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

# Variabilidade de longo-prazo (1997-2019) na abundância de juvenis da savelha *Brevoortia pectinata* (Jenyns, 1842) no estuário da Lagoa dos Patos e suas relações com fatores ambientais

**Yan Gonçalves Gowert**

Orientador: Alexandre Miranda Garcia

Rio Grande
2022

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

# Variabilidade de longo-prazo (1997-2019) na abundância de juvenis da savelha *Brevoortia pectinata* (Jenyns, 1842) no estuário da Lagoa dos Patos e suas relações com fatores ambientais

**Aluno:** Yan Gonçalves Gowert
**Orientador:** Alexandre Miranda Garcia

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

Rio Grande
2022

“There are many hypotheses in science that are wrong. That's perfectly alright; it's the aperture to finding out what's right. Science is a self-correcting process. To be accepted, new ideas must survive the most rigorous standards of evidence and scrutiny.”

Carl Sagan

## AGRADECIMENTOS

À minha esposa Natália Guerreiro Gowert e ao meu filho Bernardo Guerreiro Gowert por sempre me apoiarem e permitirem que eu seguisse em frente na conquista de meus objetivos. Agradeço também por deixarem meus dias mais felizes. Amo muito vocês.

À toda minha família. Principalmente minha mãe Catia Duarte Gonçalves. Meus irmãos Thuany Gowert e Lucyan Gowert. Minha avó Genecy Duarte Gonçalves, meus dindos e primos. E ao meu avô Honório Pimentel Gonçalves que infelizmente não está mais aqui conosco, mas que certamente adoraria ver a realização dos meus sonhos. Amo muito todos vocês.

Ao meu orientador Alexandre Miranda Garcia. Obrigado por ter me aceito como aluno em uma situação tão difícil. Obrigado por todos os ensinamentos e auxílios durante essa fase de mestrado. Obrigado por sempre confiar em mim, mesmo com minha falta de experiência e dificuldades ao longo desse período. Pelas palavras rotineiras de incentivo e pela excelente educação que me tratastes por todo esse tempo. Tu és uma pessoa e um orientador incrível.

À minha amiga e eterna orientadora Maria Cristina Oddone. Sou extremamente grato por ter me aceito como aluno de iniciação científica no laboratório de Chondrichthyes lá no início da minha graduação. Obrigado por todas as palavras de incentivo que me destes e por me auxiliar em momentos difíceis. Agradeço muito por todo o conhecimento que me passastes, coletas e trabalhos que fizemos juntos. Minha carreira não seria a mesma se eu não tivesse te conhecido. Obrigado por responder o e-mail com “ansiedade”. Tu és uma pessoa e uma orientadora maravilhosa.

Aos meus colegas de laboratório Sabrina Vollrath, Erika Belarmino, Leonardo Soares, Ana Luíza e Ana Mai. Obrigado pela ótima recepção no laboratório quando cheguei. Obrigado pelos cafés, coletas e conhecimentos que me passaram.

Aos amigos e colegas que fiz na graduação e seguem comigo até hoje. Saimon Bueno, Felipe Caseiro e Diego Reinicke. Obrigado pela extrema parceria e amizade que temos. Agradeço por sempre me apoiarem, pelas conversas e pelas risadas rotineiras.

Ao meu amigo e gênio da linguagem de programação R, Augusto Marcolin. Muito obrigado pelo auxílio e paciência por compartilhar seu conhecimento.

Aos meus colegas de PPGBAC Saimon Bueno, Danielle Tavares, Fernanda Freire, Katiuscia Bueno, Camila Reis e Ana Roschildt. Agradeço pela amizade que fizemos durante o programa e pela troca de conhecimento durante as disciplinas.

Ao programa de pós-graduação em biologia de ambientes aquáticos continentais e a Universidade Federal do Rio Grande por toda estrutura e permitirem que esse trabalho tenha sido realizado.

Por fim, se eu cheguei até esse momento não foi só pelo apoio e auxílio de todas as pessoas que citei nesses agradecimentos, mas também pelos diversos ensinamentos que muitos professores me passaram durante meu período de graduação. Acredito fielmente que seria um enorme equívoco não citar essas pessoas. Por esse motivo faço questão de agradecer aos professores da minha graduação. Adriano Cavalleri, Augusto Ferrari, Rogério Vianna, Daniel Loebmann, Fabiana Schneck, Edélti Albertoni, Carlos Rosa (Nino), Tamires Podewils, Lavínia Schwantes, Raquel Pereira, Vanise Garcia, Marlon Pestana, Marcelo Vargas, Ana Horn e André Koth. Saibam que era um enorme prazer para sair de casa todo o dia para estar presente na aula de vocês. Obrigado por todo conhecimento passado e paciência para explicar. Desejo que todos tenham professores como vocês.

Parafraseando um dos cientistas que mais admiro, Carl Sagan, deixo essa frase para todos que foram citados nesses agradecimentos.

*"Diante da vastidão do tempo e da imensidão do universo, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com você."*

**RESUMO**

Ecossistemas estuarinos estão sob a influência de distúrbios ambientais associados a processos continentais, atmosféricos e oceânicos que modificam a hidrodinâmica desse ambiente em diferentes escalas espaciais e temporais. O *El Niño Oscilação Sul* (ENOS) é um fenômeno climático natural que possui grande influência nesses sistemas ecológicos, incluindo impactos negativos em vários componentes da biota. Existe uma crescente necessidade de aprofundar o entendimento dos impactos do ENOS uma vez que esses eventos climáticos podem estar se tornando mais frequentes e intensos no atual cenário de aquecimento global. Um ambiente propício para investigar os efeitos do ENOS na biota estuarina é o estuário da Lagoa dos Patos (ELP), pois esse sistema faz parte do programa brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) e possui longas séries temporais de fatores abióticos e biológicos que permitem investigar os efeitos do fenômeno ENOS sobre a biota. Uma das espécies mais comuns nas zonas rasas (< 2m) do ELP é a savelha *Brevoortia pectinata* (Jenyns, 1842). É uma espécie de peixe marinho estuarina-dependente que utiliza o estuário para zona de berçário para alimentação e o nos estágios iniciais (larvas e juvenis) do seu desenvolvimento. A presente dissertação analisou uma longa série temporal (1997-2019) de dados mensais de fatores ambientais e da abundância de juvenis da *B. pectinata* nas zonas rasas do ELP visando responder as seguintes questões: (i) Existe relação entre a variabilidade de longo-prazo na abundância da espécie e de eventos ENOS (*El Niño* e *La Niña*) de diferentes intensidades? (ii) Quais as tendências interanuais de longo-prazo na abundância dos juvenis da espécie no estuário? Utilizamos modelos aditivos generalizados (GAM) para analisar as variações na abundância em relação aos fatores temporais (sazonal e interanual) e espaciais (longitude e latitude), bem como modelos para avaliar as relações com os fatores ambientais. A análise da tendência interanual mostrou um período de baixa abundância (1997-2001) seguido de um marcado aumento (2001 e 2008) e um período mais extenso de relativa estabilidade, com patamares comparativamente altos de abundância (2008-2019). Esse padrão geral variou espacialmente, havendo uma tendência significativa de aumento apenas na estação de coleta mais próxima da conexão do estuário com o mar. A temperatura, salinidade e o eventos *El Niño* (especialmente os mais intensos) foram as variáveis que melhor explicaram a variabilidade na abundância dos juvenis. Esses resultados mostram a suscetibilidade dos juvenis não apenas a fatores locais (temperatura e salinidade), mas também a fenômenos climáticos que influenciam a hidrologia desse sistema estuarino.

**Palavras-chave**: *El Niño*, ENOS, modelos aditivos generalizados-GAM, séries temporais, PELD

**ABSTRACT**

Estuarine ecosystems are under the influence of environmental disturbances associated with continental, atmospheric and oceanic processes that modify their hydrodynamics at different spatial and temporal scales. The *El Niño* Southern Oscillation (ENSO) is a natural climate phenomenon that has great influence on these ecological systems, including negative impacts on various components of the biota. There is a growing need to deepen the understanding of ENSO impacts as these weather events may be becoming more frequent and intense under the current global warming scenario. A suitable environment to investigate the effects of ENSO on estuarine biota is Patos Lagoon Estuary (PLE) because this system is part of the Brazilian program of Long Duration Ecological Research (LTER-B) and has long time series of abiotic and biological factors that allow investigating the effects of ENSO on biota. One of the most common species in the shallow waters (< 2m) of the PLE is the Argentinean menhaden *Brevoortia pectinata* (Jenyns, 1842). It is an estuarine-dependent marine fish species that uses the estuary as a nursery area for feeding in the early stages (larvae and juveniles) of its development. The present dissertation analyzed a long time series (1997-2019) of monthly data on environmental factors and juvenile abundance of *B. pectinata* in the shallow waters of PLE aiming to answer the following questions: (i) Is there a relationship between long-term variability in the abundance of the species and ENSO events (*El Niño* and *La Niña*) of different intensities? (ii) What are the long-term inter-annual trends in the abundance of juveniles of the species in the estuary? We used generalized additive models (GAM) to analyze variations in abundance in relation to temporal (seasonal and interannual) and spatial (longitude and latitude) variables, as well as models to assess relationships with environmental factors. Interannual trend analysis showed a period of low abundance (1997-2001) followed by a marked increase (2001 and 2008) and a longer period of relative stability with comparatively high plateaus of abundance (2008-2019). This general pattern varied spatially, with a significant upward trend only at the sampling station closest to the estuary's connection to the sea. Temperature, salinity and *El Niño* events (especially the most intense ones) were the variables that best explained the variability in juvenile abundance. These results show the susceptibility of juveniles not only to local factors (temperature and salinity), but also to climatic phenomena that influence the hydrology of this estuarine system.

**Key-words:** *El Niño*, ENSO, generalized additive models - GAM, time series, LTER-B

## APRESENTAÇÃO

Essa dissertação está dividida em três segmentos. O primeiro é referente à introdução geral do tema proposto e as referências utilizadas, seguindo as normas da ABNT. O segundo segmento é representado pelo capítulo que trata sobre a variabilidade a longo-prazo dos juvenis da *Brevoortia pectinata* (Jenyns, 1842) no estuário da Lagoa dos Patos, o qual está formatado seguindo as normas da revista *Hydrobiologia*. O terceiro segmento contém as considerações finais do trabalho e suas referências, seguindo as normas da ABNT.

**SUMÁRIO**

**INTRODUÇÃO GERAL** ..... **13**
**REFERÊNCIAS** ..... **17**
**CAPÍTULO 1** ..... **22**
**Resumo** ..... **22**
**1. Introdução** ..... **24**
**2. Materiais e métodos** ..... **27**
2.1 Área de estudo
2.2 Amostragem
2.3 Análise de dados
2.3.1 Variação espaço-temporal e tendência interanual na abundância
2.3.2 Variabilidade na abundância e suas relações com os fatores ambientais
**3. Resultados** ..... **30**
3.1 Variação espaço-temporal e tendência interanual
3.2 Relações da abundância com as variáveis ambientais
**4. Discussão** ..... **32**
4.1 Variação espaço-temporal
4.2 Análise de série temporal
4.3 Variáveis ambientais
**5. Referências** ..... **37**
**Figuras** ..... **45**
**Tabelas** ..... **51**
**CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS** ..... **56**

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1:** Mapa com a localização da (a) bacia de drenagem da Lagoa dos Patos no sul da América do Sul e (b) região estuarina com o posicionamento das estações de coleta e (c) distribuição espacial das estações meteorológicas na bacia de drenagem que forneceram dados de chuva e vazão dos rios

**Figura 2:** Variação mensal na abundância média da savelha *Brevoortia pectinata* entre 1997 e 2019 nas zonas rasas (< 2m) do estuário da Lagoa dos Patos (32ºS) e nas diferentes estações de coleta

**Figura 3:** Resultados do modelo aditivo generalizado (GAM) indicando os efeitos parciais dos fatores sazonal (janeira a dezembro) e interanual (1997 a 2019) e do fator espacial (estações de coleta E1 a E4) sobre a abundância da savelha Brevoortia pectinata capturada nas zonas rasas (< 2m) do estuário da Lagoa dos Patos.

**Figura 4:** Resultados dos modelos aditivos generalizados (GAM) indicando os efeitos parciais da variação interanual (1997 a 2019) na abundância da savelha *Brevoortia pectinata* em cada uma das estações de coleta nas zonas rasas (< 2m) do estuário da Lagoa dos Patos.

**Figura 5:** Variação mensal das variáveis ambientais entre 1997 a 2019 do índice ONI no Oceano Pacífico, chuva e descarga continental na bacia de drenagem e salinidade, transparência e temperatura da água no estuário da Lagoa dos Patos (32ºS).

**Figura 6:** Resultados do modelo aditivo generalizado (GAM) indicando os efeitos parciais da temperatura da água (ºC), salinidade e índice ONI sobre a abundância da savelha *Brevoortia pectinata* capturada nas zonas rasas (< 2m) do estuário da Lagoa dos Patos.

**Figura Suplementar 1:** Gráficos dos resíduos do modelo aditivo generalizado (GAM) dos efeitos parciais dos fatores sazonal, interanual e espacial sobre a abundância da savelha Brevoortia pectinata capturada nas zonas rasas (< 2m) do estuário da Lagoa dos Patos.

**Figura Suplementar 2:** Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis ambientais utilizadas no modelo aditivo generalizado (GAM) usado para investigar a influência dos fatores ambientais

sobre a abundância da savelha *Brevoortia pectinata* nas zonas rasas (< 2m) do estuário da Lagoa dos Patos (32ºS).

**Figura Suplementar 3:** Gráficos dos resíduos do modelo aditivo generalizado (GAM) dos efeitos parciais dos fatores ambientais sobre a abundância da savelha *Brevoortia pectinata* nas zonas rasas (< 2m) do estuário da Lagoa dos Patos.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1:** Resultados do modelo aditivo generalizado (GAM) para a variação média geral da abundância de *Brevoortia pectinata* nas zonas rasas (< 2m) do estuário da Lagoa dos Patos (32ºS) em relação aos fatores sazonal (meses), interanual (anos) e espacial (longitude e latitude) e modelos da variação da abundância em relação aos componentes sazonal e interanual e sua interação (ti) para cada uma das estações de coleta.

**Tabela 2:** Modelos aditivos generalizados (GAM) selecionados pela função 'dredge' (delta < 5) para a variação média geral da abundância de *Brevoortia pectinata* nas zonas rasas (< 2m) do estuário da Lagoa dos Patos (32ºS) em relação aos fatores climáticos (ONI), regionais (chuva, descarga continental) e locais (salinidade, transparência e temperatura da água). Os resultados do modelo selecionado (cinza) estão na porção inferior da tabela.

# INTRODUÇÃO GERAL

*Impactos da variabilidade ambiental sobre peixes estuarinos*

Os estuários são sistemas de grande importância ecológica, econômica e social. São ambientes mais produtivos que a água doce ou marinha adjacente, devido, principalmente, a abundância de nutrientes que propiciam uma variedade de recursos alimentares para os indivíduos que ali residem (Day et al., 2012). Muitos invertebrados marinhos, peixes, aves e mamíferos marinhos encontram nesse ambiente uma farta alimentação, bem como área de berçário e criadouro para seus filhotes (Kemp & Crump, 1990; Seeliger, 2001). Assim, várias espécies de peixes são completamente dependentes de estuários, sendo esse sistema vital para, no mínimo, uma fase do seu ciclo de vida (Potter et al., 2015).

O ecossistema estuarino está sob a influência de distúrbios ambientais associados a processos continentais, atmosféricos e oceânicos que modificam a hidrodinâmica desse ambiente em diferentes escalas espaciais e temporais (Day et al., 2012) e, como consequência, pode ocorrer o aumento da variabilidade de longo prazo na abundância das espécies que utilizam o estuário (Cloern et al., 2010; Feyrer et al., 2011). A intensificação das pressões antrópicas ao longo do tempo juntamente com distúrbios ambientais promovidos por processos estocásticos (por exemplo, eventos climáticos) podem ter efeitos sinergéticos que intensificam a degradação ambiental e podem levar a uma diminuição na riqueza e abundância de espécies em ambientes estuarinos (Whitfield & Elliott, 2002; Whitfield, 2021). Portanto, espécies que utilizam os estuários para o crescimento de seus juvenis, ou ao longo de todo seu ciclo de vida, sofrem pressões antrópicas e distúrbios naturais que podem levar à diminuição da abundância de suas populações (Gillanders et al., 2011). Existe uma crescente necessidade de entender os impactos de fenômenos climáticos sobre os ambientes costeiros e suas comunidades biológicas (Lotze et al., 2006; Gillanders et al., 2011), especialmente considerando que esses eventos climáticos podem se tornar mais frequentes e intensos em um cenário de aquecimento global (Cai et al., 2014; Freund et al., 2019).

Um fenômeno climático natural que tem grande influência em sistemas ecológicos de ambientes costeiros e estuarinos é o *El Niño Oscilação Sul* (ENOS), que se caracteriza por anomalias da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico tropical (Mcphaden et al., 2006). Através da transferência de calor do oceano para a atmosfera, esse aquecimento anômalo do mar eleva as temperaturas do ar na região costeira, o que desencadeia convecção atmosférica localizada e chuvas fortes (Cai et al., 2020). A fase quente do ENOS é

denominada de *El Niño*, que é caracterizado pelo aumento da temperatura das águas superficiais na bacia tropical do Oceano Pacífico em associação com um enfraquecimento dos ventos alísios (McPhaden, 1999). A contrapartida desse fenômeno, ou seja, o esfriamento anômalo das águas equatoriais do Pacífico é denominado *La Niña*. Esses eventos podem diferir em duração e em intensidade, mas, em geral, estão associados com mudanças de temperatura e precipitação ao redor do globo, as quais podem afetar os ecossistemas e sua biota (Garcia et al., 2001; Freund et al., 2019; Cai et al., 2020).

No sul do Brasil, a fase 'quente' (*El Niño*) e a 'fria' (*La Niña*) do ENOS estão correlacionados com aumento e diminuição no volume de chuvas, respectivamente (Grimm et al., 1998; Cai et al., 2020). Estudos anteriores mostraram que eventos *El Niño* muito intensos como os de 1982-1983 e 1997-1998 provocaram chuvas fortes e elevada descarga continental sobre a bacia de drenagem do Estuário da Lagoa dos Patos (ELP) no extremo sul do Brasil. Essas alterações hidrológicas estiveram associadas com maior abundância relativa e diversidade de peixes de água doce no ELP (Garcia et al., 2004), acarretando aumento na estrutura trófica devido a maior presença de guildas tróficas de peixes (e.g., herbívoros, piscívoros) geralmente ausentes nesse sistema (Possamai et al., 2018). Por outro lado, a maior descarga continental escoando sobre a relativamente estreita (~ 600 m) conexão do estuário com o mar, parece ter desfavorecido a entrada de juvenis de peixes marinhos estuarino-dependentes para o interior do estuário. Em contrapartida, a maior estiagem durante eventos *La Niña* esteve associada com maior influência da cunha salina e aumento na abundância e diversidade de espécies de peixes marinhos no ELP (Garcia et al., 2001, 2004). Além disso, estudos mais recentes têm demonstrado que os impactos dos eventos *El Niño* sobre populações de peixes estuarinos no ELP aumentam com a intensidade do fenômeno no Oceano Pacífico (Belarmino et al. 2021).

*A variabilidade na abundância da savelha Brevoortia pectinata em estuários*

Dentre as espécies de peixes mais comumente encontradas em estuários estão as pertencentes ao gênero *Brevoortia* Gill, 1861 da família Clupeidae, a qual inclui peixes pelágicos costeiros distribuídos nas porções ocidentais temperadas e subtropicais do Atlântico Norte e Sul (Whitehead, 1985). As populares savelhas são espécies migratórias que desovam quase todos os meses do ano no ambiente marinho (Muelbert & Weiss, 1991) e utilizam os estuários para o crescimento de seus juvenis (Ahrenholz, 1991; Day et al., 2012). Esses animais são reconhecidos pelos pescadores tradicionais do sul do Brasil como um recurso

pesqueiro histórico (Pinho, 2016). As savelhas possuem um elevado potencial nutricional para consumo humano devido aos seus altos índices de gordura corporal (Visentainer, 2007) e também são utilizadas na indústria de enlatados (Haimovici, 2014).

Atualmente, o gênero *Brevoortia* sustenta grandes pescarias comerciais no oeste do Atlântico Norte, aonde milhares de toneladas são capturadas anualmente (Franklin, 2007; Anstead et al., 2021). No extremo sul do Brasil, até o início da década de 90, a savelha esteve entre os principais recursos capturados pela pesca artesanal atuando em estuários e na região costeira marinha adjacente, sendo utilizada principalmente na indústria de enlatados (Reis et al., 1994; Haimovici et al. 2014). Porém, a partir desse período, a diminuição no desembarque da espécie associada ao baixo preço de mercado parece ter desestimulado a exploração do recurso nessa região (Antero-Silva 1990, CEPERG 2007).

Seis espécies de *Brevoortia* são reconhecidas atualmente (Fricke et al., 2020), sendo que duas ocorrem no oeste do Atlântico Sul, entre o estado do Rio de Janeiro, Brasil, e Bahía Blanca, Argentina. Uma dessas espécies é a *Brevoortia pectinata* (Jenyns, 1842) (Figura 1) que constitui uma das espécies mais comuns nas zonas rasas (< 2m) do ELP no extremo sul do Brasil (32ºS) (Garcia et al., 2012; Salvador & Muelbert, 2019). É uma espécie marinha estuarina-dependente (*sensu* Potter et al., 2015), ou seja, ela depende do sistema estuarino para a sobrevivência durante os estágios iniciais do seu desenvolvimento (larvas e juvenis), os quais constituem estágios críticos do seu ciclo de vida. Os juvenis geralmente residem em áreas estuarinas até o outono seguinte ou início do inverno, quando migram para águas marinhas (Ahrenholz, 1991; Acha & Machhi, 2000). Além do seu potencial de utilização na pesca, essa espécie zooplanctívora pode cumprir um papel ecológico importante como elo alimentar entre a base da cadeia e níveis tróficos superiores no ELP (Monks et al., 2021), onde são consumidas por predadores de topo como aves (Bugoni & Vooren, 2004) e mamíferos marinhos (Simões-Lopes et al., 1998).

**Figura 1:** Exemplar da savelha *Brevoortia pectinata*.

Existem poucos trabalhos sobre os fatores que controlam a variação temporal e espacial de *B. pectinata* durante suas diferentes fases do ciclo de vida no ELP (Moraes 2011; Garcia et al., 2012; Salvador & Muelbert, 2019). Por exemplo, um estudo prévio sobre a variabilidade de longo prazo na abundância das larvas de *B. pectinata* no ELP mostrou que os eventos de *El Niño* e *La Niña* não possuem um efeito direto na condição corporal das larvas. Porém, os autores sugerem que a variabilidade na hidrologia local e seus efeitos na produção estuarina e costeira são fatores essenciais que influenciam a variabilidade da condição corporal dessas larvas (Salvador & Muelbert, 2019).

Em relação a variação temporal na abundância dos juvenis, Moraes (2011) apontou uma tendência de aumento nas zonas rasas do ELP entre a década de 80 e a primeira década dos anos 2000. Segundo a hipótese proposta pelo autor, esse aumento na abundância dos juvenis de *B. pectinata* nesse período poderia estar associado a queda na exploração do estoque adulto pela pesca e o consequente aumento do estoque desovante, o que poderia ter beneficiado o aumento no recrutamento da espécie no ELP. Outro estudo prévio com juvenis mostrou que parte da variação temporal na abundância de peixes marinho estuarino-dependentes no ELP, como a *B. pectinata* no ELP pode ser explicada pela precipitação, temperatura e salinidade (22,4%). Além disso, uma fração considerável (18,7%) da variação na abundância interanual desses peixes no estuário pode ser atribuída a influência de eventos climáticos como *El Niño* e *La Niña* (Garcia et al., 2012). Isso ocorreria devido aos efeitos hidrológicos decorrentes das anomalias positiva e negativa de precipitação na bacia de drenagem da Lagoa dos Patos durante períodos *El Niño* e *La Niña*, respectivamente. Por exemplo, durante eventos *El Niño* de forte intensidade (1982 – 1983 e 1997 – 1998), as fortes chuvas e maior descarga continental acarretaram uma diminuição na abundância de peixes marinhos estuarino-dependentes no interior do ELP (Garcia et al., 2001; Garcia et al., 2004). Por outro lado, a baixa precipitação e menor vazão da descarga continental durante eventos *La Niña* parecem favorecer uma maior entrada de água salgada e, consequentemente, de peixes marinhos estuarino-dependentes para o interior do ELP (Garcia et al., 2001; Garcia et al., 2003).

Porém, esses trabalhos prévios acerca da variabilidade na abundância dos juvenis de *B. pectinata* no ELP contemplaram especialmente eventos *El Niño* de forte intensidade e não levaram em consideração as diferentes intensidades em que esses fenômenos climáticos podem ocorrer (moderado, fraco, forte e muito forte; Golden Gate Weather Services, 2022). Além disso, alguns estudos climáticos sugerem que eventos *El Niño* estão se tornando mais frequentes e intensos no atual cenário de aquecimento global (Cai et al., 2014; Freund et al.,

2019; Cai et al., 2020). Desse modo, as evidências preliminares de aumento na abundância dos juvenis de *B. pectinata* no ELP apontada em estudos anteriores (Moraes 2011) poderiam ser contrapostas pelos efeitos negativos do aumento da descarga continental durante eventos *El Niño* que desfavorece a entrada dos juvenis de espécies marinhos estuarino-dependentes para o interior do ELP (Garcia et al. 2001, 2003, 2012).

Nesse contexto, o presente trabalho analisou uma longa série temporal (1997-2019) de dados mensais de abundância de juvenis de *B. pectinata* no ELP para avaliar as seguintes questões: (i) Existe relação entre a variabilidade de longo-prazo na abundância da espécie e a ocorrência de eventos *El Niño* e *La Niña* de diferentes intensidades? (ii) Quais as tendências interanuais na abundância dos juvenis da espécie no estuário ao longo dos anos? Nossas hipóteses para essas questões são: (Hi) a abundância dos juvenis de *B. pectinata* no ELP está negativamente e positivamente relacionadas com eventos *El Niño* e *La Niña*, respectivamente. Eventos *El Niño* e *La Niña* mais intensos (fortes e muito fortes) tem maior efeito na abundância da espécie do que eventos menos intensos (fracos e moderados) e (Hii) a abundância dos juvenis de *B. pectinata* está diminuindo no ELP devido aos efeitos negativos de eventos *El Niño* mais intensos.

## REFERÊNCIAS

Acha, E & Macchi, G. J. 2000. Spawning of Brazilian menhaden *Brevoortia aurea*, in the Rio de la Plata estuary off Argentina and Uruguai, Fishery Bulletin 98: 227-235

Ahrenholz, D. W. 1991. Population biology and life history of the North american menhadens, *Brevoortia spp*. Marine Fisheries Review 53: 3-19

Antero-Silva, J. N. 1990. Perfil Pesqueiro da Frota Artesanal do Rio Grande do Sul de 1945 a 1989. Ministério do Meio Ambiente. Centro de Pesquisas do Rio Grande (CEPERG). Rio Grande. 51 p

Anstead, K. A., Drew, K., Chagaris, D., Schueller, A. M., McNamee, J. E., Buchheister, A & Townsend, H. (2021). The path to an ecosystem approach for forage fish management: A case study of Atlantic menhaden. Frontiers in Marine Science, 8, 607657

Belarmino, E., de Nobrega, M. F., Grimm, A. M., da Silva Copertino, M., Vieira, J. P & Garcia, A. M. 2021. Long-term trends in the abundance of na estuarine fish and relationships with El Niño climatic impacts and seagrass meadows reduction. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 261, 107565

Bugoni, L & Vooren, C. M. 2004. Feeding ecology of the common tern sterna hirundo in a wintering área in Southern Brazil. Ibis, 146 (3): 438-453

Cai, W., Borlace., S., Lengaigne, M., Van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G & Jin, F. F. 2014. Increasing frequency of extreme *El Niño* events due to greenhouse warming. Nature climate chance, 4(2), 111-116

Cai, W., McPhaden, M. J & Grimm, A. M. 2020. Climate impacts of the *El Niño* Southern oscillation on South America. Nature Reviews Earth & Environment. 1: 215-231

CEPERG/IBAMA. 2007. Desembarques de Pescado no Rio Grande do Sul. 2007. Ministério do Meio Ambiente. Centro de Pesquisas do Rio Grande (CEPERG). Rio Grande. 39 p

Cloern, J. E., Hieb, K. A., Jacobson, T., Sans, B., Di Lorenzo, E., Stacey, M. T., Largier, J. L., Meiring., Peterson, W. T., Powell, T. M., Winder, M & Jassby, A. D. 2010. Biological communities in San Francisco Bay track large-scale climate forcing over the North Pacific, Geophysical Research Letters, 37 (21)

Day, J. W., Kemp, W. M., Yanez-Arancibia, A & Crump, B. C. 2012. Estuarine ecology. John Wiley & Sons

Feyrer, F., Newman, K., Nobriga, M & Sommer, T. 2011. Modeling the effects of future outflow on the abiotic habitat of an imperiled estuarine fish. Estuaries and coasts 34: 120-128

Franklin, H.B., 2007. The most important fish in the sea: menhaden and America. Island Press, Washington. 1-265

Freund, M. B., Henley, B. J., Karoly, D. J., McGregor, H. V., Abram, N. J & Dommenget, D. 2019. Higher frequency of Central Pacific *El Niño* events in recente decades relative to past centuries. Nature Geoscience. 12(6): 450-455

Garcia, A. M., J. P. Vieira & Winemiller K. O. 2001. Dynamics of the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon estuary (Brazil) during cold and warm ENSO episodes. Journal of Fish Biology 59: 1218-1238

Garcia, A. M., Vieira, J. P & Winemiller, K. O. 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, 57: 489-500

Garcia, A. M., Vieira, J. P., Winemiller, K.O & Grimm, A. M. 2004. Comparison of 1982-1983 *El Niño* effects on the shallow-water fish assemblage of Patos Lagoon estuary (Brazil). Estuaries 27, 905-914

Garcia, A. M., Vieira, J. P., Winemiller, K. O., Moraes, L. E & Paes, E. T. 2012. Factoring scales of spatial and temporal variation in fish abundance in a subtropical estuary marine ecology. Progress Series. 461, 121-135

Gillanders, B. M., Elsdon, T. S., Halliday, I. A., Jenkins, G. P., Robins, J. B & Valesini, F. J. 2011. Potential effects of climate change on Australian estuaries and fish utilising estuaries: a review. Marine and Freshwater Research. 62(9), 1115-1131

Golden Gate Weather Services. 2022. El Niño and La Niña years and intensities. Based on oceanic Niño index (ONI). Disponível em: http://ggweather.com/enso/oni.html

Grimm, A. M., Ferraz, S. E & Gomes, J. 1998. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. Journal of climate, 11(11), 2863-2880

Haimovici, M., J. P. Castello & Abdallah, P. R. 2014. Desenvolvimento da pesca industrial sediada em Rio Grande: Uma visão histórica sob a ótica de atores privilegiados. A pesca marinha e estuarina no Brasil: Estudos de casos multidisciplinares. Rio Grande: Editora da FURG

Kemp, W. M & Crump, B. C. 1990. Introduction to estuarine ecology. In: Day Jr, John W., Yanez Arancibia, A., Kemp, W. M., Crump, B. C. (Eds), Estuarine ecology. John Wiley & Sons, New York, pp 2-7

Lotze, H. K., Lenihan, H. S. Bourque, B. J., Bradbury, R. H., Cooke, R. G., Kay, M. C., Kidwell, S. M., Kirby, M. X., Peterson, C. H & Jackson, J. B. 2006. Depletion, degradation and recovery potential of estuaries and coastal seas. Science 312, 1806-1809

McPhaden, M. J. 1999. Genesis and Evolution of the 1997-1998 *El Niño*. Science. 283: 950-954

McPhaden, M. J., Zebiak, S. E & Glantz, M. H. 2006. ENSO as na integrating concept in Earth Science. Science 314, 1740-1745

Monks, C. D., Possamai, B & Garcia, A. M. 2021. Diet composition and trophic plasticity of the Argentine menhaden Brevoortia pectinata in a southwestern Atlantic estuary. Cahiers de Biologie Marine, 62 (4), 345 – 355

Moraes, L. E. 2011. Dinâmica temporal e mudanças de longo prazo (1979 a 2011) na ictiofauna das zonas rasas do estuário da Lagoa dos Patos: efeito dos fatores naturais e antrópicos. Tese de doutorado. Programa de pós-graduação em Oceanografia Biológica. FURG. 240 pg

Muelbert, J. H & Weiss, G. 1991. Abundance and distribution of fish larvae in the channel área of the Patos Lagoon estuary, Brazil. NOAA Technical Report NMFS. 95: 43-54

Pinho, R., 2016. A pesca artesanal na Baía Sul da Ilha de Santa Catarina: um patrimônio da cultura local. Confluências Culturais 5, 10-28

Potter, I. C., Tweedley, J. R., Elliott, M & Whitfield, A. K. 2015. The ways in which fish use estuaries: a refinement and expansion of the guild approach. Fish and Fisheries 16 (2), 230-239

Possamai, B., Vieira, J. P., Grimm, A. M & Garcia A. M. 2018. Temporal variability (1997-2015) of trophic fish guilds and its relationships with El Niño events in a subtropical estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 202: 145-154

Reis, E. G., Vieira, P. C & Duarte, V. S. 1994. Pesca artesanal de teleósteos no estuário da Lagoa dos Patos e costa do Rio Grande do Sul. Atlântica 16:69-86

Salvador, N. L. A & Muelbert, J. 2019. Environmental variability and body condition of argentine menhaden larvae, Brevoortia pectinata (Jenyns, 1842), in estuarine and coastal Waters. Estuaries and Coasts, 42: 1654-1661

Seeliger, U. 2001. The Patos Lagoon Estuary, Brazil. In: Seeliger, U., Kjerfive, B. Coastal Marine Ecosystems of Latin America Ecological Studies (Analysis and Synthesis), vol 144. Springer, Berlin, Heidenberg.

Simões-Lopes, P. C., Fabian, M.E & Menegheti, J. O. 1998. Dolphin interactions with the muller artisanal fishing on Southern Brazil: a qualitative and quantitative approach. Revista Brasileira de Zoologia. 15(3): 709-726

Visentainer, JV; Noffs, MD; Carvalho, PO; Almeida, VV; Oliveira, CC & Souza, NE. 207. Lipid content and fatty acid composition of 15 marine fish species from the southeast coast of Brazil. Journal of the american oil chemists society. 84: 543-547

Whitfield, A. K & Elliott, M. 2002. Fishes as indicators of environmental and ecological changes within estuaries: a review of progress and some suggestions for the future. Journal of Fish Biology. 61: 229-250

Whitfield, A. K. 2021. Estuaries-how challenging are these constantly changing aquatic environments for associated fish species? Environmental Biology of Fishes. 104(4): 517-528

Whitehead, P.J.P., 1985. FAO species catalogue. Vol 7. Clupeoid Fishes of the World (suborder Clupeoidei). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, anchovies and wolf-herrings. Part 1 - Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae. FAO Fisheries Synopsis 7, 1-303

# CAPÍTULO 1

Variabilidade de longo-prazo (1997-2019) na abundância de juvenis da savelha *Brevoortia pectinata* (Jenyns, 1842) no estuário da Lagoa dos Patos e suas relações com fatores ambientais

** Manuscrito formatado de acordo com as normas da revista Hydrobiologia.*


**Resumo**

Pesquisas ecológicas de longa duração são essenciais para compreender os impactos das mudanças climáticas sobre os ecossistemas e sua biota, especialmente no atual cenário de aquecimento global que pode estar aumentando a frequência e intensidade de eventos climáticos extremos. Um componente importante do clima global que possuem grande influência em sistemas ecológicos são os eventos *El Niño* e *La Niña*, as quais podem afetar as condições hidrológicas em ambientes costeiras em várias regiões do mundo. O presente trabalho investiga a influência desses eventos climáticos e de fatores ambientais locais na abundância de juvenis da savelha *Brevoortia pectinata* (Jenyns, 1842) em um estuário subtropical situado na costa sudoeste do Oceano Atlântico. A partir de séries temporais de 9longo prazo (1997-2019) de dados mensais de fatores ambientais e de abundância dos juvenis são investigadas as seguintes hipóteses: (Hi) a abundância dos juvenis está negativamente e positivamente relacionadas com eventos *El Niño* e *La Niña*, respectivamente, sendo os efeitos diretamente proporcionais a intensidade dos eventos climáticos e (Hii) a abundância ao longo dos anos está diminuindo devido aos efeitos negativos de eventos *El Niño* mais intensos. Modelos aditivos generalizados (GAM) foram usados para analisar as variações na abundância em relação aos fatores temporais (sazonal e interanual) e espacial (longitude e latitude), bem como modelos para avaliar as relações com os fatores ambientais. A análise da tendência interanual mostrou um período de baixa abundância (1997-2001) seguido de um marcado aumento (2001 e 2008) e um período mais extenso de relativa estabilidade, com patamares comparativamente altos de abundância (2008-2019). Esse padrão geral variou espacialmente, mostrando uma tendência significativa de aumento apenas na região mais próxima da conexão do estuário com o mar. A temperatura, salinidade e o eventos

*El Niño* foram as variáveis que melhor explicaram a variabilidade na abundância dos juvenis. Como predito, eventos *El Niño* mais intensos estiveram associados com menores abundâncias. Porém, não foram observados efeitos em relação aos eventos *La Niña*. Esses resultados mostram que as variações na abundância dessa espécie dependem não de fatores locais como temperatura e salinidade, mas também de fenômenos climáticos globais que influenciam a hidrologia desse estuário subtropical.

**Palavras-chave:** *El Niño*, *La Niña*, ENOS, modelos aditivos generalizados (GAM), Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD), Estuário da Lagoa dos Patos

**Abstract**

Long-term ecological research is essential to understand the impacts of climate change on ecosystems and their biota, especially in the current scenario of global warming that may be increasing the frequency and intensity of extreme weather events. An important component of global climate that has great influence on ecological systems are the *El Niño* and *La Niña* events, which can affect hydrological conditions in coastal environments in several regions of the world. The present work investigates the influence of these climate events and local environmental factors on the abundance of juveniles of the Argentinean menhaden *Brevoortia pectinata* (Jenyns, 1842) in a subtropical estuary located on the southwest coast of the Atlantic Ocean. From long-term time series (1997-2019) of monthly data on environmental factors and juvenile abundance, the following hypotheses are investigated: (Hi) juvenile abundance is negatively and positively related to *El Niño* and *La Niña* events, respectively, with the effects being directly proportional to the intensity of the climatic events, and (Hii) abundance over the years is decreasing due to the negative effects of more intense *El Niño* events. Generalized additive models (GAM) were used to analyze variations in abundance in relation to temporal (seasonal and interannual) and spatial (longitude and latitude) factors, as well as models to assess relationships with environmental factors. Interannual trend analysis showed a period of low abundance (1997-2001) followed by a marked increase (2001 and 2008) and a longer period of relative stability with comparatively high plateaus of abundance (2008-2019). This general pattern varied spatially, showing a significant upward trend only in the region closest to the estuary's connection to the sea. Temperature, salinity, and *El Niño* events were the variables that best explained the variability in juvenile abundance. As predicted, more intense *El Niño* events were associated with lower abundances.

However, no effects were observed for *La Niña* events. These results show that the variations in the abundance of this species depend not only on local factors such as temperature and salinity, but also on global climatic phenomena that influence the hydrology of this subtropical estuary.

**Keywords:** *El Niño*, *La Niña*, generalized additive models (GAM), Brazilian Long-Term Ecological Studies (B-LTER), Patos Lagoon Estuary

## 1. Introdução

Um tópico de especial interesse em ecologia diz respeito a variabilidade de longo-prazo das espécies em um determinado ecossistema (Lindenmayer et al., 2012; Kingsland et al., 2021). Pesquisas ecológicas que ocorrem em uma ampla escala de tempo são essenciais para que possamos compreender as mudanças nos ecossistemas e, consequentemente, o reflexo destas alterações nas espécies que ali se encontram. A perda da biodiversidade e o declínio populacional de muitas espécies, por exemplo, só podem ser avaliados de maneira eficiente à luz de dados históricos (Valiela, 1995). Além disso, os efeitos de eventos raros ou de frequência inconstante (e.g., eventos climáticos como *El Niño* e *La Niña*) sobre a biota só podem ser interpretados adequadamente com um conjunto de dados históricos. Em ambientes aquáticos costeiros, como os estuários, que são caracterizadas por uma marcada variabilidade nos seus parâmetros físicos e químicos (Day et al., 2012), os estudos de longo-prazo são essenciais para poder investigar as relações entre os fatores ambientais e os organismos que utilizam esses ambientes (Spellerberg, 1991; Gillanders et al., 2022).

Os estuários são bons modelos para estudos sobre variabilidade espaço-temporal de longo prazo, pois estão sob influência de distúrbios ambientais associados a processos continentais, atmosféricos e oceânicos que modificam a hidrodinâmica desse ambiente em diferentes escalas espaciais e temporais (Day et al., 2012). Espécies que utilizam os estuários para o crescimento de seus juvenis ou ao longo de todo seu ciclo de vida sofrem pressões antrópicas e distúrbios naturais que podem levar à diminuição da abundância de suas populações (Gillanders et al., 2011). Existe uma crescente necessidade de entender os impactos de fenômenos climáticos sobre os ambientes estuarinos e suas comunidades biológicas (Lotze et al., 2006; Gillanders et al., 2022), pois esses ambientes estão entre os ecossistemas aquáticos mais produtivos, abrigando várias atividades humanas de elevada

importância socioeconômica, como pescarias artesanais e industriais de peixes, camarões e outros invertebrados de importância comercial (Day et al. 2012). Essa necessidade é ressaltada quando consideramos as previsões de que os impactos do aquecimento global irão acarretar alterações na estrutura e funcionamento desses ecossistemas, com possível perda de produtividade (Roessig et al., 2004; Gillanders et al., 2022).

Um fenômeno climático que afeta várias regiões ao redor do globo, incluindo estuários e sua biota, e que pode estar aumentando em intensidade e frequência devido ao aquecimento global, é o *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) (Cai et al., 2014; Freund et al., 2019). O fenômeno ENOS é formado pela interação de componentes oceânicos e atmosféricos que são caracterizados, de modo geral, por anomalias positivas (fase 'quente': *El Niño*) e negativas (fase 'fria': *La Niña*) da temperatura da superfície do mar na região equatorial do Oceano Pacífico. As fases do ENOS estão associadas à várias alterações climáticas que são percebidas ao redor do globo como, por exemplo, excesso de chuvas ou secas prolongadas (Cai et al, 2020). Essas anomalias de precipitação podem alterar a descarga dos rios que afluem para os estuários causando impactos na sua biota (Odebrecht et al. 2017; Rossi et al., 2017). Os peixes estuarinos são um dos grupos que podem ser afetados pelos distúrbios hidrológicos associados as fases do ENOS (Gillanders et al., 2022), como apontam trabalhos prévios realizados em estuários no Brasil (Garcia et al., 2004; 2012; Possamai et al., 2018), África (James et al., 2013), Estados Unidos (Williams et al., 2001) e Oceania (Doubleday et al., 2015).

Um sistema estuarino que constitui um modelo propício para avaliar a variabilidade de longo-prazo na biota estuarina e suas possíveis relações com fatores climáticos como o ENOS é o estuário da Lagoa dos Patos (ELP) situado no Atlântico Sudoeste (32ºS). Esse estuário é um dos sítios do programa brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) e possui séries temporais de longa-duração de fatores abióticos e de vários componentes da biota estuarina coletadas de modo ininterrupto e padronizadas por décadas (Lemos et al., 2022), incluindo a ictiofauna (Vieira et al., 2020). Além disso, a hidrodinâmica e a biota do ELP são fortemente influenciados pelo ENOS. Por exemplo, o excesso de chuvas e aumento na descarga continental durante os eventos *El Niño* de forte intensidade de 1982-1983 e 1997-1998 acarretaram a diminuição na abundância de juvenis de peixes marinhos estuarino-dependentes, como a savelha, no interior do estuário. Essa diminuição poderia estar associada a maior dificuldade dos recrutas marinhos em sobrepor a maior vazão da água durante eventos *El Niño* intensos e adentrar o estuário. Em contrapartida, a maior estiagem durante eventos *La Niña* favoreceria a penetração da cunha salina e, por conseguinte, a entrada de peixes

marinhos no ELP (Garcia et al., 2001, 2004). A intensidade desses efeitos parece ser diretamente proporcional a intensidade dos eventos ENOS (Belarmino et al. 2021).

O presente trabalho investiga a variabilidade de longo-prazo na abundância da savelha *Brevoortia pectinata* (Jenyns, 1842), uma das espécies de maior abundância nas zonas rasas (< 2m) do ELP (Garcia et al., 2012; Salvador & Muelbert, 2019). A savelha é uma espécie marinha estuarina-dependente, ou seja, os adultos desovam no mar, mas os recrutas dependem do sistema estuarino para o seu crescimento durante os estágios iniciais do seu desenvolvimento (larvas e juvenis) (*sensu* Potter et al., 2015). Além da sua importância para a pesca (Haimovici et al., 1997; Haimovici et al., 2014), essa espécie zooplanctívora pode servir como elo entre a base da cadeia e níveis tróficos superiores (Monks et al., 2021), onde são consumidas por predadores de topo como aves (Bugoni & Vooren, 2004) e mamíferos marinhos (Simões-Lopes et al., 1998). Portanto, é importante avançar no entendimento da influência da variabilidade estuarina e fatores climáticos globais sobre a abundância de espécies de savelha, as quais constituem um importante componente de pesca e da biota em estuários do Oceano Atlântico (Garcia et al., 2012; Olsen et al., 2014; Anstead et al., 2021; Short et al., 2021).

Existem poucos trabalhos sobre os fatores que controlam a variação temporal e espacial de *B. pectinata* durante seus estágios iniciais de vida no ELP (Garcia et al., 2012; Salvador & Muelbert, 2019). As fases do ENOS não possuem um efeito direto na condição corporal das larvas (Salvador & Muelbert, 2019), porém existem algumas evidências de influência sobre os juvenis da espécie. Um estudo prévio mostrou que parte da variação temporal na abundância de peixes marinho estuarino-dependentes (como a savelha *B. pectinata*) no ELP pode ser explicada pela precipitação, temperatura e salinidade (22,4%). Além disso, uma fração considerável (18,7%) da variação na abundância interanual de peixes marinho estuarino-dependentes no estuário pode ser atribuída a influência de eventos climáticos como *El Niño* e *La Niña* (Garcia et al., 2012).

Porém, esses estudos prévios não avaliaram os efeitos de eventos ENOS com diferentes intensidades (e.g., de moderado a muito forte; Golden Gate Weather Services, 2022) sobre a abundância dos juvenis de *B. pectinata*. Considerando que eventos *El Niño* estão se tornando mais frequentes e intensos no atual cenário de aquecimento global (Cai et al., 2014; Freund et al., 2019; Cai et al., 2020), seria esperada uma diminuição na abundância da espécie no ELP nas últimas décadas? Por outro lado, estudos anteriores sugerem uma tendência de aumento na abundância dos juvenis no ELP entre o início da década de 80 e a primeira década dos anos 2000, o que poderia estar associado a diminuição na pesca dos adultos e o subsequente

aumento no recrutamento da espécie (Moraes 2011). Essa aparente tendência de aumento poderia estar sendo contraposta pelos efeitos negativos de eventos *El Niño* de maior intensidade como, por exemplo, o *El Niño* 2015-2016 que foi um dos eventos mais fortes já registrados (Huang et al., 2016).

Nesse contexto, o presente trabalho analisou uma longa série temporal (1997-2019) de dados mensais de abundância de juvenis de *B. pectinata* no ELP para avaliar as seguintes questões: (i) Existe relação entre a variabilidade de longo-prazo na abundância da espécie e a ocorrência de eventos *El Niño* e *La Niña* de diferentes intensidades? (ii) Quais as tendências interanuais na abundância dos juvenis da espécie no estuário ao longo dos anos? Nossas hipóteses para essas questões são: (Hi) a abundância dos juvenis de *B. pectinata* no ELP está negativamente e positivamente relacionadas com eventos *El Niño* e *La Niña*, respectivamente, sendo que eventos *El Niño* e *La Niña* mais intensos (fortes e muito fortes) tem maior efeito na abundância da espécie do que eventos menos intensos (fracos e moderados) e (Hii) a abundância de *B. pectinata* está diminuindo no ELP devido aos efeitos negativos de eventos *El Niño* mais intensos.

## 2. Material e métodos

### *2.1 Área de estudo*

A Lagoa dos Patos está localizada no extremo sul do Brasil e é a maior laguna costeira do mundo, com cerca de 10.360km² (Fig. 1). Na sua porção sul forma-se uma zona estuarina que deságua no Oceano Atlântico (Seeliger, 2001). O Estuário da Lagoa dos Patos (ELP) (Figura 2) está conectado ao oceano através de um canal de aproximadamente 22 km de extensão, 2 km de largura e 12 m de profundidade, sendo que a extremidade desse canal é relativamente estreita (~ 600m). As fases do fenômeno *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) influenciam o ELP, principalmente sua fase quente (*El Niño*), que contribui para o aumento das chuvas e descargas continentais na bacia de drenagem. Essas alterações acarretam a diminuição da salinidade na região estuarina, influenciando a composição de espécies, abundância, diversidade (Garcia et al. 2001; Garcia et al. 2003; Garcia et al. 2004) e estrutura trófica da ictiofauna (Possamai et al., 2018).

### *2.2 Amostragem*

O Laboratório de Ictiologia da Universidade Federal de Rio Grande (FURG) realiza amostragens mensais desde agosto de 1996 em áreas rasas do ELP (< 2m). Esse monitoramento de longo prazo é realizado como parte do programa Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD), que investiga as principais forças motrizes que influenciam a dinâmica e a estrutura da biota no ELP e sua costa adjacente (Odebrecht et al., 2017). Durante esse monitoramento, os peixes são capturados com uma rede de arrasto de praia com 9 m com malhas de 13 mm nas asas e 5 mm no centro. São realizados mensalmente cinco arrastos de praia em diferentes locais de amostragem no interior do estuário e na região marinha adjacente (Vieira et al., 2020). A partir do banco de dados disponível no PELD, foi utilizado séries temporais da abundância média mensal de *Brevoortia pectinata* no estuário obtida em quatro estações de coleta (E1, E2, E3, E4) entre janeiro de 1997 e dezembro de 2019 (Figura 2). O ano de 1996 não foi incluído por conter apenas dados entre agosto e dezembro. Os anos de 2020 e 2021 também não foram incluídos devido a interrupções na amostragem devido as restrições relacionadas a pandemia de COVID.

Concomitantemente com a amostragem dos peixes, os parâmetros ambientais foram medidos em cada local de amostragem, incluindo temperatura da água (ºC) com termômetro de mercúrio, salinidade com salinômetro óptico e transparência da água com disco de *Secchi*. As informações sobre a ocorrência e intensidade de eventos *El Niño* e *La Niña* foram obtidos de um banco de dados *online* da *National Oceanic and atmospheric Administration* (NOAA) e dados de precipitação (mm) e descarga dos rios dos principais tributários do ELP foram obtidos na Agência Nacional das Águas (ANA) e no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Como indicador da ocorrência e intensidade dos eventos ENOS foi utilizado o *Oceanic Niño Index* (ONI), que é uma medida padronizada utilizada pelo NOAA para identificar eventos de *El Niño* e *La Niña* no Pacífico Tropical. As anomalias de +0.5ºC na temperatura superficial da água na região equatorial do Oceano Pacífico são definidas como eventos de aquecimento (*El Niño*) e anomalias inferiores a -0.5ºC para eventos de esfriamento (*La Niña*). Com base nos valores do ONI, os eventos *El Niño* e *La Niña* foram classificados como fraco (0.5 a 0.9), moderado (1.0 – 1.4), forte (1.5 – 1.9) e muito forte (≥ 2) (Golden Gate Weather Services, 2022).

### *2.3 Análise de dados*

#### *2.3.1 Variação espaço-temporal e tendência interanual na abundância*

As variações na abundância de *B. pectinata* nas zonas rasas (< 2 m) no ELP em relação aos fatores temporais (sazonal e interanual) e espaciais (longitude e latitude) foram analisados com modelos aditivos generalizados (GAM) que permitem investigar padrões não lineares de relação entre as variáveis (Woods 2017; Pedersen et al., 2019). Inicialmente, foi realizado um modelo geral (global) para o estuário visando avaliar a influência dos componentes sazonal (janeiro a dezembro), interanual (1997 à 2019) e espacial (localização geográfica das 4 estações de coleta). Em seguida, foram realizados modelos separados para avaliar os efeitos sazonais e interanuais e sua interação em cada uma das estações de coleta. A inclusão da variação espacial nas análises teve o intuito de comparar as diferenças nas tendências interanuais na abundância entre a região próxima a conexão do estuário com o mar (E1) e estações de coleta localizadas na região central (E2, E3) e mais ao norte do estuário, mais próxima a região límnica da laguna (E4). Os modelos foram ajustados com a família 'tweedie' e função de ligação 'log' e a qualidade do ajuste foi avaliada com gráficos dos resíduos (Figura suplementar 1) (Pedersen et al. 2019). As análises foram realizadas na plataforma R com auxílio do programa RStudio tendo como base principal o pacote 'mgcv' (R Core Team 2022).

Com o objetivo de testar se as variações interanuais (1997-2019) apresentavam tendências estatisticamente significativas ($p < 0.05$) foi utilizado análises de séries temporais que possibilitaram a decomposição dos componentes de sazonalidade e tendência interanual, bem como dos resíduos (Crawley, 2012). A significância estatística das tendências interanuais na abundância de *B. pectinata* foi avaliada usando modelos mistos, com tendências sazonais e interanuais como fatores fixos e tempo (meses/anos) como fatores aleatórios para controle de pseudo-replicação temporal. Diferentes modelos (modelo 1: sazonal + interanual e modelo 2: apenas sazonal), foram comparados pelo método de máxima verossimilhança (Crawley, 2012). As análises foram realizadas na plataforma R usando o programa RStudio e empregando principalmente o pacote 'astsa' (Crawley, 2012; R Core Team 2022).

### *2.3.2 Variabilidade na abundância e suas relações com os fatores ambientais*

Foram utilizados modelos GAM para investigar as relações entre as variáveis ambientais relacionadas aos eventos ENOS no Oceano Pacífico (índice ONI), variabilidade da chuva e descarga continental (vazão dos rios) na bacia de drenagem da Lagoa dos Patos e variabilidade da salinidade, transparência e temperatura da água no estuário e a abundância de *B. pectinata* entre 1997 e 2019 nas zonas rasas (< 2 m) no ELP. As variáveis ONI e

precipitação foram consideradas nas análises com defasagens (*lags*) de dois e um mês, respectivamente, com intuito de corrigir o intervalo de tempo entre as anomalias de temperatura no Oceano Pacífico e os efeitos sobre a precipitação no sul do Brasil (Moraes et al., 2012). A colinearidade entre as variáveis ambientais foi avalizada por meio de uma matriz de correlação de Pearson, sendo retidas as variáveis com correlação (r) inferior à 0,7 (Figura suplementar 2). Foi utilizada a distribuição 'tweedie' e função de ligação 'log' no ajuste do modelo e os resíduos foram avaliadas por meio de regressões e gráficos (Figura suplementar 3) (Pedersen et al. 2019). As variáveis ambientais foram padronizadas usando a função R "decostand" do pacote "vegan" visando controlar efeitos devido as marcadas diferenças na magnitude das escalas entre as variáveis. O comando "dredge" do pacote "MuMIn" do programa R foi usado para encontrar o modelo final mais parcimonioso dentre todas as combinações possíveis de preditores. Como critério de seleção foi considerado o modelo dentre aqueles com delta < 5.0, com o menor valor de AICc e o AICw mais alto (Bartón 2020). As análises foram realizadas no R e usando o programa RStudio (R Core Team 2022), sendo que os modelos GAM foram computados utilizando o pacote "mgcv" (Pedersen et al. 2019).

## 3. Resultados

### *3.1 Variação espaço-temporal e tendência interanual*

De modo geral, a abundância média mensal dos juvenis de B. pectinata nas zonas rasas do ELP mostrou marcada variabilidade ao longo da série temporal (1997 e 2019), com valores variando entre zero e 223,1 indivíduos por arrasto (Figura 2). As diferentes estações de coleta também apresentaram uma marcada variabilidade ao longo do período, sendo possível observar uma maior abundância nos locais mais próximos a conexão do estuário com o mar (E1, E2) e uma relativa diminuição da abundância nas estações mais ao norte do estuário (E3, E4), as quais apresentaram um maior número de meses em que a espécie esteve ausente das capturas, especialmente no local (E4) mais próximo a região límnica da laguna (Figura 2). Também é possível observar uma diminuição na abundância da savelha nas zonas rasas do ELP (tanto de modo geral quanto nas diferentes estações de coleta) em anos com *El Niño*, especialmente durante os eventos muito fortes de 1997-1998 e 2015-2016 (Figura 2).

Os resultados do modelo GAM mostraram que a variação temporal da abundância mostrou um padrão complexo com efeitos significativos dos fatores temporal (sazonal e

interanual) e espacial (ao longo do estuário) (Tabela 1). O modelo também revelou uma interação significativa entre os componentes temporal e espacial, indicando que os padrões sazonais e interanuais se modificam ao longo estuário (E1 à E4), desde a região estuarina mais próxima ao oceano (E1) até a região mais ao norte do estuário (E4), próxima da região límnica da laguna) (Tabela 1).

Em relação a sazonalidade, de modo geral, o ajuste do modelo GAM para a abundância dos juvenis da savelha nas zonas rasas (< 2m) do ELP mostrou um padrão bem conspícuo de aumento nos meses mais quentes (novembro-março) e uma queda entre abril-outubro (Figura 2 e 3). Esse padrão geral mostrou variações entre as diferentes estações de coleta (E1 à E4) (Figura 3). Os modelos GAM realizados separadamente para estação de coleta mostrou que a sazonalidade na abundância não apresentou um padrão significativo no local mais distante da conexão do estuário com o mar (E4) (Tabela 1). As variáveis mês, ano e longitude/latitude explicaram 19,9% da variação na abundância encontrada para a espécie de savelha *Brevoortia pectinata* no ELP. A variável mês e ano, bem como a interação entre essas duas variáveis foram significativas em três estações de coleta, com exceção do local E4, onde somente o ano e a interação mês-ano foi significativa. No local E1, as três variáveis explicaram 52,2%, enquanto no local E2 explicou 58,4% da variação e no local E3 explicou 55,2% (Tabela 1).

Em relação a variação interanual (1997-2019) o ajuste do modelo GAM mostrou um padrão geral caracterizado por três períodos distintos: um período de baixa abundância (1997-2001), seguido de um marcado aumento (2001 e 2008) e um período mais extenso de relativa estabilidade, com patamares comparativamente altos de abundância (2008-2019) (Figura 3). Apesar desse aparente aumento na abundância ao longo dos anos, o teste com a decomposição das séries temporais e os modelos mistos não apontou uma tendência significativa de aumento da abundância geral da espécie entre 1997 e 2019 (Chisq = 2,62; p = 0.289). O padrão geral de variação interanual observado na figura 3 mostrou algumas modificações entre as diferentes estações de coleta, sendo que apenas no local do estuário mais próximo ao mar (E1) foi possível observar uma tendência estatisticamente significativa de aumento da abundância ao longo dos anos (Chisq = 5,59; p = 0,018) (Figura 4).

### *3.2 Relações da abundância com as variáveis ambientais*

A figura 5 mostra a variação mensal das variáveis ambientais analisadas nesse estudo. Percebe-se que entre 1997 e 2019 ocorreram dois eventos *El Niño* (1997-1998 e 2015-2016) considerados 'muito fortes' (i.e., valores de ONI ≥ 2). De modo geral, os eventos mais

intensos de *El Niño* foram acompanhados de aumentos da chuva e descarga continental na bacia de drenagem e menores valores de salinidade no estuário. Os eventos *La Niña* mais intensos ocorreram em 1999-2000, 2007-2008 e 2010-2011, porém não houve nenhum classificado como 'muito forte'.

A temperatura variou de 8,2ºC a 32ºC, com uma média de 21ºC. A salinidade variou de 0 a 33 com uma média de 6,68 A chuva teve um mínimo de 14,7mm e uma máxima de 349,4mm com uma média de 132,7mm. A descarga variou de 333,6 a 38.450 com uma média de 3340. A transparência da água teve um mínimo de 0m e uma máxima de 1,30m com uma média de 0,405m (Figura 5).

A tabela 2 mostra o modelo selecionado pela função 'dredge', onde constam os principais fatores que controlam a abundância dos juvenis de *B. pectinata* em zonas rasas no ELP. O modelo com a salinidade, temperatura e índice ONI explicou 23,8% da variação encontrada (Tabela 2)

A figura 6 apresenta os resultados da análise GAM sobre a abundância da *B. pectinata*. Percebe-se que quanto maior o índice ONI menor é a abundância, ou seja, há um efeito negativo na abundância da savelha *B. pectinata* em anos de *El Niño*, especialmente durante eventos mais intensos (ONI > 1,5ºC). Em contrapartida, não houve um efeito positivo ou negativo na abundância em anos de *La Niña*, com a abundância se mantendo similar independente da intensidade dos eventos (ONI < -0,5ºC à -1,0 ºC). Já a salinidade teve um efeito positivo na abundância quando apresentou valores intermediários, porém houve um efeito negativo na abundância com valores em ambos os seus extremos. A temperatura apresentou um efeito positivo com aumento relativamente proporcional com a abundância da savelha no ELP.

## 4. Discussão

### *4.1 Variação espaço-temporal e tendências interanuais na abundância*

Nossos resultados mostraram que a abundância dos juvenis da savelha *B. pectinata* nas zonas rasas (< 2m) do ELP apresenta um padrão bastante complexo, com variações significativas tanto no eixo temporal (sazonal e interanual) quanto espacial (ao longo do estuário). Estudos prévios com espécies marinho estuarino-dependentes no ELP já haviam mostrado como a abundância desses peixes varia espaço-temporalmente, sugerindo maior variabilidade associada ao eixo temporal (28.0%) do que espacial (6.4%) (Garcia et al., 2012).

Porém, os resultados do presente trabalho sugerem uma relevância maior da variação espacial no padrão de abundância dos juvenis de *B. pectinata* no ELP. Isso porque o modelo GAM revelou uma interação significativa entre os componentes temporal e espacial, indicando que os padrões sazonais e interanuais na abundância mudam desde a região estuarina (próxima com conexão com o oceano) até a região mais ao norte do estuário (próxima a região límnica da laguna).

Em relação a sazonalidade, o ajuste do modelo GAM para a abundância intra-anual da espécie mostrou um padrão de variação marcado, com maiores valores nos meses quentes (dezembro a março) seguido de uma queda entre abril e outubro. Esse padrão pode ser explicado pelo comportamento reprodutivo da espécie. As savelhas reproduzem no Oceano Atlântico nos meses quentes e as larvas entram no estuário (Ahrenholz, 1991; Acha & Macchi, 2000), onde encontram farta alimentação e refúgio contra predadores e ali se desenvolvem em juvenis (Day et al., 2012; Seeliger, 2001). Os juvenis residem em águas estuarinas até o outono seguinte ou início do inverno, quando migram para águas marinhas (Ahrenholz, 1991; Acha & Macchi, 2000). Assim, em meses mais quentes é esperado uma maior abundância de juvenis dessa espécie no estuário se comparado aos meses mais frios. Esse padrão sazonal na reprodução está intimamente relacionado a variabilidade na temperatura que mostrou uma correlação significativa com a variação sazonal na abundância da espécie (vide discussão na próxima seção).

Porém, o padrão geral de sazonalidade da abundância não se manteve ao longo de todo o estuário. Os modelos GAM realizados separadamente para cada estação de coleta mostrou que a sazonalidade na abundância deixa de ter um padrão significativo na estação de coleta mais distante da conexão com o oceano. Esse fato pode estar relacionado com o padrão de dispersão da espécie no estuário. A medida que essa espécie de origem marinha se distribui da região próxima a desembocadura para locais mais distantes da boca do estuário sua abundância média diminui consideravelmente (E1: 14,9 vs. E4: 1,8 indivíduos por arrasto). Além disso, a região mais ao norte do estuário está mais próxima a porção límnica da laguna, possuindo características físico-químicas (e.g., menor salinidade) e biológicas (e.g., substrato, disponibilidade de alimento, composição da ictiofauna) distinta da região estuarina (Moura et al., 2012; Mont'Alverne et al; 2016). Essas condições podem ter desfavorecido a presença de *B. pectinata* nesta região. Portanto, a substancial queda na abundância da espécie mais ao norte do estuário, associado a fatores como dispersão e características do hábitat, possivelmente foi responsável pela ausência de sazonalidade nessa região.

Em relação a variabilidade interanual, os resultados não corroboraram nossa hipótese inicial de tendência de queda na abundância da espécie ao longo dos anos. De modo geral, o modelo GAM apontou um período de baixa abundância (1997-2001) seguido de um marcado aumento (2001 e 2008) e um período mais extenso de relativa estabilidade, com patamares comparativamente altos de abundância (2008-2019). O período inicial de baixa abundância entre 1997 e 2001 pode estar relacionado com os efeitos negativos na abundância da espécie provocados pelo evento *El Niño* 1997-1998 (vide maiores detalhes na próxima seção da Discussão). Esse evento foi um dos mais fortes já registrados (Golden Gate Weather Services, 2022) e teve efeitos marcantes no ELP (Garcia et al., 2003) e em vários estuários ao redor do mundo (Williams et al., 2001; James et al., 2013; Doubleday et al., 2015). Já o período de aumento entre 2001 e 2008 coincide com a tendência previamente reportada por Moraes (2011) e, segundo hipótese proposta por esse autor, poderia estar relacionado ao aumento do recrutamento no estuário decorrente de um alívio da pressão pesqueira sobre o estoque adulto. É interessante observar que nesse período ocorreram três eventos *El Niño*, mas por terem intensidades moderadas (2002-2003) ou fracas (2004-2005 e 2006-2007) (Golden Gate Weather Services, 2022), é plausível supor que seus efeitos negativos não foram suficientes para atenuar ou reverter essa tendência de aumento na abundância. Finalmente, o período de estabilidade entre 2008 e 2019 também for marcado pela ocorrência de eventos moderados (2009-2010 e 2018-2019). Porém, nesse período ocorreu um episódio muito forte, o evento *El Niño* 2015-2016, que também está entre os mais intensos já registrados. Apesar da sua intensidade comparável ao evento de 1997-1998, o evento *El Niño* 2015-2016 teve características distintas em relação a sua origem e desenvolvimento no Oceano Pacífico (Paek et al., 2017). Como demonstrado por Belarmino e colaboradores (2021), o efeito do *El Niño* 2015-2016 sobre a abundância da espécie estuarina-residente *Atherinella brasiliensis* no ELP foi muito menos acentuado quando comparado ao *El Niño* 1997-1998. Um padrão semelhante parece ter ocorrido em relação a abundância média dos juvenis de *B. pectinata*, que permaneceu muito mais elevada durante o evento de 2015-2016 (22,9 indivíduos por arrasto) comparada ao de 1997-1998 (2,4 indivíduos por arrasto).

### *4.2* Fatores ambientais e suas relações com a abundância

Os resultados do modelo GAM investigando as relações dos fatores ambientais com a variabilidade de longo-prazo na abundância dos juvenis de *B. pectinata* demonstrou efeitos significativos de variáveis climáticas (ENOS) e outras associadas diretamente com a dinâmica

estuarina (temperatura da água e salinidade). Os efeitos relacionados as fases do ENOS corroboraram apenas parcialmente nossa hipótese inicial de que a abundância dos juvenis no ELP estaria relacionada negativamente e positivamente com eventos *El Niño* e *La Niña*, respectivamente. De fato, como predito, houve uma tendência de queda na abundância durantes eventos *El Niño*, especialmente aqueles mais intensos com anomalias de temperatura entre 1,5 ºC e 2,5ºC, correspondendo a eventos classificados como fortes e muito fortes (Golden Gate Weather Services, 2022). Eventos *El Niño* muito fortes, como o de 1997-1998, tiveram um efeito marcante tanto em variáveis abióticas quanto nas comunidades biológicas em vários estuários (Williams et al., 2001; Garcia et al., 2003; James et al., 2013; Doubleday et al., 2015). No ELP, o tempo de residência da água diminuiu devido a elevada descarga continental provocada por esse evento, evitando o acúmulo de biomassa fitoplanctônica (Odebrecht et al., 2015) e fazendo com que predominasse salinidades próximas a zero por vários meses no estuário (Garcia et al., 2001; 2003). Essas condições, associadas ao forte aumento na descarga de água doce para fora do estuário (Möller et al., 2001; Fernandes et al., 2002), possivelmente foram desfavoráveis a entrada e a permanência de juvenis de espécies marinhas estuarino-dependentes como *B. pectinata*.

Por outro lado, e contra nossa predição inicial, os eventos *La Niña*, que são caracterizados por baixas descargas continentais e maior penetração da cunha salina que favorecem o recrutamento de organismos marinhos no estuário (Garcia et al., 2001; Pereira & D'incao 2012, não tiveram um efeito positivo sobre a abundância da espécie. De fato, embora tenha ocorrido pelo menos nove eventos *La Niña* com intensidades variando de fraco/moderado (e.g., 2005-2006, 2008-2009) a forte (e.g., 2007-2008, 2010-2011) entre 1997 e 2019, os resultados do modelo GAM não mostraram efeitos nem positivos e nem negativos na abundância desse fenômeno na abundância dos juvenis no ELP. O fato de ter havido efeito significativo na abundância apenas da fase quente (*El Niño*) e não da fase fria (*La Niña*) do ENOS poderia estar associado as características hidrogeomorfológicas do ELP. É possível supor que a extensa bacia de drenagem (~200.000 $Km^2$) da laguna, o formato afunilado do estuário com uma conexão única e relativamente estreita (~ 600m) com o oceano (Kjerfve 1986; Seeliger 2001), favoreçam e amplifiquem mais os efeitos das descargas de água doce durante eventos *El Niño*, do que a entrada da cunha salina durante eventos de *La Niña*. Além disso, vale ressaltar que durante esse período não ocorreram eventos *La Niña* classificadas como muito fortes, enquanto no caso do *El Niño*, foram dois eventos (1997-1998 e 2015-2016) com essa intensidade. Futuros estudos são necessários para avaliar essa hipótese e

investigar a influência de eventos *La Niña* sobre outras espécies marinho estuarino-dependentes que ocorrem na região.

Além do *El Niño*, os resultados do GAM mostraram efeitos de variáveis locais (mensuradas no interior do estuário) como salinidade e temperatura da água sobre a abundância dos juvenis de *B. pectinata*. A salinidade, por exemplo, mostrou um efeito positivo relacionado com valores intermediários, mas com tendência de queda na abundância em relação a valores extremos de salinidade muito baixa ou muito alta no estuário. É conhecido que a salinidade influencia a osmorregulação, desencadeando respostas fisiológicas e comportamentais em peixes, bem como afetando negativamente o metabolismo dos indivíduos (Smyth & Elliott, 2016). As variações no fluxo de água doce afetam o gradiente de salinidade do estuário e com isso afetam também a composição de espécies ali presente em diferentes fases de vida (Garcia et al., 2003; Feyrer et al., 2015). Essa variação de água doce dentro de um estuário, afetando o gradiente de salinidade pode desencadear mudanças nas assembleias de peixes ali presentes que podem perdurar por meses (Garcia et al., 2003). Portanto, a prevalência de baixa salinidade no estuário poderia levar a diminuição na abundância da espécie não apenas por condições fisiológicas desfavoráveis, mas também a mudanças físicas no habitat devido a maior descarga de água doce, que como discutido anteriormente, pode ser bastante acentuada durante eventos *El Niño*.

A modelagem GAM também apontou um efeito positivo da temperatura da água sobre a abundância dos juvenis da espécie no estuário. Esse efeito era esperado considerando que a temperatura é considerada o fator mais importante de controle da distribuição e vulnerabilidade climática de peixes marinhos (Dahlke et al., 2020), podendo afetar características como taxas metabólicas, desova, migração e desenvolvimento (Sunday et al., 2014). Para espécies tropicais, a sobrevivência no inverno é muitas vezes o gargalo no estabelecimento de populações em áreas temperadas (Figueira & Booth, 2010). Além disso, durante períodos de frio extremo, as temperaturas caem abaixo dos limites fisiológicos de muitas espécies tropicais (Boucek et al., 2016). Bennett (2010), descobriu que cerca de 70% de peixes juvenis que habitam áreas de berçário em águas rasas na Indonésia são capazes de tolerar temperaturas acima de 40ºC, como a tainha *Liza vagiensis*. Segundo Dahlke, 2020, as faixas de tolerância de adultos e embriões reprodutores são constantemente mais estreitas do que em outros estágios de vida, como os juvenis, por exemplo. No presente estudo, o efeito positivo da temperatura sobre a abundância dos juvenis parece estar relacionado diretamente com o comportamento reprodutivo da espécie, que desova nos meses mais quentes do ano (Ahrenholz, 1991; Acha & Macchi, 2000). De fato, como discutido anteriormente, os

resultados da análise temporal indicaram uma marcada sazonalidade na abundância nesse estuário subtropical. O marcado ciclo intra-anual da temperatura nessa região, com valores médios mensais de 13ºC em julho e 24 ºC em janeiro (Klein 1997), se relaciona diretamente com a sazonalidade na abundância dos juvenis de *B. pectinata*.

Em conclusão, os juvenis da savelha *B. pectinata* apresentam um padrão de abundância bastante complexo no estuário, com variações substanciais ao longo dos eixos temporal (tanto intra- quanto interanual) e espacial (desde a desembocadura até o interior do estuário). Em geral, a modelagem da abundância ao longo das décadas (1997 – 2019) mostrou pelos menos três períodos distintos de queda, aumento e estabilidade, sendo possível observar uma tendência significativa de aumento apenas na região estuarina mais próxima com a conexão com o mar, onde a espécie se reproduz. Fatores climáticos globais (ENOS) e locais (temperatura, salinidade) foram as principais variáveis influenciando a abundância da espécie no estuário. Ocorreu uma diminuição na abundância durante eventos *El Niño* mais intensos, porém os eventos *La Niña* parecem não influenciar a espécie. Esses resultados podem ajudar na construção de modelos preditivos dos impactos de eventos climáticos, e suas interações com fatores locais, sobre a abundância de espécies de savelhas que usam estuários ao longo da costa do Atlântico Sudoeste e constituem importantes componentes nas teias alimentares e na pesca.

## 5. Referências


Acha, E & Macchi, G. J. 2000. Spawning of Brazilian menhaden *Brevoortia aurea*, in the Rio de la Plata estuary off Argentina and Uruguai, Fishery Bulletin 98: 227-235

Ahrenholz, D. W. 1991. Population biology and life history of the North american menhadens, *Brevoortia spp*. Marine Fisheries Review 53: 3-19

Barreiros, J. P., Figna, V., Hostim-Silva, M & Santos, R. S. 2004. Seasonal changes in a sandy beach fish assemblages at Canto Grande, Santa Catarina, South Brazil. Journal of Coastal Research, 20(3), 862-870

Barton, K. 2020. MuMIn: Multi-model inference. R Package Version 1.43.17. Available: https://cran.r-project.org/web/packages/MuMIn/MuMIn.pdf

Bennett, W.A. 2010. Extreme physiology of intertidal fishes of the Wakatobi. In: Marine Research and Conservation in the Coral Triangle: The Wakatobi National Park (eds., Clifton, J., Unsworth, R.K.F. & Smith, D.J.), pp. 111–128. Nova Science Publishers, New York

Boucek, R.E., Gaiser, E.E., Liu, H., et al. 2016. A review of subtropical community resistance and resilience to extreme cold spells. Ecosphere 7, e01455

Bugoni, L & Vooren, C. M. 2004. Feeding ecology of the common tern sterna hirundo in a wintering área in Southern Brazil. Ibis, 146 (3): 438-453

Cai, W., Borlace., S., Lengaigne, M., Van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G & Jin, F. F. 2014. Increasing frequency of extreme *El Niño* events due to greenhouse warming. Nature climate chance, 4(2), 111-116

Crawley, MJ. 2012. Generalized Linear Models. In: Crawley MJ (eds) The R book, Chichester: Wiley & Sons, Ltd Publidhing, p 577

Dahlke, F.T., Wohlrab, S., Butzin, M., et al. 2020. Thermal bottlenecks in the life cycle define climate vulnerability of fish. Science 369, 65–70

Day, J. W., Kemp, W. M., Yanez-Arancibia, A & Crump, B. C. 2012. Estuarine ecology. John Wiley & Sons

de Moura, P. M., Vieira, J. P & Garcia, A. M. 2012. Fish abundance and species richness across an estuarine–freshwater ecosystem in the Neotropics. Hydrobiologia, 696(1), 107-122

Doubleday, Z. A., Izzo, C., Haddy, J. A., Lyle, J. M., Ye, Q & Gillanders, B. M. 2015. Long-term patterns in estuarine fish growth across two climatically divergent regions. Oecologia. 179(4), 1079-1090

Fernandes, E. H. L., Dyer, K. R., Moller, O. O & Niencheski, L. F. H. 2002. The Patos lagoon hydrodynamics during an El Nino event (1998). Continental Shelf Research, 22(11-13), 1699-1713

Feyrer, F., Cloern, J.E., Brown, L.R., et al. 2015. Estuarine fish communities respond to climate variability over both river and ocean basins. Global Change Biology 21, 3608–3619

Figueira, W.F. & Booth, D.J. 2010. Increasing ocean temperatures allow tropical fishes to survive overwinter in temperate waters. Global Change Biology 16, 506–516

Fischer, L. G., Pereira, L. E. D & Vieira, J. P. 2004. Peixes estuarinos e costeiros. Luciano Gomes Fischer

Freund, M. B., Henley, B. J., Karoly, D. J., McGregor, H. V., Abram, N. J & Dommenget, D. 2019. Higher frequency of Central Pacific *El Niño* events in recente decades relative to past centuries. Nature Geoscience. 12(6): 450-455

Garcia, A. M., J. P. Vieira & Winemiller K. O. 2001. Dynamics of the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon estuary (Brazil) during cold and warm ENSO episodes. Journal of Fish Biology 59: 1218-1238

Garcia, A. M., Vieira, J. P & Winemiller, K. O. 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, 57: 489-500

Garcia, A. M., Vieira, J. P., Winemiller, K.O & Grimm, A. M. 2004. Comparison of 1982-1983 *El Niño* effects on the shallow-water fish assemblage of Patos Lagoon estuary (Brazil). Estuaries 27, 905-914

Garcia, A. M., Vieira, J. P., Winemiller, K. O., Moraes, L. E & Paes, E. T. 2012. Factoring scales of spatial and temporal variation in fish abundance in a subtropical estuary marine ecology. Progress Series. 461, 121-135

Gillanders, B. M., Elsdon, T. S., Halliday, I. A., Jenkins, G. P., Robins, J. B & Valesini, F. J. 2011. Potential effects of climate change on Australian estuaries and fish utilising estuaries: a review. Marine and Freshwater Research. 62(9), 1115-1131

Gillanders, B. M., McMillan, M. N., Reis-Santos, P. Baumgartner, L. J., Brown, L. R., Conallin, J & Wibowo, A. 2022. Climate Change and Fishes in Estuaries. Fish and Fisheries in Estuaries: A Global Perspective, 1. 380-457

Golden Gate Weather Services. 2022. El Niño and La Niña years and intensities. Based on oceanic Niño index (ONI). Disponível em: http://ggweather.com/enso/oni/html

Haimovici, M., Castello, J. P & C. M. Vooren. 1997. Fisheries. In: U. Seeliger; J. P. Castello & C. Odebrecht (Eds). Subtropical convergence environments: the coast and sea in the Southwestern Atlantic. Berlin, Springer-Verlag. 326 p

Haimovici, M., Castello, J. P & Abdallah, P. R. 2014. Desenvolvimento da pesca industrial sediada em Rio Grande: Uma visão histórica sob a otica de atores privilegiados. A pesca marinha e estuarina no Brasil: Estudos de casos multidisciplinares. Rio Grande: Editora da FURG

Huang, B., L'Heureux, M., Z. Z & Zhang, H. M. 2016. Ranking the strongest ENSO events while incorporating SST uncertainty. Geophysical Research Letters. 43 (17), 9165-9172

James, N. C., Van Niekerk, L., Whitfield, A. K., Potts, W. M., Gotz, A & Paterson, A. W. 2013. Effects of climate change on South African estuaries and associated fish species. Climate research. 57(3), 233-248

Kingsland, S. E., Franklin, J. F & Waide, R. B. 2021. The Origins. Early Aspects and Development of the Long Term Ecological Research Program. In The Challenges of Long Term Ecological Research: A Historical Analysis (pp. 23-54)

Kjerfve, B. 1986. Comparative oceanography of coastal lagoons. In Estuarine Variability (Wolfe, D. A., ed.), pp. 63–81. San Diego: Academic Press

Klein, A. H. F. Regional climate. 1997. In: Subtropical Convergence Environments. Springer, Berlin, Heidelberg. p. 5-7

Lemos, V. M., Lanari, M., Copertino, M., Secchi, E. R., de Abreu, P. C. O., Muelbert, J. H., Garcia. A. M., Dumont, F. C., Muxagata, E., Vieira, J. P., Colling, A & Odebrecht, C. 2022. Patos Lagoon estuary and adjacent marine coastal biodiversity long-term data. Earth System Science Data. 14(3), 1015-1041

Lindenmayer, D. B., Likens, G. E., Andersen, A., Bowman, D., Bull, C. M., Burns, E & Wardle, G. M. 2012. Value of long-term ecological studies. Austral Ecology, 37(7), 745-757

Lotze, H. K., Lenihan, H. S. Bourque, B. J., Bradbury, R. H., Cooke, R. G., Kay, M. C., Kidwell, S. M., Kirby, M. X., Peterson, C. H & Jackson, J. B. 2006. Depletion, degradation and recovery potential of estuaries and coastal seas. Science 312, 1806-1809

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

Möller OO, Castaing P, Salomon JC & Lazure P. 2001. The influence of local and non-local forcing effects on the subtidal circulation of Patos Lagoon. Estuaries 24: 275–289

Monks, C. D., Possamai, B & Garcia, A. M. 2021. Diet composition and trophic plasticity of the Argentine menhaden Brevoortia pectinata in a southwestern Atlantic estuary. Cahiers de Biologie Marine, 62 (4), 345 – 355

Mont'Alverne, R., Pereyra, P. E. R., & Garcia, A. M. 2016. Trophic segregation of a fish assemblage along lateral depth gradients in a subtropical coastal lagoon revealed by stable isotope analyses. Journal of Fish Biology, 89(1), 770-792

Moraes, L. E., Paes, E., Garcia, A. M., Moller, Jr, O & Vieira, J. 2012. Delayed response of fish abundance to environmental changes: a novel multivariate time-lag approach. Marine Ecology. Progress Series, 456, 159-168

Muelbert, J. H & Weiss, G. 1991. Abundance and distribution of fish larvae in the channel área of the Patos Lagoon estuary, Brazil. NOAA Technical Report NMFS. 95: 43-54

Odebrecht, C., P.C. Abreu, and J. Carstensen. 2015. Retention time generates short term phytoplankton blooms in a shallowmicrotidal subtropical estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science 162: 35–44

Odebrecht, C; Secchi, ER; Abreu, PC; Muelbert, JH & Uiblein, F. 2017. Biota of the Patos Lagoon estuary and adjacent marine coast: longterm changes induced by natural and humanrelated factors. Marine Biology Research 13, 3-8

Olsen, Z., Fulford, R., Dillon, K., & Graham, W. 2014. Trophic role of gulf menhaden Brevoortia patronus examined with carbon and nitrogen stable isotope analysis. Marine Ecology Progress Series, 497, 215-227.

Paek, H., Yu, J. Y., & Qian, C. 2017. Why were the 2015/2016 and 1997/1998 extreme El Niños different?. Geophysical Research Letters, 44(4), 1848-1856

Pedersen E. J.,Miller D. L., Simpson G. L., & Ross N. 2019. Hierarchical generalized additive models in ecology: an introduction with mgcv. PeerJ, 7: e6876.

Potter, I. C., Tweedley, J. R., Elliott, M & Whitfield, A. K. 2015. The ways in which fish use estuaries: a refinement and expansion of the guild approach. Fish and FIsheries 16 (2), 230-239

Pereira, N., & D'Incao, F. 2012. 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, 92(7), 1451-1456

Possamai, B., Vieira, J. P., Grimm, A. M & Garcia A. M. 2018. Temporal variability (1997-2015) of trophic fish guilds and its relationships with El Niño events in a subtropical estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 202: 145-154

R Core Team (2020) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. www.r-project.org

Roessing, J. M., Woodley, C. M., Cech, J. J & Hansen, L. J. 2004. Effects of global climate change on marine and estuarine fishes and fisheries. Reviews in fish biology and fisheries. 14 (2), 251-275Salvador, N. L. A & Muelbert, J. 2019. Environmental variability and body condition of argentine menhaden larvae, Brevoortia pectinata (Jenyns, 1842), in estuarine and coastal Waters. Estuaries and Coasts, 42: 1654-1661

Salvador, N. L. A & Muelbert, J. 2019. Environmental variability and body condition of argentine menhaden larvae, Brevoortia pectinata (Jenyns, 1842), in estuarine and coastal Waters. Estuaries and Coasts, 42: 1654-1661

Seeliger, U. 2001. The Patos Lagoon Estuary, Brazil. In: Seeliger, U., Kjerfive, B. Coastal Marine Ecosystems of Latin America Ecological Studies (Analysis and Synthesis), vol 144. Springer, Berlin, Heidenberg

Short, J. W., Voss, C. M., Vozzo, M. L., Guillory, V., Geiger, H. J., Haney, J. C & Peterson, C. H. 2021. Evidence for Ecosystem-Level Trophic Cascade Effects Involving Gulf Menhaden (Brevoortia patronus) Triggered by the Deepwater Horizon Blowout. Journal of Marine Science and Engineering, 9(2), 190

Simões-Lopes, P. C., Fabian, M.E & Menegheti, J. O. 1998. Dolphin interactions with the muller artisanal fishing on Southern Brazil: a qualitative and quantitative approach. Revista Brasileira de Zoologia. 15(3): 709-726

Smyth, K. & Elliott, M. 2016. Effects of changing salinity on the ecology of the marine environment. In: Stressors in the Marine Environment: Physiological and Ecological Responses; Societal Implications (eds., Solan, M. & Whiteley, N.), pp. 161–174. Oxford University Press, Oxford

Sunday, J.M., Bates, A.E., Kearney, M.R., et al. 2014. Thermal-safety margins and the necessity of thermoregulatory behavior across latitude and elevation. Proceedings of the National Academy of Sciences 111, 5610–5615

Spellerberg, I. F. 1991. Monitoring ecological changes. Cambridge University Press, Great Britain

Valiela, I. 1995. Long-term and large-scale change in marine organisms, in Marine Ecological Processes. Springer Verlarg, New York, p. 499-544

Vieira, J. P., Garcia, A. M & Lemos, V. M. 2020. Species compostition and abundance patterns of fish assemblages at shallow Waters of Patos Lagoon estuary, version 1.10. Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira – SiBBr. Sampling event dataset. http://doi.org/10.15468/kci8zb acessed via GBIF.org on 2022-07-26

Williams, G. D., West, J. M & Zedler, J. B. 2001. Shifts in fish and invertebrate assemblages of two Southern California estuaries during the 1997-98 El Niño. Bulletin of the Southern California. Academy of Sciences, 100(3), 212-238

Wood, S. A. 2017. Generalized aditive models: An introduction with R (2nd ed.). Chapman & Hall/CRC. 476 pgs

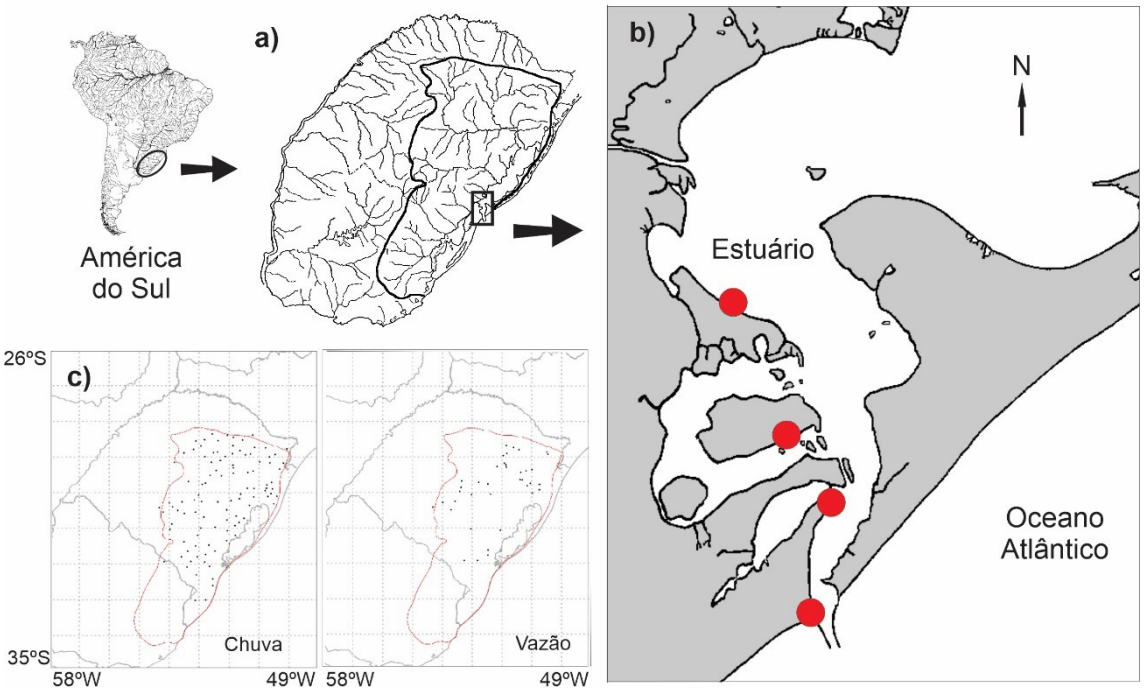


Figura 1 – Mapa com a localização da (a) bacia de drenagem da Lagoa dos Patos (linha arrojada) no sul da América do Sul e (b) região estuarina com o posicionamento das estações de coleta (círculos vermelhos) e (c) distribuição espacial das estações meteorológicas na bacia de drenagem que forneceram dados de chuva e vazão dos rios.

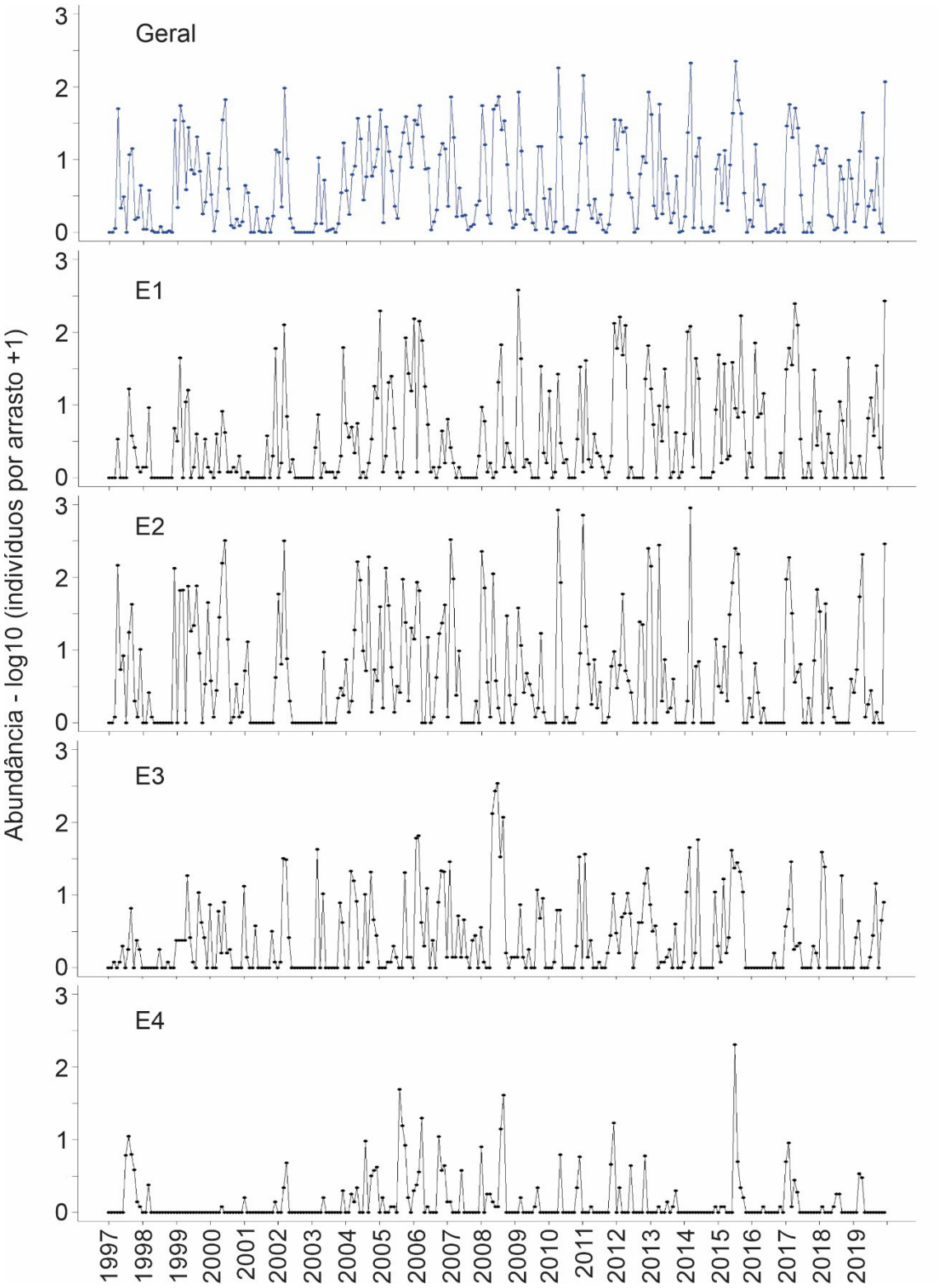


Figura 2 – Variação mensal na abundância média da savelha *Brevoortia pectinata* entre 1997 e 2019 nas zonas rasas (< 2 m) do estuário da Lagoa dos Patos (32oS) (linha azul) e nas diferentes estações de coleta (E1, E2, E3, E4).

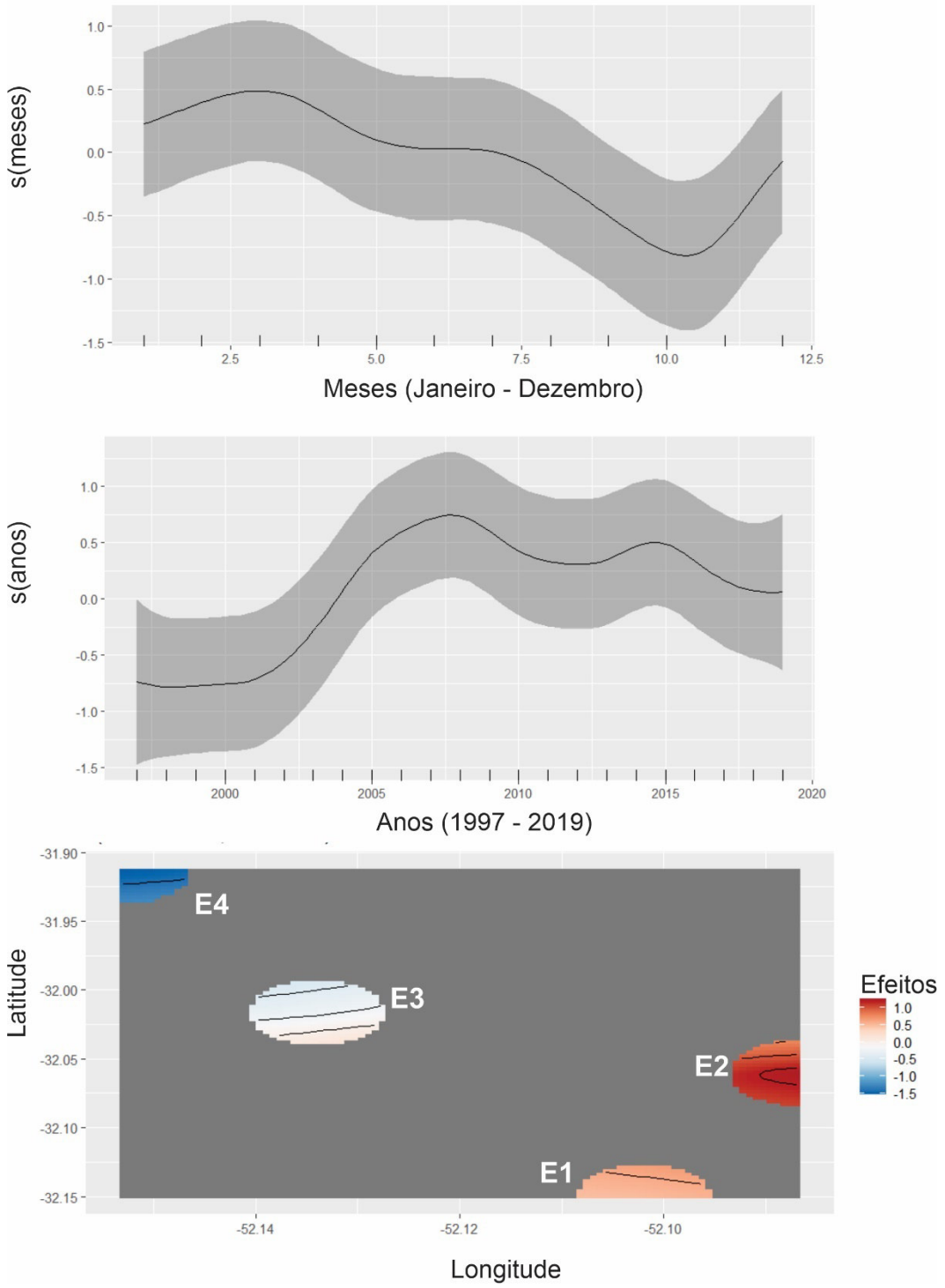


Figura 3 – Resultados do modelo aditivo generalizado (GAM) indicando os efeitos parciais dos fatores sazonal (janeiro à dezembro) e interanual (1997 à 2019) e do fator espacial (estações de coleta E1 à E4) sobre a abundância da savelha *Brevoortia pectinata* capturada nas zonas rasas (< 2 m) do estuário da Lagoa dos Patos. As áreas sombreadas indicam os intervalos de confiança de 95%.

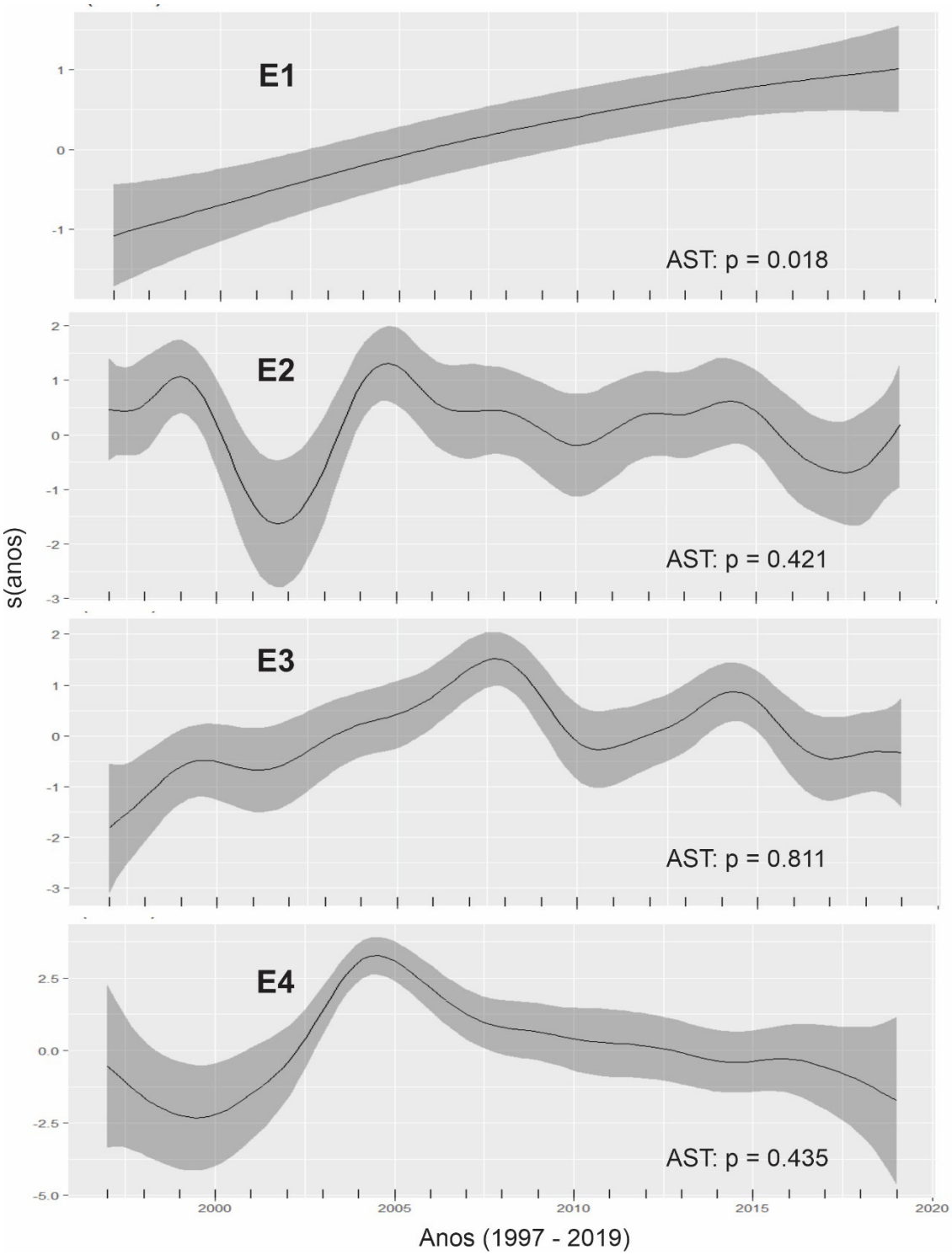


Figura 4 – Resultados dos modelos aditivos generalizados (GAM) indicando os efeitos parciais da variação interanual (1997 a 2019) na abundância da savelha *Brevoortia pectinata* em cada uma das estações de coleta (E1 a E4) nas zonas rasas (< 2 m) do estuário da Lagoa dos Patos. As áreas sombreadas indicam os intervalos de confiança de 95%. Os valores de 'p' indicam o resultado do teste de significância realizados a partir da decomposição da análise da série temporal (AST) (vide M&M para maiores detalhes).

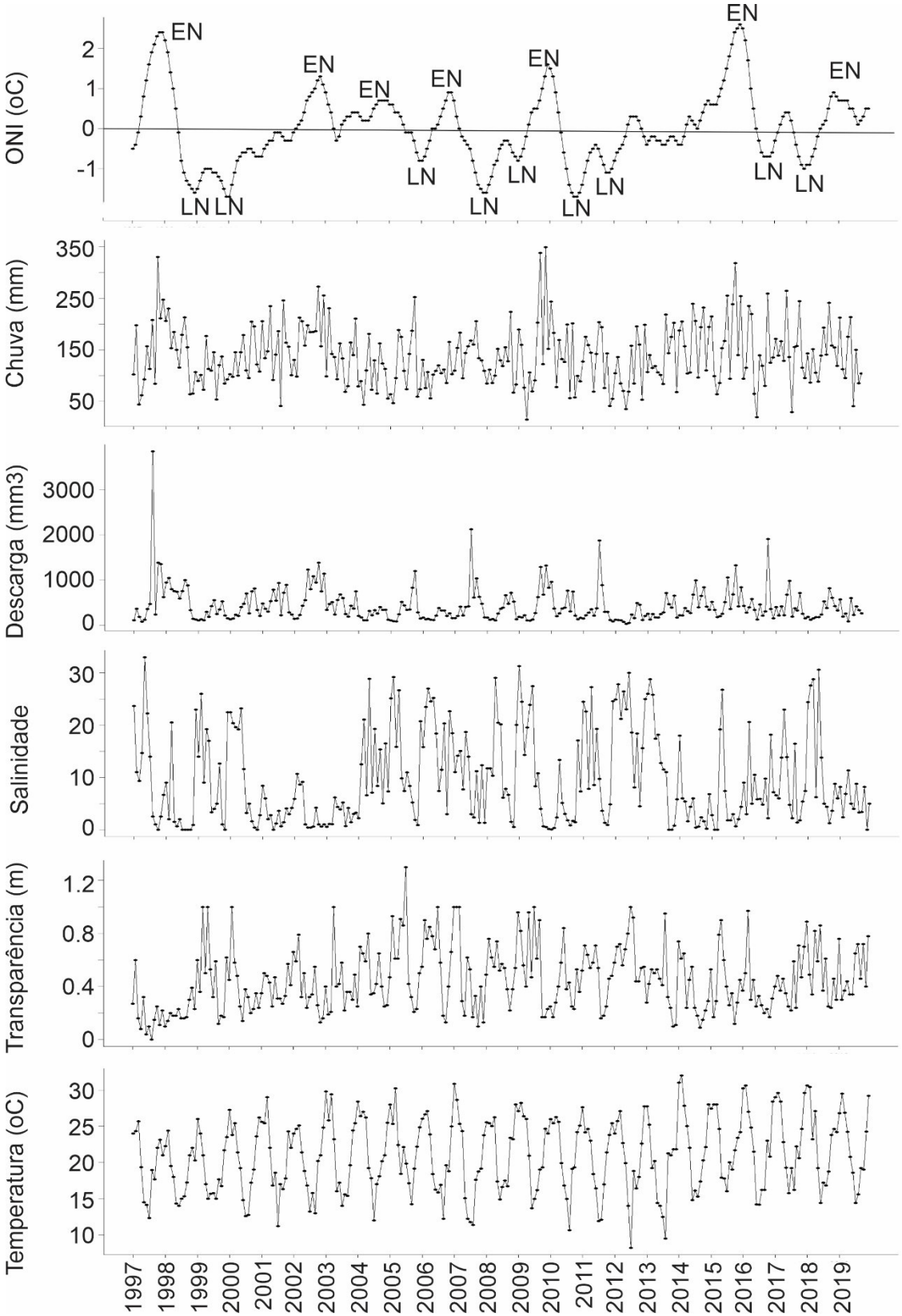


Figura 5 – Variação mensal das variáveis ambientais entre 1997 e 2019 do índice ONI no Oceano Pacífico, chuva e descarga continental na bacia de drenagem e salinidade, transparência e temperatura da água no estuário da Lagoa dos Patos (32ºS). Os códigos EN e LN representam eventos *El Niño* e *La Niña* de diferentes intensidades.

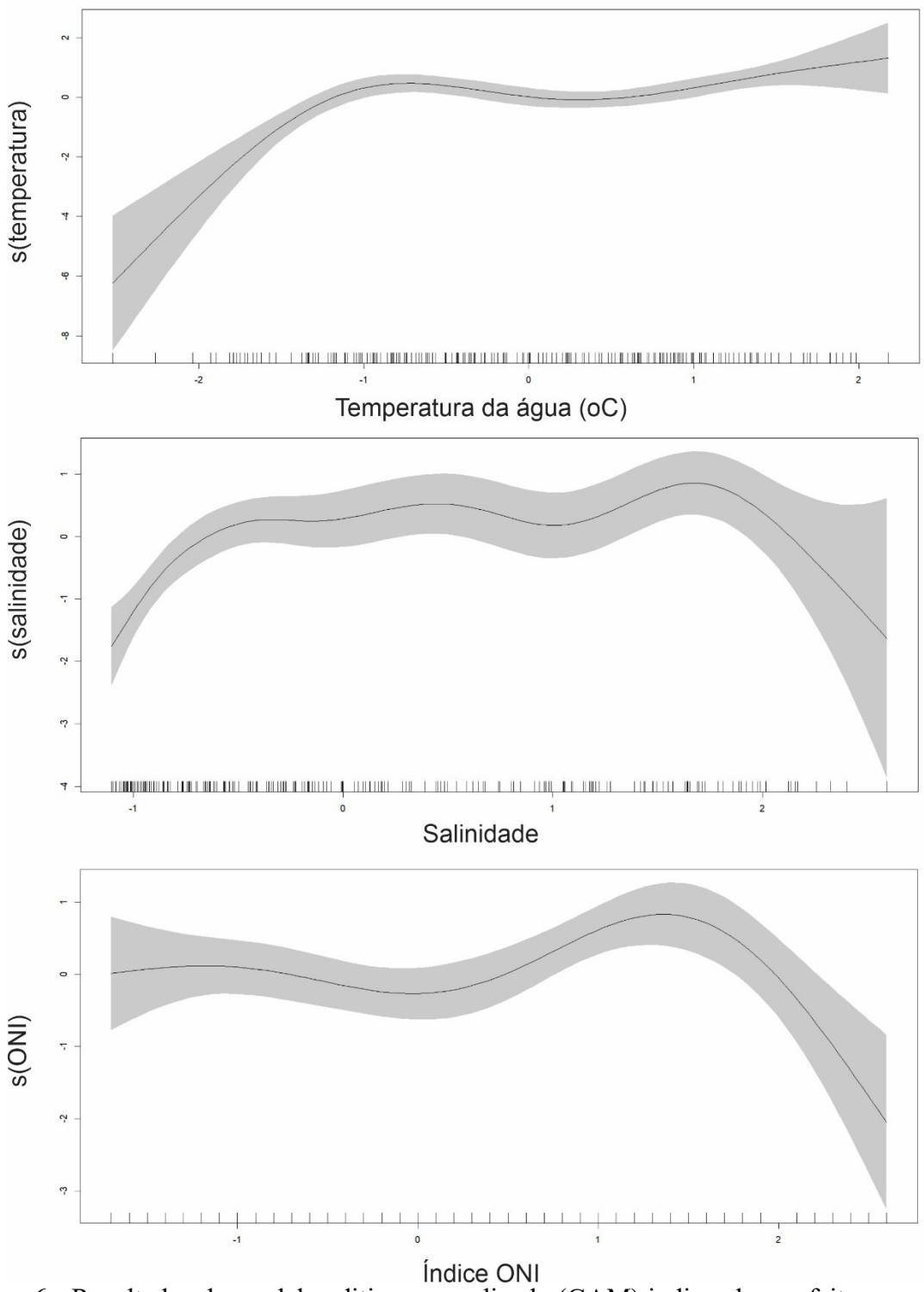


Figura 6 - Resultados do modelo aditivo generalizado (GAM) indicando os efeitos parciais da temperatura da água (ºC), salinidade e índice ONI sobre a abundância da savelha *Brevoortia pectinata* capturada nas zonas rasas (< 2 m) do estuário da Lagoa dos Patos. As áreas sombreadas indicam os intervalos de confiança de 95%. Os dados ao longo do eixos X estão padronizados com média igual a zero e um desvio padrão igual a 1.

Tabela 1 - Resultados do modelo aditivo generalizado (GAM) para a variação média geral da abundância de *Brevoortia pectinata* nas zonas rasas (< 2 m) do estuário da Lagoa dos Patos (32oS) em relação aos fatores sazonal (meses), interanual (anos) e espacial (longitude e latitude) e modelos da variação da abundância em relação aos componentes sazonal e interanual e sua interação (ti) para cada uma das estações de coleta (E1, E2, E3, E4). gle: graus de liberdade efetivo, F: valor da estatística, p = nível de significância probabilidade, * p < 0.05, ** p < 0.00, DE: deviança explicada

| | Parâmetro | gle | F | p | DE |
|---|---|---|---|---|---|
| Geral | s(meses) | 4.45 | 3.09 | ** | 19.9 |
| | s(anos) | 6.19 | 7.14 | ** | |
| | s(longitude,latitude) | 2.93 | 451.97 | ** | |
| Local: E1 | s(meses) | 3.56 | 4.65 | ** | 52.2 |
| | s(anos) | 1.65 | 13.78 | ** | |
| | ti(meses,anos) | 46.12 | 0.89 | ** | |
| Local: E2 | s(meses) | 4.29 | 5.01 | ** | 58.4 |
| | s(anos) | 10.88 | 2.35 | * | |
| | ti(meses,anos) | 50.64 | 1.25 | ** | |
| Local: E3 | s(meses) | 1.80 | 0.47 | * | 55.2 |
| | s(anos) | 9.30 | 4.64 | ** | |
| | ti(meses,anos) | 39.84 | 0.75 | ** | |
| Local: E4 | s(meses) | 0.01 | 0.00 | 0.50 | 99.0 |
| | s(anos) | 1.00 | 14.79 | ** | |
| | ti(meses,anos) | 1.45 | 14.18 | ** | |

Tabela 2 - Modelos aditivos generalizados (GAM) selecionados pela função 'dredge' (delta < 5) para a variação média geral da abundância de *Brevoortia pectinata* nas zonas rasas (< 2 m) do estuário da Lagoa dos Patos (32oS) em relação aos fatores climáticos (ONI), regionais (chuva, descarga continental) e locais (salinidade, transparência e temperatura da água). Os resultados do modelo selecionado (cinza) estão na porção inferior da tabela. gle: graus de liberdade efetivo, F: valor da estatística, p = nível de significância probabilidade, * p < 0.05, ** p < 0.00, DE: deviança explicada

| Modelos | AICc | delta | peso |
|---|---|---|---|
| s(descarga)+s(chuva)+s(salinidade)+s(temperatura)+s(ONI) | 1715.86 | 3.18 | 0.04 |
| s(descarga)+s(salinidade)+s(temperatura)+s(ONI) | 1715.18 | 2.49 | 0.06 |
| s(descarga)+s(chuva)+s(salinidade)+s(transparência)+s(temperatura)+s(ONI) | 1714.62 | 1.94 | 0.08 |
| s(descarga)+s(salinidade)+s(transparência)+s(temperatura)+s(ONI) | 1714.34 | 1.66 | 0.09 |
| s(chuva)+s(salinidade)+s(temperatura)+s(ONI) | 1713.52 | 0.84 | 0.14 |
| s(chuva)+s(salinidade)+s(transparência)+s(temperatura)+s(ONI) | 1712.94 | 0.26 | 0.18 |
| s(salinidade)+s(transparência)+s(temperatura)+s(ONI) | 1712.80 | 0.12 | 0.20 |
| s(salinidade)+s(temperatura)+s(ONI) | 1712.68 | 0.00 | 0.21 |

| Parâmetro | gle | F | p | DE |
|---|---|---|---|---|
| s(temperatura) | 3.74 | 10.17 | ** | 23.8 |
| s(salinidade) | 6.19 | 7.14 | ** | |
| s(ONI) | 2.93 | 451.97 | ** | |

## Figuras e tabelas suplementares

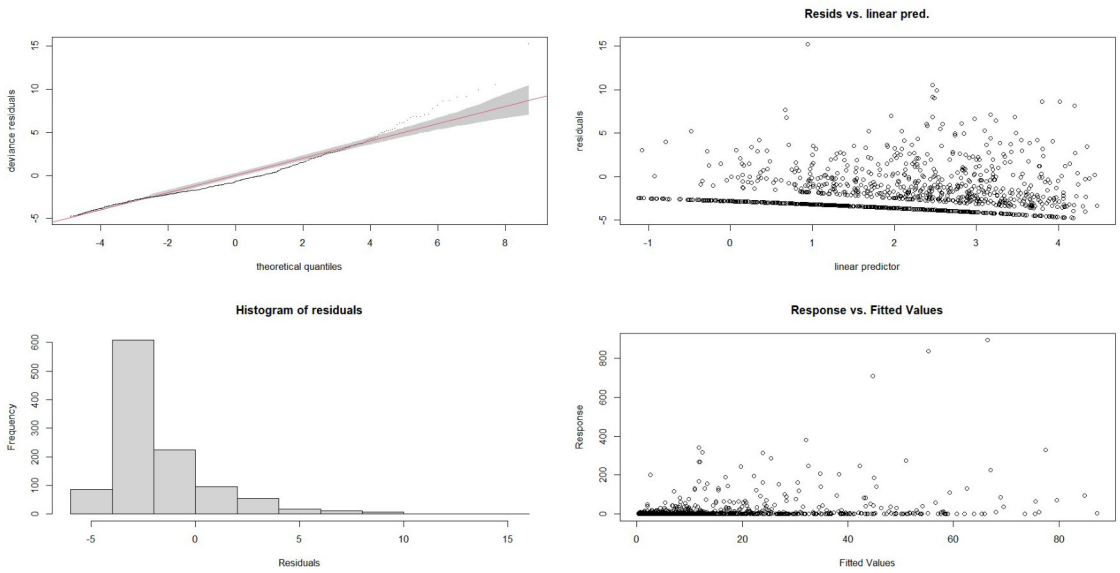


Figura suplementar 1 – Gráficos dos resíduos do modelo aditivo generalizado (GAM) dos efeitos parciais dos fatores sazonal, interanual e espacial sobre a abundância da savelha *Brevoortia pectinata* capturada nas zonas rasas (< 2 m) do estuário da Lagoa dos Patos.

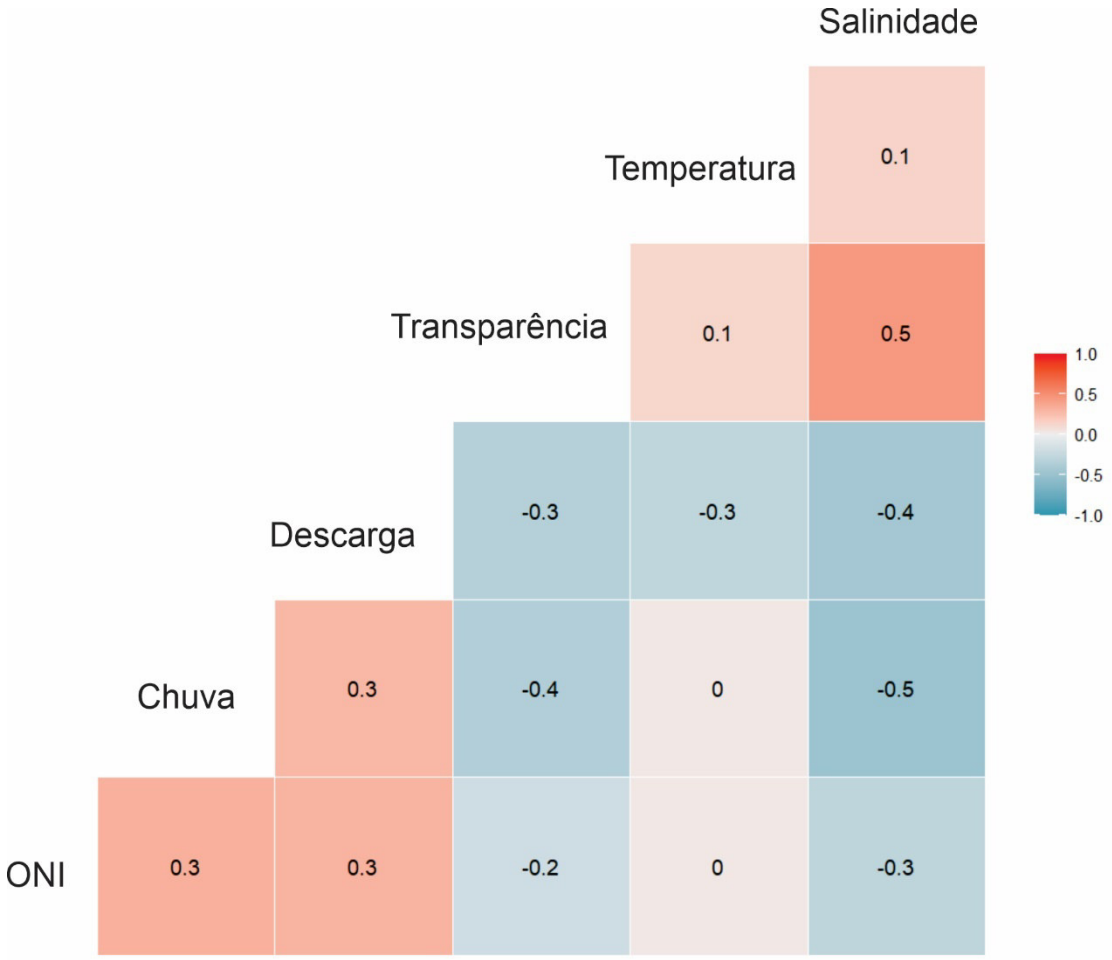


Figura suplementar 2 – Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis ambientais utilizadas no modelo aditivo generalizado (GAM) usado para investigar a influência dos fatores ambientais sobre a abundância da savelha *Brevoortia pectinata* nas zonas rasas (< 2 m) do estuário da Lagoa dos Patos (32 oS). A intensidade das cores vermelhas e azuis indicam correlações positivas e negativas, respectivamente.

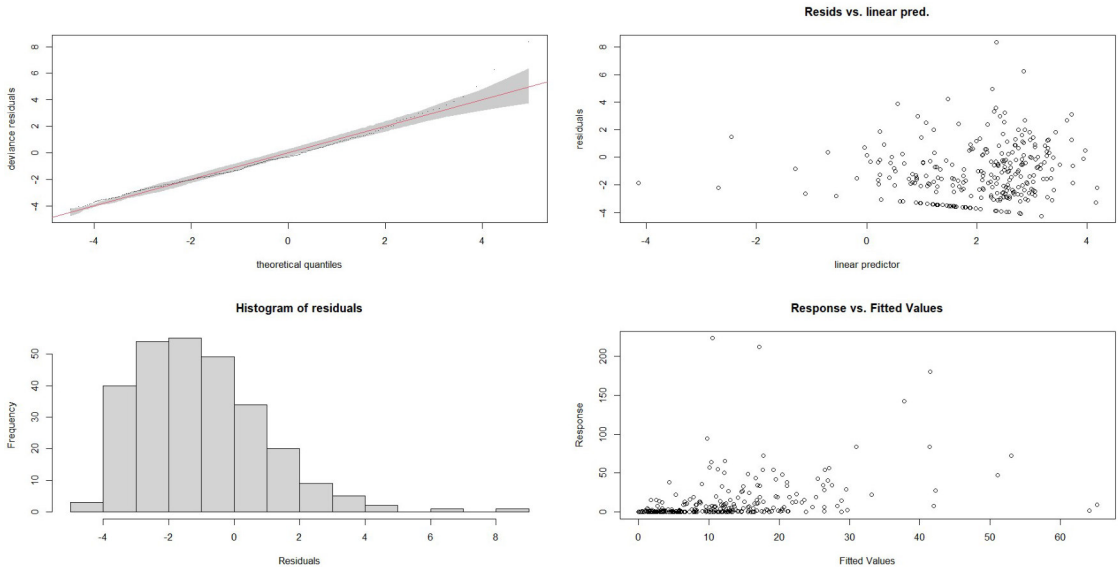


Figura suplementar 3 – Gráficos dos resíduos do modelo aditivo generalizado (GAM) dos efeitos parciais dos fatores ambientais sobre a abundância da savelha *Brevoortia pectinata* capturada nas zonas rasas (< 2 m) do estuário da Lagoa dos Patos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Os resultados que encontramos referentes à abundância da *B. pectinata* nas zonas rasas do estuário da Lagoa dos Patos baseadas nas análises GAM e de série temporal corroboram apenas parcialmente nossas hipóteses. Acreditávamos que a espécie estava diminuindo no ecossistema estuarino, porém, sua variabilidade interanual mostrou um padrão complexo, com períodos de queda, seguida de aumento acentuado e prolongada estabilidade. A análise desse padrão geral em diferentes locais do estuário, mostrou que há uma tendência significativa de aumento apenas próximo da desembocadura do estuário, próximo ao mar, aonde a espécie se reproduz. Nossa outra hipótese se referia a influência do fenômeno ENOS em relação a abundância da *B. pectinata*. Acreditávamos que o *El Niño* estaria relacionado de forma negativa com a abundância, enquanto *La Niña* possuía um efeito positivo na abundância dos juvenis de *B. pectinata*. De fato, o *El Niño* possui um efeito negativo na abundância dos juvenis da *B. pectinata* no estuário da Lagoa dos Patos, especialmente eventos climáticos mais intensos. Porém, não percebemos um efeito positivo de aumento na abundância dos juvenis durante eventos *La Niña*. É importante ressaltar que no nosso conjunto de dados não obteve nenhum *La Niña* classificada de 'muito forte', enquanto houvera, dois eventos *El Niño* extremos (1997-1998 e 2015-2016).

Nossos resultados sugerem que a abundância da espécie no estuário da Lagoa dos Patos depende da interação de fatores locais (temperatura e salinidade) com fatores climáticos de escala global. O conhecimento dessas relações pode auxiliar na elaboração de modelos de gestão e/ou conservação dessa espécie, que possui um histórico de utilização na pesca e representa um componente importante na teia alimentar em estuários, especialmente ao considerarmos que eventos climáticos extremos, como o fenômeno *El Niño*, estão se tornando mais frequentes e intensos no atual cenário de aquecimento global.