beaches in surrounding area of Patos Lagoon Estuary (Mar Grosso and Cassino) in Southern Brazil. It accomplishes a total of 46 km with 6 sampling sites distributed in 7.5 Km intervals (Fig 1). Both sandy beaches are characterized by a dissipative behaviour, that includes wide sandy beaches, smooth slope and a well

developed surfzone, subjected to high-energy swells. As a result, the grain size varies from fine to very fine sand (3- 2.2 phi) (Pereira *et al.*, 2010; Garcia *et al.*, 1998; Calliari *et al.*, 2003; Albuquerque *et al.*, 2008). These ecosystems are under the influence of freshwater discharges originated from the Patos Lagoon Estuary and La Plata Estuary, reducing salinity and fertilizing the coastal area. This water masses experience seasonal expansions and retractions, affecting the circulation, vertical stratification and nutrient distribution (Piola *et al.* 2005).

The predominant wind axis is Northeast/Southwest, increasing the freshwater outflow and pumping marine water to the estuarine area, respectively (Marques *et al.*, 2006). Additionally, the SW winds transport less saline waters, originated from freshwater discharges northwards, while NE winds result in retraction of the estuarine plume to the south (Möller *et al.*, 2008).

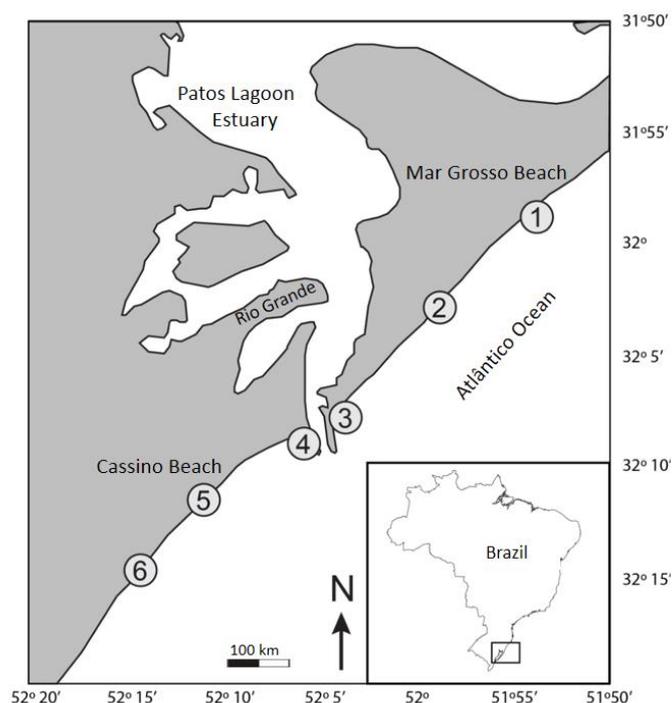


Fig. 1. Location of collection points in the adjacent sandy beaches the rocky jetties of the Rio Grande: Mar Grosso (1-3) and Casino (4-6).

### Field sampling

Monthly samples were obtained from July/2009 to June/2011 and again from August/2014 to July/2015. Therefore, these three periods were generically named as follows: Period I (July/2009-June/2010), Period II (July/2010 to June/2011) and Period III (August/2014 to July/2015). Cilindroconical plankton net with 300  $\mu\text{m}$  mesh was used coupled with a mechanical fluxometer (General Oceanics Inc. Model: 2030) and manually towed parallel to the coast line. The net was towed upcurrent in depths that varied from 1.0 to 1.5 m during two minutes. Salinity and temperature were recorded by using a multiprobe (YSI 556MPS) and transparency was estimated with a

Secchi disk. Wind direction and speed were obtained from the National Institute of Meteorology (INMET). The mean wind values of the five days prior to the sampling date were used to assess the effect of this parameter on the post-larval abundance. Discharge of the main rivers contributing to Patos Lagoon Estuary (Taquari, Jacuí and Camaquã) was obtained from the National Agency of Water (ANA) that provided monthly mean values.

### **Laboratory**

All the post-larvae collected were identified and the stage was determined under a stereoscopic microscope according to Iwai (1978). The volume filtered by the net was estimated by the following equation:  $\pi \cdot r^2 \cdot Cte \cdot diff$ , where  $r$  is the radius of the net,  $Cte$  is the fluxometer constant and  $diff$  is the difference between the initial and the final value recorded in the equipment. The postlarvae abundance was standardized to 100m<sup>3</sup> and  $\log(x+1)$  transformed to reduce variance between periods.

### **Data analysis**

The possible differences in the abundance of post-larvae were tested between periods, beaches and sampling sites by a multivariate analysis of variance (PERMANOVA) using a Bray-Curtis similarity matrix (Anderson, 2001). For this specific analysis the abundance values were  $\log(x+1)$  transformed and the p-values were estimated by performing 9999 permutations. Once no significant differences were detected between sampling sites they were used as replicates of each beach. Possible

differences between beaches, months, seasons and larval stage were than tested by a PERMANOVA, that also verified possible differences among environmental parameters. The 12 months were grouped as follows: January-March (Summer), April-June (Autumn), July-September (Winter) and October-December (Spring) and differences among seasons were tested by a posteriori pairwise test. All the analysis were performed by using PRIMAR V6 + PERMANOVA (Clark e Gorley, 2006).

A Canonical Correspondence Analysis (CCA) was performed to test possible influence of environmental paramaters on post-larval abundance (Ter Braak, 1986) by using the vegan package available for R. Each period was analyzed separately in order to understand the specific scenario of each year. All the environmental parameters were included in the preliminary analysis, however, only significant variables were included in the ordination analysis.

## **RESULTS**

### **Environmental parameters**

Different surface water temperatures were recorded between the 3 periods analyzed ( $p= 0.0073$ ), with a marked seasonal fluctuation ( $p=0.0001$ ). The Spring and Summer months presented higher temperatures (16.4 a 27.6° C) while the lower values were recorded in Autumn and Winter (8.8 a 23.4 °C). The period III was significantly different from the other, driven by the lowest temperature records of the three years. Significant differences in temperature were also detected between Summer and Autumn during period II and III

(Fig. 2). The salinity was different between periods ( $p=0.0007$ ) with the lowest values recorded during the period III. However, no seasonal pattern was detected, ranging from 15 to 37.5 (Fig. 3).

The freshwater outflow presented significant differences among both, periods ( $p=0.037$ ) and seasons ( $p=0.0001$ ). Regarding the seasons, Spring was significantly different from the other seasons during the period III, influenced by the highest freshwater outflow values among the three sampling periods, reaching a maximum of  $11.110 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  in December (Fig. 4). The water transparency was different among years ( $p=0.0021$ ) with period three presenting the lowest values, the values vary 5 to 71.5 cm (Fig. 5). The wind direction did not show a clear seasonal nor annual pattern, with significant differences between every month analyzed ( $p= 0.0001$ ) (Tabela I).

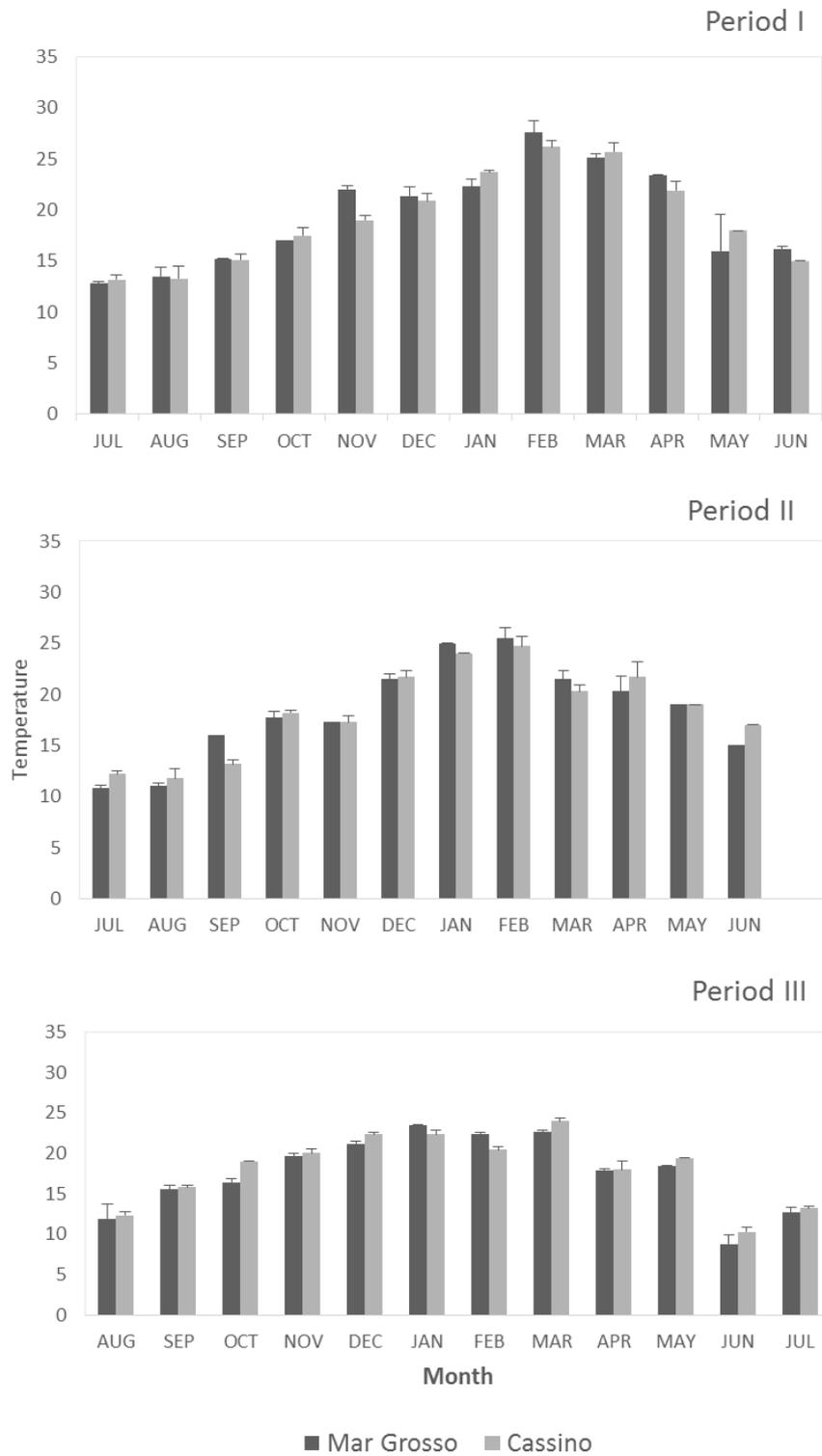


Fig. 2. Temporal fluctuations in temperature in the beach and three sampling periods.

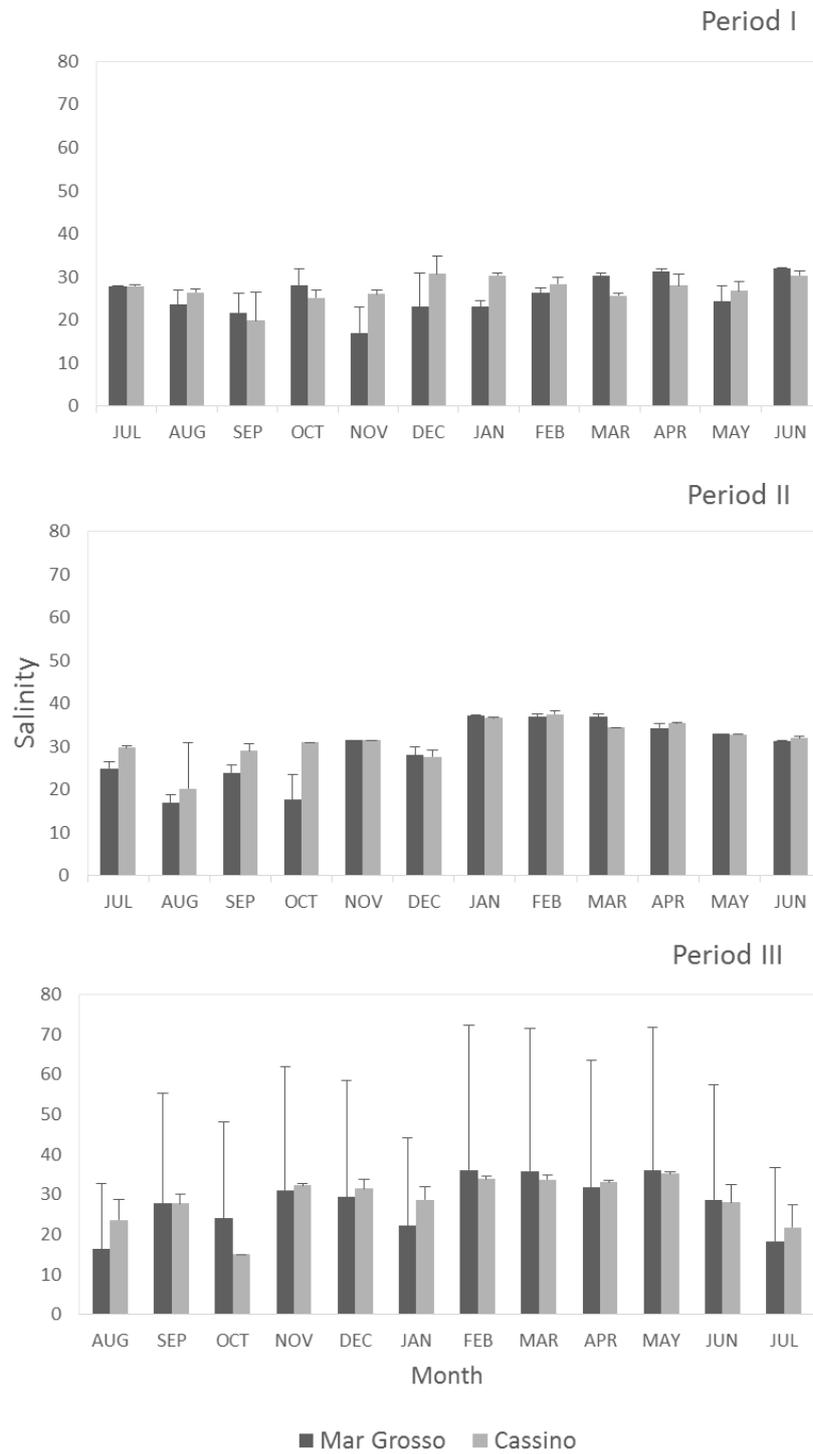


Fig. 3. Temporal fluctuations in salinity in the beach and three sampling periods.

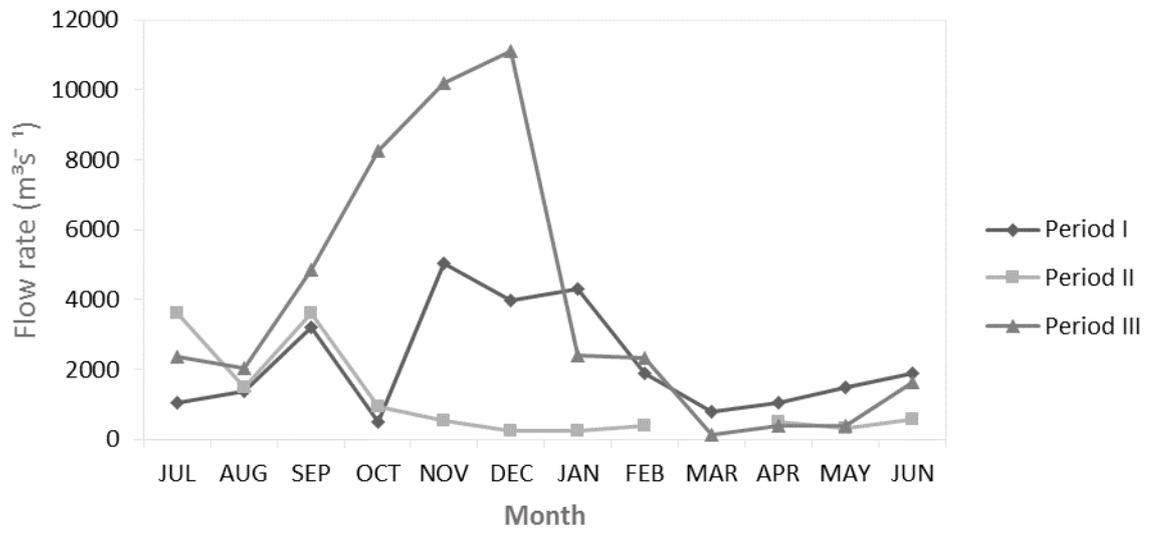


Fig. 4. Temporal fluctuations in freshwater outflow in the three sampling periods.

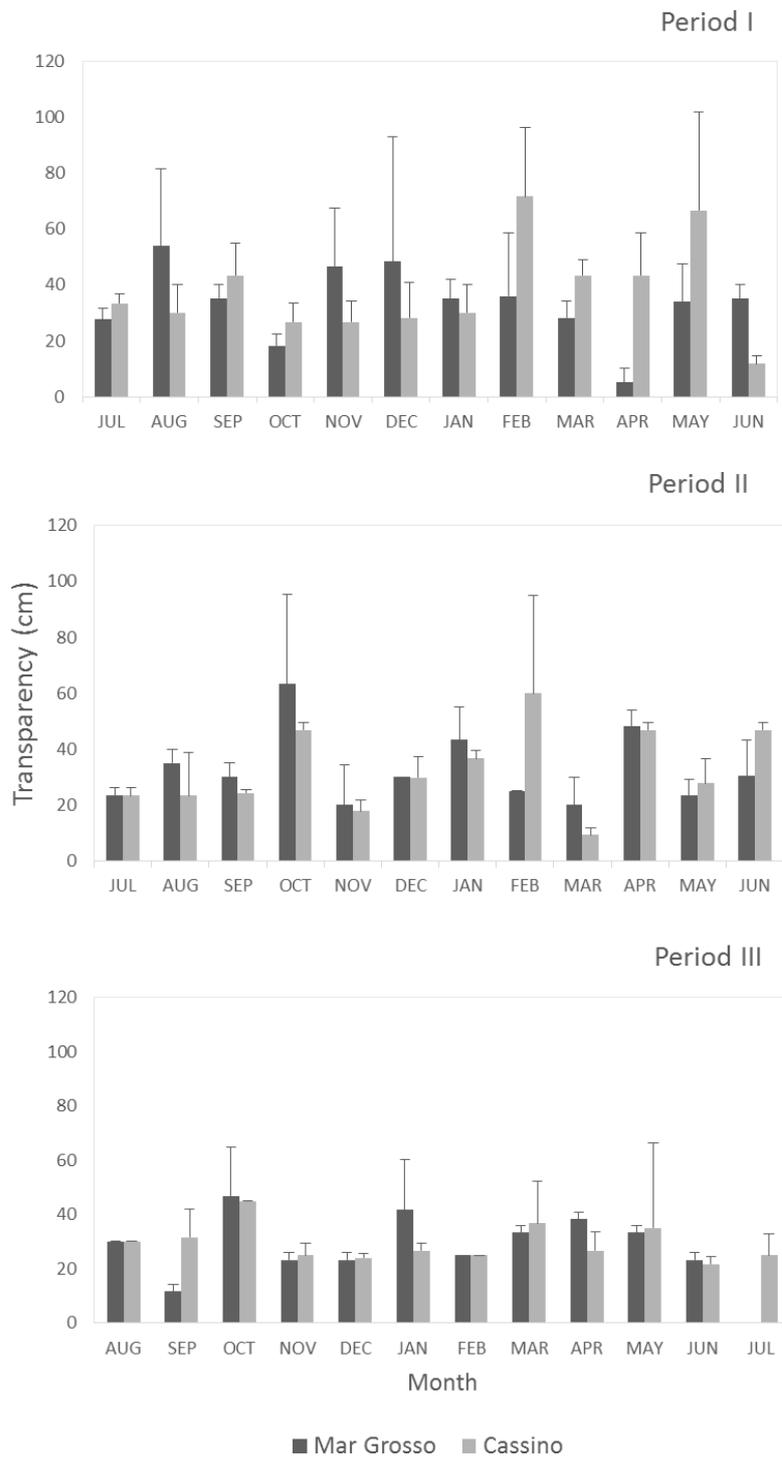


Fig. 5. Temporal fluctuations in water transparency in the beach and three sampling periods.

Table I. Wind direction and monthly speed for sampled periods. The speed in  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ .

	Period I		Period II		Period III	
	Direction	Speed	Direction	Speed	Direction	Speed
JUL	NW	2.2	S	4.1	NE	1.3
AUG	SE	3.6	SW	1.5	E	2.4
SEP	E	5.7	NE	3.3	SE	4.1
OCT	ESE	4.9	E	1.9	S	2.3
NOV	E	3.5	SW	5.1	E	4.4
DEC	ESE	6.4	E	5.5	NE	3.7
JAN	ENE	4.3	E	5.1	WSW	3.3
FEB	W	2.3	SW	4.1	ENE	4.2
MAR	SE	3.5	SW	4	E	2.9
APR	SE	3.1	S	2.3	WSW	1.9
MAY	WNW	2.2	SW	3.6	NE	2.4
JUN	SW	3.2	WSW	2.7	SW	2.9

### Post-larvae abundance

A total of 5.498 post-larvae of *P. paulensis* were collected during three years sampling. The highest abundance was recorded in period I (392.63 ind.100m<sup>3</sup>), followed by period III (361.65 ind.100m<sup>3</sup>) while the lowest abundance was recorded in period II (27.68 ind.100m<sup>3</sup>) (Fig. 6). In spite of the large difference in the mean of period II, no significant difference was estimated. The post-larval stages recorded ranged from 5 to 10. During the period I post-larval stages varied from 6 to 10, from 5 to 10 in period II and the lowest range was recorded in period III with post-larvae from 6 to 9. The most abundant stages were 7 and 8 (Fig. 7). The mean abundance of stages 5 and 10 were significantly different from the others.

The post-larvae of *P. paulensis* were collected all year round during the three years sampled, presenting higher abundances during Spring and Summer (Fig. 8). When the beaches are compared, no significant difference in post-larval abundance was detected. However, it is possible to note a higher density associated to site 5 (EMA) in Cassino Beach. Regarding the comparison among beaches, a significant difference in post-larval abundance was detected only between periods II ( $p=0.052$ ) and III ( $p=0.007$ ) (Fig. 9). During period II a higher concentration of post-larvae was recorded in Cassino Beach, while Mar Grosso Beach presented higher abundance during period III. It is important to stress that during December of period III, the month of highest freshwater outflow, a significant higher abundance of post-larvae was recorded in Cassino Beach.

When the PERMANOVA results are analyzed separately, a significant effect of seasons on post-larvae (5-10) *P. paulensis* ( $p=0.02$ ) could be noticed for period I. The highest abundance of post-larvae was recorded during Spring and Summer (Table II). During period II a significant difference among beaches was recorded ( $p= 0.052$ ). The post-larval abundance was homogeneous through seasons, with significant differences found only among Spring months ( $p=0.0001$ ). The Spring season, as well as other periods, showed a peak of the highest abundance of post-larvae, but in that particular season, in November there wasn't post-larvae *P. paulensis* causing significant difference between other two months, October and November ( $p= 0.0122$ ), and November and December ( $p= 0.0036$ ).

In period III significant differences among beaches were recorded but also between the months ( $p= 0.0001$ ). Unlike period II, period III presented significant differences among all months. Only the Autumn months did not show significant differences due to very low or null abundance of post-larvae. The interaction between month and beach, significant differences were recorded in January, March and October, since post-larvae were only collected in Mar Grosso Beach, while post-larvae were sampled on April in Cassino Beach. During these months very few post-larvae were collected.

For the period I, the CCA revealed five axis of influence of environmental variables on larval distribution of *P. paulensis*, with a total variance of 26.8%. According to the score of first and second axis, they represented 30.2% and 4.1% of the variation, respectively. Of the six environmental variables measured, only the freshwater outflow significantly explained (6%) of the post-larval distribution of *P. paulensis*, being explained by axis 1 (CCA1) (Tabela III; Fig. 10).

The period II also presented five axis of influence of environmental parameters on stage distribution of post-larvae, resulting in a total variance of 21.3%. The two first axis represented, for axis 1 and 2, 37.1% and 1%, respectively. The environmental parameters that significantly influenced the post-larval abundance during this period were surface temperature and salinity, that together explained 7.6% of the variation. The abundance of stages 7 and 8 is likely related to temperature increase, while stage 10 is associated to salinity increase (Tabela III; Fig. 10).

Unlike the other periods, the CCA revealed four axis of influence for period III, presenting a total variance of 45.6%. The axis 1 and 2 explained 68.5% and 6% of the variance. The environmental parameters that significantly influenced the post-larval distribution during this period were freshwater outflow and wind speed, that together explained 31.1% of variance. The abundance of post-larvae in surf zone is therefore associated to the increase in freshwater outflow but also to high wind speed, resulting in maximum concentrations of post-larvae of stage 7 during November, coinciding with the strongest winds (East –  $4.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) (Tabela III; Fig. 10).

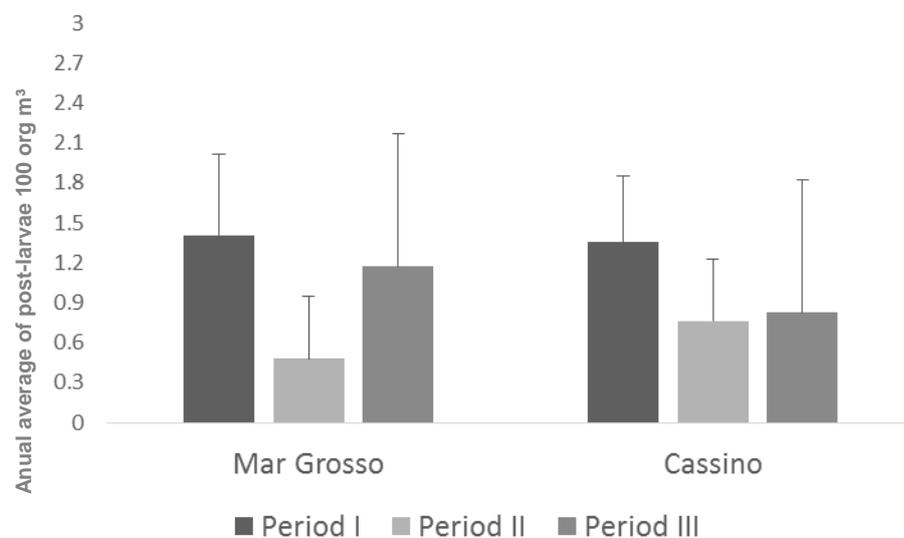


Fig. 6. Annual average of post-larvae (5-10) *Penaeus paulensis* captured in the surf zone in beaches in the sampled periods transformed into Log (X+1).

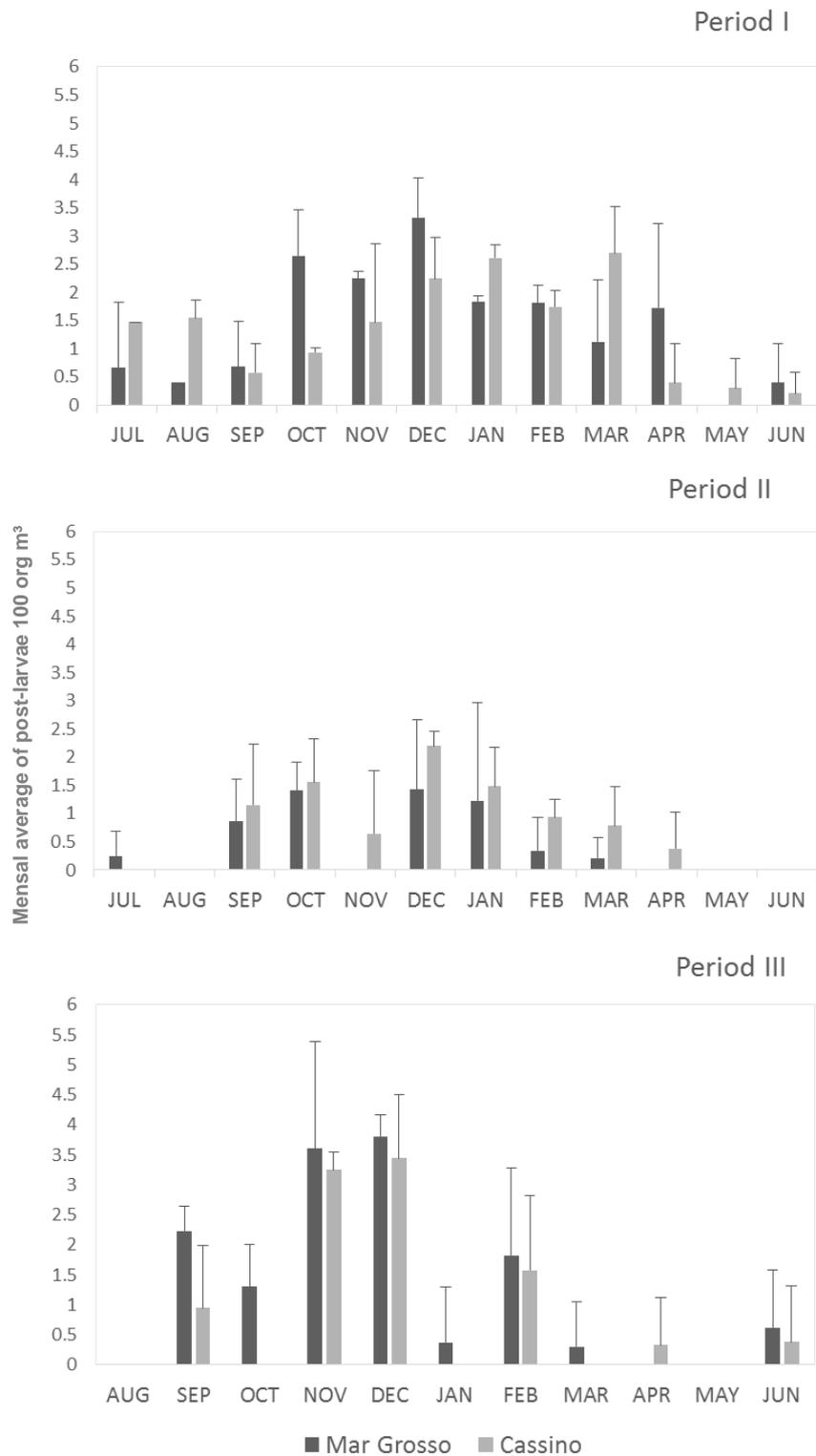


Fig. 7. Monthly average of post-larvae (5-10) *Penaeus paulensis* captured in the surf zone in beaches in the sampled periods transformed into Log (X+1).

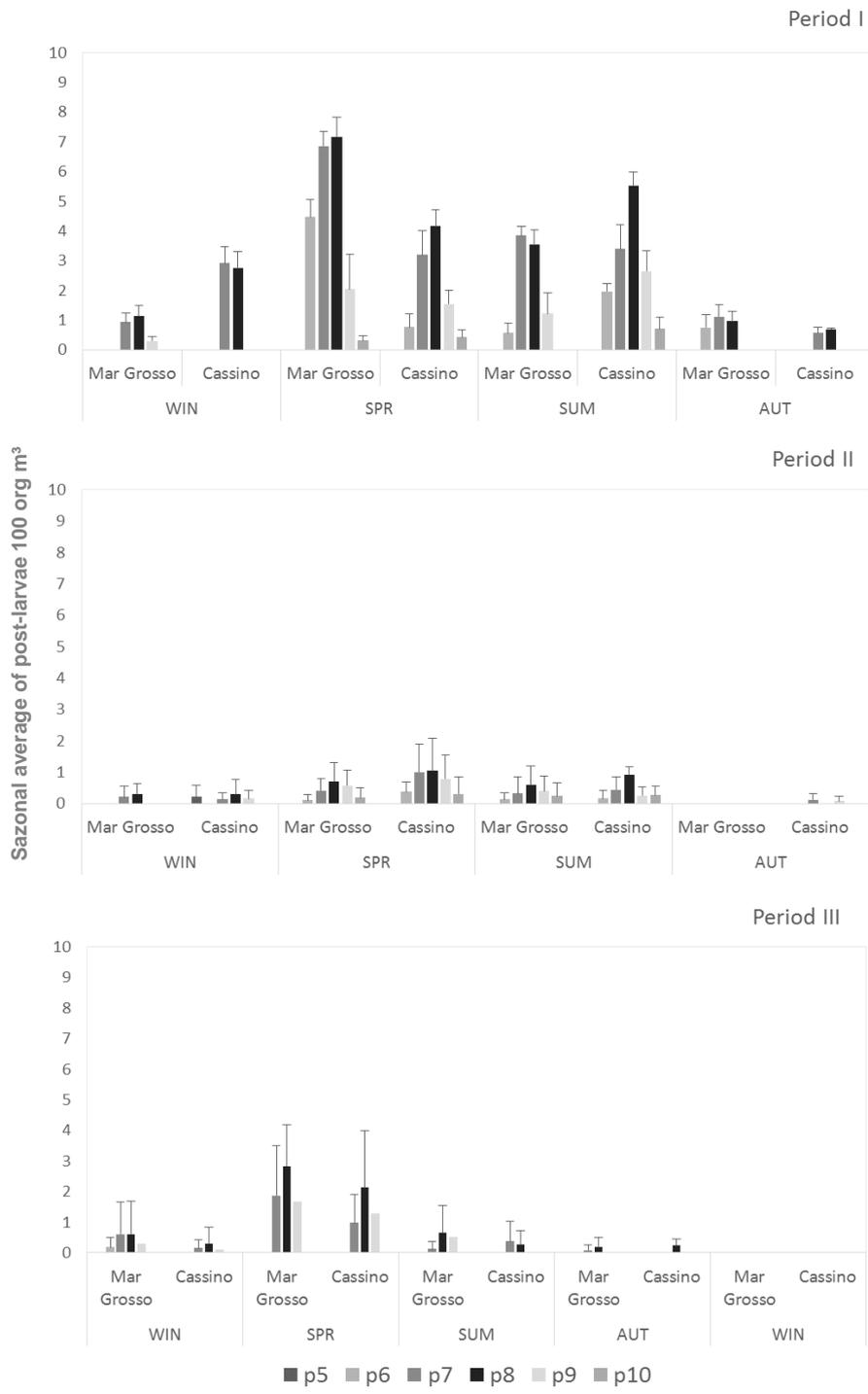


Fig. 8. Sazonal average of post-larvae (5-10) *Penaeus paulensis* captured in the surf zone in beaches between the seasons and sampling periods transformed into Log (X+1).

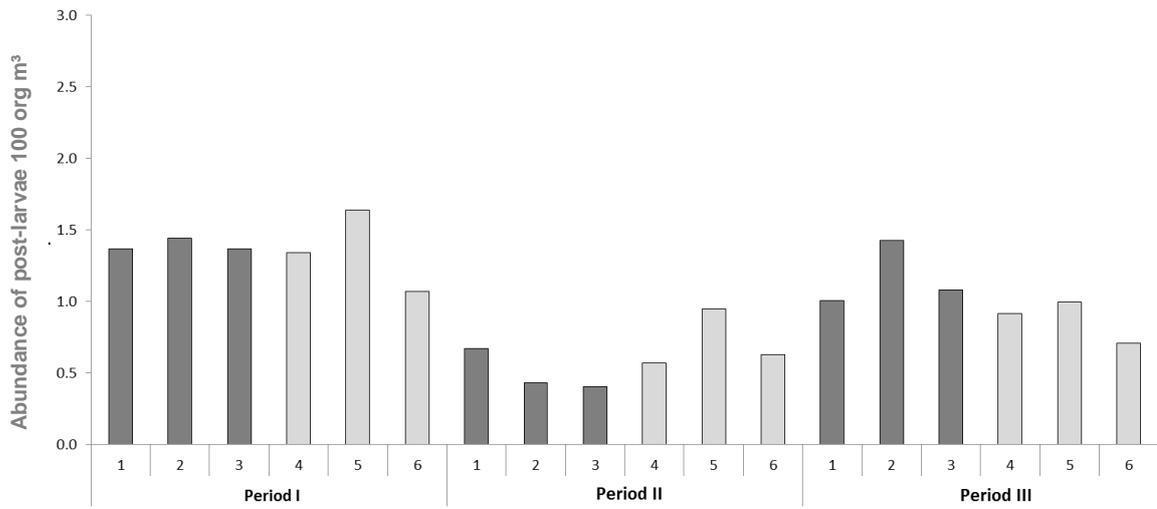


Fig. 9. Abundance of post-larvae (5-10) *Penaeus paulensis* between at the sites of each beach and sampling periods transformed into Log (X+1). Black = Mar Grosso beach; Grey = Casino beach.

Table II. Results of PERMANOVA analysis for abundance of post-larvae (5-10) *Penaeus paulensis* for each sampling period. df =degrees of freedom, SS=sum of squares, MS=mean squares, F=Pseudo-F reason, P(permutation value P. Significant differences in bold.

<b>Period I</b>						
Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(permutation)	Unique perms
Beach	1	119.94	119.94	0.27863	0.7698	9959
Season	3	24138	8045.9	53,879	<b>0.0212</b>	9738
Month(Season)	8	11955	1494.4	16,674	0.0899	9931
BeachxSeason	3	1393.6	464.54	10,812	0.4066	9934
Month(Season)xBeach	8	3430.6	428.82	0.47848	0.9397	9934
Res	47	42123	896.23			
Total	70	83500				

<b>Period II</b>						
Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(permutation)	Unique perms
Beach	1	1080.8	1080.8	34,474	<b>0.052</b>	9947
Season	3	16405	5468.4	19,565	0.171	8778
Month(Season)	8	22392	2799	48,701	<b>0.0001</b>	9936
BeachxSeason	3	1955	651.68	2.08	0.0721	9953
Month(Season)xBeach	8	2502.7	312.84	0.54432	0.909	9908
Res	47	27012	574.73			
Total	70	73506				

<b>Period III</b>						
Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(permutation)	Unique perms
Beach	1	3093	3093	45,884	<b>0.027</b>	9965
Season	3	26167	8722.2	32,183	0.0738	6981
Month(Season)	8	22030	2753.8	10,374	<b>0.0001</b>	9922
BeachxSeason	3	1764.3	588.1	0.86662	0.5483	9953
Month(Season)xBeach	8	5488	686	25,843	<b>0.0019</b>	9929
Res	46	12211	265.45			
Total	69	81365				

Table III. Result of canonical correspondence analysis (CCA) with p-value and correlation coefficient of the axes. Environmental variables that were significant to explain the abundance of post-larvae (5-10) *Penaeus paulensis* were listed.

<b>Period I</b>	<b>p-value</b>	<b>CCA1</b>	<b>CCA2</b>	<b>CCA3</b>	<b>CCA4</b>	<b>CCA5</b>
Cumulative proportion explained		30.2	34.3	34.6	34.7	3.47E-01
Flow rate	<b>0.02</b>	6.4	0	0	0	0
<b>Period II</b>						
Cumulative proportion explained		37.1	38	38.6	38.8	38.9
Temperature + Salinity	<b>0.005</b>	7.6	0.1	0	0	0
<b>Period III</b>						
Cumulative proportion explained		68.5	74.5	74.9	75	
Flow rate + Wind speed	<b>0.005</b>	31.1	1.4	0	0	

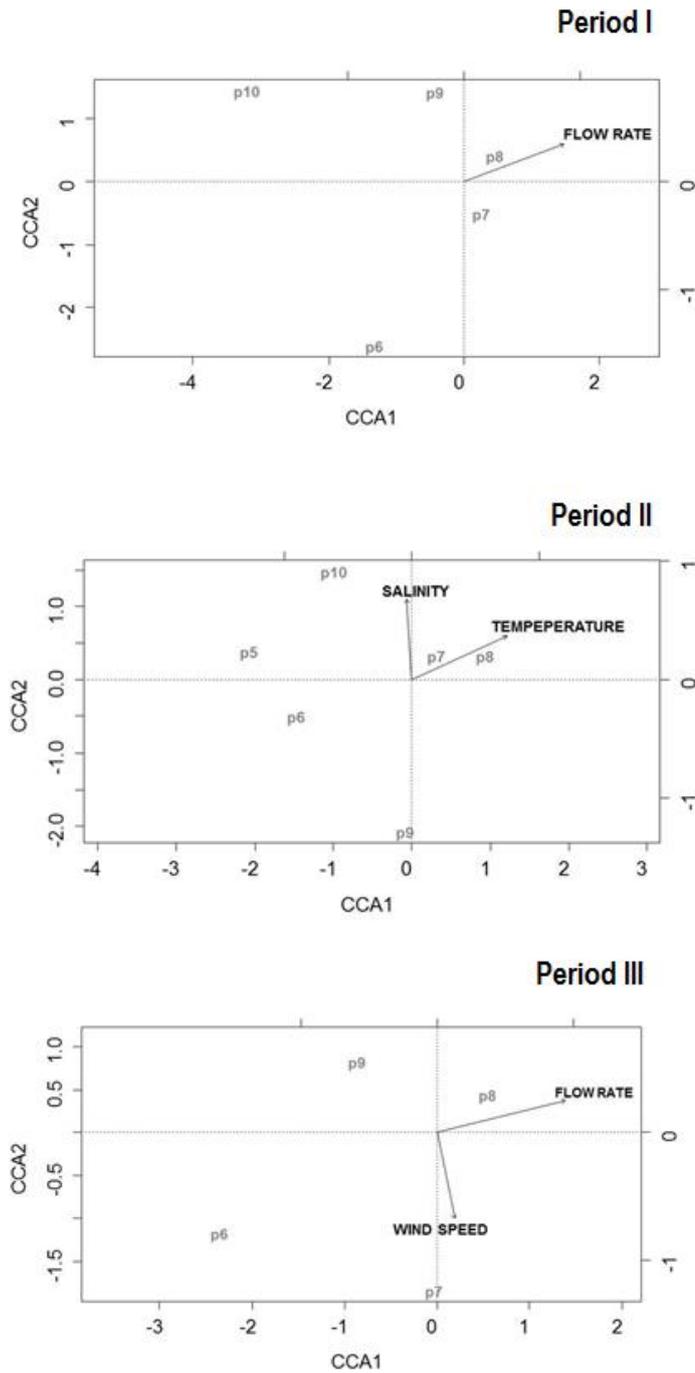


Fig. 10. Relationship between abundance of stages of post-larvae (5-10) *Penaeus paulensis* and environmental variables based on canonical correspondence analysis (CCA). Ordination diagram for the tree periods, with significant environmental variables in black and larval stages in gray.

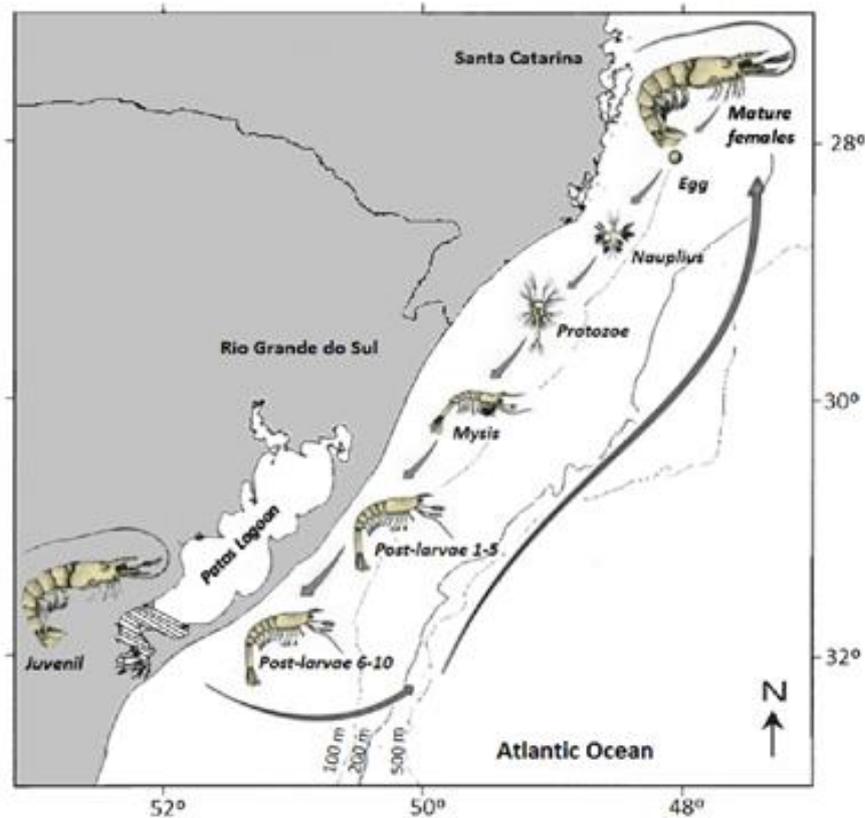


Fig. 11. Life cycle model suggested for *Penaeus paulensis* in Southern Brazil. Mature females of *P. paulensis* spawning in the coast of Santa Catarina resulting in planktonic eggs (Egg) (SC and this phase last for 15 h) which hatch planktonic larvae Nauplius phase (48 h). After Nauplius occurs Protozoe (5 to 8 days) and Mysis phase (11 to 13 days) which are carried passively by coastal currents towards the south. After Mysis occurs the Post-larvae phase (2 weeks) seeking the surf zone, waiting for favorable environmental conditions, such as decrease the water flow and the help of southerly winds, and then enter the shallow zones in estuary. When finished the Juvenil growth in the estuary (3 to 4 months), the subadults (7-8 cm) migrate back to breeding areas in ocean waters, completing the life cycle. The crosshatch is the limit distribution of juveniles in the Patos Lagoon.

## DISCUSSION

### Habitat use – Surf zone

This investigation aimed to assess the habitat use of post-larvae of *Penaeus paulensis* during the transition from the oceanic to estuarine phase. In this sense, data collected allowed to conclude that the surf zone is a key habitat for post-larvae (5-10) of this penaeid species before entering estuaries (Fig. 11). In spite of being a very dynamic ecosystem, the surf zones of sandy beaches are ecologically important areas, offering refuge and food for a variety of taxa (Beyst *et al.*, 2001). The post-larvae take advantage of this ecosystem while wait for the ideal environmental conditions that result in pumping salty water to the interior of the estuary. This strategy is vital for penaeid species, since their osmoregulatory fitness, needed to deal with marked salinity variation inside estuaries, are less effective during the initial larval stages (Charmantier, 1998). Therefore, it may also help to explain the predominance of stages 7 and 8 observed during the three years of sampling.

Considering the interannual and seasonal variation in current speed and direction, the homogeneity in larval stages composition leads to the conclusion that there may be a mechanism to delay larval metamorphosis while waiting for the ideal conditions that will result in estuarine settling. Fish larvae also display such strategy using surf zone ecosystems as transitory habitats prior

to penetrate estuaries (Watt-Pringle & Strydom, 2003; Arayama & Kohno, 2007; Patrick & Strydom, 2008).

Therefore, the mechanisms involved in maintaining these larvae in ideal environmental conditions are of central relevance for recruitment prediction. Oceanographic processes that result in larval retention are key factors to recruitment success of high fecundity species, such as penaeid shrimps. Most information regarding penaeid larval retention was produced for tidal regulated environments. Under a tidal regime, estuaries receive once, or twice a day an influx of marine water, representing a daily chance for the penaeid shrimps to invade the estuarine habitats (Rohtlisberg *et al.*, 1995). Conversely, for the estuaries where tidal variation is depictable, the marine water penetration is nearly unpredictable and penaeid larvae may last for long periods prior start the estuarine phase. Therefore, the abundance of post-larvae *P. paulensis* may result from a combination of seasonal spawning, freshwater outflow and wind stress (Castillo *et al.*, 1991, Gonzalez-Gordillo *et al.*, 2003).

### **Temporal distribution**

A marked pattern of higher post-larval abundance during Spring and Summer was evident for the three years analyzed. However, it is important to notice that larval stages 7 and 8 were recorded even during Winter, which may suggest that they may have a metamorphosis delay while waiting for the ideal conditions prior to settle in shallow estuarine areas. Laboratory experiments revealed that post-larvae under lower temperatures display a

reduction in feeding activity and slowing metamorphosis. Conversely, higher temperatures accelerated the metamorphosis and intensified feeding (Soares *et al.*, 2012).

The abundance followed the temperature changes, increasing during the warm months and reducing during the cold period (Castello & Möller, 1978, Möller *et al.*, 2009, Garcia *et al.*, 2012, Pereira & D’Incao, 2012). Same pattern was observed in areas close to the spawning stock that produces the larval supply for Patos Lagoon Estuary (Ballabio, 2011). This pattern is in accordance with the reproduction period previously reported (Calazans, 2002, Fehlauer & Freire, 2002, Koettker & Freire, 2006). The seasonality in reproduction is also influenced by food availability for the larvae. The positive relationship between decapod larvae and chlorophyll-a observed from oceanographic cruises in continental shelf (Brandão *et al.*, 2015) confirms this hypothesis, since Spring accomplishes the most productive season in sub-tropical latitudes.

The year round occurrence of post-larvae *P. paulensis* in surrounding area of Patos Lagoon Estuary, observed by Iwai (1978) and confirmed in present investigation complements the statement of D’Incao (1978) that the variation in size structure found inside the estuary is created by different penetration process that take place during Spring and Summer months. The combination of freshwater outflow preventing post-larvae and intense Eastern winds that piles up marine water on the surf-zone, resulted in the higher post-larval abundance.

## **Spatial diatribution**

The estuarine jetties are artificial structures that divide Cassino and Mar Grosso Beaches, affecting sediment transport, water circulation and affect the surfzone functioning (Chao *et al.*, 1982; Monteiro-Neto *et al.*, 2003; Fontoura *et al.*, 2006; Lima & Vieira, 2009). In spite of slightly different conditions of both beaches analyzed, no significant differences in overall abundance were recorded for the period I. The interannual variation in fish community when both beaches were compared also showed no significant differences (Rodrigues & Vieira, 2013).

Conversely, the period II and III presented differences in postlarval abundance. The period II was marked by the lower abundances recorded, which is likely explained by the successful invasion of estuarine areas. This year was also characterized by lower freshwater outflow which may have allowed the postlarvae to penetrate inside the estuary. The recruitment success of this year is confirmed by the amount of shrimp landed during this period, just 416 individuals.

The period III presented significant differences among the beaches, with a higher abundance recorded in Mar Grosso beach. However, it is important to stress that during the highest freshwater outflow, combined to the Northeast winds, resulted in a large amount of larvae in Cassino Beach, especially due to a site where mud deposits have been noticed. This mud has estuarine origins and summed to the reduced salinity and low transparency (Calliari *et*

*al.*, 2003) may simulate an estuarine condition attracting post-larvae to this site. However, the survival of these post-larvae is likely to be low, since the food availability is a key factor during this stage. The attractability of river plumes for penaeid shrimps and many other invertebrates has been previously demonstrated, which has also been confirmed for *P. paulensis* (Shanks *et al.*, 2002; Ayata *et al.*, 2011). The importance of freshwater outflow for the recruitment of *P. paulensis* has also been reported.

Freshwater outflows higher than  $2.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  create a physical barrier for the very limited swimming capacity of these larvae and therefore, the higher abundance found in surf-zone is likely influenced by this variable.

### **Post-larval stages distribution and abundance**

The first reports of larval stage composition in the estuarine areas of Patos Lagoon, close to the marine environment (Iwai, 1978) confirmed the dominance of stages 6-9, with the majority of individuals in stage 8. It takes approximately 20 to 25 days to transport eggs from the spawning grounds to recruitment areas, which is supported by the speed of coastal currents. According to Zenker & Agnes (1977), the coastal circulation has an important role on transporting *P. paulensis* post-larvae, since the prevailing direction of transport is from north to the south.

When the composition of larval stages, observed in the present investigation, are compared to the findings obtained for the surf zone associated to Tramandaí estuary (500 km northward), 59% of post-larvae were sampled in

stage 7, followed by stages 8 (31.4%) and 6 (9.3%) (Fausto & Fontoura, 1999) being very similar to the ones presented.

The dynamics of larval stage composition, observed for the surfzone associated to Patos Lagoon estuary, showed an increase in abundance from stages 6 to 9, while a sharp decrease was recorded from stages 8 to 9. In estuaries where the tidal variation is despicable, such as Patos Lagoon, the postlarvae may face long periods of unfavorable conditions prior to the invasion of the estuarine environment, which must happen until they reach the stages 9 and 10. Therefore, it is likely that these larvae will develop biological strategies to deal with these long periods of unfavorable conditions. Provided that the majority of postlarvae were found in stage 8, in spite of the season and even the year investigated, lead to state the hypothesis that they may delay or stop metamorphosis while waiting for the salty wedge penetration in the estuary (Iwai, 1978; Gebauer *et al.*, 2003). The stages sampled (5-10) are characterized by a planktonic habit, while, after stage 10 they become necessarily benthic and tend to search for fine sediments for burrowing, such as those found in estuarine habitats. However, if they do not have an opportunity to invade estuarine areas, it is very likely that most of post-larvae will die due to natural mortality factors, such as lack of adequate food items or suitable to burrow.

Our findings indicate that the abundance of *P. paulensis* in the surf zone is explained by the freshwater outflow and the seasonality in temperature. However, the large variation in the salinity and temperature during the

surfzone phase may explain the delay in metamorphosis, as a strategy to stay in this environment until a favorable condition for salty wedge penetration is achieved. The Dendrobranchiata shrimps are considered as less derived when compared to Brachiura crabs. Unlike penaeids, the crabs perform metamorphosis even under unfavorable conditions, such as low salinity and low food availability (Rey *et al.*, 2016).

## **CONCLUSIONS**

The post-larvae of pink shrimp *Penaeus paulensis* use the surf zone as transition area before recruiting to estuaries, occurring in this environment all year round. However, abundance peaks were recorded in Spring and Summer. The dominance of stage 8 may indicate a strategy to stay for longer periods in surfzone, while waiting for environmental conditions that result in salty water penetration in the estuarine area.

## **REFERENCES**

Albuquerque, M. D. G., Fontoura, J. A. S., Calliari, L. J., Serpa, C. G., and Quintela, T. O. F. (2008) Caracterização do fluxo sedimentar na zona de surfe de praias de micro e meso marés—aplicação a praia do Cassino (RS) e praia do Futuro (CE). [www.repositorio.furg.br](http://www.repositorio.furg.br).

Anderson, M. J. (2001) A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26, 32–46.

Anger, K. (2006) Contributions of larval biology to crustacean research: a review. *Invertebrate Reproduction and Development*, 49, 175–205.

Arayama, K., and Kohno, H. (2007) How do teraponids utilize the reflective sandy beach?. *THE RAFFLES BULLETIN OF ZOOLOGY*, 14, 237-243.

Ayata, S., Stolba, R., Comtet, T. and Thiébaud, E. (2011) Meroplankton distribution and its relationship to coastal mesoscale hydrological structure in the northern Bay of Biscay (NE Atlantic). *J. Plankton Res.*, 33, 1193–1211.

Ballabio, T. A. (2011) Larvas de crustáceos decápodes na plataforma interna sudeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 67p.

Bersano Filho, J. G. (1994) Zooplâncton da zona de arrebentação, de praias arenosas situadas ao sul de Rio Grande - RS. Primavera 1990 - verão 1991. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande. 163p.

Beyst, B., Buysse, D. Dewicke, A. and Mees, J. (2001) Surf zone hyperbenthos of Belgian sandy beaches: seasonal patterns. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53, 877–895.

Brandão, M. C., Garcia, C. A. E., and Freire, A. S. (2015) Large-scale spatial variability of decapod and stomatopod larvae along the South Brazil Shelf. *Continental Shelf Research*, 107, 11-23.

Calazans, D. (2002) Seasonal larval composition and abundance of shrimps in the surrounding area of the Patos Lagoon Mouth. *Nauplius*, 10(2), 111-120.

Calliari, L. J., Muehe, D., Hoefel, F.G. and Toldo, E. (2003) Mofordinâmica praial: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 51, 63-78.

Castello, J. P. and Möller. J.R.O.O. (1978) On the relationship between rainfall and shrimp production in the estuary of Patos Lagoon (Rio Grande do Sul, Brasil). *Atlântica*, 3, 67-74.

Castillo, G.; Munoz, H.; Gonzalez, H. and Bernal, P. (1991) Daily analysis of abundance and size variability of fish larvae in relation to oceanic water intrusions in coastal areas. *Biologia Pesqueira*, 20, 21-35.

Chao, L.N.; Pereira, L.E.; Vieira, J.P. & Bemvenuti, M. (1982) Relação preliminar dos peixes estuarinos e marinhos da Lagoa dos Patos e região costeira adjacente, Rio Grande do Sul, Brasil. *Atlantica*, 1(6): 67-75.

Charmantier, G. U. Y. (1998) Ontogeny of osmoregulation in crustaceans: a review. *Invertebrate reproduction & development*, 33(2-3), 177-190.

Cházaro-Olvera, S., Winfield, I. and Coria-Olvera, V. (2009) Transport of *Farfantepenaeus aztecus* postlarvae in three lagoon-system inlets in the southwestern Gulf of Mexico. *Crustaceana*, 82(4), 425-437.

Clarke, K.R. and Gorley, R.N. (2006) PRIMER v6: User Manual/ Tutorial. PRIMER-E, Plymouth.

Dall, W. H. B. J., Hill, B. J., Rothlisberg, P. C. and Sharples, D. J. (1990) The biology of the Penaeidae. *Advances in marine biology*, 27.

D'Incao, F. (1978) Curva de crescimento do "camarão-rosa" (*Penaeus paulensis*, Pérez-Farfante, 1967) na Lagoa dos Patos, RS, Brasil. *Atlântica*, 3, 75-78.

D'Incao, F. (1991) Pesca e biologia de *Penaeus paulensis* na Lagoa dos Patos, RS. *Atlântica*, 13, 159-169.

D'Incao, F. (1999) Subordem Dendrobranchiata (camarões marinhos). In: Buckup, L.; Bond-Buckup, G. Os crustáceos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS. P.275-299.

Fausto, I. V. and Fontoura, N. F. (1999) Abundância sazonal do camarão-rosa *Penaeus paulensis* na Laguna Tramandaí, RS, Brasil (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). *Nauplius*, 7, 93-111.

Fehlauer, K. H., and Freire, A. S. (2002) Occurrence of decapods larvae, specially *Xiphopenaeus kroyeri* (Penaeidea) in the shallow shelf of Paraná. *Nauplius*, 10(1), 37-45.

Fontoura, J. A. S., Almeida, L. E. S. B. D., and Calliari, L. J. (2006) Avaliação da hidrodinâmica costeira e das taxas de transporte longitudinal de areia nas praias de Cassino e Mar Grosso, RS, Brasil. [www.repositorio.furg.br](http://www.repositorio.furg.br).

Garcia, V. M. T., Gianuca, N. M., Seeliger, U., Odebrecht, C., and Castello, J. P. (1998) A praia e a zona de arrebentação. Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Rio Grande, RS: Ecoscientia, 184-189.

Garcia, A. M., Vieira, J.P., Winemiller, K.O., Moraes, L.E. and Paes, E.T. (2012) Factoring scales of spatial and temporal variation in fish abundance in a subtropical estuary. *Marine Ecology Progress Series*, 461, 121–135.

Gebauer, P., Paschke, K. U. R. T., and Anger, K. (2003) Delayed metamorphosis in decapod crustaceans: evidence and consequences. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76, 169-175.

González-Gordillo, J. I., Arias, A. M., Rodríguez, A. and Drake, P. (2003) Recruitment patterns of decapod crustacean megalopae in a shallow inlet (SW Spain) related to life history strategies. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56(3), 593-607.

Iwai, M., (1978) Desenvolvimento larval e pós-larval de *Penaeus* (*Melicertus*) *paulensis* Pérez-Farfante, 1967 (Crustacea, Decapoda) e o ciclo de vida dos camarões do gênero *Penaeus* da região centro-sul do Brasil. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Koettker, A. G. and Freire, A. S. (2006) Spatial and temporal distribution of decapod larvae in the subtropical waters of the Arvoredo archipelago, SC, Brazil. *Iheringia. Série Zoologia*, 96(1), 31-40.

Lima, M.S.P. and Vieira, J.P. (2009) Variação espaço-temporal da ictiofauna da zona de arrebentação da Praia do Cassino, Rio Grande do Sul (Brasil). *Zoologia*, 26(3): 499-510.

Marques, W. C., Monteiro, I. O., Möller Junior, O. O., and Fernandes, E. H. L. (2006) A dinâmica da pluma costeira da Lagoa dos Patos, Brasil. [www.repositorio.furg.br](http://www.repositorio.furg.br).

Möller, O. O., Piola, A. R., Freitas, A. C. and Campos, E. J. (2008) The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Continental Shelf Research*, 28(13), 1607-1624.

Möller Jr, O. O., Castello, J. P. and Vaz, A. C. (2009) The effect of river discharge and winds on the interannual variability of the pink shrimp *Penaeus paulensis* production in Patos Lagoon. *Estuaries and Coasts*, 32(4), 787-796.

Monteiro-Neto, C., Cunha, L. P. R., & Musick, J. A. (2003). Community structure of surf-zone fishes at Cassino Beach, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 492-501.

Patrick, P., and Strydom, N. A. (2008) Composition, abundance, distribution and seasonality of larval fishes in the shallow nearshore of the proposed

Greater Addo Marine Reserve, Algoa Bay, South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 79(2), 251-262.

Pereira P.S., Calliari L.J. and Barletta R.C. (2010) Heterogeneity and homogeneity of southern Brazilian beaches: a morphodynamic and statistical approach. *Continental Shelf Research*, 30, 270–280.

Pereira, N., and D’Incao, F. (2012) Relationship between rainfall, pink shrimp harvest (*Penaeus paulensis*) and adult stock, associated with El Niño and La Niña phenomena in Patos Lagoon, Southern Brazil. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, 7, 1451–1456.

Piola, A. R., Möller, Jr O.O. and Elbio, D. P. (2005) O impacto do rio da Prata no Oceano Atlântico. *Ciência Hoje*, 36, 30-37.

Rey, F., Neto, G. M. S., Rosa, R., Queiroga, H., and Calado, R. (2016) A vida entre dois mundos - a metamorfose não apaga a história larvar de invertebrados marinhos com ciclos de vida bifásicos. *Revista Captar: Ciência e Ambiente para Todos*, 6(2).

Rodrigues, F. L. and Vieira, J. P. (2013) Surf zone fish abundance and diversity at two sandy beaches separated by long rocky jetties. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 93, 867-875.

Rothlisberg, P.C., Church, J.A. and Fandry, C.B. (1995). A mechanism for near-shore concentration and estuarine recruitment of post-larval *Penaeus*

plebejus Hess (Decapoda, Penaeidae). Estuar. Coast Shelf Sci., 40, 115–138.

Shanks, A.L., Largier, J. and Brink, L. (2002) Observations on the distribution of meroplankton during a downwelling event and associated intrusion of the Chesapeake Bay estuarine plume. J. Plankton Res., 24,391– 416.

Soares, R. B., Peixoto, S. R. M., Bianchini, A., Cavalli, R. O. and Wasielesky Junior, W. F. B. (2012) Efeito da temperatura na sobrevivência, consumo alimentar e crescimento de pós-larvas do camarão-rosa *Penaeus paulensis*. [www.repositorio.furg.br](http://www.repositorio.furg.br).

Watt-Pringle, P., and Strydom, N. A. (2003) Habitat use by larval fishes in a temperate South African surf zone. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 58(4), 765-774.

Zenker, A.A. and Agnes, J. L. (1977) Distribuição do camarão-rosa *Penaeus brasiliensis* e *Penaeus paulensis* ao longo da costa sudeste e sul do Brasil. Doc. Tec. SUDEPE-PDP, 21, 1-105.