

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA BIOLÓGICA

VARIABILIDADE DE LONGO PRAZO DE
JUVENIS DO CAMARÃO-ROSA
FARFANTEPENAEUS PAULENSIS (PÉREZ-
FARFANTE 1967) (DECAPODA: PENAEIDAE)
EM ZONAS RASAS DO ESTUÁRIO DA
LAGOA DOS PATOS, SUL DO BRASIL

PEDRO PUCIARELLI DE MELO

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

Orientador: Dr. Luiz Felipe Cestari Dumont
Co-orientador: Dr. João Paes Viera Sobrinho

RIO GRANDE
Outubro de 2014

5

10

15

20

25

**“Tem hora que a gente se pergunta
Por que é que não se junta tudo numa coisa só?”
– Fernando Anitelli**

Agradecimentos

30 Primeiramente agradeço aos meus pais pelo apoio em todos os sentidos. Sem o incentivo e ajuda por parte deles não seria possível, para mim, desenvolver esse estudo.

Aos pesquisadores, renomados ou não, que passaram antes de mim por estes temas e deixaram seu legado para a ciência, possibilitando o desenvolvimento
35 deste trabalho e muitos outros trabalhos que possam fazer diferença para a sociedade em diversos aspectos.

Ao Dr. Leonardo Evangelista Moraes que, desde o início, esteve presente ajudando nas análises e discussões, participando ativamente no desenvolvimento de meu trabalho.

40 Ao professor Dr. João Paes Vieira, do Laboratório de Ictiologia – IO/FURG, por ter aceito minha participação no PELD, possibilitado o usufruto dos dados que geraram o presente trabalho e sua contribuição como co-orientador e membro da banca de avaliação da dissertação.

Aos amigos: Natália Gomes pela grande ajuda nos dados de vento; Kerly Jardim
45 por ter ajudado na geração dos mapas; Baila no entendimento e elaboração dos gráficos de interação das variáveis; e outras tantas ajudas, as vezes impossível de detectar a origem, durante conversas dentro e fora da FURG.

Aos amigos do Laboratório de Crustáceos Decápodos: Eurico Noletto e Matheus Bauer, pelas discussões e diversas dúvidas que foram surgindo e sendo
50 debatidas ao longo do trabalho. E aos demais colegas de laboratório, que de alguma forma tenham ajudado direta ou indiretamente ao longo dos dois anos em Rio Grande.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos e custeio do Projeto Ecológico de Longa Duração (PELD) –
55 Área 8.

Por fim, agradeço enormemente ao Prof. Dr. Luiz Felipe Cestari Dumont, meu orientador, que deu a oportunidade de trabalhar com dados tão ricos e de tão grande potencial. Em todos os momentos se mostrou disponível para ajudar com seu conhecimento e recursos. Sem dúvida foi um novo e bom desafio.

60

Sumário

	1	INTRODUÇÃO.....	1
65	1.1	O camarão-rosa: <i>Farfantepenaeus paulensis</i> (Pérez-Farfante 1967):.....	1
	1.2	Caracterização da Plataforma Continental Sul do Brasil e Estuário da Lagoas dos Patos:	5
	1.3	Contextualização da dissertação:	11
	2	Objetivos.....	15
70	2.1	Objetivos gerais.....	15
	2.2	Objetivos específicos.....	15
	3	Metodologia	16
	4	Resultados.....	19
	5	Discussão Geral	21
75	6	Bibliografia.....	27
	7	ANEXO I.....	33

LISTA DE FIGURAS

80

Figura 1 Pós-larva de *Farfantepenaeus paulensis* em vista lateral (modificado de Iwai 1968) e carapaça de um adulto em vista dorsal (modificado de Pérez-Farfante 1967). 2

Figura 2: Topografia do leito marinho na plataforma continental Sul (retirado de Vooren *et al.* 2005)..... 6

85

Figura 3: Temperatura (°C) da superfície da água de janeiro a dezembro de 2010 (MODIS-Terra 9km / GES DISC - Giovanni Nasa). 8

Figura 4: Lagoa dos Patos (retirado de Castelão & Möller 2003). 9

Figura 5: Localização dos cinco pontos de coleta no Estuário da Lagoa dos Patos. Datum WGS84..... 16

90

1 INTRODUÇÃO

1.1 O camarão-rosa: *Farfantepenaeus paulensis* (Pérez-Farfante 1967):

95 O camarão-rosa, *Farfantepenaeus paulensis* (Figura 1), é um crustáceo
decápodo, Dendrobranchiata pertencente a família Penaeidae, descrito
inicialmente como *Penaeus paulensis*, por Isabel Pérez-Farfante (1967), e
realocado no gênero *Farfantepenaeus* posteriormente (Pérez-Farfante &
Kensley, 1997). Apresenta carena e sulcos adrostrais longos, sulco alargado
100 posteriormente, quase atingindo a margem posterior da carapaça. Carena e
sulco gastro-frontal presentes. Sulco mediano curto, terminando de forma bem
anterior ao final posterior do sulco adrostral; raso, contínuo ou interrompido,
muitas vezes limitado a uma concavidade anterior. Sulco dorso-lateral do sexto
somito abdominal muito estreito, lábios dorsais e ventrais cortantes. Petasma
105 com costa ventral, estendendo-se anteriormente em curva leve, ou quase em
linha reta, largo e embotado na extremidade distal, bordo distal plano ou com
margem fracamente ondulada e portanto nas proximidades do ápice, grupos de
dentes de tamanho médio, irregularmente dispostos; dobra distal relativamente
larga, usualmente armada com espínulos. Télico com processo anterior
110 pequeno, processo posterior muito estreito e apresentando carena mediana
bifurcada anteriormente; placas laterais com ângulo ântero-mediano
marcadamente divergente, deixando a carena mediana exposta (D'Incao 1995).

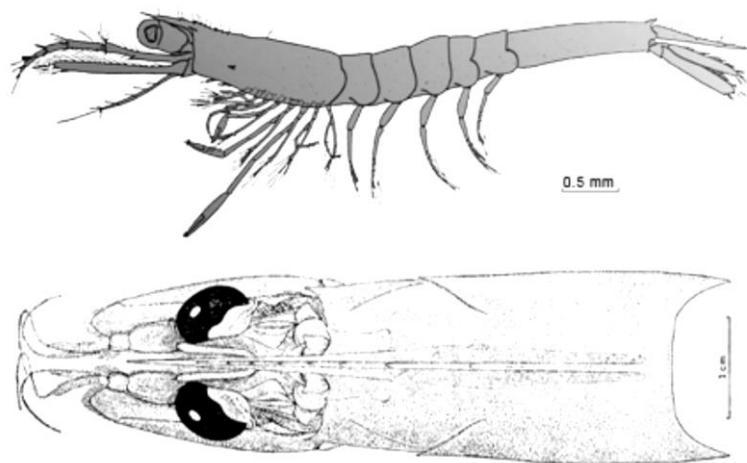


Figura 1 Pós-larva de *Farfantepenaeus paulensis* em vista lateral (modificado de Iwai 1968) e carapaça de um adulto em vista dorsal (modificado de Pérez-Farfante 1967).

Ocorre desde o sul da Bahia (Brasil) até Mar del Plata (Argentina), a partir de águas rasas até 150 metros de profundidade (D'Incao 1995). Assim como outros peneídeos, apresenta ciclo de vida complexo (Tipo 2 em Dall *et al.* 1990) que inclui uma fase estuarina, quando as pós-larvas entram nos estuários, assentam e se desenvolvem a juvenis, crescendo por meses. Desde sua eclosão como náuplios passam por diversos estágios, entre 10 e 12 (Iwai 1978). Assim que atingem cerca de 8 cm de comprimento total iniciam sua saída do sistema estuarino (D'Incao 1991).

Farfantepenaeus paulensis é uma das principais espécies de pescado exploradas na região (Haimovici *et al.* 2006). A pesca artesanal do estuário da Lagoa dos Patos atua sobre um estoque de camarão-rosa que, não influencia no estoque produtor, originário da região de Santa Catarina (D'Incao *et al.* 2002), sendo uma metapopulação. A constante queda na produção média e nos máximos alcançados na pescaria industrial em Santa Catarina, sugere a hipótese de que os juvenis da Lagoa dos Patos contribuam para a manutenção do estoque desovante situado mais ao norte, caso consigam reintegrar este estoque.

Comunidades bentônicas são afetadas por diversos fatores, bióticos e abióticos, incluindo características do sedimento, disponibilidade de alimento, padrões de maré e nível do mar, composição da comunidade, relações interespecíficas e

estratégias reprodutivas (Lenihan & Micheli 2001). Distúrbios abióticos e interações biológicas influenciam diversos processos nas comunidades bentônicas, principalmente recrutamento, crescimento, sobrevivência e fecundidade (Bruno & Bertness 2001). De modo geral, sua distribuição depende de uma variedade de condições do ambiente (Boschi 2000). As condições do habitat como presença/quantidade de bancos de fanerógamas e/ou macroalgas e o gradiente de salinidade podem ser determinantes para a saúde dos novos recrutas de peneídeos (Pérez-Castañeda & Defeo 2004). A salinidade é um dos fatores ambientais mais importantes que atuam no crescimento e sobrevivência de peneídeos devido sua influência no consumo alimentar, resposta metabólica e eficiência na conversão de energia (Brito *et al.* 2000; Tsuzuki *et al.* 2003, Soares *et al.* 2012).

A amplitude da tolerância e o ótimo de salinidade podem variar ao longo do desenvolvimento ontogenético, podendo ter papel importante na sobrevivência e crescimento das pós-larvas que penetram em áreas estuarinas, além de sua migração de retorno a águas marinhas (Criales *et al.* 2011). O ponto de isosmótico de *F. paulensis* foi determinado em 22,9 a 25°C para juvenis entre o tamanho de pós-larvas e 10g – camarões de tamanho comercial (Wasielesky Jr 2000). Já foi observado que a redução natural da salinidade forçou a migração de juvenis de *Fenneropenaeus merguensis* de áreas costeiras abrigadas para águas oceânicas (Staples & Vance 1986), e a tolerância de diversas espécies de peneídeos já foram estudadas: *Fenneropenaeus indicus* (Kumlu & Jones 1995), *Farfantepenaeus aztecus* (Saoud & Davis, 2003), *Litopenaeus vannamei* (Mcgraw *et al.* 2002), entre outros. Além disso, para os pontos isosmóticos de *Farfantepenaeus chinensis* observou-se correlação negativa entre temperatura e salinidade (Chen & Li 1994), o que significa que para as atividades metabólicas do camarão quanto *menor* a temperatura *maior* deve ser a salinidade. Quanto a temperatura, para o peneídeo *L. vannamei* observou-se que esta espécie tolera entre 7,2 e 11,44°C como mínima, dependendo de como for conduzida a aclimação dos juvenis (Kumlu *et al.* 2010) e até as temperaturas máximas de 35,8 a 41,5°C, diretamente correlacionado com as condições de aclimação (Re *et al.* 2012).

Tsuzuki *et al.* (2000) apresentam, para *Farfantepenaeus paulensis*, dados
170 indicando que pós-larvas em salinidade (30 ppt) e temperatura (25°C) altas,
quando transferidas de ambiente, tem maior tolerância a baixas salinidades e
temperaturas. Este trabalho ainda demonstra que a taxa de mortalidade das pós-
larvas tem correlação positiva com a salinidade, principalmente em baixas
temperaturas; pós-larvas mantidas em temperatura (15°C) e salinidades baixas
175 apresentaram diminuição na capacidade motora e tendência a se agrupar. Por
fim, verificou-se que a mortalidade foi significativamente ($p < 0.05$) mais
influenciada pela temperatura (Tsuzuki *et al.* 2000).

Acredita-se que a abundância de *F. paulensis* no estuário da Lagoa dos Patos
sofra forte influência da incidência de ventos do quadrante Sul (S e SO), pois são
180 os ventos que fazem com que ocorra entrada de água do mar na laguna,
enquanto que os ventos predominantes na região, de NE, aumentam o
escoamento da laguna dificultando a entrada de água marinha, e desta forma, a
entrada de larvas e pós-larvas no sistema estuarino (D'Incao 1991, Möller *et al.*
2009).

185 Outro fator ao qual se tem creditado grande importância para a abundância de
juvenis do camarão-rosa no ELP é a pluviosidade. Assim como os ventos de NE,
a alta pluviosidade aumenta a vazão de água doce impedindo a entrada de água
salina (Pereira & D'Incao 2012). A partir de séries históricas aponta-se estar
ocorrendo aumento da vazão da Lagoa dos Patos (Schroeder & Castello 2010).
190 A manutenção do estuário em uma condição doce não é favorável às pós-larvas
(Wasielesky Jr 2000) e acarreta em impacto na abundância de camarão-rosa e
mudanças na composição da comunidade aquática (Garcia & Vieira 2001).
Condições desfavoráveis por períodos prolongados podem ter efeitos depletivos
na abundância dos recrutas apesar de já possuírem capacidade de se
195 enterrarem e diminuir seu metabolismo à espera de uma melhora na condição
do ambiente (Wasielesky Jr 2000).

Somado a estes fatores intrínsecos as condições da Lagoa dos Patos, é
importante ressaltar a sazonal disponibilidade de larvas na coluna d'água.
Devido a dinâmica das correntes costeiras na plataforma continental sul, com
200 correntes oriundas de norte nos meses próximos ao verão e oriundas de sul nos

meses próximos ao inverno (Piola *et al.* 2000, Möller *et al.* 2008) as larvas só conseguem alcançar a entrada da Lagoa dos Patos em meses em que há influência da Corrente do Brasil (CB) na plataforma continental (Castelo & Möller 1978, D'Incao 1991, Calazans 2002). Acrescenta-se a estas variáveis, a possibilidade de ocorrer pressão por parte de um fator denso-dependente na própria abundância de recrutas, já observado em outras quatro espécies do gênero *Farfantepenaeus* em ambiente natural (Pérez-Castañeda & Defeo 2005) e em cativeiro para *F. paulensis* também em sua fase juvenil (Preto *et al.* 2009).

Trabalhos pretéritos (Castelo & Möller 1978, Möller *et al.* 2009, Pereira & D'Incao 2012) buscaram elucidar como a abundância do camarão-rosa se comporta em relação às variáveis ambientais e climáticas, utilizando como fonte de informação sobre a abundância dos recrutas os dados gerados a partir do desembarque comercial publicados pelo Centro de Pesquisa e Gestão dos Recursos Pesqueiros Lagunares Estuarinos – CEPERG/ICMBio/MMA.

O uso desta informação implica em não se considerar o esforço aplicado na pescaria do camarão a cada ano no ELP, dificultando a padronização dos dados, que possuem a precariedade de informar apenas o peso total capturado. Dependendo do tamanho dos camarões capturados o número de indivíduos pode variar bastante. Por fim, residem ainda as fragilidades de não haver informação sobre o que é pescado ilegalmente no estuário com redes de arrasto, através de atividades de pesca recreacional e o que é desembarcado em locais onde não há fiscalização. De forma geral, a informação disponibilizada pelo CEPERG pode ser utilizada como um indicativo da abundância do camarão-rosa no ELP, mas não como sua real abundância.

1.2 Caracterização da Plataforma Continental Sul do Brasil e Estuário da Lagoa dos Patos:

A área da plataforma continental situada entre o cabo de Santa Marta Grande e o arroio Chuí apresenta topografia do fundo submarino relativamente uniforme (Figura 2). Sua parte costeira é caracterizada por uma planície arenosa exposta e sem reentrâncias, com aproximadamente 750 km de extensão. A partir da costa a plataforma continental neste trecho, delimitada pela isóbata de 180 m,

apresenta suave declividade sendo estreita ao norte (110 km) e alarga-se para o sul (170 km) (Castro *et al.* 2006).

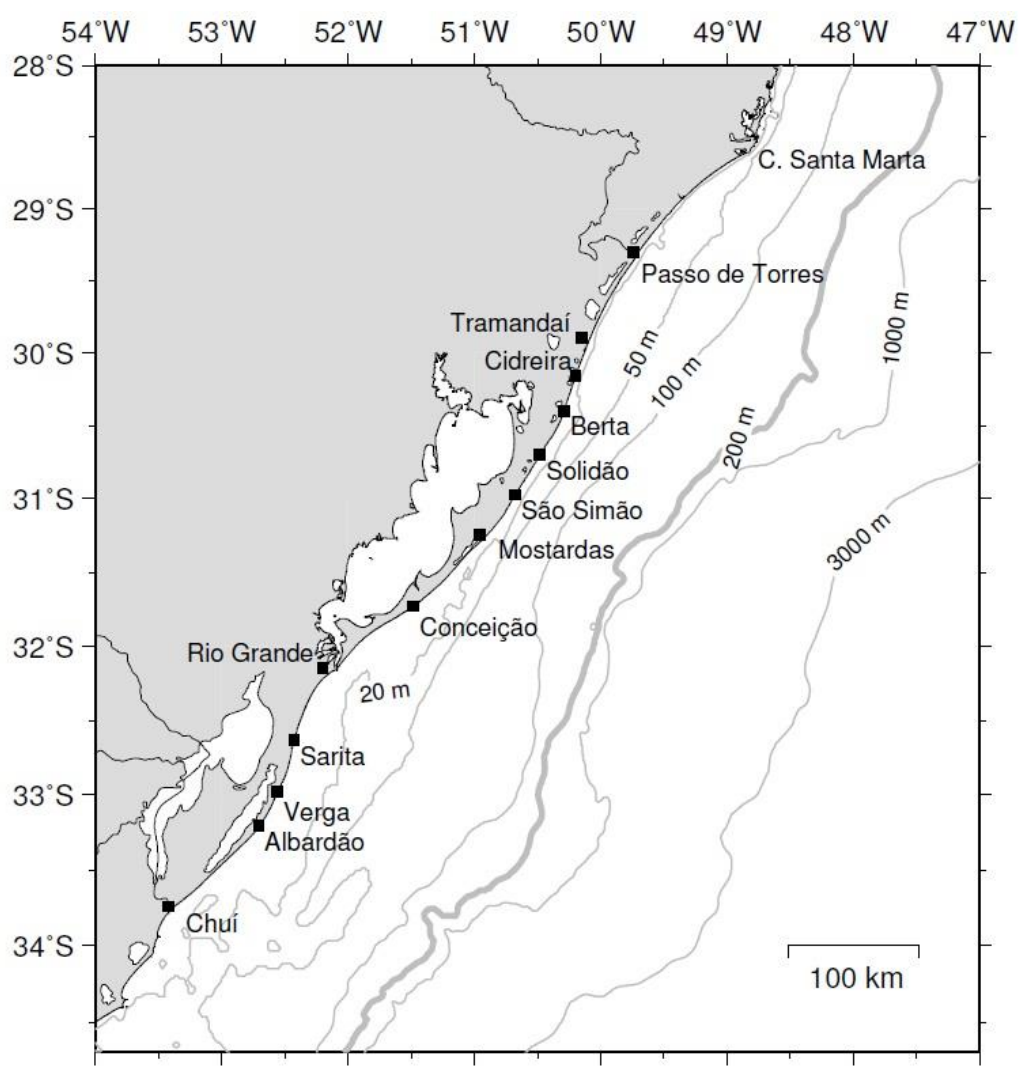


Figura 2: Topografia do leito marinho na plataforma continental Sul (retirado de Vooren *et al.* 2005).

A região apresenta marcada sazonalidade (Piola *et al.* 2000, Möller *et al.* 2008).

Durante o inverno, a plataforma continental do RS é dominada por massas de água de origem subantártica ($T < 15^{\circ}\text{C}$ e $33,7 < S < 34,0$) com origem ao sul, sendo advectada para o norte por ramo costeiro da Corrente das Malvinas (CM) (Castro *et al.* 2006). Por sua vez, no verão é fortemente influenciada pela Água Tropical (AT), a qual apresenta águas acima de 20°C e salinidade superior a 36 (Möller *et al.* 2008), transportadas para o sul pela Corrente do Brasil (CB). Além da influência dessas massas de água de origem oceânica, as águas da plataforma

continental e costeira recebem contribuição de água oriunda de drenagem da Lagoa dos Patos e do estuário do rio da Prata (Piola *et al.* 2000, Castro *et al.* 2006).

250 A característica hidrológica mais marcante na plataforma continental é a influência alternada, ao longo do ano, de massas de água tropicais e subantárticas (Castello & Möller 1977). As duas correntes fluem em sentidos opostos, até confluírem frontalmente (Figura 3). Esse encontro constitui o limite oeste da Convergência Subtropical do Atlântico Sul e desloca-se sazonalmente
255 entre as latitudes de 30°S (inverno) e 46°S (verão). Na área mais interna da plataforma, onde efetivamente há o transporte das larvas do camarão-rosa, ocorre ainda mistura das águas do estuário do rio da Prata e da Lagoa os Patos para formar a Água Costeira, rica em nutrientes. No verão, as Águas Tropicais; pobres em nutrientes, da Corrente do Brasil predominam, mas as Águas
260 Costeiras fluem sobre a plataforma interna e, além disso, os ventos predominantes do nordeste geram ressurgências na quebra da plataforma (Möller *et al.* 2008).

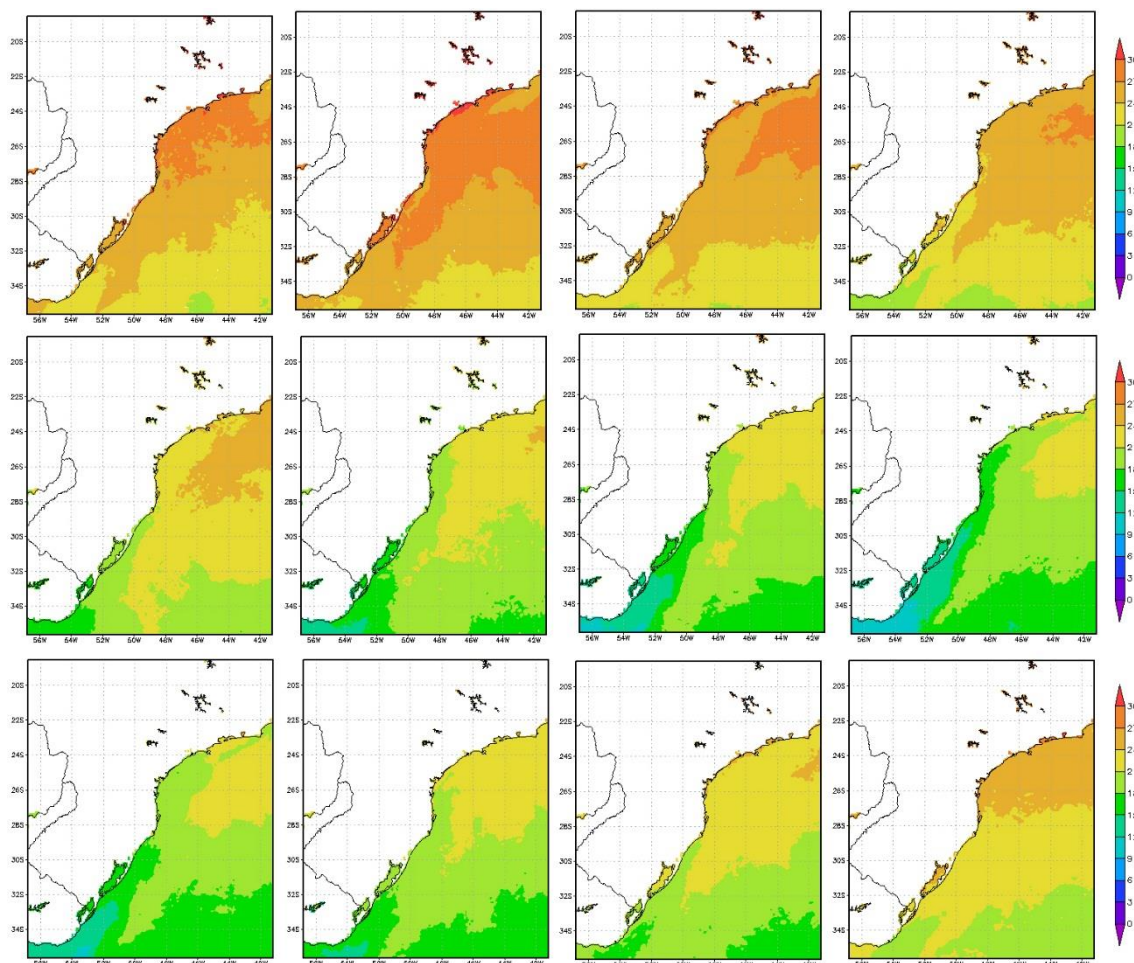


Figura 3: Temperatura (°C) da superfície da água de janeiro a dezembro de 2010 (MODIS-Terra 9km / GES DISC - Giovanni Nasa).

A Lagoa dos Patos é a maior laguna costeira (aprox. 10 mil km²) estrangulada do mundo (Kjerfve 1986 / Figura 4). Sua conexão com o mar se dá por meio de um canal estreito com 20 km de comprimento e 0,5-3 km de largura. A partir desta ligação forma-se um ambiente estuarino dentro da Lagoa dos Patos que chega a ocupar quase 10% de sua área, em uma linha imaginária na Ponta da Feitoria em média (Möller & Fernandes 2010).

O limite de penetração da cunha salina é de cerca de 60 km a partir da entrada do estuário e é relacionada às condições de vento e vazão dos rios que alimentam a bacia de drenagem da Lagoa dos Patos, resultando em uma forte sazonalidade nas condições de salinidade. A média da salinidade no estuário é de 13, com variação de 0-34 (Schroeder & Castello 2010).

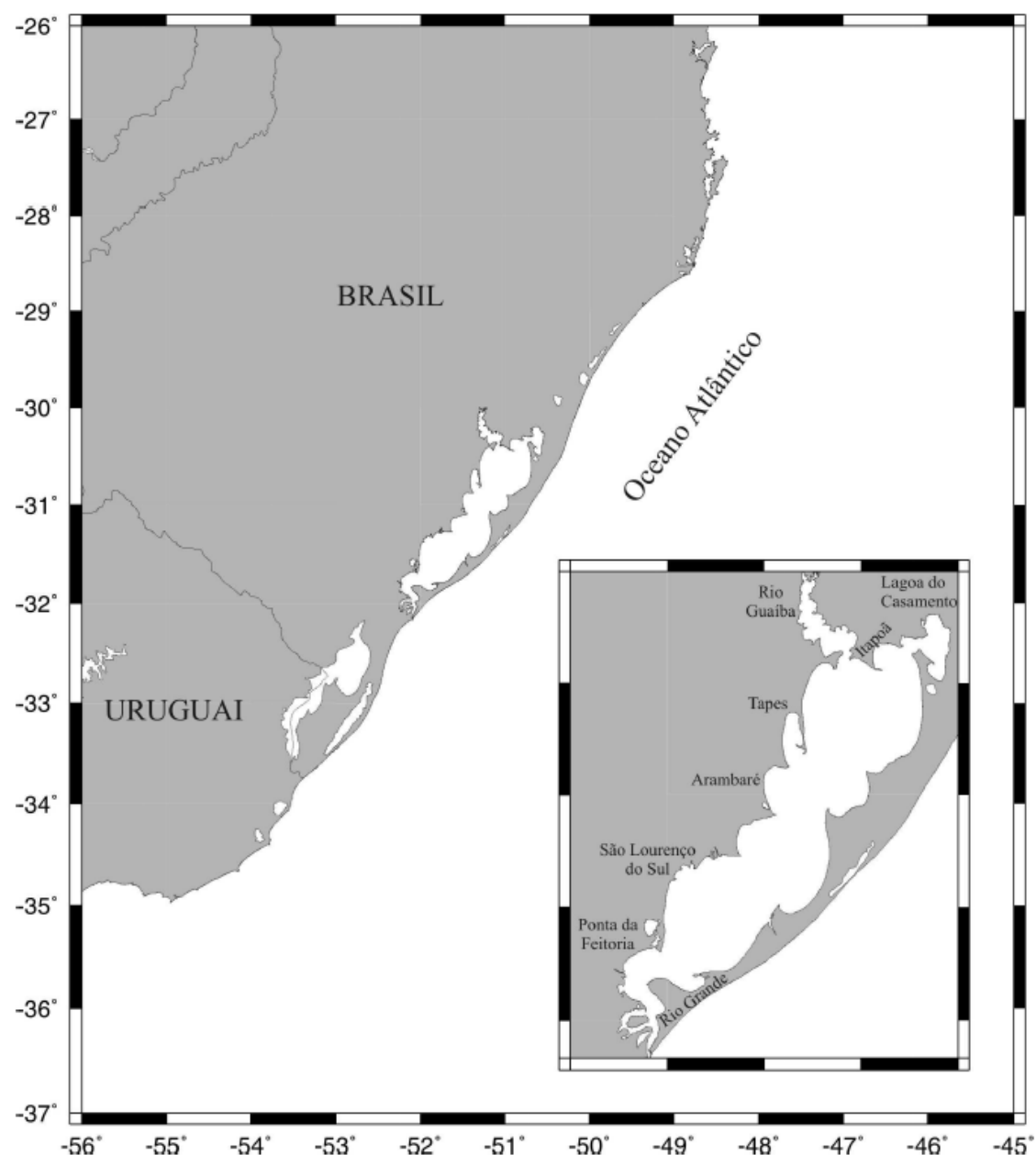


Figura 4: Lagoa dos Patos (retirado de Castelão & Möller 2003).

280

Atualmente acredita-se que a Lagoa dos Patos esteja passando por um processo de limnificação, por conta de um aumento na carga de água doce em todo o sistema, refletindo também no estuário (Schroeder & Castello, 2010). Esta mudança no ambiente pode acabar por modificar as comunidades biológicas que dependem deste espaço (Garcia & Vieira 2001, Garcia *et al.* 2012).

285

Diferente de outros estuários brasileiros onde é possível observar as áreas de alto, médio e baixo estuário ao longo de todo o ano (Kjerfve 1986, 1994), Garcia

et al. (2012) observaram que o ELP é estruturado mais claramente pelo tempo, ou seja o caráter sazonal, do que pelo espaço mesmo utilizando pontos limítrofes do estuário como a estação da Torotama, majoritariamente com características límnicas, e estações diretamente na praia do Cassino, constantemente apresentando salinidade acima de 30.

A região na qual foi desenvolvido o estudo é influenciada pela eventual ocorrência de eventos climáticos como o El Niño Oscilação Sul (ENOS) e o Modo Anular Sul (SAM) (Grimm *et al.* 1998, Garcia *et al.* 2012).

A fase positiva do fenômeno ENOS, conhecida como *El-Niño* é caracterizada pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do leste do Oceano Pacífico Tropical, em sua fase negativa ocorre o oposto, o esfriamento das águas superficiais, e é conhecido como *La Niña* (Philander 1985). Na região Sul, as situações de *El-Niño* ocasionam na estagnação atmosférica de frentes frias por conta da intensificação do jato subtropical, causando aumento na quantidade e intensidade das chuvas e, conseqüentemente, da vazão dos rios. Durante os eventos *La-Niña* e o processo é invertido, logo chuvas abaixo da média e estiagens são registradas no sul do Brasil (Grimm *et al.* 1998).

Há tendência significativa para que, em anos de El Niño, ocorra precipitação acima da média de Novembro à Janeiro seguinte nas regiões do Norte do Uruguay (Pisciottano *et al.* 1994). O mesmo ocorre para a região do extremo Sul do Brasil (Grimm & Tadeschi 2009, Tadeschi *et al.* 2012).

De acordo com Silva *et al.* (2014) há diferença significativa no total anual de precipitação entre as metades Norte e Sul (trançando uma divisão na latitude 30°S) no Rio Grande do Sul e, em seu estudo, mostram que pode haver influência diferente do El Niño na região. Por esta razão optou-se por usar a vazão de três dos principais rios (Möller *et al.* 2009) que abastecem a Lagoa dos Patos no lugar de utilizar a quantidade de chuva no município de Rio Grande.

1.3 Contextualização da dissertação:

A pescaria de camarões contribui com cerca de 20% de todo o volume do capital negociado no mercado mundial de produtos pesqueiros, incluindo espécies de peixes e crustáceos cultivados ou mesmo capturados no ambiente (EJF 2003). A grande variabilidade na captura de peneídeos é um problema que afeta o setor pesqueiro em diversas regiões do mundo já registrada em diversos trabalhos (D'Incao *et al.* 2002, Diop *et al.* 2007, Díaz-Ochoa & Quiñones 2008, Gillett 2008, FAO 2012). Esta variabilidade pode ser atribuída a diversos fatores biológicos e ambientais que influenciam o crescimento, mortalidade e subsequente sobrevivência em um determinado ano (Diop *et al.* 2007), assim como efeitos da pescaria sobre os estoques, reprodutor e/ou recruta, ao longo dos anos.

Um exemplo desta variabilidade e manejo é o da Argentina, que começou a exploração industrial de *Pleoticus muelleri* na década de 1980 e, em 2005 teve uma enorme queda no desembarque deste recurso. As autoridades, frente às baixas capturas, implementaram um plano de manejo para ajudar a recuperação do estoque desta espécie. Com base em estudos acerca da biologia e ecologia, sua reprodução e dinâmica populacional, após seis anos as capturas aumentaram dez vezes alcançando um novo recorde máximo em 2011 (FAO 2012).

No Brasil o cenário se repete, com a sobre-exploração dos principais recursos camaroneiros nas décadas de 80 e 90. A pescaria de camarão-rosa (*Farfantepenaeus paulensis* e *F. brasiliensis*) se desenvolveu na plataforma continental do Sudeste e Sul do Brasil por 20 anos até o seu colapso. A principal causa para esse colapso na pescaria foi apontada como sendo o excessivo esforço de pesca, aplicado tanto sobre a fase juvenil nos estuários, como na fase adulta na plataforma continental (D'Incao *et al.* 2002). Entretanto, o complexo ciclo de vida, altamente dependente de fatores ambientais, especialmente durante o processo de recrutamento, torna ainda mais difícil o entendimento sobre quais fatores são responsáveis pelas marcadas variações no recrutamento.

A alta variabilidade nos desembarques representa um desafio ao desenvolvimento de modelos preditivos, no lugar de análises de dados pretéritos refinados, para abundância de camarão e pode ser atribuída a diversos fatores biológicos e ambientais que influenciam o crescimento, mortalidade e subsequente sobrevivência em um determinado ano (Diop *et al.* 2007).

Nenhum modelo pode ser considerado um ‘modelo real’, capaz de gerar dados biológicos como observados na natureza (Bancroft & Han 1977). Partindo desta premissa fundamental acredita-se que ‘realidade’ nas ciências biológicas tem em sua essência dimensão infinita e, portanto, realidade completa não pode ser revelada apenas com amostras finitas e uma modelagem destas amostras (Burnham & Anderson 2002).

Normalmente, é um erro acreditar que possa existir um ‘modelo real’ simples na área das ciências biológicas, e que durante a análise dos dados, esse modelo possa ser descoberto e seus parâmetros estimados. Um modelo é uma simplificação, uma aproximação da realidade e portanto não vai refletir toda a realidade; o aumento da quantidade de informação possibilita que se busque a realidade, mas nunca realmente alcançá-la (Burnham & Anderson 2002). Taub (1993) sugere que um debate improdutivo sobre ‘modelos reais’ pode ser evitado pelo simples reconhecimento de que um modelo não é verdadeiro por definição. E ainda, deLeeuw (1988) diz que a realidade é vaga, portanto, a modelagem a análise de dados nos mostra as inferências que os dados em questão suportam, não o que a realidade pode ser (White *et al.* 1982). Entretanto, seguindo Box (1976) citou que “Todos os modelos são errados, mas alguns são úteis”, temos que apesar de os sistemas biológicos serem complexos, com diversos efeitos menores, interações, heterogeneidade e covariáveis individuais e do ambiente, as quais a maioria permanece desconhecida para a ciência, espera-se apenas que se possa desenvolver um modelo que forneça uma boa aproximação aos dados disponíveis.

Ao usar alguns métodos de seleção de modelo, assume-se que os modelos candidatos possam conter o ‘modelo real’ que gerou os dados. Muitas vezes o pesquisador busca por simplificar uma representação da realidade para alcançar

um entendimento dos aspectos dominantes sobre o sistema em estudo.

380 Burnham & Anderson (2002) dizem acreditar que existe uma pirâmide de efeitos em muitos sistemas biológicos, ou seja, normalmente há alguns efeitos maiores e importantes, seguidos por muitos efeitos menores e finalmente seguidos por uma infinidade de ainda menores efeitos. Estes efeitos podem vir a ser desvendados conforme aumenta-se a quantidade de informação. Os efeitos

385 principais, dominantes, podem ser revelados facilmente e justificados, até mesmo utilizando análises simples e de baixo poder de explicabilidade, enquanto que os efeitos menores podem ser mais difíceis de se detectar. Os ainda menores efeitos podem ser somente detectados em amostras realmente grandes, alguns podem até mesmo nunca serem revelados. Eventos raros

390 podem ter efeitos massivos podendo ser muito importantes para o sistema mas são complicados de serem estudados. Os modelos devem ser relacionados com a quantidade de informação disponível. Bancos de dados pequenos vão suportar modelos simples com poucos parâmetros enquanto longas séries temporais e maior volume de dados fornecerão, se necessário, modelos mais complexos

395 (Burnham & Anderson 2002).

O principal objetivo em modelar dados empíricos é entender a estrutura, processo ou sistema biológico em questão (Burnham & Anderson 2002). Foi desenvolvida uma série de modelos prioritariamente candidatos para aprimorar a análise dos dados, selecionando os modelos que sejam mais adequados ao

400 que seria o 'melhor'.

O objetivo de um bom modelo é representar o processo que objetiva descrever na mais larga escala de variáveis possível sem que fique redundante (Venables & Dichmont 2004). A escolha de qual tipo de modelo utilizar é importante em toda pesquisa que tem como objetivo modelar estatisticamente um processo ou

405 evento, elucidando a relação entre variáveis - variáveis explicativas - e a influência que exercem sobre a variável de interesse - variável resposta. Envolve então a busca por um modelo que seja o mais simples e descreva da melhor forma os dados observados que surgem nas mais diversas áreas da ciência.

A abordagem escolhida no presente estudo para tentar aprimorar o

410 entendimento acerca da abundância de *F. paulensis* no ELP foi a o dos Modelos

Lineares Generalizados (*Generalized Linear Models – GLM*; McCullagh & Nelder 1989). Este termo tem origem nos trabalhos de Nelder & Wedderburn (1972) e McCullagh & Nelder (1989) que mostraram que se a distribuição da variável resposta Y for membro da família exponencial então a classe de modelos que conectam a expectativa de Y a uma combinação linear de variáveis $XT\beta$ podem ser tratados de forma unificada (Muller 2012).

De acordo com Turkman & Silva (2000), em linhas basais os modelos lineares generalizados são uma extensão do modelo linear clássico:

$$Y = Z\beta + \epsilon,$$

Onde Z é uma matriz de dimensão $n \times p$ de especificação do modelo (em geral a matriz de covariáveis, X com um primeiro vetor unitário), associada a um vetor $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_p)^T$ de parâmetros, e ϵ é um vetor de erros aleatórios com distribuição que se supõe $N_n(0, \sigma^2 I)$.

Estas hipóteses implicam que o valor esperado da variável resposta é uma função linear das covariáveis.

A extensão mencionada é feita em duas direções. Por um lado, a distribuição considerada não tem de ser normal, podendo ser qualquer distribuição da família exponencial (Poisson, Binomial negativa, Binomial, Gamma); por outro lado, embora se mantenha a estrutura de linearidade, a função que relaciona o valor esperado e o vetor de covariáveis pode ser qualquer função diferenciável.

Portanto, inserido no contexto apresentado, o presente estudo foi desenvolvido no intuito de ampliar o conhecimento acerca do camarão-rosa, *Farfantepenaeus paulensis*, e variáveis ambientais que influenciam em sua abundância e ocorrência no ELP, utilizando ferramentas ainda não implementadas para este fim e informações inéditas obtidas junto ao Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração- PELD e outras fontes de dados públicos, como Agência Nacional de Águas - ANA, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio e Administração Oceânica e Atmosférica Nacional dos Estados Unidos – NOAA.

2 Objetivos

2.1 Objetivos gerais

445 Utilizando uma série temporal de 16 anos, identificar fatores que influenciam significativamente a abundância de juvenis de *Farfantepenaeus paulensis*, e como esta e as demais variáveis se comportam durante este período no Estuário da Lagoa dos Patos.

450 2.2 Objetivos específicos

- Identificar variações interanuais na abundância e ocorrência da espécie,
- Determinar quais fatores abióticos e/ou bióticos que influenciam na variabilidade da abundância de *F. paulensis* no ELP.

455

3 Metodologia

O Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD (Sítio 8),
financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
– CNPq, possibilitou o desenvolvimento do presente estudo através do uso de
dados de abundância mensais, com esforço padronizado e informações sobre
variáveis ambientais (salinidade, temperatura e transparência da água) em locais
que cobrem grande parte da área ocupada pelo Estuário da Lagoa dos Patos.

As coletas ocorreram de agosto de 1996 a dezembro de 2013, em 5 pontos de
zonas rasas do ELP (Figura 5). Foi utilizada uma rede do tipo ‘coca’ de 9 metros
(13 mm de abertura na malha das asas e 5 mm nos 3 metros centrais), e 5
arrastos foram realizados por mês.

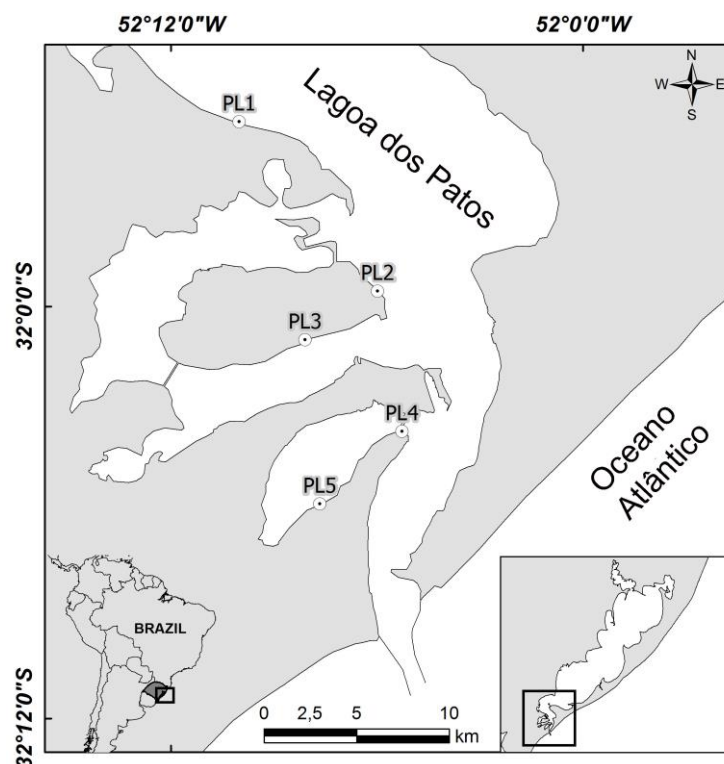


Figura 5: Localização dos cinco pontos de coleta no Estuário da Lagoa dos Patos.
Datum WGS84.

Em cada um dos 5 pontos de amostragem foram ainda obtidas a temperatura
(°C), salinidade e transparência (via disco de Secchi) da água. Os dados de

estatística pesqueira (CEPERG/ICMBio) do desembarque de Camarão-rosa em Rio Grande também foram utilizados na tentativa de comparar a abundância encontrada nas zonas rasas do ELP com a produção comercial em cada mês e cada safra. Adicionalmente a estas variáveis supracitadas, outras variáveis ambientais, com a mesma periodicidade e longevidade de série temporal, foram utilizadas no presente estudo, como a vazão dos três principais rios do sistema Patos-Mirim (Vaz et al 2006) obtido junto a Agência Nacional das Águas (ANA), temperatura do ar disponível no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP/INMET) e, junto a Administração Oceânica e Atmosférica Nacional dos Estados Unidos (NOAA) foram adquiridos os dados de velocidade e direção do vento e dos índices dos eventos climáticos El Niño Oscilação Sul (ENOS) e Modo Anular Sul (SAM).

Análise dos dados

O primeiro passo consistiu em identificar os modos de variação da série temporal: tendência linear, interanual, anual e subanual. Para tanto foi utilizado o protocolo de análise temporal proposto por Garcia e colaboradores (2012), o qual é uma adaptação do método de Coordenadas Principais de Matrizes Vizinhas (PCNM, Borcard & Legendre 2002).

Após esta elucidação, avaliou-se a defasagem relativa na resposta da abundância do camarão em relação a oscilação nas variáveis ambientais através do método da correlação-cruzada no *software* livre PAST (v. 3.0.1). A significância de cada defasagem foi avaliada por um test-*t* com $n-2$ graus de liberdade, onde n é o número de amostras (Legendre & Legendre 1998).

A partir da constatação da presença ou não de defasagens entre uma variável e a abundância de camarões foram geradas 'novas' variáveis considerando esta defasagem. Esta manobra se deu ao realinhar os dados originais da variável ambiental em questão em relação a abundância, com defasagem de tempo de ' k ' unidades, onde k representa o número de meses de defasagem (Moraes et al. 2012).

Finalmente, as mudanças de longo prazo na abundância e ocorrência de camarões- rosa e suas relações com as variáveis ambientais foram avaliadas com uso de Modelos Lineares Generalizados (GLM) no *software* livre R (RStudio Team 2012).

510 Nestes modelos utilizou-se a distribuição da família Gamma já que a distribuição de frequência dos dados de abundância foi distorcida e a variância próxima ao quadrado da média proporcionalmente (McCullagh & Nelder 1989). No intuito de garantir o pressuposto da distribuição de não haver valores iguais a zero (Zuur *et al.* 2009), a variável resposta considerada foi a média da abundância do
515 camarão nos cinco arrastos mensais, considerando os cinco pontos de amostragem, mais 10% da média total.

Para os modelos de frequência de ocorrência ao longo da série temporal, GLMs com distribuição da família Binomial foram gerados. Neste caso a frequência mensal nos cinco pontos de amostragem (nº de pontos com camarão/pontos
520 amostrados no mês) foi utilizada como variável resposta.

Para ambos os casos o Critério de Informação de Akaike – AIC (Akaike 1973) e o Pseudo R^2 (Dobson 2002) foram os métodos escolhidos para seleção dos modelos mais adequados aos dados fornecidos. Após a aplicação destes métodos, para distinguir os modelos, o teste do Chi-quadrado foi feito utilizando
525 a função '*anova()*' do *software* R.

4 Resultados

530 Como esperado para uma região subtropical, a abundância média de camarões flutuou sazonalmente, de forma marcada. Entretanto foram observados picos secundários para abundância e salinidade da água no mês de agosto, não obedecendo a oscilação natural da temperatura.

535 A análise de correlação de *Pearson* entre médias anuais das variáveis e abundância apresentou, de forma geral, baixa correlação entre as mesmas. As exceções foram: temperatura do ar com temperatura da água (0,67), vazão e salinidade com transparência da água (-0,71 e 0,66 respectivamente) e, naturalmente, vazão com salinidade (-0,85).

540 A maioria das variáveis apresentou padrão de oscilação igual (anual) ou menor (subanual) a um ano. No entanto, para vazão e transparência, há presença do componente de tendência linear, além do padrão anual, enquanto o índice do ENOS é mais estruturado pela oscilação interanual. Majoritariamente, as variáveis PCNM explicaram 83% da variação na abundância dos camarões a partir desta série temporal. A abundância se estrutura primariamente de modo
545 anual – 43% – mas também em variações sub e interanuais – 23 e 17% respectivamente.

A análise de correlação cruzada das variáveis ambientais em relação a abundância dos camarões indicou a existência de defasagem na resposta da abundância para as seguintes variáveis: temperatura, salinidade e transparência
550 da água, vazão, ENOS, SAM, temperatura do ar e vento. Em sua maioria sendo uma defasagem de um mês.

Os modelos definidos a partir dos critérios escolhidos apresentaram AIC em torno de 105 e Pseudo R^2 maior que 90%. O modelo 'A' apresentou uma maior contribuição da variável 'ocorrência no estuário' (nº de pontos em que ocorreu
555 camarão em determinado mês) na deviança explicada. O modelo 'B', com anos e meses como variáveis categóricas, indicou que a temperatura do ar e da água, e a interação da temperatura com a vazão são variáveis significativas ($p < 0,05$) para explicar a variação da abundância dos camarões. Ainda, o índice do SAM

também explicou uma parte importante da abundância ($p = 0,09$) para o modelo

560 'A' e significativo ($p < 0,05$) no modelo 'B'.

O modelo definido para a análise de frequência dos camarões apontou uma tendência de queda na ocorrência deste recurso nas zonas rasas do ELP ao longo da série temporal, apesar deste coeficiente não ter sido estatisticamente significativo. Com AIC de 428 e Pseudo R^2 de 55%, a ocorrência de camarões é

565 majoritariamente explicada pela abundância no ELP e pela vazão, e secundariamente pela temperatura do ar.

5 Discussão Geral

570 O camarão-rosa, *Farfantepenaeus paulensis*, é uma espécie marinha que utiliza
estuários ao longo da costa Sudeste e Sul, semelhantes ao da Lagoa dos Patos,
como áreas importantes de assentamento. Como outras espécies que utilizam
áreas estuarinas em alguma parte do seu ciclo de vida, a entrada de recrutas de
camarão-rosa e sua perseverança no ELP, são geridos por condições
575 ambientais (Garcia *et al.*, 2003, Moraes *et al.* 2012). Estudos anteriores (Castello
& Möller 1978, Möller *et al.* 2009, Garcia *et al.* 2012, Pereira & D'Incao 2012b)
apontam que a abundância e a ocorrência de camarão no ELP apresentam
periodicidade anual, típica de ambientes temperados e subtropicais, associada
com a oscilação de temperatura (Muller *et al.* 2007). Durante os períodos mais
580 quentes, temperatura elevada combinada a maior duração do dia e da
abundância de nutrientes na zona de mistura, contribuem no aumento da
produtividade dos sistemas subtropicais e temperados. Dentro deste contexto, o
aumento da oferta de alimentos aumenta a sobrevivência dos recrutas de várias
espécies marinhas que chegam ao estuário durante o verão, como o camarão-
585 rosa.

Como dito, o ponto de isosmótico de *F. paulensis* foi determinado em torno de
24°C para juvenis (Wasielesky Jr 2000) e, em outra espécie do gênero
Farfantepenaeus, notou-se que há correlação negativa entre temperatura e
salinidade (Chen & Li 1994), indicando que as atividades metabólicas do
590 camarão em *menores* temperaturas, *maior* deve ser a salinidade. Este cenário é
exatamente o oposto do que é observado no ELP, no qual o estuário é regido,
principalmente, por água doce no inverno e salgada no verão, devido à variação
sazonal no Sul do Brasil, de elevada precipitação nos meses de inverno e
estação seca no verão (Muller *et al.* 2009). Somado a este fato, as pós-larvas de
595 *F. paulensis* não toleram temperaturas abaixo de 8°C por muitas horas (Soares
et al. 2012). A sinergia entre salinidade e temperatura (Tsuzuki *et al.* 2000) pode
limitar ainda mais as condições ideais para a sobrevivência e bom
desenvolvimento dos juvenis de *F. paulensis* no ELP. Baixas temperaturas
combinadas com a forte influência de água doce durante os períodos chuvosos
600 pode ser o principal sistema de regulação para os camarões que sobrevivem
durante todo o inverno e, às vezes, incomuns primaveras mais frias. Quando as

condições são nocivas para os juvenis do camarão-rosa, eles podem se enterrar no sedimento em uma tentativa de diminuir suas atividades metabólicas e assim reduzir a necessidade de energia (Dall *et al.* 1990).

605 Como em outros locais do mundo, as pescarias de peneídeos ocorrem em vários habitats no decorrer do ciclo de vida deste recurso, sendo alvo de pesca artesanal em habitats costeiros e da pesca industrial nos habitats marinhos (Gillett 2008). A tendência de queda em todo o mundo tem sido observada nesta pesca (FAO 2012) e não é diferente em águas brasileiras (D'Incao *et al.* 2002, 610 Pereira & D'Incao 2012b).

O estudo aqui desenvolvido apontou tendência de queda na frequência de ocorrência através de um GLM. Embora não tenha sido estatisticamente significativo, provavelmente devido à elevada variação interanual. Também tornou-se clara a ocorrência do camarão-rosa nas diferentes áreas do estuário 615 significativamente dependente de sua abundância, aumentando a probabilidade de encontrar um camarão com o aumento em sua abundância total.

Outra informação interessante é ocorrência relativamente alta de camarão assim como uma alta salinidade da água nos meses de agosto, último mês do inverno austral, quando comparadas aos meses anteriores e seguintes ao longo da série 620 histórica. Este fato provavelmente ocorre devido ao fechamento do inverno, aumentando a temperatura e salinidade da água, e a diminuição no escoamento de água doce no período, gerando uma melhor condição para camarões que ocasionalmente não puderam voltar ao mar antes da chegada do inverno e ficaram dentro do ELP. Esta melhor condição ambiental pode ser um gatilho para 625 o metabolismo dos juvenis se desenterrarem do sedimento. Pescadores da Lagoa dos Patos têm relatado este evento como "Safrinha". Além disso, eles dizem que a safrinha apresenta relativamente boa produção em alguns anos, especialmente quando ocorrem agostos mais quentes.

Em outros estuários da costa brasileira, todos em latitudes tropicais, o 630 movimento das marés apresenta forte influência na renovação da água e no movimento de organismos de fora deste sistema para seu interior (Kjerve1994). No entanto, no estuário da Lagoa dos Patos esta dinâmica depende principalmente do escoamento da bacia hidrográfica e dos ventos de quadrante

sul (Castello & Möller 1978, Garcia 1996, Möller *et al.* 2007). Ovos de
635 *F. paulensis* eclodem em Santa Catarina a partir de posturas do estoque adulto
de forma contínua ao longo do ano (D'Incao 1999), mas as larvas só podem
chegar ao ELP enquanto as correntes costeiras são favoráveis, processo este
que se inicia em meados de setembro e se mantém até o início do Outono austral
(Piola *et al.* 2000, Möller *et al.* 2008).

640 A influência do SAM na precipitação sobre a região estudada varia de acordo
com a época, sendo mais forte durante o final da primavera austral (Vasconcellos
& Cavalcanti 2010). Na Primavera e no Outono a fase positiva (negativa) do SAM
resulta em redução (aumento) na precipitação em associação com uma
anomalia anticiclônica (ciclônica) sobre a porção sul do continente americano e
645 enfraquecido (forte) transporte de umidade para a região (Silvestri & Vera 2003;
Mendes *et al.* 2010).

A forte influência do regime da vazão de água doce (Castello & Möller 1978,
Pereira & D'Incao 2012), com correlação negativa em relação a salinidade da
água na área estudada apontada pelos modelos, é principalmente importante em
650 anos com anomalias positivas de chuva, como anos de eventos extremos de
ENSO (Tadeschi *et al.* 2012). A interação entre essas duas variáveis, vazão de
água doce e salinidade, mostra claramente que sob influência de baixa vazão de
água doce a ocorrência de valores elevados na abundância de camarão é mais
provável em temperaturas mais elevadas - padrão habitual de verão. Já para
655 vazão de água doce além de $2.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a temperatura não exerce tanto efeito
sobre a abundância de camarão - padrão de inverno. A mortalidade aumenta em
anos de El Niño e, como a mortalidade por pesca se mantém quase a mesma, a
primeira causa fica ainda mais evidente. Se tanto a mortalidade natural e de
pesca são elevados, podendo ocasionar no aumento da superexploração do
660 estoque. Portanto, sob o ponto de vista de gestão adaptativa é interessante
equilibrar a mortalidade por pesca, reduzindo-a, em anos que espera-se ocorrer
grande mortalidade natural, como anos de El Niño extremo.

Como mencionado, El Niño/La Niña é um modulador importante da abundância
do camarão-rosa no ELP, controlando a entrada e permanência dos recrutas no
665 estuário. No entanto, esse fenômeno é ameno ao longo do tempo e estudos com

outros grupos taxonômicos mostram que as condições pré-perturbação retornam, logo que as chuvas promovidas pelo El Niño cessam na região. Portanto, outros fatores são importantes para justificar a variabilidade inter-anual de camarão e, principalmente, o seu declínio percebido ao longo do tempo.

670 Os anos de 1972-1973, 1982-1983, 1991-1994 e 1997-1998 tiveram ocorrência de forte El Niño. É importante salientar que as safras comerciais do camarão-rosa no ELP, nos anos 1973, 83, 94 e 98 foram historicamente umas das piores produções registradas desde 1970 (D'Incao *et al.* 2002). Apesar da associação com anos de anomalias positivas de precipitação ter surgido naturalmente nas
675 discussões de estudos pretéritos (Castello & Möller 1978, D'Incao 1991 e 1995, e Pereira & D'Incao 2012), produções comerciais muito baixas também foram registradas em anos de fase negativa do ENSO - conhecida como La Niña.

Se o aumento esperado na frequência de eventos extremos de ENSO (Cai *et al.* 2014) e chuva (Milly *et al.* 2005) vier a ocorrer, pode haver uma maior
680 variabilidade na produção de camarão comercial e sua abundância nas zonas rasas do ELP. Especialmente quando 'super' El Niño ocorre, como nos eventos de 1982-83 e 1997-98, uma vez que as anomalias de chuva positivas são registradas durante este evento (Tadeschi *et al.* 2012), lembrando que a vazão de água doce é a principal variável ambiental que influenciam na abundância do
685 camarão dentro do estuário.

ENSO e outros eventos climáticos extremos ainda são incomuns. Apesar de afetarem profundamente as populações e a composição das comunidades são muito difíceis de estudar, havendo pouca Informação disponível sobre esta interação. Os modelos que tentam explicar como estes eventos atuam devem se
690 basear em grande quantidade de dados e informações disponíveis. Normalmente, pequenos conjuntos de dados suportam, de forma adequada, apenas modelos simples com poucos parâmetros, enquanto os conjuntos de dados mais abrangentes suportarão, se necessário, modelos mais complexos (Burnham & Anderson, 2002).

695 Além dos impactos da pesca, *F. paulensis* está sendo ameaçado pela degradação de habitats que ocorreram em sistemas estuarinos (Marangoni & Costa 2012). A perda de áreas de marismas e pradarias de algas marinhas está

positivamente relacionada com a baixa abundância de camarões (Riedel *et al.* 2008). Especialmente em condições de El Niño, provocando aumento da área inundada e turbidez da água, uma área inferior coberta por áreas úmidas ocorre no ELP (Copertino 2010, Marangoni & Costa 2012), representando ainda mais razões para baixa abundância de camarão rosa por afetar a oferta de abrigo e alimento fornecida pelos marismas e pradarias. Além disso, essa perda de habitat pode influenciar o recrutamento (Loneragan *et al.* 2013). Embora a abundância marismas seja mais influenciada pela variabilidade ambiental (por exemplo, descarga fluvial, salinidade), as atividades humanas também afetam negativamente sua biomassa – por exemplo, dragagens, poluição, pescaria predatória (Odebrecht *et al.* 2009) – o que sugere que políticas de gestão para o camarão-rosa também deve considerar a proteção das áreas de marismas e pradarias.

Mesmo com a variabilidade na abundância de camarão ao longo dos anos, o estuário da Lagoa dos Patos ainda é um grande produtor de camarão-rosa no Brasil (D'Incao *et al.* 2002), e esta condição pode ser devido ao seu grande habitat que proporciona boa condição as pós-larvas e juvenis quando comparado a outros estuários brasileiros (Kjerfve 1994, Chagas-Soares *et al.* 1995): águas rasas extensas dentro de um berçário. A condição do ELP como provedor ou sumidouro para a população *F. paulensis* ainda é desconhecida, mas como passo inicial em direção a proteção desta espécie, sé fundamental que seu habitat seja preservado.

Concluimos então que apesar da variação anual na abundância de camarão-rosa nas águas rasas do ELP, majoritariamente ela está sob a influência do escoamento de água doce da bacia hidrográfica. Eventos extremos de El Niño/La Niña podem mudar o estuário de uma forma tão drástica que impossibilita/favorece as larvas de conseguir entrar no sistema de estuário, por causa das forças de escoamento, ou encontrar uma condição mínima para sobreviver e desenvolver.

Ainda, os modelos não apontam uma relação clara entre a abundância do camarão-rosa e a variação do índice de ENSO, Nino3. Outros índices deste evento climático podem apresentar resposta mais clara, como apontado pelo

730 SAM. A tendência de queda mostrada pelo GLM de frequência deve ser tomada
como um alerta para as autoridades de administração de recursos pesqueiros.
Apesar de um conjunto de dados de séries temporais de 16 anos já ser uma
fonte notável de informações, eventos de El Niño/La Niña extremos ainda são
raros e a área de estudo está localizada em uma região de transição, sob
735 condições climáticas muito instáveis. A atividade de monitoramento do projeto é
necessária na tentativa de elucidar esta variação inexplicada restante em relação
a abundância do camarão-rosa e sua ocorrência na Lagoa dos Patos.

O artigo em anexo (Anexo I) é parte fundamental no total entendimento do
presente trabalho e fruto principal da dissertação elaborada.

740

6 Bibliografia

Akaike, H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. *In: Petrov, B.N. & Csàki, F. (Eds.). Second International Symposium on Inference Theory*, Budapest, 267-281.

- 745 Bancroft TA & Han CP. 1977. Inference based on conditional specification: A note and a bibliography. *International Statistical Review*, 45 (1977), pp. 117–127

Borcard D & Legendre P. 2002. All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbor matrices. *Ecol Model* 153: 51-68.

- 750 Boschi, E.E. 2000. Species of decapod crustaceans and their distribution in the marine zoogeographic provinces. *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero* 13, 7-136.

Box, GEP. 1976. Science and statistics. *Journal of the American Statistical Association* 71: 791–799.

- 755 Bruno, J.F. & Bertness, M.D. 2001. Habitat modification and facilitation in benthic marine communities. *In: Bertness, M.D. et al. (eds) Marine community ecology*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, pp.201-220.

- 760 Brito, R.; Chimal, M. & Rosas, C. 2000. Effect of salinity in survival, growth, and osmotic capacity of early juveniles of *Farfantepenaeus brasiliensis* (Decapoda: Penaeidae). *J. exp. Mar. Biol. Ecol.* 244: 253-263.

Burnham, K.P. & Anderson, D.R. 2002. Model Selection and Multimodel Inference: a practical information-theoretic approach. Segunda edição, Springer, 488 p.

- 765 Cai, W.; Borlace, S.; Lengaigne, M.; Rensch, P.; Collins, M.; Vecchi, G.; Timmermann, A.; Santoso, A.; McPhaden, M.J.; Wu, L.; England, M.H.; Wang, G.; Guilyardi & Jin, F. 2014. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change* 4: 111-116.

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

- 770 Castelão, RM & Möller, OO. 2003. Sobre a circulação tridimensional forçada por ventos na Lagoa dos Patos. *Atlântica* 25(2):91-106.

Castello, J.P. e O.O. Möller. 1977. Sobre as condições oceanográficas no Rio grande do Sul. *Atlântica* 2: 25-110.

- Castello, J.P. & Möller, O.O. 1978. On the relationship between rainfall and shrimp production in the estuary of the Patos Lagoon (Rio Grande do Sul, Brazil). *Atlântica* 3: 67-74.
- Castro, B.M.; Lorenzzetti, J.A.; Silveira, I.C.A. & Miranda, L.B. 2006. Estrutura termohalina e circulação na região entre o cabo São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski & Madureira. (eds.) O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil. Ed. da Universidade de São Paulo, 11-120 pp.
- Chen, J. & Lin, J. 1994. Responses of osmotic and chloride concentrations of *Penaeus chinensis* Osbeck subadults acclimated to different salinity and temperature levels. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 179, 267-278 pp.
- Criales, M.M.; Zink, I.C.; Browder, J.A. & Jackson, T.L. 2011. The effect of acclimation salinity and age on the salinity tolerance of pink shrimp postlarvae. *Journal of Experimental Marine Biology*, 409:283-289.
- Dall, W.; Hill, B.J.; Rothlisberg, P.C. & Sharples, D.J. 1990. The biology of the Penaeidae. In: Blaxter, J.H.S. & Southward (eds.), *Advances in Marine Biology*, Academic Press, vol. 27: 1-489 pp.
- deLeeuw, J. 1988. Model selection in multinomial experiments. 118–138. In: Dijkstra T.K. (ed.) *On model uncertainty and its statistical implications*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag.
- Díaz-Ochoa, J.A. & Quiñones, R.A. 2008. Relationship of precipitation, freshwater input, and sea level height with the abundance of the white shrimp (*Litopenaeus occidentalis*; Street, 1871) off Buenaventura, eastern tropical Pacific. *Fisheries Research* 92, 148-161 pp.
- D'Incao, F. 1991. *Penaeus paulensis*: pesca e biologia na Lagoa dos Patos, RS.. *Atlântica* 13(1):159-169.
- D'Incao, F. 1995. Taxonomia, padrões distribucionais e ecológicos dos Dendrobranchiata (Crustacea Decapoda) do Brasil e Atlântico Ocidental. Tese de Doutorado. Dep. de Zoologia. Univ. Fed. do Paraná, Curitiba, PR. 365p.
- D'Incao, F., Valentini, H., Rodrigues, L. F. 2002. Avaliação da pesca de camarões nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. 1965-1999. *Atlântica*, 24, n.2. 49-62.
- Diop, H.; Keithly Jr., W.; Kazmierczak Jr. R.F. & Shaw, R.F. 2007. Predicting the abundance of white shrimp (*Litopenaeus setiferus*) from environmental parameters and previous life stages. *Fisheries Research* 86, 31-41 pp.
- Dobson, A.J. 2002. *An Introduction to Generalized Linear Models*. Chapman and Hall, London, 221p.

- 810 EJF, 2003. *Squandering the Seas: How shrimp trawling is threatening ecological integrity and food security around the world?* Environmental Justice Foundation. 48.
- FAO. 2012. *The State of World Fisheries and Aquaculture*. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma. 209.
- 815 Garcia, AM & Vieira, JP. 2001. O aumento da diversidade de peixes no estuário da Lagoa dos Patos durante o episódio El Niño 1997-1998. *Atlântica*, Rio Grande, v. 23, p. 85-96.
- Garcia, A.M.; Vieira, J.P.; Winemiller, K.O. & Paes, E.T. 2012. Factoring scales of spatial and temporal variation in fish abundance in a subtropical estuary.
- 820 *Marine Ecology Progress Series* 461:121-135.
- Gillett, R. 2008. Global study of shrimp fisheries. FAO Fisheries Technical Paper 475, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 331 pp.
- Grimm, A.M.; Ferraz, S.E.T. & Gomes, J. 1998. Precipitation anomalies in
- 825 Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, 11: 2863-2880.
- Grimm AM, & Tedeschi RG. 2009. ENSO and extreme rainfall events in South America. *J. Climate* 22(7): 1589-1609.
- Haimovici, M.; Vasconcellos, M.; Kalikoski, D.C.; Abdalah, P.; Castello, J.P. &
- 830 Hellebrandt, D. 2006. Diagnóstico da pesca no litoral do estado do rio grande do sul. In: Isaac, V.J.; Martins, A.S.; Haimovici, M. & Andriguetto, J.M. (Eds). A pesca marinha e estuarine do Brasil no início do século XXI: recursos, tecnologias, aspectos socioeconômicos e institucionais. Universidade Federal do Pará, 188 p.
- 835 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. 138f.
- Kjerfve, B. 1986. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: Wolfe, D.A. (ed.) *Estuarine variability*. Academic press, Nova York, pp. 63-81.
- 840 Kjerfve B. 1994. Coastal lagoons. In: *Coastal Lagoon Processes*, Kjerfve B (Ed), Elsevier.
- Kumlu M. & Jones DA. 1995. Salinity tolerance of hatchery-reared postlarvae of *Penaeus indicus* H. Milne Edwards originating from India. *Aquaculture* 130:
- 845 287-296.

- Kumlu M, Kumlu M & Turkmen S. 2010. Combined effect of temperature and salinity on critical thermal minima of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Crustacea: Penaeidae). *Journal of Thermal Biology* 35:302-304.
- 850 Legendre P & Legendre L. 1998. Numerical ecology, 2nd Edn, Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Lenihan, H.S. & Micheli, F. 2001. Soft-sediment communities. *In*: Bertness, M.D. *et al.* (eds) Marine community ecology. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, pp. 253-287.
- 855 McCullagh, P & Nelder JA. 1989. *Generalized Linear Models*. Chapman and Hall: London.
- McGraw WJ, Davis DA, Teichert-Coddington D, Rouse DB. 2002. Acclimation of *Litopenaeus vannamei* postlarvae to low salinity: influence of age, salinity endpoint, and rate of salinity reduction. *J. World Aquac. Soc.* 33, 78–84.
- 860 Möller, O.O.; Castello, J.P. & Vaz, A.C. 2009. The effect of river discharge and winds on the interannual variability of the pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* production in Patos Lagoon. *Estuarine and Coasts* 32:787-796.
- Möller, O.O. & Fernandes, E. 2010. Hidrologia e hidrodinâmica. *In*: Seeliger, U. & Odebrecht, C. (eds.) O estuário da Lagoa dos Patos: Um século de transformações. FURG, 18-27 pp.
- 865 Möller, OO; Piola, AR; Freitas, ACF & Campos, EJD. 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Continental Shelf Research* 28: 1607-1624.
- 870 Moraes, L.E.; Paes, E.; Garcia, A.; Möller, O. & Vieira. P. 2012. Delayed response of fish abundance to environmental changes: a novel multivariate time-lag approach. *Marine Ecology Progress Series* 456:159-168.
- Müller, M. 2012. Generalized Linear Models. *In*: Gentle JE, Härdle, WK, Mori, Y (Eds.): *Handbook of Computational Statistics: Concepts and Methods*, 2nd ed., Springer-Verlag.
- 875 Nelder JA & Wedderburn RWM. 1972. Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 135(3):370–384.
- Pereira, N. & D'Incao, F. 2012. Precipitação pluvial na bacia hidrográfica da Lagoa dos Patos, no período de 1964 a 2007 e suas associações com as safras de camarão-rosa. *Atlântica*, 34(2):145-156.
- 880 Pérez-Castañeda R & Defeo O. 2004. Spatial distribution and structure along ecological gradients: penaeid shrimps in a tropical estuarine habitat of Mexico. *Marine Ecology Progress Series* 273:173-185.

- 885 Pérez-Castañeda, R & Defeo O. 2005. Growth and mortality of transient shrimp populations (*Farfantepenaeus* spp.) in a coastal lagoon of Mexico: role of the environment and density-dependence. *ICES Journal of Marine Science*, 62:14-24.
- Pérez-Farfante, I. 1967. A new species and two new subspecies of shrimp of the genus *Penaeus* from the western Atlantic. *Proc. Biol. Soc. Wash.* 80, 83-100 pp.
- 890 Pérez-Farfante, I & Kensley, B. 1997. Penaeid and Sergestoid shrimps and prawns of the World. Keys and diagnosis for the families and genera. *Mém. Mus. Natn. Hist. Nat.* 175, 1-233 pp.
- Philander, S.G.H. 1985. El Niño and La Niña. *Journal of the atmospheric sciences*, vol. 42, nº 23, 2652-2662 pp.
- 895 Piola AR, Campos EJD, Möller OO, Charo M, Martinez CM. 2000. Subtropical shelf front off eastern South America. *Journal of Geophysical Research* 105, 6566-6578.
- Pisciottano, G.; Díaz, A.; Cazes, G. & Mechoso, C.R. 1994. El Niño-Southern Oscillation impact on rainfall in Uruguay. *Journal of Climate* 7: 1286-1302.
- 900 Preto AL, Pissetti TL, Wasielesky Jr W, Poersch LH, Cavalli RO. 2009. Production of live bait-shrimp (*Farfantepenaeus paulensis*) in cages at varying stocking densities. *B. Inst. Pesca* 35(1):39-45.
- 905 Re AD, Díaz F, Ponce-Rivas E, Giffard I, Muños-Marquez M, Sigala-Andrade H. 2012. Combined effect of temperature and salinity on the thermotolerance and osmotic pressure of White shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Journal of Thermal Biology* 37:413-418.
- RStudio Team. 2013. RStudio: Integrated development environment for R (Versão 0.98.49) [Computer software]. Boston, MA.
- 910 Saoud I & Davis DA. 2003. Salinity Tolerance of Brown Shrimp *Farfantepenaeus aztecus* as it relates to Postlarval and Juvenile Survival, Distribution and Growth in Estuaries. *Estuaries* 26 (4A): 970-974.
- Schroeder, F.A. & Castello, J.P. 2010. An essay on the potential effects of climate change on fisheries in Patos Lagoon, Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(2):320-330.
- 915 Silva, M.V.; Campos, C.R.J. & Pinto, L.B. 2014. Regime hídrico do RS durante os eventos ENOS dos anos 1987 e 1999. *Ciência e Natura* 36: 39-51.

- Soares, R.; Peixoto, S.; Bianchini, A.; Cavalli, R. & Wasielesky, W. 2012. Efeito da temperatura na sobrevivência, consumo alimentar e crescimento de pós-larvas do camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis*. *Atlântica* 34(1):23-30.
- 920 Staples, D.J. & Vance, D.J. 1986. Emigration of juvenile banana prawns *Penaeus merguensis* from mangrove estuary and recruitment to offshore areas in the wet-dry tropics of the Gulf of Carpentaria, Australia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* vol 27, 239-252 pp.
- Taub, FB. 1993. Book review: Estimating ecological risks. *Ecology* 74:1290-1291.
- 925 Tedeschi RG, Cavalcanti IFA & Grimm AM. 2012. Influences of two types of ENSO on South American precipitation. *International Journal of Climatology*.
- TSUZUKI, MY; CAVALLI, RO & BIANCHINI, A. 2000. The effects of temperature, age, and acclimation to salinity on the survival of *Farfantepenaeus paulensis* postlarvae. *Journal of the world aquaculture society*, vol. 31(3), 459-468 pp.
- 930 Tsuzuki, MY; Cavalli, RO & Bianchini, A. 2003. Effect of salinity on survival, growth, and oxygen consumption of the pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* (Pérez-Farfante 1967).
- Turkman A & Silva G. 2000. Modelos Lineares Generalizados – da teoria à prática. Disponível em: <http://docentes.deio.fc.ul.pt/maturkman/publications.htm>
- 935 Vaz, AC; Möller, OO & Almeida, TL. 2006. Análise quantitativa da descarga dos rios e afluentes da Lagoa dos Patos. *Atlântica* 28(1), 13-23 pp.
- VENABLES, WN & DICHMONT, CM. 2004. GLMs, GAMs and GLMMs: and overview of theory for applications in fisheries research. *Fisheries Research* 70, 319-337 pp.
- 940 Vooren, CM; Klippel, S; Lamónaca, AF. & Galina, A.B. 2005. A plataforma sul e os métodos de trabalho. In: Vooren & Klippel (Eds.) *Ações para a conservação de tubarões e raias do sul do Brasil*. Porto Alegre: Igaré. 262p.
- Wasielesky Jr, W. 2000. Cultivo de juvenis do camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis* (Decapoda, Penaeidae) no estuário da Lagoa dos Patos: Efeitos de parâmetros ambientais e manejo do cultivo. Tese de doutorado. FURG, 199 p.
- 945 White GC, Anderson DR, Burnham KP & Otis DL. 1982. *Capture-recapture and removal methods for sampling closed populations*. Los Alamos National Laboratory, LA-8787-NERP.
- 950 Zuur AF, EN Ieno, NJ Walker, AA Saveliev & GM Smith. 2009. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Berlin, Spring. 574p.

955 **7 ANEXO I**

Artigo:

Temporal evaluation of pink shrimp's (*Farfantepenaeus paulensis*
Pérez-Farfante 1967) frequency and abundance in a subtropical
960 estuary: 1996 to 2012 in the Patos Lagoon, Brazil.

Temporal evaluation of pink shrimp's juveniles (*Farfantepenaeus paulensis* Pérez-Farfante 1967) frequency and abundance in a subtropical estuary: 1996 to 2012 in the Patos Lagoon, Brazil.

Pedro Puciarelli, Leonardo Moraes, Eurico Noletto-Filho, João Vieira & Luiz Felipe Dumont.

1 - Laboratório de Crustáceos Decápodos – FURG / puciarelli@gmail.com

2 - Laboratório de Ictiologia – UEFS

3 - Laboratório de Ictiologia – FURG

Abstract

The pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* has been the object of study of several investigations, due to its social and economic importance in Southeastern and Southern regions of Brazil. Its production has been declining since the 1970s, affecting more than 3000 fishermen, which rely directly on this resource. From a set of time series analysis, the present study aims to evaluate the long-term (1997-2012) trends in pink-shrimp juveniles' abundance and occurrence at Patos Lagoon estuary, by investigating the environmental factors driving shrimp's abundance/occurrence changes during this period. The cross-correlation analysis indicated a time-lag response of around one month, between most of the environmental parameters analyzed and the juveniles' abundance. The overall shrimp abundance is ruled by the freshwater runoff, which shows large interannual variation. The two abundance models explained 91 and 69% of the deviance in the data, respectively, suggesting that a synergy between freshwater flow and air temperature is also a significant variable, especially during extreme climatic events, such as ENSO and/or SAM and may explain the high or low juveniles' abundances registered since the beginning of last century. The frequency model explained 55% of the deviance and shows that the occurrence of pink shrimp in Patos Lagoon estuary is decreasing over time.

Introduction

Farfantepenaeus paulensis (Pérez-Farfante, 1967) is a penaeid shrimp, (Decapoda) which distribution ranges from Argentina (38° S) to Brazil (16° S) (D'Incao1999). Two genetically differentiated stocks are recognized, with one spawning

ground in the Southeastern coast and the other in the Southern coast of Brazil (Gusmão
35 *et al.* 2005).

Pink shrimp presents a complex life cycle. This species displays a type 2 life
cycle, which the post-larvae and juveniles depend on estuarine areas to develop before
returning to the continental shelf and complete their life cycle reproducing as adults,
characteristic of most *Penaeus* species (Dall *et al.* 1990). The reproduction results in
40 benthic eggs off Santa Catarina coast (Southern Brazil) around depths from 40 to 80
meters. The eggs hatch into planktonic larvae, which are transported southwards and
settle inside several estuaries along the coast. After a period of four to five months of
growth inside the estuary, a seaward migration, of sub adults back to the continental
shelf, happens to complete the cycle (D’Incao 1999). Therefore, the management
45 strategy adopted by the government agencies (Brasil 2008) is to establish a closed
season (fishery is allowed from February 1st to May, 30th) along the south and
southeastern States coast, as an attempt to assure the escape, of at least, a fraction of
juveniles back to the ocean.

Similarly to several penaeid fisheries worldwide, the knowledge of what are the
50 keyfactors regulating the recruitment success and its variation over time is vital to support
management strategies. Several atmospheric, oceanographic and biological parameters
have been suggested as controlling the recruitment of pink shrimp, including rainfall,
ENSO, wind direction and estuarine dynamics (Castelo & Möller 1978, D’Incao 1991;
Möller *et al.* 2009 and Pereira & D’Incao 2012b). However, one of the main sources of
55 misleading information in previous investigations is that this previous investigations were
based on landing statistics as an abundance index. The landing statistics are known to
present low confidence level for many artisanal fisheries worldwide, since there are
numerous landing sites that are hardly covered by the government, as well as an
unknown portion of the production that is sold informally. Additionally, the fishing effort
60 is unknown, which also hinders the abundance estimation (Pauly *et al.* 2013). The
knowledge about species distribution and its relation with environmental data is a central
issue in ecology investigations. Usually, a strong selection takes place for animals to
occupy their niche that supply essential resources, such as shelter and food.

The study area, Patos Lagoon estuary, represents the largest nursery ground for
65 this species in South America, accounting for more than 40% of the total shrimp
production in Brazil (D’Incao *et al.*, 2002). Located in southern subtropical Brazil, is the
largest choked lagoon in the world (Kjerfve 1994). Unlike many estuaries worldwide,
this ecosystem depends on the wind stress and freshwater runoff to regulate salty water

penetration and freshwater discharge (Möller *et al.* 2007), as well as the associated fauna resulting from this dynamic (Garcia *et al.* 2003). Depending on atmospheric and oceanographic conditions, the marine water influence may be restricted to estuary mouth (32°10' S) or may reach the upper estuary (31°40' S). The connection from the sea to the lagoon is a 20 km long and 700 m wide channel (Möller *et al.* 2007). Wind condition is crucial to the water dynamic. Northeast (NE) winds help the salty water going inside and southwest (SW) winds trip the salty water out of the estuary area. Most of the estuary is composed by shallow waters, where occurs marine seagrasses, mainly *Ruppia maritima* (Copertino 2010). On the margins, there are saltmarsh areas dominated by *Spartina alterniflora* and *Spartina densiflora* (Marangoni & Costa 2012). As an important habitat to penaeid shrimps post larvae (Lonegran *et al.* 2013), anthropogenic habitat changes, that started with the beginning of colonization in the region (Calliari *et al.* 2010) may cause major modifications on the abundance of species that depends direct or indirectly on it (Christie *et al.* 2009). The expansion of both sides of the jetties, in 2010, is likewise a concern for fisheries resources management (Schroeder & Castello 2010) because of the limnification process that can intensify (Fernandes *et al.* 2005).

Several studies used time series and controlled trials to improve the knowledge on how commercial penaeid shrimp abundances behave over time (Staples & Vance 1985, Grant *et al.* 1988, Diop *et al.* 2007, Garcia *et al.* 2007), and under particular conditions of temperature (Soares *et al.* 2012), salinity (Chen & Lin 1994, Saoud & Davis 2003, Tsuzuki *et al.* 2000 and 2003, Hass *et al.* 2001, Wasielesky Jr *et al.* 2003, Silva *et al.* 2010, Criales *et al.* 2011), rainfall (Díaz-Ochoa & Quiñones 2008, Möller *et al.* 2009, Pereira & D'Incao 2012a), and El Niño Southern Oscillation (ENSO) events (Pereira & D'Incao 2012b). A general pattern that emerges from these investigations is that there is large inter-annual variability in recruitment mainly influenced by environmental factors. The commercial shrimp activity in Patos Lagoon Estuary (PLE) already shows a downward trend over the past 40 years (D'Incao *et al.* 2002). 'Pink-shrimp' is a Brazilian fishery resource composed of three species: *F. brasiliensis*, *F. subtilis*, and *F. paulensis* (Neto 2011). In Patos Lagoon, *F. paulensis* is the most abundant (D'Incao 1991). Its abundance varies much from one year to the next but it still a major fishery resource in Brazil (D'Incao *et al.* 2002).

Despite its huge contribution as an economic resource, the aim of this study was not to model the commercial pink-shrimp landings itself, but the shallow water juvenile abundance in Patos Lagoon estuary. Unlike the landing statistics, the juvenile abundance index may respond directly to environmental shifts, elucidating important trends in recruitment of this species at Patos Lagoon estuary. Considering the natural

and anthropic impacts to which this species is exposed, the present study aims to test the hypothesis that long-term patterns of shrimp's abundance and occurrence in shallow areas ELP is decreasing over the past years. To test this hypothesis, a 16 years of monthly scientific sampling (PELD Project) time series data, was analyzed.

Material & Methods

Data acquisition

Sampling was monthly performed from August 1996 to December 2012, in 5 shallow waters sampling sites (Figure 1) using a 9 meter beach seine (13 mm bar mesh in the wings and 5mm in the center 3 m section). At each sampling site five beach seine hauls were replicated and water temperature, transparency and salinity were also measured, *in situ*. Pink shrimp commercial landing government data (CEPERG / ICMBio) were used in order to compare high pink shrimp abundance shallow zones and apparently high productive years of this fishery resource. Additionally to these estuarine factors, other environmental variables were used in this investigation, such as freshwater runoff, winds (direction and velocity), El Niño Southern Oscillation (ENSO) and Southern Annular Mode (SAM) events, and air temperature.

The discharge data from 1996 to 2012 for three main contributing rivers (Jacuí, Taquarí and Camaquã) affecting the freshwater runoff, situated north of the estuary were obtained from the Brazilian National Agency of Water (Agência Nacional de Águas, 2013, hidroweb.ana.gov.br). Together these three rivers contribute with 70% of the total freshwater outflow (Vaz et al. 2006); therefore, the sum of the monthly discharge of these three rivers was used as a proxy for both the freshwater inflow and outflow of the Patos-Mirim Lagoon drainage basin (Vaz et al. 2006).

Daily air temperature were obtained from the Brazilian National Meteorology Institute (BDMEP / INMET - www.inmet.gov.br) and a monthly average was used in the analysis. Monthly values of both, the zonal and meridional components of the sea surface wind (32o S; 52o W), NIÑO 3 and SAM indexes were obtained from NOAA/Earth System Research Laboratory (www.esrl.noaa.gov/psd).

Daily air temperatures were further categorized in a single variable: the number of days per month with temperatures below 5°C. Also monthly wind data became a single variable considering speed and wind direction. Low temperatures are a strong

unfavorable condition for the survival of juvenile (Tsuzuki *et al* 2000, Soares *et al* 2012) and, the wind direction and strength are important for the input of seawater in the EPL (Möller *et al* 2008).

The Niño 3 index represents the average sea surface temperature (SST) anomalies in the eastern tropical Pacific (5° N - 5° S; 150° W - 90° W). . Between three to four consecutive months is considered an El Niño/La Niña event (Kousky & Higgins 2007), and this event may cause different climatic conditions in southern Brazil (Tedeschi *et al.* 2012). The Southern Annular Mode (SAM) is characterized by north-south shifts in atmospheric mass between higher and middle latitudes. It can be defined by the standardized difference in the zonal mean sea-level pressure between 40° S and 65° S or as the leading empirical orthogonal function (EOF) of the low-level pressure field or zonal wind fields (Thompson and Wallace 2000).

Data analysis

The first step was to identify the variation modes (linear trend, inter-annual, annual and sub-annual) of the time series. Thus, we used the temporal analysis protocol proposed by Garcia *et al.* (2012), which is an adaptation of PCNM method (Principal Coordinates of Neighbor Matrices; Borcard & Legendre 2002). The PCNM method was initially proposed for representing the spatial structure of ecological communities (Borcard & Legendre 2002, Peres-Neto 2006) and consists of obtaining theoretical variables (PCNM variables) by computing Principal Coordinate Analysis (PCoA) of a truncated matrix of Euclidean distances among objects representing sample sites (spatial descriptors – Borcard & Legendre 2002) or different time intervals (temporal descriptors - Garcia *et al* 2012). Initially, the PCNM method results "n" orthogonal axes (eigenvectors – PCNM variables), which represent a series of different periods that can be extracted from the original data (Borcard & Legendre 2002, Peres-Neto 2006, Garcia *et al.* 2012). These PCNM variables can be used as explanatory variables in multivariate analyses (e.g., Redundancy Analysis - RDA) or in the framework of variation partitioning (Borcard & Legendre 2002, Garcia *et al.* 2012). The RDA was required to compute temporal variation of the biotic (shrimp abundance) and abiotic variables (e.g., temperature, salinity) from variation partitioning. We used 192 PCNM variables and five adjusted fractions (R^2) were obtained: linear trend, inter-annual, annual, sub-annual and

unexplained temporal variation. For a detailed protocol for using PCNM in temporal data, see (Garcia et al. 2012 and Moraes2011).

Secondly, we evaluated the lag in shrimp response relative to the changes in environmental variables from cross-correlation method on PAST (v. 3.0.1) software. The significance of each lag was evaluated by a *t*-test with *n*-2 degrees of freedom, where *n* is the number of samples that overlap (Legendre & Legendre 1998). Previously, the linear trend was removed from the data series by the subtraction of a linear regression line (detrending) (Legendre & Legendre 1998). Always when a time-lag between shrimp abundance and environmental variables was observed, new lagged variables were generated, incorporating this information into subsequent analyses. This was carried out by lagging the original environmental variables relative to the response variables, with time lags of 'k' units, where k represents the number of time-lag months (*sensu* Moraes *et al.* 2012).

Finally, the long-term changes of the shrimp abundance and occurrence, and their relationships with environmental variables were evaluated from Generalized Linear Models (GLMs) using R software (RStudio Team 2012). In model A, the gamma distribution was used in the analysis since the frequency distribution of shrimp's abundance was skewed (Figure 2) and the variance proportional to nearly the square of the mean (Figure 3) (McCullagh & Nelder 1989). The average juvenile abundance was used as the response variable considering the 5 sampling stations plus 10% of the overall average to meet a Gamma distribution assumption of no zero values (Zuur *et al.* 2009). A logarithmic-link was used to relate the shrimp's abundance to the predictors.

The long-term variation of the pink shrimp occurrence into PLE was also evaluated, in model B. A GLM using binomial family distribution and *probit* linkage function. In this case, the monthly frequency of pink shrimp in the PLE (presence in sampling sites/total sampling sites) was used as response variable. The Akaike Information Criterion – AIC (Akaike 1973) and Pseudo R² (Dobson 2002) were the modeling selection methods used to point the most accurate models by the given data. Furthermore, to distinguish the models, a chi-square test was performed using the ``anova ( )`` function of R software.

The following generalized linear model was used as basis:

Models A and B structure:

$$\lambda_{ym} = \alpha + \varepsilon_y + \beta_m + \eta * \theta + \tau + \sigma + \varepsilon_{ym},$$

where λ_{ym} is the expected pink shrimp abundance for year y and month m as numeric or factors, α is the overall mean, η is the intrinsic variation in the freshwater runoff, θ the average air temperature, τ the SAM index variable, and σ the ratio between the number of sites sampled and in which occurred at least one pink shrimp. Last, ϵ represents the error term, assumed to be normally distributed.

Results

The average monthly abundance (ind.month-1) of juvenile pink shrimp fluctuates seasonally, as expected for a sub-tropical region. The abundance peak happens from January to February. However, a secondary slight peak in both, abundance and salinity was recorded in August, despite of temperature variation (Figure 4), and differing from the pattern expected. On the other hand, the juveniles' abundance and the other variables time series (Figure 5) do not show any recognizable pattern. From one year to the other, the shrimp's abundance shows high variability (Table 1). Pearson's correlation analysis of the annual averages shows low correlation between most of the variables, with exception of air temperature with water temperature (0.67), freshwater runoff and salinity with water's transparency (-0.71 and 0.66 respectively) and, naturally, freshwater runoff with salinity (-0.85, Table 2).

Based on the time series data used, most variables display sub-annual and annual variations (Figure 6). Nevertheless, freshwater runoff and water's transparency have also a linear trend component, besides the annual pattern, while ENSO is more inter-annually structured. The inter-annual variation in ENSO index is mainly associated to cycles at scale of ~2 to 6 years, with four cycles (2.4, 2.9, 4 and 5.3 years) accounting jointly for 53% of its temporal scale. For SAM index most of its variation remained unexplained (52%), but cycles of ~2 years stands for 48% of the inter-annual variation. Overall, the PCNM variables explained 83% of the shrimp's abundance variation on the time series. The abundance relies primarily on an annual structure - 43% - but also on sub and inter-annual variations – 23 and 17% respectively (Figure 6).

The cross-correlation analysis indicate that there is a lag in the response of pink shrimp's abundance in relation to the following variables: temperature, salinity and water clarity, flow, ENSO, SAM, air temperature and wind (Table 3), mostly around one month time. The new lagged variables were then used in the GLM.

The model chosen was well fitted the data and, presenting an AIC value around 105 and Pseudo-R² higher than 90% (Figure 7 / Table 4). Model A showed a major importance for the occurrence variable in PLE's sample sites (Figure 8) and this variable was responsible for a big share of the explained deviance. Model B, with year and month as factor variables, indicated water and air temperatures, and the interaction between freshwater runoff (Figure 9) as significant (p < 0.05) variables to explain the variation of shrimp abundance. In addition, SAM index also explained an important share of shrimp abundance (p = 0.09). Model B, in turn, using year and season as factors, presented SAM index variable as significant (p = 0.04).

Through the deviance analysis (Table 4), it is possible to visualize the high explaining contribution given by the variables occurrence (84.6%), month (39.5%), freshwater runoff (37.7%), air temperature (30.7%), and year (21%) for model A. For model B a higher contribution of the interaction between freshwater runoff and air temperature was noticed.

According to the deviance analysis (Table 4) and ordering the variables from its maximum contribution, the equation form models A and B should be written as follow:

Model A

$$\lambda_{ym} = \alpha + \sigma + \beta_m + \eta * \theta + \varepsilon_y + \tau + \epsilon_{ym},$$

and Model B

$$\lambda_{ym} = \alpha + \beta_m + \eta * \theta + \varepsilon_y + \tau + \epsilon_{ym}$$

According to the analysis frequency data, as a response variable, it was possible to notice a downward trend in the pink shrimp's occurrence over the years, although the coefficient is not statistically significant. The occurrence is mainly explained by the shrimp's abundance in the PLE and the freshwater runoff, and less by the air temperature. This binomial GLM had AIC = 428 and Pseudo R² = 55% (Table 5).

Discussion

The pink shrimp, *Farfantepenaeus paulensis*, is a marine species that uses the Patos Lagoon Estuary as an important settling area. As other species that uses estuarine areas during some part of its life cycle (Garcia *et al.* 2003, Moraes *et al.* 2012), the recruits yield and stability of pink shrimp in the PLE are managed by environmental conditions. As suggested in previous studies (Castello & Möller 1978, Möller *et al.* 2009, Pereira & D'Incao 2012b), the abundance and occurrence of shrimp in PLE shows

seasonal periodicity, typical of temperate and subtropical environments, associated with temperature oscillation (Möller *et al.* 2007). During warmer periods, circulation regime and higher temperatures combined with longer duration of days and the increased supply of nutrients in the mixing zone, contributes to increase of productivity of subtropical and temperate systems (Paes & Moraes 2002). Within this context, the increased supply of food enhances the survival of recruits from several marine species that reach the estuary during the summer, such as the pink shrimp (Paes & Moraes 2002).

Additionally to the seasonal pattern obtained, salinity played an important role on shrimp abundance/frequency. The isosmotic point of *F. paulensis* was determined to be 22.9 at 25°C for juveniles between the size of post-larvae and 10g commercial size shrimps (Wasielesky Jr. 2000). In addition, for *Farfantepenaeus chinensis*, the isosmotic points show negative correlation between temperature and salinity (Chen & Li 1994), meaning that for the shrimp's metabolic activities the lower the temperature the higher should be the salinity needed. This scenario is exactly the opposite of what is naturally observed at the PLE, where the estuary is mainly ruled by freshwater in the winter and salty water in the summer, due to the seasonal variation in the Southern Brazil of high precipitation on the winter months and dry season on the summer (Möller *et al.* 2009). Additionally, *F. paulensis* post-larvae do not tolerate temperatures below 8°C for too many hours (Soares *et al.* 2012). A synergic behavior between salinity and temperature (Tsuzuki *et al.* 2000) may restrain even more the ideal conditions for survival and fitness of *F. paulensis* juveniles at PLE. Low temperatures combined with a high freshwater influence may be the main regulation system for the shrimps surviving throughout wintertime and, sometimes, unusual cold springs seasons. When conditions are unfavourable to the pink shrimp, they can burrow into the sediment, in attempt to decrease its activities by a reduction in energy requirements (Dall *et al.* 1990). Different from Costa *et al.* (2008), who found two abundance peaks over the year at Ubatuba's estuary, from February to March and May to July, the abundance peaks at Patos Lagoon along the time series happen in january and february, and a slight peak occurs in august. This difference is probably due to the climatic and circulation conditions at Ubatuba, a tropical bay (Mantelatto & Fransozo 1999), and PLE, a sub-tropical estuary.

The seasonal variation in the Southern region of Brazil leads to an adverse environment to the pink shrimp population, mainly on the winter months. It is associated to the higher precipitation in the region, resulting in lower salinity water in nursery shallow zones. Considering the burrowing strategy of the penaeid shrimps, whenever they feel the environment as unfavorable it is possible that they also take some time to notice

when the conditions are good again (Dall *et al.* 1990), therefore depending of more than
rare events, which can happen even at the peak of the winter.

A new information provided is the downward trend shown by the frequency GLM, although not statically significant yet, probably due to the high inter-annual variation. It became clear that the juveniles pink shrimp's occurrence over the estuary stations is connected to its abundance, as the probability of finding a shrimp increases with the total
abundance (Figure 8).

The models provided inconclusive evidence regarding the relationship between water transparency and juveniles' abundance. Clear waters may decrease catches because shrimps tend to bury more in substrates within this condition (Minello *et al.* 1987). Another interesting finding is the relatively high shrimp's occurrence in August, last month of the winter, as well as an increase in water salinity when comparing with the previous and the following months (Figure 4). This fact probably occurs due to the late winter increasing in the water temperature and salinity, and relative low freshwater runoff. This environmental abrupt shift may be the triggering factor to accelerate the metabolism of the retained shrimps, resulting in the unbury from the sediment. Fishermen from Patos Lagoon have reported this event as 'small harvest', known in Portuguese as '*safrinha*'. In addition, they say 'small harvest' shows relatively good production some years, especially warmer Augusts, provided that the individual size of these shrimps is usually large.

For many estuaries in Brazil, all located in tropical latitudes, the tidal movement represents the major influence factor to water renewal and organisms transport from outside of this system (Kjerve 1994). However, in the Patos Lagoon estuary this dynamic depends mostly on the freshwater outflow and the winds from the south quadrant (Castello & Möller 1978, Garcia 1996, Möller *et al.* 2007). *Farfantepenaeus paulensis* larvae are hatched in the Santa Catarina's reproductive adult stock throughout the year (D'Incao 1999) but the larvae can only reach PLE as long as the coastal currents are favorable, which usually starts around September and may last until early austral Autumn (Piola *et al.* 2000, Möller *et al.* 2008).

The influence of the SAM on the precipitation over the study region varies according to the season, and seems to be strongest during the late austral spring (Vasconcellos & Cavalcanti 2010). In late spring and autumn, SAM positive phases result in reduced precipitation in association with an anticyclonic anomaly over the southern portion of the continent and weakened moisture transport into the region, and negative phases result in increased precipitation (Silvestri & Vera 2003; Mendes *et al.* 2010).

The strong influence of the freshwater runoff regime (Castello & Möller 1978, Pereira & D’Incao 2012), negatively correlated to water’s salinity variation, pointed by the models is mainly important during years of high rain anomalies, such as extreme positive ENSO events (Tadeschi et al 2012). The interaction between these two variables clearly demonstrates that, under low freshwater influence higher shrimp’s abundance values are more likely to occur at higher temperature levels – usual summer pattern. However, during outflow periods greater than $2000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, the temperature does not play a significant role on the shrimp’s abundance – usual winter pattern. The total mortality shows high values in ENSO years, since the natural mortality increases due to fresh water influence, and it’s known that fishing mortality keeps almost the same. Then, if both natural and fishing mortality are high, it may lead to the stock overexploitation. Therefore, under the adaptive management view it’s interesting to balance the fishing mortality, reducing it, in years that it’s expected to have a big natural mortality, such as the ENSO years.

As previously mentioned, El Niño/La Niña events are important pink shrimp’s abundance modulator in the PLE, controlling the penetration and residence of recruits in the estuary. However, this phenomenon has been mild over time and studies with other *taxa* show that pre-disturbance conditions return to PLE as soon as the rain anomalies, promoted by ENSO event, cease. Therefore, other factors are important to justify the inter-annual variability of shrimp, and mainly its decline noticed over time.

The years of 1972-73, 1982-83, 1991-94 and 1997-98 were characterized by strong positive ENSO phase – known as El Niño. It is noteworthy that the pink shrimp’s harvests in the PLE in the years 1973, 83, 94 and 98 have historically been the lowest productions recorded since 1970 (D’Incao *et al* 2002) as seen in Figure 10. Despite the association with years of positive precipitation anomalies, previously suggested by other studies (Castello & Möller 1978, D’Incao 1991 and 1995, and Pereira & D’Incao 2012), very low commercial productions were also registered in negative ENSO phase years – known as La Niña (Figure 10).

If the expected intensification of extreme ENSO events (Cai *et al.* 2014) and consequent higher rain (Milly *et al* 2005) frequency comes to occur, there may be even greater variability in commercial shrimp production and abundance. Especially when Super El Niño occurs since higher positive rain anomalies are registered under the positive ENSO phase (Tadeschi et al 2012), and the freshwater runoff is the major environmental variable that influence the shrimp abundance inside the estuary.

Extreme ENSO and other climatic events still are unusual but have deep effects over populations and composition of communities, but are quite difficult to study. The attempting models must be associated to the amount of data and information available. Mostly, small data sets will properly support only simple models with few parameters, while more comprehensive data sets will support, if necessary, more complex models (Burnham & Anderson 2002).

As around the world, penaeids fishery like the pink shrimp's focuses in both juveniles and adults habitats throughout this resource life cycle, being target of artisanal fishery in coastal habitats and industrial fishery on marine habitats (Gillett 2008). A worldwide downward trend has been observed in this fishery (FAO 2012). It is not different in Brazilian waters (D'Incao *et al.* 2002, Pereira & D'Incao 2012b).

In addition to the fishing impacts, *F. paulensis* is being threatened by habitats degradations that have occurred in estuarine systems (Marangoni & Costa 2012). First, with the expansion of both sides of the jetties is likely to become more difficult the input of marine water (Fernandes *et al.* 2005). The loss of salt marsh and seagrass areas is positively related to low shrimp abundance (Riedel *et al.* 2008). Especially under El Niño conditions, caused by the increase on flooded areas and water turbidity, a lower area is covered by wetlands at PLE (Copertino 2010, Marangoni & Costa 2012), leading to lower pink shrimp abundance, since the shelter and food provided by the saltmarshes are affected. In addition, this habitat loss can influence recruitment (Loneragan *et al.* 2013). Although, the marshes abundance are mostly influenced by the environmental variability (e.g. river discharge, salinity), human activities have also negatively affecting its biomass – e.g. dredge, pollution, predatory fishing (Odebrecht *et al.* 2009) - suggesting that management decisions should also consider the protection of marshes areas.

Even with the variability in shrimp's abundance over the years, Patos Lagoon estuary is still a major pink shrimp producer of this resource in Brazil (D'Incao *et al.* 2002). This condition may be due to its large habitat providing condition, when comparing with other Brazilian estuaries (Kjerfve 1994, Chagas-Soares *et al.* 1995), with large shallow waters area inside of a nursery estuary. The closure fishery period ends in February, and although was found the highest abundance peaks at January as well, the shrimp's size is crucial in order to establish the fishing period, aiming the juveniles protection and making sure that, at least, some of them reach the marine shelf and grow to adult size and reproduce. The PLE condition as provider or sink for *F. paulensis* population is still unknown but, as first step toward this species protection, its habitat must be preserved.

Conclusion

410 Despite the annual variation of pink shrimp's shallow water abundance, the main
influence is related to the freshwater runoff originated from drainage basin. Extreme
positive ENSO events change the estuary in such a drastic way that it is possible that
the larvae are prevented to enter the estuary system, mainly because of the elevated
outflow. Additionally, larvae entering the estuary are likely to be subject to harsh
415 environment and probably cannot find a minimum condition to survive and settle, resulted
by the very low salinity.

 The models did not detect a clear relation between pink shrimp abundance and
ENSO index variation, Nino3. Other indexes of this climatic event might have a more
clear response like SAM index event showed. The downward trend obtained by the
420 frequency GLM must be taken as an alert toward more effective managements
authorities. Nevertheless, a 16-year time-series data is already a remarkable source of
information, extreme ENSO events are still rare and the study area is located in a
transition region, under very unstable climatic conditions. A longer monitoring activity of
the project and sediment analysis are necessary to resolve the remaining unexplained
425 variation in the pink shrimp's abundance and its occurrence at Patos Lagoon.

Acknowledgments

 The first author acknowledges CNPq (Brazilian National Council for Scientific and
430 Technological Development) for the scholarship. The co-authors also thank to CNPq for
sponsoring and research support to the Long-Period Ecology Project program that made
this study possible. Also, thank to NOAA/ESRL, Boulder – Colorado
(www.esrl.noaa.gov/psd) for providing El Niño, SAM and wind (NCEP reanalysis) data
and Brazilians National Water Agency (ANA) and Meteorology Institute (INMET) for
435 making the data public online.

References

- 440 Akaike, H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: Petrov, B.N. & Csàki, F. (Eds.). Second International Symposium on Inference Theory, Budapest, 267-281.
- Borcard D, Legendre P (2002) All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbor matrices. *Ecol Model* 153: 51-68.
- 445 Brasil. 2008. Instrução Normativa Nº 189, de 23 de setembro de 2008. Available at: <<http://www.ibama.gov.br/cepsul>> accessed on september 10, 2014.
- Cai, W.; Borlace, S.; Lengaigne, M.; Rensch, P.; Collins, M.; Vecchi, G.; Timmermann, A.; Santoso, A.; McPhaden, M.J.; Wu, L.; England, M.H.; Wang, G.; Guilyardi & Jin, F. 2014. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming.
- 450 *Nature Climate Change* 4: 111-116.
- Calliari LJ, Cunha RP & Antiquiera AF. 2010. Geomorfologia e dinâmica sedimentar. In: Seeliger U & Odebrecht C (Eds) O Estuário da Lagoa dos Patos: Um século de transformações. Rio Grande: FURG, 2010. Cap. 2 p. 17-27.
- 455 Castello, J.P. & Möller, O.O. 1978. On the relationship between rainfall and shrimp production in the estuary of the Patos Lagoon (Rio Grande do Sul, Brazil). *Atlântica* 3: 67-74.
- Chagas-Soares F, Pereira OM & Santos EP. 1995. Contribuição ao ciclo biológico de *Penaeus schimitti* Burkenroad 1936, *Penaeus brasiliensis* Latreille 1817 e *Penaeus paulensis* Pérez-Farfante 1967, na região lagunar-estuarina de Cananéia, São Paulo, Brasil. *B. Inst. Pesca* vol 22(1):49-59.
- 460 Chen, J. & Lin, J. 1994. Responses of osmotic and chloride concentrations of *Penaeus chinensis* Osbeck sub adults acclimated to different salinity and temperature levels. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, vol. 179: 267-278.
- Christie H, Norderhaug KM & Fredriksen S. 2009. Macrophytes as habitat for fauna. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 396: 221-233.
- 465 Copertino, M. S. 2010. Patos Lagoon - Climate variability and the state of seagrasses. *Seagrass-Watch*, vol. 40: 4-5.
- Costa RC, Lopes M, Castilho AL, Fransozo A & Simões SM. 2008. Abundance and distribution of juvenile pink shrimp *Farfantepenaeus* spp. in a mangrove estuary and adjacent bay on the northern shore of São Paulo State, southeastern Brazil.
- 470 *Invertebrate Reproduction and Development*, vol. 52: 51-58.
- Criales, M.M.; Zink, I.C.; Browder, J.A. & Jackson, T.L. 2011. The effect of acclimation salinity and age on the salinity tolerance of pink shrimp postlarvae. *Journal of Experimental Marine Biology*, vol. 409: 283-289.
- 475 Dall W, Hill BJ, Roshlisberg PC & Staples DJ. 1990. *The biology of the Penaeidae*. Advances in Marine Biology Academic Press, London, UK, 489pp.

- D'Incao, F. 1991. Pesca e biologia da *Penaeus paulensis* na Lagoa dos Patos, RS. *Atlântica*, 13(1): 159-169.
- 480 D'Incao, F. 1999. Subordem Dendrobranchiata (camarões marinhos). Pp. 271-299 In Buckup, L. and Bond-Buckup, G. (eds.). *Os camarões do Rio Grande do Sul*. Editora da Universidade UFRGS, Porto Alegre.
- D'Incao, F., Valentini, H., Rodrigues, L. F. 2002. Avaliação da pesca de camarões nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. 1965-1999. *Atlântica*, 24, n.2. 49-62.
- 485 Diop, H.; Keithly Jr., W.; Kazmierczak Jr. R.F. & Shaw, R.F. 2007. Predicting the abundance of white shrimp (*Litopenaeus setiferus*) from environmental parameters and previous life stages. *Fisheries Research* 86, 31-41 pp.
- Dobson, AJ. 2002. *An Introduction to Generalized Linear Models*. Chapman and Hall, London, 221pp.
- 490 FAO. 2012. The State of World Fisheries and Aquaculture. FAO - Food And Agriculture Organization Of The United Nations, Roma. 209.
- Fernandes EL, Cecílio RO & Schiller RV. 2005. Estudo da influência da alteração dos molhes da barra de Rio Grande sobre a circulação do estuário da Lagoa dos Patos – RS. *Vetor* vol. 15(2):49-57.
- 495 Garcia, C. A. E. 1996. Hydrographic characteristics. p. 18-20. In U. Seeliger, C. Odebrecht, and J. P. Castello (eds.), *Subtropical Convergence Environments: The Coastal and Sea in the Southwestern Atlantic*. Volume 1. Springer Verlag, Berlin.
- Garcia AM, Vieira JP & Winemiller KO. 2003. Effects of 1997-1998 El Niño on the dynamics of the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon Estuary (Brazil). *Estuarine Coastal and Shelf Science* vol. 57: 489-500.
- 500 Garcia AM, Vieira JP, Winemiller KO, Moraes LE & Paes ET. 2012. Factoring scales of spatial and temporal variation in fish abundance and environmental correlates in a subtropical estuary. *Mar Ecol Prog Ser* vol. 461: 121-135.
- 505 Garcia SP, DeLancey LB, Almeida JS & Chapman RW. 2007. Ecoforecasting in real time for commercial fisheries: the Atlantic white shrimp as a case study. *Marine Biology*, vol. 152(1):15-24.
- Gillett, R. 2008. Global study of shrimp fisheries. FAO Fisheries Technical Paper 475, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 331 pp.
- Grimm AM, & Tedeschi RG (2009) ENSO and extreme rainfall events in South America. *J. Climate* vol. 22(7): 1589-1609.
- 510 Gusmão J, Lazoski C & Solé-Cava AM. 2005. Population genetic structure of Brazilian shrimp species (*Farfantepenaeus* sp., *F. brasiliensis*, *F. paulensis* and *Litopenaeus schmitti*: Decapoda: Penaeidae). *Genetics and Molecular Biology* vol. 28(1):165-171.
- Haas HL, Conrad Lamon III E, Rose KA & Shaw RF. 2001. Environmental and biological factors associated with the stage-specific abundance of brown shrimp

- 515 (Penaeus aztecus) in Louisiana: applying a new combination of statistical techniques to long-term monitoring data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* vol. 58:2258-2270.
- Kjerfve B. 1994. Coastal lagoons. In: *Coastal Lagoon Processes*, Kjerfve B (Ed), Elsevier.
- Kousky VE, Higgins RW. 2007: An Alert Classification System for Monitoring and Assessing the ENSO Cycle. *Wea. Forecasting*, vol. 22, 353–371.
- 520 Legendre P & Legendre L. 1998. Numerical ecology, 2nd Edn, Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Loneragan, NR, Kangas, M, Haywood MDE, Kenyon RA, Caputi N & Sporer E. 2013. Impact of cyclones and aquatic macrophytes on recruitment and landings of tiger prawns *Penaeus esculentus* in Exmouth Gulf, Western Australia.
- 525 Matelatto FLM & Fransozo A. 1999. Characterization of the physical and chemical parameters of Ubatuba bay, northern coast of São Paulo State, Brazil. *Revista Brasileira de Biologia*, vol. 59:23-31.
- Marangoni, JC & Costa, CSB. 2012. Short- and long-term vegetative propagation of two spartina species on a salt marsh in Southern Brazil. *Estuaries and Coasts*, vol. 35:763-773.
- 530 McCullagh, P., Nelder J.A., 1989. *Generalized Linear Models*, 2nded. Chapman & Hall, London, 509 pp.
- Milly, PCD, Dunne, KA & Vecchia AV. 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in changing climate. *Nature*, vol. 438.
- 535 Minello TJ, Zimmerman RJ & Martinez EX. 1987. Fish predation on juvenile brown shrimp, *Penaeus aztecus*. Ives: Effects of turbidity and substratum on predation rates. *Fish. Bull.* Vol 85: 59-70.
- Möller, O.O.; Castaing, P.; Fernandes, E.H. & Lazure, P. 2007. Tidal frequency dynamics of a Southern Brazil coastal lagoon: Choking and short period forced oscillations. *Estuaries and Coasts*, vol. 30(2): 311-320.
- 540 Möller OO, Castello JP, Vaz AC. 2009. The effect of river discharge and winds on the interannual variability of the Pink Shrimp *Farfantepenaeus paulensis* production in Patos Lagoon. *Estuar Coast* vol. 32: 787-796.
- 545 Möller, OO; Piola, AR; Freitas, AC & Campos, EJD. 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf of southeastern South America. *Continental Shelf Research*, vol. 28: 1607-1624.
- Moraes LE, Paes E, Garcia A, Möller O & Vieira J. 2012. Delayed response of fish abundance to environmental changes: a novel multivariate time-lag approach. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 456:159-168.
- 550 Neto, J.D. 2011. *Proposta de Plano Nacional de Gestão para o uso sustentável de camarões marinhos do Brasil – IBAMA*, Brasília: 242p, ISBN 978-85-7300-344-4

- Odebrecht C, Bergesch M, Rorig LR, Abreu PC (2009) Phytoplankton interannual variability at Cassino Beach, southern Brazil (1992-2007), with emphasis on the surf zone diatom *Asterionellopsis glacialis*. *Estuaries and Coasts*. DOI 10.1007/s12237-009-9176-6.
- Paes ET & Moraes LES. 2002. A new hypothesis on the influence of the El Niño/La Niña upon the biological productivity, ecology and fisheries of the Southern Brazilian Bight. *PanamJAS*, vol. 2(2): 94-102.
- Pauly D, Hilborn R & Branch TA. 2013. Fisheries: Does catch reflect abundance? *Nature*, vol. 494:303-306.
- Pereira, N. & D'Incao, F. 2012a. Precipitação pluvial na bacia hidrográfica da Lagoa dos Patos, no período de 1964 a 2007 e suas associações com as safras de camarão-rosa. *Atlântica*, vol. 34(2):145-156.
- Pereira N & D'Incao F. 2012b. Relationship between rainfall, pink shrimp harvest (*Farfantepenaeus paulensis*) and adult stock, associated with El Niño and La Niña phenomena in Patos Lagoon, southern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol. 92(7): 1451-1456.
- Peres-Neto PR. 2006. A unified strategy for estimating and controlling spatial, temporal and phylogenetic autocorrelation in ecological models. *Oecol Bras* vol. 10: 105-119.
- Piola AR, Campos EJD, Möller OO, Charo M, Martinez CM. 2000. Subtropical shelf front off eastern South America. *Journal of Geophysical Research* vol. 105, 6566-6578.
- Riedel R, Perry, H, Warren, J & Criss A. 2008. Using conventional analysis in parallel with geographical information systems techniques to examine the distribution of Brown shrimp in the Mississippi sound. *North American Journal of Fisheries Management* vol. 28:1439-1449. DOI
- RStudio Team (2012). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>
- Saoud, IP & Davis DA. 2003. Salinity tolerance of brown shrimp *Farfantepenaeus aztecus* as it relates to postlarval and juvenile survival, distribution and growth in estuaries. *Estuaries*, vol. 26(4A):970-974.
- Schroeder FA & Castello JP. 2010. Na essay on the potential effects of climate change on fisheries in Patos Lagoon, Brazil. *PanamJAS* vol. 5(2):320-330.
- Silva E, Calazans N, Soares M, Soares R & Peixoto S. 2010. Effect of salinity on survival, growth, food consumption and hemolymph osmolality of the pink shrimp *Farfantepenaeus subtilis* (Pérez-Farfante, 1967). *Aquaculture*, vol. 306:352-356.
- Soares R, Peixoto S, Bianchini A, Cavalli R & Wasielesky W. 2012. Efeito da temperatura na sobrevivência, consumo alimentar e crescimento de pós-larvas do camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis*. *Atlântica* vol.34(1): 23-30.
- Tedeschi RG, Cavalcanti IFA & Grimm AM. 2012. Influences of two types of ENSO on South American precipitation. *International Journal of Climatology*.

Tsuzuki MY, Cavalli RO & Bianchini A. 2000. The effects of temperature, age, and acclimation to salinity on the survival of *Farfantepenaeus paulensis* post-larvae. *Journal of the world aquaculture society* vol. 31(3): 459-468.

- 595 Vasconcellos FC & Cavalcanti IFA (2010) Extreme precipitation over Southeastern Brazil in the austral summer and relations with the Southern Hemisphere annular mode. *Atmos Sci Let* 11: 21-26.

Vaz AC, Möller OO, Almeida TL (2006) Análise Quantitativa da Descarga dos Rios Afluentes da Lagoa Dos Patos. *Atlântica* 28(1): 13-23.

- 600 Wasielesky Jr, W. 2000. Cultivo de juvenis do camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis* (Decapoda, Penaeidae) no estuário da Lagoa dos Patos: Efeitos de parâmetros ambientais e manejo do cultivo. Tese de doutorado. FURG, 199 p.

Zuur AF, Ieno EN, Walker NJ, Saveliev AA & GM Smith. 2009. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Berlin, Spring. 574p.

605

Tables

Table 1: Means and standard error (SE) table for pink shrimp abundance (ind), freshwater runoff ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), air temperature ($^{\circ}\text{C}$) and commercial pink shrimp landings (kg) to year and month from January 1997 through December 2012

	Pink Shrimp		Freshwater Runoff		Air Temperature		Commercial landing	
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
Year								
1997	24	10,1	1490	413	18	1,09	327274	168861
1998	43	42,6	2552	353	18	0,99	0	0
1999	28	16,3	934	163	18	1,10	97426	53561
2000	96	52,2	1320	244	18	1,27	518816	293199
2001	7	2,5	1845	270	19	1,13	1382	608
2002	39	19,9	2664	457	19	1,14	81378	45242
2003	4	1,5	1595	199	19	1,15	10036	5568
2004	20	11,0	776	108	19	1,04	108038	55960
2005	55	33,1	1081	315	20	0,99	350161	198013
2006	20	7,9	626	111	19	1,17	189525	161473
2007	13	10,4	1307	202	19	1,54	322224	178446
2008	42	22,0	1133	241	19	1,19	144573	82461
2009	57	27,1	1215	417	18	1,34	69030	44250
2010	2	1,1	1392	330	19	1,28	0	0
2011	4	1,7	997	196	19	1,31	92743	51624
2012	30	11,9	615	166	19	1,26	NA	NA
Month								
January	86	28,9	883	283	24	0,28	20163	19996
February	94	40,8	811	227	24	0,30	250337	79790
March	50	11,9	820	185	23	0,27	702776	243709
April	44	14,7	847	194	20	0,29	568248	173272
May	22	13,6	1166	226	17	0,34	299609	140791
June	7	3,2	1571	246	14	0,38	630	396
July	1	0,6	1785	207	13	0,43	6685	6484
August	4	2,2	1616	276	14	0,35	1181	1161
September	2	0,7	2041	239	16	0,23	258	248
October	2	0,9	2038	333	18	0,29	38	38
November	2	0,7	1454	320	20	0,22	159	159
December	48	31,6	1126	321	22	0,24	0	0

Table 2: Pearson correlation and p values for environmental variables and pink shrimp's abundance in PLE shallow waters month time-series data.

	Abd.	Transp.	W. Temp.	Salinity	Runoff	Air Temp.	PL Prod.
Abd.		0,79	0,84	0,44	0,80	0,38	0,02
Transp.	-0,07		0,12	0,01	0,00	0,04	0,99
W. Temp.	-0,06	0,40		0,91	0,45	0,00	0,80
Salinity	0,21	0,66	-0,03		0,00	0,54	0,06
Runoff	0,07	-0,71	-0,20	-0,85		0,40	0,28
Air Temp.	-0,24	0,52	0,67	0,17	-0,23		0,97
PL Prod.	0,59	0,00	-0,07	0,50	-0,30	0,01	

615

Table 3: Cross-correlation analysis values for environmental variables in relation to the pink shrimp's abundance in PLE shallow waters.

	Water			Fr. runoff	Air Temp.	Nino3	SAM	Wind
	Transparency	Temperature	Salinity					
Time-Lag	0	-1	-1	-1	-1	-3	0	-3
Correlation	0,32	0,46	0,46	-0,50	0,52	-0,31	0,19	-0,31
p	5,34E-06	9,95E-12	8,16E-12	1,10E-13	9,39E-15	1,06E-05	0,00652	1,27E-05

620

Table 4: Analysis of deviance table for generalized linear models A and B fitted to pink shrimp catch rate time series data. Analysis compare full model with models excluding the corresponding tested effect. Deviance and df correspond to those contributed by each term. * means $p < 0,05$ and ** $p = 0,05$ for Chi square test.

Source of variation	Deviance	% Explained	df
NULL	358		
Model A	Min. / Max	Min. / Max	
Month	3 / 141	1 / 39.4	11 *
Runoff_1	1 / 135	0.3 / 37.7	1 *
Air Temp._1	0.3 / 110	0.08 / 30.7	1 *
Year	11 / 75	3.24 / 21.0	16 *
Wat. Temp.	0.1 / 44	0.04 / 12.2	1 *
SAM	0 / 16	0 / 4.4	1 *
Runoff_1*Air Temp_1	0.004 / 0.004	0 / 0	1 *
Ocurrence	82 / 303	22.9 / 84.6	1 *
Total explained		91.5	
Residual	32		
AIC	104		
Model B			
Month	10 / 141	2.9 / 39.4	11 *
Runoff_1	25 / 135	6.9 / 37.7	1 *
Air Temp._1	1 / 110	0.4 / 30.7	1 *
Year	56 / 75	15.6 / 21.0	16 *
Wat. Temp.	2 / 44	0.4 / 12.2	1 *
SAM	3 / 16	0.8 / 4.4	1 *
Runoff_1*Air Temp_1	5 / 5	1.5 / 1.5	1 *
Total explained		69.4	
Residual	109		
AIC	350		

Table 5: Frequency model coefficients values and respective p values for its significance and AIC.

Source of variation	Coef.	p ($> z $)
NULL	293	
Frequency Model		
Intercept	- 1.231 x 10	1.45 x 10 ⁻⁵
Abundance	1.185 x 10 ⁻¹	6,2 x 10 ⁻⁸
Air Temp._1	3.035 x 10 ⁻²	0.0183
Runoff_1	- 2.476 x 10 ⁻⁴	3,63 x 10 ⁻⁵
Year	- 3.016 x 10 ⁻³	0.761
Residual	130	
AIC	428	

635

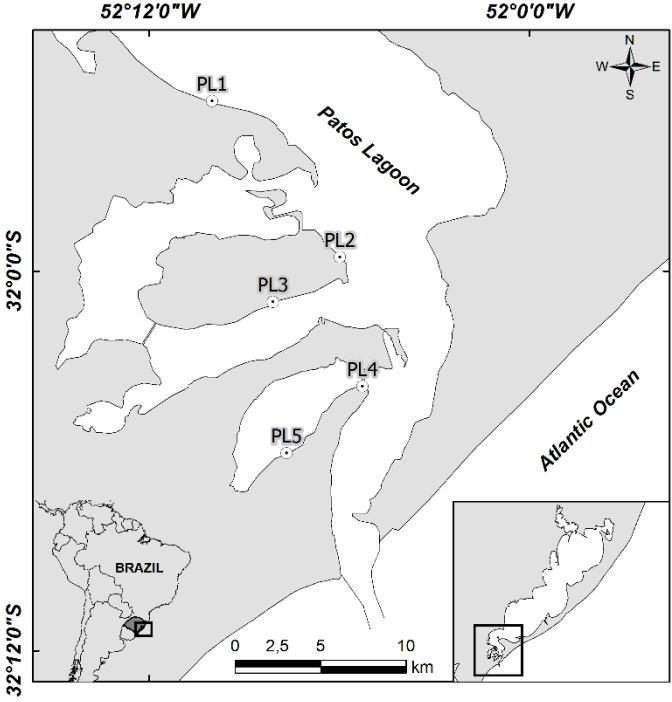


Figure 1: Map of Patos Lagoon Estuary (Brazil), showing the five sampling sites.

640

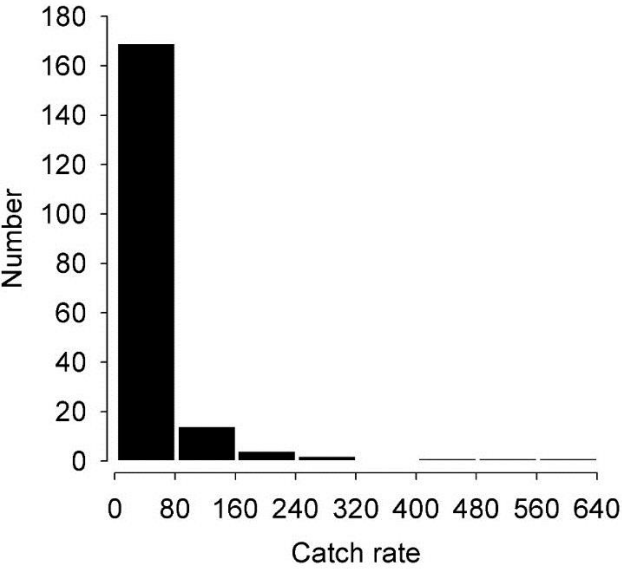


Figure 2: Frequency distribution of monthly shrimp catch-rates (ind.month⁻¹) of the shallow waters of PLE from 1996 to 2012.

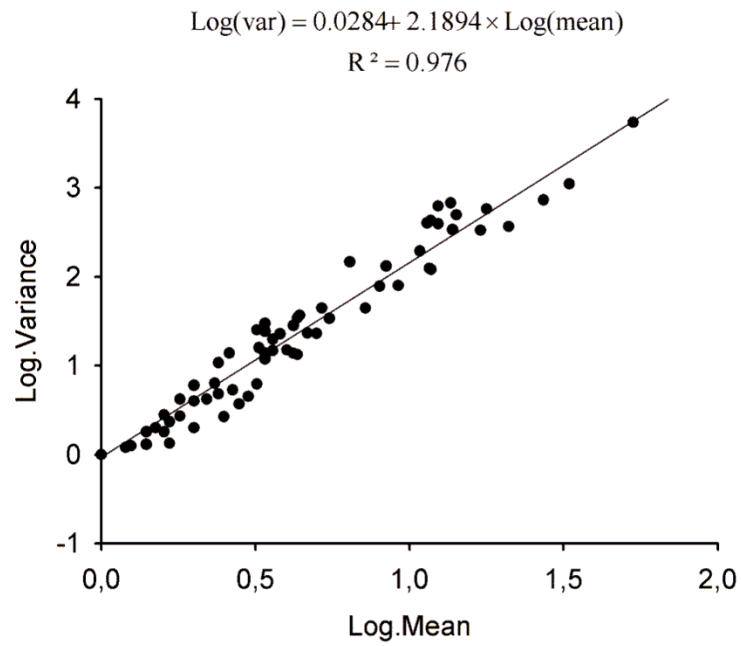


Figure 3: Regression of log variance/log mean of shrimp catch-rates (ind.year⁻¹) on the shallow waters of PLE for the period of 1996-2012.

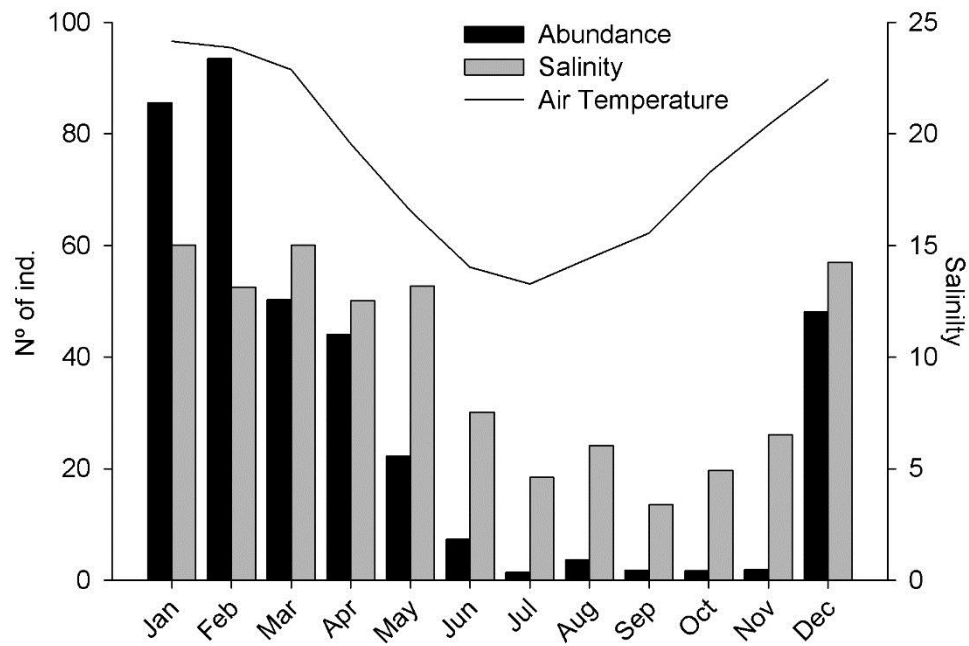


Figure 4: Average abundance (ind.month⁻¹) of juvenile pink shrimp, water salinity, and air temperature (°C) by month throughout the time series.

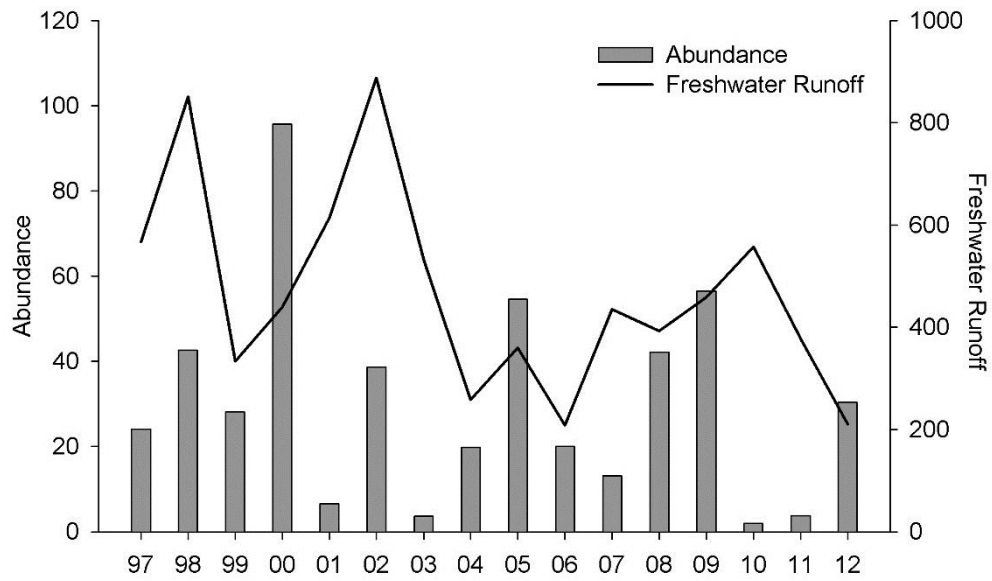


Figure 5: Time series shrimp's abundance and freshwater runoff's year average variation.

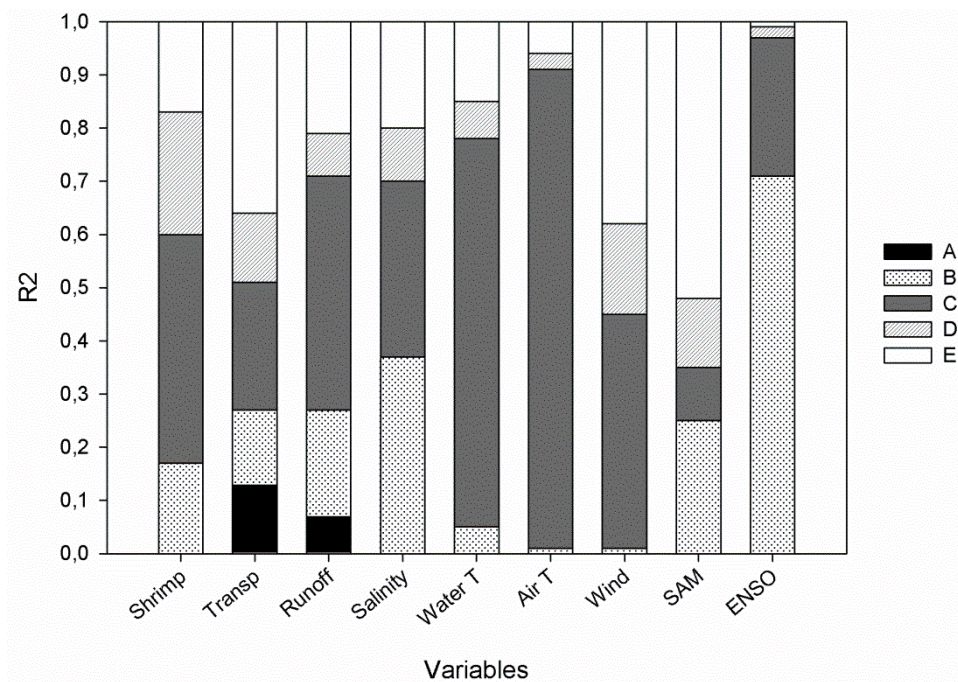


Figure 6: Scales of temporal variation of environmental variables that influenced the dynamics of Patos Lagoon Estuary during 1996 to 2012. Linear trend (A), inter-annual cycles (B), annual cycles (C), sub-annual cycles (D), and the unexplained fraction (E).

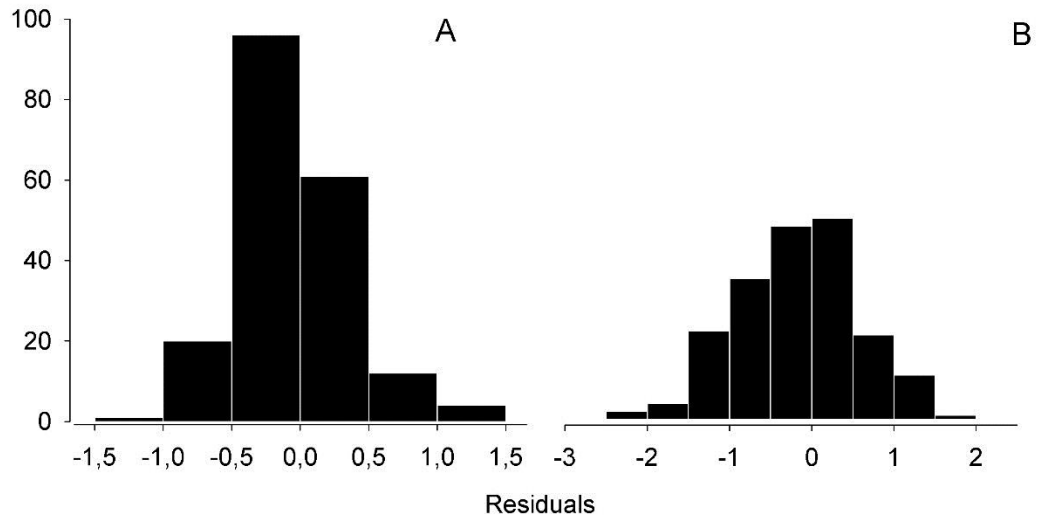
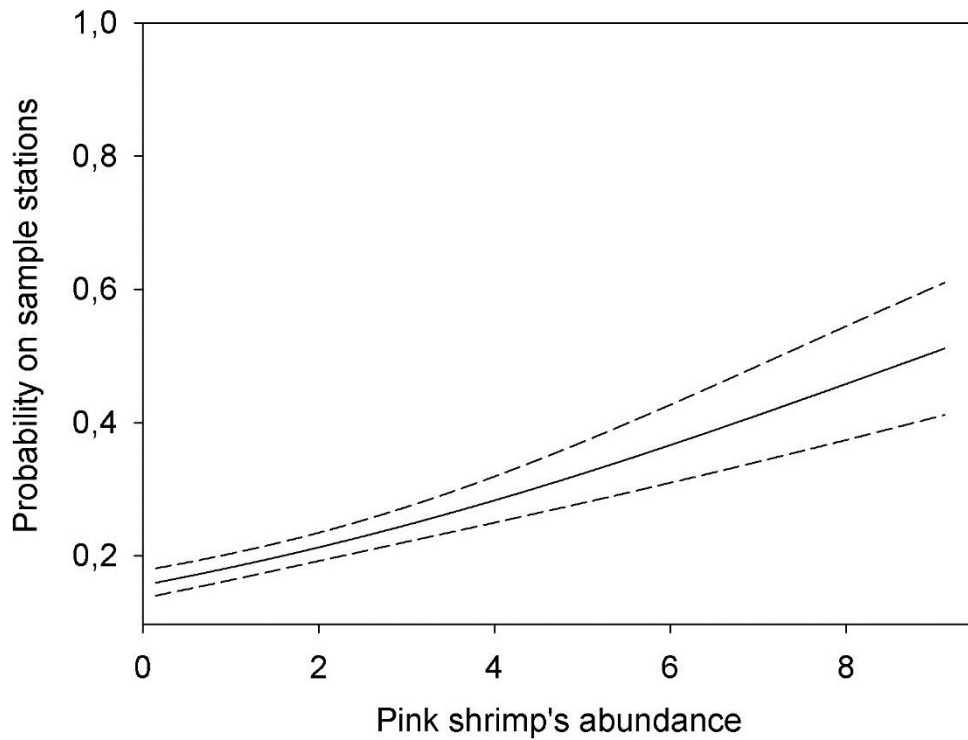


Figure 7: Residuals of full model: modes A (a) and B (b) I fitted to shrimp catch rate data of the shallow waters of PLE from 1996 to 2012, incorporating logarithmic link.



660 Figure 8: Fitted values (solid line) and 95% confidence bands for the optimal binomial GLM model applied on the pink shrimp frequency data.

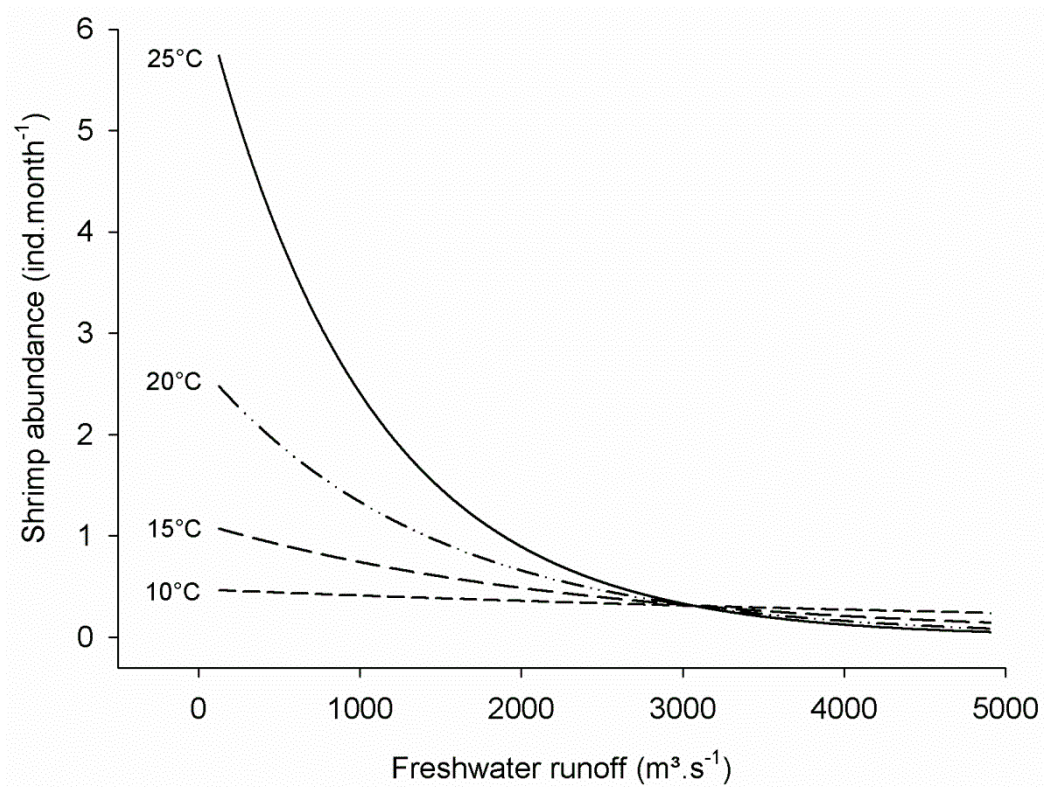


Figure 9: Pink shrimp's abundance prediction as freshwater increase using four temperatures by Model B.

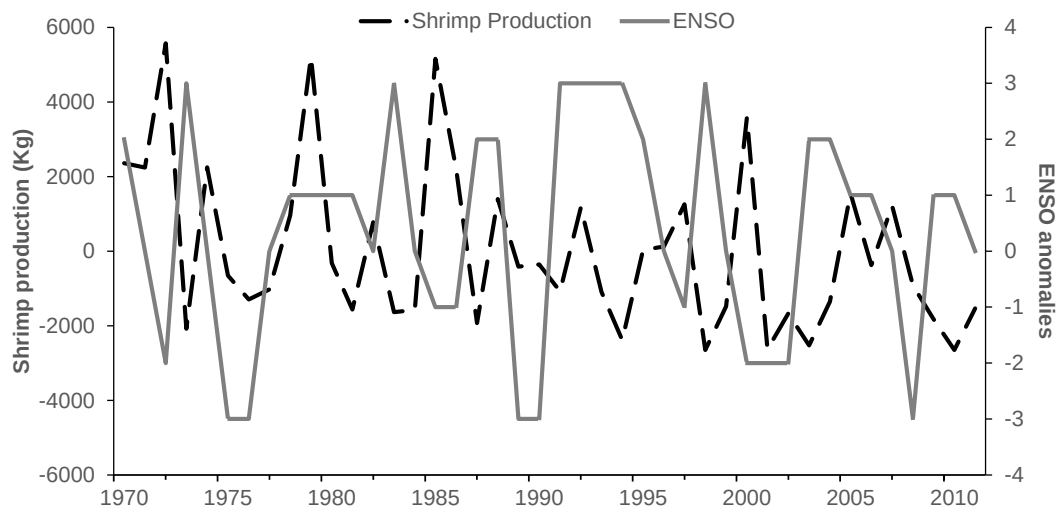


Figure 10: Pink shrimp commercial catch in PLE and ENSO anomalies since 1970 (sources: D'Incao et al. 2002, CEPERGS/ICMBio, and CPTEC/INPE).