

Tese

CONDICIONANTES AMBIENTAIS E AS RELAÇÕES ENTRE *ENGRAULIS ANCHOITA,* ZOOPLÂNCTON E AVES MARINHAS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

PALOMA LUMI COSTA

Orientador: Dr. Lauro A. Saint Pastous Madureira

RIO GRANDE

Janeiro/2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA BIOLÓGICA

Tese

CONDICIONANTES AMBIENTAIS E AS RELAÇÕES ENTRE *ENGRAULIS ANCHOITA,* ZOOPLÂNCTON E AVES MARINHAS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

> Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia Biológica da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial à obtenção do título de DOUTOR

PALOMA LUMI COSTA

Orientador: Dr. Lauro A. Saint Pastous Madureira

RIO GRANDE

Janeiro/2016

Dedico este trabalho ao Jun, um amor intrasponível! Espero que compreenda a minha ausência...

AGRADECIMENTOS

Ao Prof.Dr Lauro Madureira, pela orientação e principalmente por me dar seu voto de confiança e a oportunidade de ingressar no "universo hidroacústico" e no grande desafio de cursar o doutorado! Pelos ensinamentos, pelas discussões, pela paciência e pela compreensão com as minhas limitações, muito obrigada !

A minha banca de acompanhamento, que muito além de acompanhar teve um papel fundamental para o desenvolvimento desta tese: Obrigada Prof. Paul Kinas por cordialmente me receber inúmeras vezes e com paciência me aconselhar com as análises estatísticas. Obrigada Prof Erik Muxagata por disponibilizar os dados de zooplâncton e pelas discussões sobre esse "microuniverso paralelo".Obrigada Prof. Leandro Bugoni pela disponibilização dos dados de aves, pela sua grande contribuição com as correções dos artigos e pelas construtivas conversas sobre as aves marinhas e artigos científicos! Obrigada aos avaliadores Profs Dr Jorge P.Castello, Dr Paulo R.Schwingel e Eng Ádrian Madirolas pelas contribuições para o manuscrito final da tese.

Gostaria de agradecer o Comandante Homero Avariza (*in memorian*) e sua tripulação que competentemente conduziu o Navio Atlântico Sul permitindo a realização dos cruzeiros Anchoita.

Gostaria de agradecer imensamente a equipe do laboratório de hidroacústica: Stefan, Ramiro, Pinho, Juliano e Neiva pelos cafés e discussões fundamentais para o avanço dessa tese. Vocês foram a engrenagem desse trabalho! Obrigada família por sempre segurarem minha mão para que eu não caísse! Sem o apoio incondicional de vocês esse trabalho não existiria! GRATIDÃO!

SUMÁRIO

RESUN	10	. 1
ABSTR		. 2
PREFÁ	CIO	. 3
CAPÍTU	JLO 1 – Introdução geral, Objetivos e Metodologia	. 5
1.1	Introdução	. 5
1.2	Objetivo	12
1 2	21 Objetivo Geral	12
1.2	2.2 Objetivos Específicos	12
1.3	Materiais e métodos	13
1.3	.1 A coleta de dados	13
1.3	.2 Dados acústicos	14
1.3	.3 Dados ambientais	17
1.3	.4 Dados de zooplâncton	20
1.3	.5 Dados de aves marinhas	21
1.3	.6 Análises estatísticas	22
1.4	Referências Bibliográficas	26
CAPÍTL Rio Gra	JLO 2 – Descrição do cenário ambiental da plataforma continental inde do Sul entre junho e outubro de 2010	do 40
2.1	Introdução	40
2.2	Metodologia	41
2.3	Resultados	41
23	1 O cenário ambiental no Atlântico sudoeste: dados satelitais	42
2.3	 O cenário ambiental no Atlântico sudoeste: dados <i>in situ</i>. 	43
2.4	Discussão	47
2.5	Referências Bibliográficas	50
CΔΡÍΤΙ	II O 3 – O zooplâncton e suas relações com variáveis ambientais	na
platafor	ma continental do Rio Grande do Sul.	58
3.1	Introdução	58
3.2	Material métodos	60
3.3	Resultados	64
3.4	Discussão	68
3.5	Referências Bibliográficas	72
CAPÍTU platafor	JLO 4 – Anchoita e sua relação com as variáveis ambientais ma continental do Rio Grande do Sul	na 88
Д1	Introdução	88
 42	Metodologia	80
•••		

4.3	Resultados	. 90
4.3	.1 Biomassa de anchoita nos cruzeiros	. 90
4.3. 4.3.	 .2 Presença de anchoita e a relação com variaveis ambientais .3 Densidade de anchoita e sua relação com variáveis ambientais. 	. 91 . 94
4.4	Discussão	. 95
4.5	Referências Bibliográficas	. 98
CAPÍTU	JLO 5 – Aves marinhas, variáveis ambientais e Engraulis anchoita	a no
Atlântico	o Sudoeste	110
CAPÍTU	JLO 6 – Discussão final e Conclusões	112
ANEXO	1 "Relationships between environmental features, distribution	and
abundar	nce of the Argentine anchovy, Engraulis anchoita, on the South V	Vest
Atlantic	Continental Shelf". Fish. Res. 173(2016):229-235	121
ANEXO	2 "Seabirs, environmental features and the anchovy (Engra	aulis
anchoita	a) in the Southwest Atlantic Ocean" MS submetido para MEPS	129

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 1

Tabela 1- Informações sobre as coletas de dados realizadas nos cruzeiros de junho a outubro de 2010.
Tabela 2- Limites termo-halinos utilizados na classificação das massas d'água, conforme índices descritos por Möller *et al* (2008). PRP: Pluma do Rio da Prata; AT: Água Tropical; ASTP: Água Subtropical de Plataforma; ASAP: Água SubAntártica de Plataforma; ACAS; Água Central do Atlântico Sul.
Tabela 3- Índices de temperatura e salinidade extraídos dos diagramas TS para o cálculo do percentual de mistura das massas de água. PRP: Pluma do Rio da Prata; AT: Água Tropical; ASTP: Água Subtropical de Plataforma; SAP: Água SubAntártica de Plataforma; ACAS; Água Central do Atlântico Sul.

CAPÍTULO 3

CAPÍTULO 4

Tabela 1- Resumo das análises MLG aplicadas à presença e densidade de
anchoita
Tabela 2- Matriz de correlação de Pearson entre todas as variáveis ambientais
testadas no MLG binomial. Em negrito as variáveis com coeficiente de
correlção >0,5
Tabela 3- Modelos MLG binomial testados. Em negrito o modelo com menor
valor de AIC
Tabela 5- Matriz de correlação de Pearson entre todas as variáveis ambientais
testadas para o MLG para densidade de anchoita. Em negrito as variáveis com
coeficiente de correlação >0,5 105
Tabela 6- Modelos MLG Gamma testados para variável densidade de anchoita.
Em negrito o modelo com menor valor de AIC 105
Tabela 7- Resumo dos resultados do modelo MLG Gamma selecionado para
densidade de anchoita 105

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1- Derrota de navegação para coleta de dados acústicos (traços cinzas), posição das estações de contagem de aves (triângulos vermelhos) e a das estações oceanográficas para obtenção de dados ambientais com o CTD (círculos pretos) e de zooplâncton (quadrados), dos cinco cruzeiros realizados entre junho e outubro de 2010 na Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.

CAPÍTULO 2

TW (Água Tropical); SASW (Água Subantártica de Plataforma)...... 57

CAPÍTULO 3

Figura 6- Representação em dois eixos da Análise de Escalonamento Multidimensional (nMDS) gerada sobre a matriz de similaridade de Bray–Curtis

Figura 7- Mediana, primeiro e terceiro quartil da temperatura, salinidade e profundidade nos locais amostrados com a ocorrência dos grupos mais frequentes (FO>10% das estações). Pontos isolados indicam valores extremos.

CAPÍTULO 4

Figura 3- Predição dos efeitos da interação entre TSM e SSM na probabilidade de presença da anchoita detectadas pelo modelo MLG selecionado. Somente uma variável foi modificada por vez, fixando as demais variáveis na média. 108

RESUMO

Engraulis anchoita é um pequeno peixe pelágico ainda não explorado comercialmente em águas brasileiras. Na Plataforma Continental do sul do Rio Grande do Sul (PCSRS), Brasil, esta espécie é particularmente abundante, nos meses de inverno e primavera. A anchoita é uma espécie chave neste ecossistema onde exerce um importante papel na teia trófica, como consumidor secundário e como presa, para predadores de topo como as aves marinhas. O presente trabalho analisou distribuição e a abundância do mesozooplâncton, de E. anchoita e de aves marinhas e a evolução dos processos associados à intrusão de águas de origem subantártica durante o inverno e primavera na PCSRS. Os resultados são provenientes de cinco cruzeiros hidroacústicos, realizados entre junho e outubro de 2010. A obtenção de dados acústicos para estimativa de densidade de anchoita e as observações de aves marinhas foram realizadas de forma simultânea, em perfis pré-definidos sobre a PCSRS. As amostragens do zooplâncton com rede vertical e a amostragem da coluna de água com o CTD foram realizadas em estações oceanográficas distribuídas ao longo dos perfis em distâncias inferiores a 20 mn. Modelos Lineares Generalizados foram ajustados para testar a influência de variáveis ambientais: 1) na densidade do zooplâncton; 2) na presença e densidade da anchoita, 3) na presença e densidade das aves marinhas, neste caso testando também a influência da densidade da anchoita para as aves. De acordo com o resultado dos modelos, o efeito positivo para a densidade de zooplâncton foi observado nas regiões mais rasas da plataforma (<60 m), em águas mais frias (< 16°C) e para maiores percentuais de contribuição das águas da Pluma do Rio da Prata (PRP >35%). Os modelos aiustados para anchoita indicaram que a presença de anchoita esteve condicionada a águas superficiais frias (<14°C) e de salinidade baixa (~ 32), com maior probabilidade de ocorrência em profundidades inferiores a 60m. Por outro lado, a estratificação salina na coluna de água e as águas frias em estratos de fundo estabeleceram um efeito positivo para a densidade de anchoita. No que se refere às aves, a presença e as densidades do pinguim de Magalhães nas áreas amostradas estiveram condicionadas a águas frias em estratos de fundo e a maiores densidades de anchoita. Para as demais espécies de aves registradas durante os cruzeiros, as baixas temperaturas da água na superfície tiveram efeito positivo na presença, enquanto a estratificação salina na coluna de água teve efeito positivo na densidade destas aves. Os resultados deste trabalho revelaram que a Plataforma Continental do Rio Grande do Sul apresentou uma acentuada variação na ocupação de massas de água entre os meses de junho e outubro de 2010, primariamente atribuídas a intrusão de águas de baixa salinidade da Pluma do Rio da Prata em estratos superficiais e, pela intrusão de águas de origem subantártica, em estratos de fundo. Essa modificação nas características ambientais refletiu na variabilidade observada nas densidades do zooplâncton, da anchoita e das aves marinhas.

Palavras chave: anchoita, aves marinhas, Plataforma continetal do Atlântico Sudoeste, água subantártica, águas da Pluma do Rio da Prata.

ABSTRACT

Engraulis anchoita is a small pelagic fish not commercially exploited in the Brazilian waters. In the southern sector of the Rio Grande do Sul state Continental Shelf (PCSRS), Brazil, this species is abundant in the winter and spring. The anchovy is a key species in this ecosystem and plays an important role in the food web, as a secondary consumer and as prey for top predators such as seabirds. This study analyzed the distribution and abundance of the mesozooplankton, E. anchoita and seabirds as well as the evolution of oceanographic processes associated with the subantartic waters input during the winter and spring in the PCSRS. Five hydroacoustic surveys were conducted from June to October 2010 in order to estimate anchovy biomass. The acoustic data and seabirds' counts were carried out simultaneously over predefined transects. Zooplankton samples were taken where CTD data were obtained in oceanographic stations along the transects, at 20 nm from each other. Generalized Linear Models were fitted to test the influence of environmental variables for: 1) the density of zooplankton; 2) the presence and density of anchovy, and 3) the presence and density of seabirds. The influence of anchovy density on seabirds also tested. The results on zooplankton density showed that a positive effect was observed in shallower waters on the continental shelf (<60 m), in colder waters (<16 ° C) and in higher percentage contribution of the Plume River Plate waters (PRP> 35%). Fitted models to anchovy indicated that the presence of the small pelagic fish was conditioned by the surface cold water (<14°C) and low salt (~ 32), with highest probability of occurrence in shallower waters (<60m). On the other hand, a saline stratification in the water column and the cold bottom water presence had a positive effect on the anchovy densities. Results showed that seabirds presence and density of the Magellan penguin were associated to areas where cold bottom waters were sampled and also to high anchovy densities. Low water temperatures on the surface had a positive effect on the presence of the flying seabirds, while the saline stratification in the water column had a positive effect on the density of these birds. The results revealed that the Rio Grande do Sul Continental Shelf was under a sharp change in water masses from June to October 2010, mainly due to the low salinity water input of the Plume Plate Waters in surface layer and the subantarctic water input in deeper layers. These environmental changes were reflected in the observed variability in the zooplankton densities, anchovies and seabirds.

Key words: anchovy, seabirds, Southwest Atlantic Continental Shelf, subantarctic water, Plume Plate water.

PREFÁCIO

Engraulis anchoita é um pequeno peixe pelágico que habita a plataforma continental do Oceano Atlântico Sudoeste. Esse peixe desempenha um papel chave no ecossistema marinho local como via de transferência de energia para os demais níveis tróficos: preda diretamente sobre o zooplâncton e é uma importante presa para diversas espécies de aves que frequentam a região, como pinguim de magalhães por exemplo. Apesar de abundante na plataforma continental sul brasileira, esta espécie não é explorada comercialmente. Tendo em vista a importância desta espécie no ecossistema marinho e sua possibilidade de uma futura exploração, a presente tese apresenta um estudo sobre as condicionantes ambientais que determinam a distribuição de *Engraulis anchoita*, suas principais presas no zooplâcton e das aves marinhas, como suas predadoras. O trabalho foi desenvolvido com base em dados coletados em cinco cruzeiros oceanográficos realizados na plataforma continental sul do Rio Grande do Sul entre os meses de junho e outubro de 2010.

A tese encontra-se estruturada em seis capítulos. O Capítulo 1 apresenta uma introdução geral, os objetivos propostos e a metodologia aplicada. O Capítulo 2 consiste em uma descrição do cenário ambiental durante o período amostrado, com intuito de informar ao leitor em quais condições as amostragens foram realizadas. O Capítulo 3 consiste em um estudo sobre as relações da densidade de zooplâncton com as variáveis ambientais. O Capítulo 4 apresenta resultados de um estudo sobre a relação da presença e densidade de anchoita com as variáveis ambientais. Uma parte dos resultados encontrase no artigo "Relationships between environmental features, distribution and

abundance of the Argentine anchovy, *Engraulis anchoita*, on the South West Atlantic Continental Shelf" publicado na revista Fisheries Research 173(2016) 229-235, o qual encontra na integra no ANEXO 1. O Capítulo 5 apresenta um resumo dos resultados encontrados em um trabalho sobre as aves marinhas e suas relações com variáveis ambientais e a com a densidade da anchoita. O MS intitulado "Seabirds, environmental features and the anchovy (*Engraulis anchoita*) in the Southwest Atlantic Ocean", está em processo de revisão na revista Marine Ecology Progress Series e seu texto na integra encontra-se no ANEXO 2. Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas uma discussão geral e as conclusões dos resultados gerados na presente tese.

CAPÍTULO 1 – Introdução geral, Objetivos e Metodologia

1.1 Introdução

Atualmente a explotação global de recursos pesqueiros marinhos é da ordem de 80 milhões de toneladas ano (FAO, 2012), número inferior a períodos anteriores (Pauly et al, 2002). A pressão de pesca induziu o estabelecimento de políticas mundiais que direcionassem a criação de diretrizes nacionais e internacionais à sustentabilidade para a explotação dos recursos aquáticos vivos. Em 1995, a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) estabeleceu um Código de Conduta para Pescarias Responsáveis, enfatizando a necessidade da aplicação de medidas que assegurem a conservação das espécies-alvo e também das espécies pertencentes ao mesmo ecossistema ou associadas às espécies-alvo. Assim sendo, pescarias responsáveis requerem a incorporação de considerações ecossistêmicas no manejo pesqueiro para a manutenção da diversidade e disponibilidade dos recursos pesqueiros em quantidades suficientes para as gerações presentes e futuras, à segurança alimentar, redução da pobreza e o desenvolvimento sustentável (FAO, 1995; Cury et al, 2000; Caddy & Cochrane 2001; Sinclair et al, 2002; King, 2007) bem como para evitar consequências drásticas para espécies de demais níveis tróficos dentro da cadeia que envolve a espécie alvo (Crawford, 2007; Cury 2000, Cury et al, 2011; Smith et al, 2011).

Um requisito essencial à implementação de um manejo sustentável é a obtenção de informações de flutuações significativas no ecossistema (Botsford *et al*, 1997). Populações de organismos marinhos são frequentemente limitados pela disponibilidade de alimento. Mudanças no número de um ou mais

componentes da teia trófica podem produzir efeito cascata a outros níveis tróficos (Payne, 1984; Frank *et al*, 2005). Na pesca de pequenos peixes pelágicos, de ciclo de vida curto, decisões precisam ser tomadas com brevidade, devido às alterações nas taxas de mortalidade natural induzidas pela variabilidade ambiental e que, frequentemente, envolvem substanciais mudanças no padrão de explotação (Cushing, 1988).

No Brasil, a anchoita (Engraulis anchoita) é o último estoque conhecido capaz de sustentar uma nova pesca comercial de média escala (REVIZEE, 2006; Castello, 2007; Madureira et al, 2009). Este pequeno pelágico distribui-se do Golfo San Jorge na Argentina ao norte do Rio de Janeiro (Acuña & Castello, 1986; Madureira et al, 2009). Na Argentina, este recurso é explorado comercialmente, com registro de desembarques de cerca de 14 mil toneladas em 2014 (Argentina, 2015). Entretanto, apesar de abundante na Plataforma Continental do Rio Grande do Sul, com registros de altas biomassas no inverno e na primavera, a anchoita pertence a um estoque ainda não explorado comercialmente no Brasil (Lima & Castello, 1994 e 1995; Castello, 2007). Neste contexto, foi implementado em 2005 o Projeto Anchoita (FURG CNPq-SEAP-MPA). Os resultados deste projeto confirmaram as altas biomassas já anteriormente descritas em Lima & Castello (1994;1995) bem como geraram protótipos de produtos para consumo humano direto (Madureira et al, 2009). Em 2010, iniciou-se a segunda fase do projeto onde se avaliou a variabilidade temporal na disponibilidade de anchoita durante o inverno e a primavera em termos de biomassa, como suporte para sua explotação sustentável.

Em termos ecológicos a anchoita, é uma espécie forrageira que possui um papel chave na teia trófica, como uma via de transferência de energia aos níveis tróficos superiores no ecossistema do sul do Brasil, Argentina e Uruguai (Velasco & Castello 2005; Gasalla et al, 2007). A anchoita é uma espécie planctívora e dentre os itens de sua dieta encontram-se os copépodos calanóides, eufausiáceos, anfípodos hiperídeos, cladóceros, apendicularias e pterópodos (Ciechomski, 1967; Angelescu, 1982; Sánchez & Manazza, 1994; Schwingel & Castello, 1994; Viñas & Ramírez, 1996; Capitanio et al, 1997; Schwingel, 1998; Pájaro, 2002; Capitanio et al. 2005; Padovani et al. 2011; Viñas et al. 2013). Estudos que avaliem a disponibilidade do zooplâncton, juntamente com variações das condicionantes ambientais, podem ser determinantes para o entendimento da distribuição e abundância deste pequeno pelágico, uma vez que a abundância da biomassa planctônica marinha e sua distribuição espaço-temporal é um elemento crucial para a compreensão das relações tróficas das espécies pelágicas (Lopes et al, 2006 a), assim como para avaliar a capacidade de suporte do meio e/ou detectar riscos de colapso dos estoques (Lopes et al, 2006b).

Na plataforma continental do Rio Grande do Sul (PC-RS) a complexa estrutura hidrológica influencia a produtividade e distribuição das agregações de fitoplâncton e agregações de zooplâncton, afetando a migração de peixes planctívoros, como a anchoita (Lopes *et al,* 2006 a; Brandini, 2006). Nesta região durante o inverno e a primavera a penetração da Água Subantártica de Plataforma (ASAP), juntamente com o aporte de águas continentais da Lagoa dos Patos e do Rio da Prata proporcionam elevada produção primária,

particularmente na porção sul da plataforma interna e média (Ciotti *et al*, 1995; Matsuura, 1996; Odebrecht & Garcia, 1997; Piola *et al*, 2000, Castro *et al*, 2006; Möller *et al*, 2008). Estas condições favorecem a ocorrência de peixes pelágicos e demersais e caracterizam a região como uma das áreas de pesca mais importantes do país (Haimovici *et al*, 1989; Castello *et al*, 1997).

Com a proximidade do verão, a ASAP recua para o sul associada à penetração da Água Tropical (AT) que, juntamente com a Água Costeira (AT) passam a ocupar a plataforma durante o verão e outono (Campos *et al*, 1996; Garcia, 1998; Castro *et al* 2006; Möller *et al*, 2008).

Como já observado por Muelbert *et al* (2008), essa dinâmica hidrográfica atuante na região em função das diferenças de massas de água entre as estações do ano determina uma distinção marcante nos grupos de espécies do zooplâncton encontrados no inverno e no verão. Especialmente no inverno, maiores abundâncias foram encontradas próximas à costa, representadas essencialmente pelas espécies *Ctenocalanus citer*, e *Calanoides carinatus*. Durante o verão, estas espécies foram substituídas e as maiores densidades registradas são dos copépodes *Oncaea* spp. e *Clausocalanus parapergens*.

Assim sendo, em termos ecológicos, a gradativa chegada da ASAP no inverno pode ser acompanhada por uma fauna zooplanctônica que favoreça a presença de peixes pelágicos, especialmente a anchoita. Desta forma, pode-se inferir que a distribuição do zooplâncton pode influir nos padrões de distribuição da anchoita.

Este ciclo sazonal regido pela dinâmica hidrográfica da região pode ser acompanhado também pela distribuição e abundância das aves marinhas,

componentes importantes que atuam como predadoras de topo no ecossistema marinho. As aves marinhas possuem grande mobilidade e são predadores conspícuos que se alimentam de cardumes de espécies pelágicas e zooplâncton (Hunt, 1990; Fauchald, 2009). Sua alta e constante demanda de energia, combinada com grande mobilidade podem apresentar uma tendência de agregação em direção às altas concentrações de suas presas (Springer *et al*, 1986; Hunt, 1990; Velarde *et al*, 1994; Davoren *et al*, 2003; Karpouzi *et al*, 2007; Piatt & Sydeman, 2007; Fauchald, 2009; González-Solís & Shaffer, 2009).

A comunidade de aves na PC-RS é composta por aves costeiras e pelágicas. Dentre as aves costeiras, destaca-se os trinta-réis dos quais seis espécies são regularmente encontras na região (Bugoni & Vooren, 2005). Em relação às aves pelágicas, as quais correspondem a espécies de migrantes sazonais e que não nidificam no país, são frequentes na região por 10 espécies de albatrozes (Diomedeidae), 31 petréis (Procellariidae, Hydrobatidae e Pelecanoididae) e um pinguim (CBRO 2007). A presença de migrantes do sul no inverno é atribuída por Neves, *et al* (2006) à intrusão da Corrente das Malvinas (Campos *et al*, 1996) que resulta em um importante aporte de nutrientes e de peixes e lulas para as aves marinhas (Castello, 1998). Dentre os pequenos pelágicos, a anchoita é considerada um importante componente na dieta de aves. Na Argentina esta espécie foi registrada como principal item alimentar na dieta da *Sterna hirundinacea* (Favero *et al*, 2000; Mariano-Jelicich *et al*, 2011). Ainda, nesta mesma região, Prenski *et al* (2011) apontam cinco espécies de aves como principais predadoras de anchoita entre elas:

Thalassarche melanophris, Daption capensis e Spheniscus magellanicus. Em estudo realizado no Uruguai, Alfaro *et al* (2011), sustentam a hipótese de que a *S. hirundinacea* depende fortemente da anchoita como recurso alimentar.

O pinguim de magalhães (*Spheniscus magellanicus*) reproduzem na Argentina e saem de suas colônias de reprodução viajando para o norte, onde a presa é mais abundante (Boersma *et al*, 1990; Boersma, 2008, Boersma *et al*, 2009) Estes pinguins nadar na superfície e pode viajar até 173 km por dia (Boersma, 2009) ao longo da costa leste da América do Sul sendo encontrado em em águas tropicais do norte(da Silva *et al*, 2012).Trabalhos na Plataforma Argentina apontam *E.anchoita* como principal item alimentar na dieta do Pinguim de Magalhães (Scolaro & Badano 1986; Frere *et al*, 1996; Scolaro *et al*, 1999, Forero *et al*, 2002, Wilson *et al*, 2005).

Na costa brasileira, em estudo utilizando isótopos estáveis analisados no tecido de aves Procellariformes e tecido de peixes, Bugoni *et al* (2011) apontaram a espécie *E. anchoita* como uma fonte de alimento para estas aves no sul do Brasil. Ainda, em um estudo realizado durante o inverno na costa sul do Brasil, Cardoso *et al* (2011) sugerem que grupos de pinguins de Magalhães (*Spheniscus magellanicus*) ocorrem associados à presença de *E. anchoita* pois seus resultados apontaram uma forte relação entre o número de pinguins mortos na pesca de emallhe por captura incidental e a captura de *Pomatomus saltatrix*, a qual possui *E. anchoita* como principal presa. Assim sendo, existem evidencias de que a presença de cardumes de anchoita na PC-RS possa ser um fator que influencia a distribuição de determinadas espécies de aves marinhas, uma vez que muitas destas espécies ocupam essa região durante o

inverno para alimentarem-se (Vooren & Fernandes 1989; Sick, 1997) e a anchoita é um recurso abundante na região, especialmente no inverno e primavera (Castello, 2007; Madureira *et al*, 2009).

A utilização da acústica para medir a abundância de peixes, juntamente com a coleta sistemática de amostras do zooplâncton e contagem de aves oferece a possibilidade de investigar a distribuição espacial sinótica das aves marinhas e suas presas ao longo de perfis navegados, demonstrando resultados satisfatórios em diversas regiões (Hunt, 1990; Reid *et al.* 2004, 2005; Fauchald, 2009; Santora *et al.* 2009; Santora *et al.* 2011; Zwolinski *et al.* 2014).

Estudar o cenário da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul, com foco no condicionamento dos fatores ambientais na distribuição e abundância de anchoita e nas relações com suas presas no zooplâncton e ainda com as aves, como potenciais predadores, é fundamental quando considerada a possibilidade de exploração deste recurso. A anchoita é comercialmente explotada na Argentina, apesar da sua contribuição para a pesca ainda ser baixa, com desembarque de apenas 14.000 toneladas em 2014 (Argentina, 2015), a captura uma pescaria certificada, operando dentro de uma pesca sustentável (Prenski *et al*, 2011). O Brasil pode seguir a mesma direção, qualificando a explotação desta espécie com selo de certificação internacional de sustentabilidade. Um aspecto fundamental para iniciar este processo é primeiramente conhecer as características de distribuição da espécie alvo, bem como suas interações com o ambiente e demais níveis tróficos.

Neste sentido, a presente tese tem como objetivo testar as seguintes hipoteses:

H1: Variações nas densidades de anchoita na PC-RS nos meses de inverno e primavera são condicionadas pelas variações na densidade do mesozooplâncton.

H2: Variações na densidade de aves marinhas nos meses de inverno e primavera são condicionadas pelas variações nas densidades de anchoita.

H3: A intrusão de águas de origem subantártica na PC-RS condiciona padrões de distribuição do mesozooplâncton, da anchoita e de aves marinhas durante os meses de inverno e primavera.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a distribuição e abundância do mesozooplâncton, de *E. anchoita* e de aves marinhas e a evolução dos processos associados à entrada de águas de origem subantártica durante o inverno e a primavera na Plataforma Continental do Rio Grande do Sul (PC-RS), Brasil.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Analisar os padrões de distribuição do mesozooplâncton na PC-RS e sua relação com parâmetros ambientais, com ênfase nos principais grupos que compõem a dieta de *E. anchoita*.

2. Analisar os padrões de distribuição da anchoita e sua relação com parâmetros ambientais e distribuição de suas principais presas na PC-RS.

 Analisar os padrões de distribuição e abundância das aves marinhas em relação à distribuição e abundância da anchoita, bem como em relação aos parâmetros ambientais.

1.3 Materiais e métodos

1.3.1 A coleta de dados

Entre julho e outubro (2010) foram realizados cinco cruzeiros de prospecção acústica para estimativa de biomassa de anchoita ao longo de 3.095 mn (milhas náuticas) cobrindo uma área entre o Farol da Conceição (31°30'S) e o do Albardão (33°10'S) até aproximadamente a isóbata de 100 m (Figura 1). Nesta área foram estabelecidas derrotas de navegação e estações oceanográficas para cada um dos cruzeiros, cujo um dos cruzeiros foi deslocado para o norte com intuito de verificar o limite de influencia de águas subantárticas sobre a plataforma. Durante a navegação ao longo dos perfis, foram adquiridos dados acústicos e de observação de aves. Nas estações oceanográficas foram adquiridos dados ambientais com o CTD (Conductivity, Temperature and Depth) e coleta de zooplâncton com rede vertical. Segue na Tabela 1 o resumo da coleta de dados nos cruzeiros.



Figura 1 - Derrota de navegação para coleta de dados acústicos (traços cinzas), posição das estações de contagem de aves (triângulos vermelhos) e a das estações oceanográficas para obtenção de dados ambientais com o CTD (círculos pretos) e de zooplâncton(quadrados), dos cinco cruzeiros realizados entre iunho e outubro de 2010 na Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.

Cruzeiros	Periodo		profundidade (m)		coordenadas (limite sul limit		°) e norte mn *		Area	Lances de	Estaçoes	Lances de Rede Vertical	Censos de Aves	
	Inicio	Fim	min	max	lat °S	long°W	lat °S	long°W	(km²)	Pesca	de CTD	(n° amostras)	(instantaneo)	
Junho	22/06/2010	29/06/2010	11.3	117	33.9	51.6	31.9	51.8	602	28242	6	29	39	30
Agosto	06/08/2010	18/08/2010	11.5	118	33.9	51.6	31.9	51.8	604	28242	10	30	19	29
Agosto/Setembro	31/08/2010	06/09/2010	10.6	104.1	33.2	50.9	30.9	50.6	623	26238	8	32	22	22
Setembro	16/09/2010	26/09/2010	12.4	122.8	34.5	52.2	32.3	52.1	652	30928	18	32	17	60
Outubro	04/10/2010	10/10/2010	12	116.4	34.5	52.1	32.4	52.1	653	30928	17	20	21	47

Tabela 1 – Informações sobre as coletas de dados realizadas nos cruzeiros de junho a outubro de 2010.

1.3.2 Dados acústicos

Ao longo dos perfis previamente estabelecidos (Figura 1), dados acústicos foram adquiridos com a ecossonda científica digital EK500, operando nas frequências de 38 kHz e 120 kHz, sendo apenas realizadas aquisições de dados no período diurno. A aquisição dos dados foi realizada via software MOVIES+ *v*. 3.4b para possibilitar o pós-processamento, cálculos de densidade e biomassa. Lances de arrasto de meia-água para amostrar cardumes de anchoita foram realizados e definidos em função da ocorrência de registros acústicos. Para tal, utilizou-se uma rede de meia-água desenhada para a captura de pequenos pelágicos. Esta rede possui a asa e o quadrado com

malha de 400 mm entre nós opostos, diminuindo gradativamente para 50 mm no túnel e 20 mm no saco. Para a abertura da rede, utilizaram-se duas portas tipo *Süberkrüb* com 4 m² de superfície e 380 kg cada. O perimetro da boca da rede é de 268 m e para o monitoramento das operações de pesca foi utilizada uma sonda de rede SAMYUNG ENC, modelo SYN-200 CR. A bordo as amostras foram avaliadas para taxonomia e biometria e sub-amostradas para quantificação do peso total. As espécies foram identificadas de acordo com Figueiredo & Menezes (1978; 2000), Figueiredo (1980) e Menezes & Figueiredo (1980).

Para as análises de distribuição e densidade da anchoita foi utilizado o parâmetro acústico NASC (Nautical Area Scattering Coeficient) e valores de *target strength* (TS) dos lances de meia-água. A estimativa de densidade foi obtida conforme o método de eco-integração (MacLennan & Simmonds, 1992).

Os arquivos adquiridos no MOVIES+ v. 3.4b foram convertidos em *.hac para viabilizar o processamento no software Echoview 4. Neste software, os ecogramas digitais foram analisados para a identificação de ecotipos de anchoita (Madureira & Rossi-Wongtschowski, 2005) e extração do valor de NASC (*Nautical Area Scattering Coefficient*), parâmetro proporcional à densidade dos organismos detectados no cone acústico, calculado com a ecointegração da energia acústica retro espalhada pelos alvos na coluna de água. O intervalo acústico amostral unitário (*Elementar Sampling Distance Unit* – ESDU) foi de uma milha náutica e cada ESDU teve alocado para si o lance de pesca mais próximo, com as descrições morfométricas e proporção das espécies capturadas.

Os valores de densidade acústica foram convertidos em densidade numérica. Este processo utiliza os valores de NASC por ESDU e as características individuais de reflexão da anchoita e das espécies co-ocorrentes (*target-strength*) de acordo com as respectivas classes de tamanho dos indivíduos, ao longo da área prospectada. A distribuição de tamanho dos indivíduos nas áreas de trabalho foi obtida a partir das amostras oriundas dos lances de meia água.

O TS representa a razão entre a energia que é refletida por um alvo e a quantidade de energia que incide sobre esse alvo (MacLennan & Simmonds, 1992), expresso em dB de acordo com a fórmula:

 $TS = 10 \log \sigma_{bs}$

Onde σ_{bs} (*Backscattering Cross-Section -* σ_{bs}) corresponde a área da secção da seção transversal de retro espalhamento acústico do alvo.

 $\sigma_{bs} = 10^{0.1 \times TS}$ sendo *TS* avaliado experimentalmente com indivíduos confinados em gaiolas ou *in situ* a partir de transdutores *split beam* (Simmonds & MacLennan, 2005). No presente trabalho, optou-se por utilizar o TS descrito por MacLennan *et al.* (1998) para *Engraulis ringens*, definido como:

 $TS = 20 \log Lt - 70,9.$

A conversão da densidade acústica NASC (m²mn⁻²) para a densidade numérica (N[°]mn⁻²) para a *j*-ésima classe de tamanho da anchoita na amostra *"k*" é calculada de acordo com a fórmula (Bodholt,1990):

 $\rho_{ij} = n_{ik} \left(S_A / 4\pi \Sigma(n_j \times \sigma_{bs(j)}) \right)$

onde " ρ " é a densidade numérica; "n" é o número de indivíduos; e S_A a densidade acústica.

Para a conversão da densidade numérica das diferentes classes de tamanho para densidade em peso, utilizou-se a relação peso-comprimento:

$w = a \times Lt^b$

onde w é a massa em gramas; Lt^{b} é o comprimento total em centímetros e ae b são parâmetros espécie-dependentes. Os parâmetros utilizados no presente trabalho seguem a relação comprimento-peso descrito em Castello (2007).

O cálculo de biomassa por cruzeiro segue método descrito por Jolly & Hampton (1990). A densidade em peso (tonelada/milha náutica quadrada) foi multiplicada por 15 nm², que corresponde à distância entre os perfis (15 mn) multiplicada pela distância de uma milha de cada unidade amostral, sendo estimado então a biomassa para uma área de 15 mn² (1 nm x 15 nm). O somatório desses valores correspondeu à biomassa observada em cada cruzeiro.

1.3.3 Dados ambientais

A coleta dos dados ambientais foi realizada nas estações oceanográficas, cuja localização foi previamente definida ao longo dos perfis de navegação com quatro lançamentos CTD por perfil, sendo as distâncias entre estações não maiores que 20 mn (Figura 1). As Informações do CTD, modelo Ocean Seven 316 da IDRONAUT, corresponderam sempre a leituras ao longo de toda a coluna d'água nas estações oceanográficas.

Para uma visão geral em grande escala da variabilidade ambiental no atlântico sudoeste, foram gerados mapas mensais de distribuição da temperatura supercial do mar (TSM) e concentração de clorofila-a entre as latitudes 28°S e 40°S durante o período de amostragem para obtermos uma visão dos processos em uma escala maior que a dos dados in situ. Os dados foram obtidos do satélite Aqua-MODIS com resolução de 4 km em visualizações geradas no *site* Giovanni (http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=ocean_month).

Os dados *in situ* foram avaliados para cada cruzeiro gerando mapas com a distribuição espacial da temperatura e salinidade superficiais e de fundo por meio da interpolação kriging (Li & Heap, 2008; Mazzini & Schettini, 2009). Diagramas TS para identificar as massas de água presentes na região foram processados no Matlab 7.9 utilizando os intervalos termohalinos descritos em Möller *et al* (2008) e apresentados na Tabela 2.

	Limites					
Massa de agua	Temperatura	Salinidade				
PRP	T>10°C	S≤33,5				
AT	T≥18,5°C	S≥36				
ASTP	T>14°C	33.5 <s<35,3< td=""></s<35,3<>				
	T>18,5	35.3≤S<36				
ASAP	T<14°C	33.5 <s≤34,2< td=""></s≤34,2<>				
ACAS	T≤18,5	S≥35,3				

Tabela 2 Limites termo-halinos utilizados na classificação das massas d'água, conforme índices descritos por Möller *et al* (2008). PRP: Pluma do Rio da Prata; AT: Água Tropical; ASTP: Água Subtropical de Plataforma; ASAP: Água SubAntartica de Plataforma; ACAS; Água Central do Atlântico Sul.

Para determinar a contribuição relativa das massas d'água identificadas, foi aplicado o triângulo de mistura (Mamayev,1975), que permite o calculo percentual de apenas 3 das massas de agua identificadas no diagrama TS. Os índices termohalinos T_1S_1 , T_2S_2 e T_3S_3 utilizados foram determinados de acordo com os valores extremos das massas de água identificadas nos diagramas TS de cada cruzeiro. (Tabela 3). Os cálculos da porcentagem de mistura m1.m2 e m3 foram efetuados resolvendo o sistema de equações apresentado abaixo:

 $m_1T_1+m_2T_2+m_3T_3=T$

 $m_1S_1+m_2S_2+m_3S_3=S$

 $m_1 + m_2 + m_3 = 1$

Com o intuito de verificar a contribuição das massas de água ao longo da coluna de água, a porcentagem de mistura foi interpolada no SURFER 11 em três estratos de profundidade: 5, 25 e 50 m.

Para cada perfil navegado, foi realizada uma interpolação dos dados de temperatura e salinidade com o intuito de se obter um valor destes parâmetros para cada milha náutica. Este procedimento permitiu extrair para cada milha náutica navegada nos perfis as seguintes variáveis: temperatura da superfície e temperatura do fundo, bem como a diferença entre estas temperaturas (Δ T); salinidade na superfície e salinidade no fundo, bem como a diferença entre estas temperatura entre estas salinidades (Δ S).

Tabela 3 Índices de temperatura e salinidade extraídos dos diagramas TS para o cálculo do percentual de mistura das massas de água. PRP: Pluma do Rio da Prata; AT: Água Tropical; ASTP: Água Subtropical de Plataforma; ASAP: Água SubAntártica de Plataforma; ACAS; Água Central do Atlântico Sul.

Massas	Junho		Massas	Agosto			
de água	Salinidade	Temperatura (°C)	de água	Salinidade	Temperatura (°C)		
AT(m1)	36,1	20,5	ASTP(m1)	35,6	18,5		
ASTP(m2)	33,2	14,6	ASAP(m2)	33,6	10,7		
PRP(m3)	28,8	14,7	PRP(m3)	25,1	11,8		
	Agosto/Set	tembro	_	Setembro			
	Salinidade	Temperatura (°C)		Salinidade	Temperatura (°C)		
ASAP(m1)	33,7	11	ASTP(m1)	35,6	18,5		
ASTP(m2)	35,6	18,5	ASAP(m2)	33,7	10,1		
PRP(m3)	28,8	8 14,7		21,4	16,7		
	Outubro						
	Salinidade	Temperatura (°C)					
ASAP(m1)	33,6	10,7	-	-	-		
ASTP(m2)	35,6	18,5					
PRP(m3)	28,8	14,7					

1.3.4 Dados de zooplâncton

A amostragem de zooplâncton foi realizada com uma rede vertical com malha de 200 µm, 60 cm de diâmetro de boca com um fluxômetro General Oceanics modelo 2030 acoplado e sistema de fechamento. A estratégia de amostragem foi diferenciada entre os cruzeiros. Nos cruzeiros de junho e agosto, exceto nas estações rasas, as amostras foram tomadas em dois estratos, sempre um acima e um abaixo da termoclina, obtendo assim duas amostras por estação. Nos cruzeiros subsequentes, as amostragens foram feitas para toda a coluna de água, da superfície até um máximo de 50 m, tendo, portanto apenas uma amostra por estação. O total de amostras em cada cruzeiro encontra-se na Tabela 1.

Para cada amostra foi realizada a identificação de grandes grupos e as estimativas de densidades do zooplâncton. Em laboratório, os organismos zooplanctônicos foram contados sob microscópio estereoscópico em subamostras de alíquotas conhecidas. Esta parte do trabalho foi executada pela equipe do Laboratório de Zooplâncton da FURG.

A densidade dos organismos (ind.m⁻³) para cada estação oceanográfica foi calculada dividindo-se o número contado nas alíquotas pela quantidade de água filtrada pela rede vertical de estrangulamento, através da fórmula:

 $V = (\pi R^2 h)$

onde R é o raio da boca da rede e h é a distância percorrida pela rede em metros.

1.3.5 Dados de aves marinhas

Durante todos os cruzeiros, observadores de bordo realizaram censos de aves marinhas, onde as espécies eram identificadas através de guias de identificação (Harrison, 1985; Onley & Scofield, 2007) e contabilizadas, distinguindo as aves seguidoras da embarcação das demais. As contagens foram realizadas apenas no período diurno.

Seguindo método descrito em Neves *et al* (2006), os censos foram realizados durante a navegação ao longo dos perfis pré estabelecidos, com navio deslocando-se a aproximadamente 10 nós, sendo realizados censos contínuos e instantâneos, sugeridos como metodologia padrão por Tasker *et al* (1984) e Gould & Forsell (1989).

O censo contínuo consiste em uma contagem e identificação das aves avistadas durante 10 minutos contínuos em uma área correspondente a ¹/₄ de

um circulo com raio de 300 m à frente e para um dos bordos, com pelo menos 30 minutos de intervalo entre os censos contínuos. A estimativa da distancia de 300m foi determinada pelo método descrito por Heinemann (1981)

A contagem instantânea consiste na identificação e contagem das aves também num raio de 300 m com dez contagens num intervalo de dez minutos, com ínicio da contagem a cada minuto .

A densidade de aves (número de aves x mn⁻²) foi calculada com base nos resultados obtidos nos censos instantâneos a fim de correlacioná-los com as variáveis ambientais bem como com a densidade da anchoita. Com base na localização dos censos, foi realizada uma busca na matriz de dados acústicos a fim de conhecer a densidade de anchoita na posição da realização do censo. Assim obtivemos a densidade de aves (ind/mn²) e a densidade de anchoita (t/mn²) na milha náutica correspondente.

1.3.6 Análises estatísticas

Para testar as hipóteses propostas, foram ajustados Modelos Lineares Generalizados (MLG's; McCullang & Nelder, 1989). A vantagem da aplicação destes modelos é que a distribuição de probabilidade dos dados não obrigatoriamente deve ser normal, sendo possível definir, de acordo com sua base de dados, qual distribuição de probabilidade, dentro da família exponencial, mais se adequa ao cenário que pretende modelar. Em função disso, os MLG's são métodos menos restritivos frente aos pressupostos necessários, em análises modelos lineares convencionais que exigem a transformação dos dados antes de sua aplicação.

Um MLG caracteriza-se pela distribuição estocástica (Y), que é modelada em função de p variáveis explanatórias $x_1, x_2, x_3...x_p$. Um MLG básico pode ser escrito como:

$$g(\mu_i) = X_i^T \beta$$
 e $\mu_{i=} E(Y_i)$

onde *g* é uma função de ligação; μ_i é a média esperada da observação; X_i é o vetor das variáveis explanatórias e β é o vetor dos coeficientes de regressão; e

$$Y_i \sim f_{\theta_i}(y_i)$$

onde f_{θ_i} é uma família de distribuição exponencial com um parâmetro canônico θ_i que é determinado por μ_i e consequentemente por β . A família exponencial de distribuição inclui muitas distribuições que são utilizadas para modelar, como Poisson, Binomial, Gamma e Gaussiana.

Um modelo aditivo generalizado (MAG's; Hastie e Tibshirani, 1990) é um modelo linear generalizado com um preditor linear envolvendo uma soma de funções suavizadoras das covariáveis. Em geral, o modelo tem a seguinte estrutura:

$$g(\mu_i) = X_i^* \theta + f_1(x_{1i}) + f_2(x_{2i}) + f_3(x_{3i}, x_{4i}) + \dots$$

onde

$\mu_i = E(Y_i) e Y_i \sim alguma família de distribuição exponencial$

sendo Y_i é uma variável de resposta; X_i^* é uma linha da matriz de qualquer componente do modelo, estritamente paramétrico; θ é o vetor de parâmetros correspondente, e f_i são funções suavizadoras das covariáveis x_k .

O primeiro propósito consiste em definir quais variáveis preditoras são significativas para estabelecer padrões de distribuição do mesozoplâncton na

PC-RS. Neste caso, foram utilizados os dados referentes às coletas realizadas nas estações oceanográficas, de todos os cruzeiros, onde foi ajustado um modelo definindo como variável resposta à densidade do mesozooplâncton (ind.m⁻³), frente às variáveis preditoras temperatura, salinidade, profundidade, e percentual das massas de água testados em ajustes MLG e MAG.

Para avaliar a composição de grandes grupos, foram aplicadas uma Análise de Agrupamento nMDS (nonmetric multidimensional sacaling). Essa técnica de ordenação permite a redução da dimensionalidade da matriz de dados primários e a ordenação dos seus objetos (ou atributos) buscando garantir que as distâncias entre os objetos (ou atributos) no espaço de dimensionalidade reduzida representada espacialmente em 2D ou 3D sejam proporcionais às distâncias entre os objetos (ou atributos) no espaço multidimensional original. A matriz testada foi gerada com as densidades dos grupos com frequência superior a 10% das amostras. Os valores foram transformados em raiz quadrada para o cálculo da matriz de similaridade Bray-Curtis. Uma ANOSIM (ANalysis Of SIMilarity) foi plicada para testar a existência de similaridade entre amostras coletadas nas diferentes estações do ano (inverno e primavera), massas de água, estratos de profundidade, temperatura e salinidade. (Capítulo 3).

No que se refere aos padrões de distribuição da anchoita e sua relação com parâmetros ambientais, foram testados modelos com vias a sanar dois questionamentos: 1) que variáveis condicionam *habitat* da anchoita adulta?; 2) Dentro do *habitat* da anchoita adulta, que fatores favorecem maiores densidades deste peixe?
Dentro do primeiro questionamento, foram testados modelos de presença e ausência da anchoita frente às variáveis ambientais, assumindo uma distribuição binomial. A variável resposta foi: zero (quando não ocorrer anchoita na milha náutica) e um (quando ocorrer anchoita na milha náutica), e as variáveis ambientais testadas foram: temperatura na superfície e no fundo, salinidade na superfície e no fundo, diferença entre a temperatura de superfície e de fundo ($|\Delta T|$), diferença entre a salinidade de superfície e de fundo ($|\Delta S|$) e profundidade (Capítulo 4).

Para verificar quais os fatores que favorecem maiores densidades de anchoita em determinados setores dos cruzeiros, foram testadas as mesmas variáveis ambientais do modelo anterior. Entretanto, neste caso, foram apenas utilizadas as milhas com presença de registros acústicos de anchoita. A variável resposta neste caso é a densidade de anchoita (t mn⁻²) estimada acusticamente (Capítulo 4).

Por fim, foram testados modelos para presença e densidade de aves marinhas frente às variáveis ambientais, adicionando neste caso a densidade de anchoita como covariável. Modelos foram construídos separadamente tendo como variável resposta aves voadoras (ind.mn⁻²) e pinguins (ind.mn⁻²) (Capítulo 5).

Em todos os casos a seleção do melhor MLG foi julgada pelo menor valor de AIC (Akaike, 1973; Burman & Anderson, 2002)

 $AIC = 2k - 2\ln(L)$

onde k é o numero de parâmetros do modelo; L é o valor maximizado da função de verossimilhança do modelo estabelecido.

1.4 Referências Bibliográficas

- ACUÑA A & CASTELLO JP.1986. Estructura de la población, crecimiento y reproducción de *Engraulis anchoita* (Hubbs, Marini 1935) em el sul de Brasil. *Rev Biol Mar*, 22 (1):23-60.
- AKAIKE H. 1973. Information theory and extension of the maximum likelihood principle. 2nd International Symposium on Information Theory. Akademiai Kiado, Budapeste, 268-281.
- ALFARO M, MAUCO L, NORBIS W & LIMA M. 2011. Temporal variation on the diet of the South American Tern (*Sterna hirundinacea*, Charadriiformes: Laridae) on its wintering grounds. *Rev Chil Hist Nat,* 84:(3)451-460.
- ANGELESCU, V. 1982. Ecología trófica de la anchoíta del Mar Argentino (Engraulidae, *Engraulis anchoita*). Parte II. Alimentación, comportamiento y relaciones tróficas en el ecosistema. Contrib. Inst. Nac. Invest. Desarr. Pesq. (Mar del Plata), Nº 409, 83pp.
- ARGENTINA. 2015. Ministério de Agricultura, Ganadería y Pesca. Sistemas de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SSPyA).disponível em: <<u>http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/pesca_maritima/02-</u>

desembarques/lectura.php?imp=1&tabla=especie_mes_2011>.

- BODHOLT H. 1990. Fish density derived from echo-integration and in situ target strength measurements. *ICES J Mar Sci*, 11:1-15.
- BOERSMA PD, STOKES D L & YORIO P .1990. Reproductive variability and historical change of Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) at Punta Tombo, Argentina, in Biology of Penguins, L.Davis and J.Darby, Eds., pp. 15–43.

- BOERSMA PD. 2008. Penguins as marine sentinels. *BioScience*, 58, no. 7, pp. 597–607.
- BOERSMA PD,REBSTOCK GA,FRERE E & MOORE E. 2009. Following the fish: penguins and productivity in the South Atlantic. *Ecol Monogr*, 79(1): 59–76.
- BOTSFORD LW, CASTILLA JC & PETERSON CH. 1997. The management of fisheries and marine ecosystems. *Science*, 277: 509-515.
- BRANDINI, FP. 2006. Hidrografia e produção biológica na Região Sudeste-Sul do Brasil. In: Rossi-Wongtschowski, CLDB. & LSP Madureira. (Eds) O ambiente oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na região sudeste-sul do Brasil. EDUSP. São Paulo: 459-467.
- BUGONI L & VOOREN CM. 2005. Distribution and abundance of six tern species in southern Brazil. *Waterbirds*, 28(1):110-119.
- BUGONI L, McGILL RAR & FURNESS RW. 2011. The importance of pelagic longline fishery discards for a seabird community determined through stable isotope analysis. *J Exp Mar Biol Ecol*, 391, p. 190-200.
- BURNHAM KP & ANDERSON DR. 2002. Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-theoretic Approach, second ed. Springer, NewYork. 488pp.
- CADDY JF & COCHRANE KL. 2001. A review of fisheries management past and present and some future perspectives for the third millennium. *Ocean Coast Manage*, 44:653-682.
- CAMPOS EJD, LORENZZETTI JA, STEVENSON MR, STECH JL & SOUZA RB. 1996. Penetration of waters from the Brazil-Malvinas confluence region

along the South American Continental Shelf up to 23° S. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 68:49-58.

- CAPITANIO FL, PAJARO M & ESNAL GB. 2005. Appendicularians: an important food supply for the Argentine anchovy Engraulis anchoita in coastal waters. *J Appl Ichthyol*, 21(5):414-419.
- CAPITANIO FL, PÁJARO M & ESNAL GB. 1997: Appendicularians (Chordata, Tunicata) in the diet of anchovy (*Engraulis anchoita*) in the Argentine Sea. *Sci Mar*, 61:9–15.
- CARDOSO LG, BUGONI L, MANCINI PL & HAIMOVICI M. 2011.Gillnet fisheries as a major mortality factor of Magellanic penguins in wintering areas. *Mar Pollut Bull*, 62(4):840-844.
- CASTELLO, JP. 1998. Teleósteos pelágicos. In: Seeliger, U, C Odebrecht & JP Castello, (Eds). Os Ecossistemas Costeiros e Marinhos do extremo sul do Brasil. Rio Grande: Ed. Ecoscientia,137-143.
- CASTELLO, JP. 2007. "Síntese sobre a anchoita". In: Haimovici, M. (Org.). A prospecção pesqueira e abundância de estoques marinhos no Brasil nas décadas de 1960 1990: Levantamento de dados e avaliação crítica. pp.35-73. Brasília: MMA/SMCQ.
- CASTELLO JP, HAIMOVICI M, ODEBRECHT C & VOOREN CM. 1997. Relationships and Function of Coastal and Marine environments: the continental shelf and slope In: Seeliger, U, C Odebrecht & JP Castello (eds). Subtropical Convergence Environments. The Coast and Sea in the Southern Atlantic. Springer-Verlag, Berlin. 171-178.

- CASTRO BM, LORENZETTI JA, SILVEIRA IC & MIRANDA LB. 2006. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, CLDB & LSP Madureira. (Orgs). O ambiente oceanográfico da Plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil. São Paulo. EDUSP: 11-120.
- CBRO .2007. Lista das aves do Brasil, 6th edn (16 de agosto de 2007). Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos, Sociedade Brasileira de Ornitologia. Available at: www. cbro.org.br
- CIECHOMSKI JD. 1967. Investigations of food and feeding habits of larvae and juveniles of the argentine anchovy, *Engraulis anchoita*. *CalCOFI Rep*, 11: 72-81.
- CIOTTI A, ODEBRECHT C, FILLMAN G & MÖLLER O. 1995. Freshwater outflow and subtropical convergence influence on the phytoplankton biomass on the Southern Brazilian Continental Shelf. *Cont Shelf Res*, 15(14):1737-1756.
- CLARKE KR & AINSWORTH M.1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Mar Ecol Prog Ser*, 92:205-219.
- CRAWFORD, RJM. 2007. Food, fishing and seabirds in the Benguela upwelling system. *J Ornith*, 148(S2):253-260.
- CURY PM. 2000. Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in "wasp-waist" ecosystems. *ICES J Mar Sci*, 57:603-618.

- CURY PM, BOYD IL, BONHOMMEAU S, ANKER-NILSSEN T, CRAWFORD RJM, FURNESS RW, MILLS JA, MURPHY EJ, ÖSTERBLOM H, PALECZNY M, PIATT JF, ROUX JP, SHANNON L & SYDEMAN WJ. 2011. Global seabird response to forage fish depletion--one-third for the birds. *Science*, 334(6063):1703-1706.
- CUSHING DH. 1988. The flow of energy in marine ecosystems, with special reference to the continental shelf. In: Postma H, Zijlstra JJ (ed) Continental shelves. Elsevier, Amsterdam, pp 203-230. (Ecosystems of the world, vol 27).
- DA SILVA RR, PEREIRA J, TANAJURA C A S, LENTINI C AD, CIRANO M,
 BOERSMA PD, RODRIGUES R R. 2012. Occurrence of Magellanic
 Penguins along the Northeast Brazilian Coast during 2008 Austral Winter.
 Sci World J, 1-10.
- DAVOREN GK, MONTEVECCHI WA & ANDERSON JT. 2003. Distributional patterns of a marine bird and its prey: habitat selection based on prey and conspecific behaviour. *Mar Ecol Prog Ser*, 256:229–242.
- FAO 2012 . The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome, FAO. 197p
- FAO. 1995. Code of Conduct for Responsible Fisheries Rome, FAO. 41p.
- FAUCHALD P. 2009. Spatial interaction between seabirds and prey: review and synthesis. *Mar Ecol Prog Ser*, 391:139-151.
- FAVERO M, BÓ MS, SILVA RODRÍGUEZ MP & GARCÍA MATA C. 2000. Food and feeding biology of the South American Tern during the nonbreeding season. *Waterbirds*, 23:125–129.

- FIGUEIREDO, JL & NA MENEZES. 1978. Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. II. Teleostei (1). Museu de Zoologia. Universidade de São Paulo. 110 p.
- FIGUEIREDO, JL & NA MENEZES. 2000. Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. IV. Teleostei (5). Museu de Zoologia. Universidade de São Paulo. 116p.
- FIGUEIREDO JL. 1980. Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. III. Teleostei (2). Museu de Zoologia. Universidade de São Paulo. 90p.
- FORERO MG, HOBSON KA, BORTOLOTTI GR, DONÁZAR JA, BERTELLOTTI M, BLANCO G. 2002. Food resource utilisation by the Magellanic penguin evaluated through stable-isotope analysis: Segregation by sex and age and influence on offspring quality. *Mar Ecol Prog Ser,* 234:289–299.
- FRANK KT, PETRIE B, CHOI JS & LEGGETT WC. 2005 Trophic cascades in a formerly cod-dominated ecosystem. *Science*, 308:1621-1624.
- FRERE E, GANDINI P, LICHTSCHEIN V .1996. Variacion latitudinal en la dieta del pinguino (*Spheniscus magellanicus*). *Ornitol Neotrop,* 7:35–41.
- GARCIA CAE. 1998. Características Hidrográficas, pp. 18-21. In: Seeliger, U, COdebrecht & JP Castello (eds.). Os Ecossistemas Costeiro e Marinho doExtremo Sul do Brasil. Rio Grande: Ecoscientia, p. 18-21.
- GASALLA MA, VELASCO G, ROSSI-WONGTSCHOWSKI CLDB, HAIMOVICI M & MADUREIRA LSP. 2007. Modelo de equilíbrio do ecossistema marinho da Região Sudeste- Sul do Brasil entre 100 - 1000 m de

profundidade. Série documentos do REVIZEE-Score Sul. São Paulo, Edusp, 56 p.

- GONZÁLEZ-SOLÍS J & SHAFFER S. 2009. Introduction and synthesis: spatial ecology of seabirds at sea. *Mar Ecol Prog Ser*, 391:117-120.
- GOULD PJ & FORSELL DJ. 1989. Techniques for shipboard surveys of marine birds. *Fish and Wildlife Tech.Rep*.25. Washington D.C.
- HAIMOVICI M, PEREIRA SD & VIEIRA PC.1989. La pesca demersal en el sur do Brasil en el periodo 1975-1985. *Frente Maritimo*, 5(A):151-163.

HARRISON P. 1985. Seabirds, an identification guide. Houghton Mifflin, Boston

- HASTIE TJ, TIBSHIRANI RJ. 1990. Generalized Additive Models. Chapman & Hall. London.
- HEINEMANN D. 1981. A range finder for pelagic bird censusing. Journal of Wildlife Management 45:489-493.
- HUNT GL. 1990. The pelagic distribution of marine birds in a heterogeneous environment. *Polar Res*, 8:43-54.
- JOLLY GM & HAMPTON I. 1990 A stratified random transect design for acoustic surveys of fish stocks. *Can J Fish Aquat Sci*, 47:1282-1291.
- KARPOUZI V, WATSON R & PAULY D. 2007. Modelling and mapping resource overlap between seabirds and fisheries on a global scale: a preliminary assessment. *Mar Ecol Prog Ser*, 343:87-99.
- KING M. 2007. Fisheries Biology, Assessment and Management. Second edition. Oxford, Blackwell. 382p.
- LI J & HEAP AD. 2008 A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists. *Aust Geol Surv Organ*. GeoCat# 68:154.

- LIMA ID & CASTELLO JP. 1994. Distribución y abundancia de la anchoíta (*Engraulis anchoita*) em la costa sur de Brasil. *Frente Marítimo*, 15: 87-100.
- LIMA ID & CASTELLO JP. 1995. Distribution and abundance of South-west Atlantic anchovy spawners (*Engraulis anchoita*) in relation to oceanographic processes in the southern Brazilian shelf. *Fish Oceanog*, 4 (1):1-17.
- LOPES RM, KATSURAGAWA M, DIAS JF, MUELBERT JH, GORRI C & BRANDINI FP. 2006b. Zooplankton and ichthyoplankton distribution on the southern Brazilian shelf: an overview. *Sci Mar*, 70:189-202.
- LOPES, RM, MONTÚ MA, GORRI C, MUXAGATA E, MIYASHITA LK & OLIVEIRA LP. 2006a. O zooplâncton marinho entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, CLDB. & LSP Madureira (Orgs). O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil. São Paulo. EDUSP: 265-358.
- MACLENNAN DN & SIMMONDS EJ. 1992. Fisheries Acoustics. Fish Chapman & Hall, London. 325 pp.
- MACLENNAN DN, GUTIERREZ M, CASTILLO R, GANOZA F, ESCUDERO L, GONZALEZ A, CHALÉN X & ALIAGA A. 1998. Target strength of Anchovy (*Engraulis ringens*) using frequencies of 38 and 120 kHz. IMARPE Report N°133.
- MADUREIRA LASP & ROSSI-WONGSTCHOWSKI CLDB.2005. Prospecção de recursos pesqueiros pelágicos na Zona Econômica Exclusiva da região Sudeste-Sul do Brasil: Hidroacústica e biomassas. São Paulo: Instituto Oceanográfico da USP - Série Documentos REVIZEE - Score Sul, v.1.144 p.

- MADUREIRA LASP, CASTELLO JP, PRENTICE-HERNÁNDEZ C, QUEIROZ MI, SANTO ML, RUIZ WA, ABDALLAH P, HANSEN J, BERTOLOTTI MI, MANCA E, YEANNES MI, AVDALOV N & AMORIN S. 2009. Current and potential alternate food use of the Argentine anchoita in Argentina, Uruguay and Brazil. In: Hasan, MR. (ed). Fish as feed inputs for aquaculture: practice, sustainability and implications. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 518. Rome, FAO.
- MAMAYEV OI. 1975. Temperature-salinity analysis of world ocean waters. Amsterdam, Elseiver, 374 p.
- MARIANO-JELICICH R, SILVA RODRÍGUEZ MP, COPELLO S, PON JPS, BERÓN MP, MAUCO L, GHYS MI & FAVERO M. 2011. Monitoring the diet of the South American Tern: the Argentine Anchovy as key prey in nonbreeding grounds. *Emu*, 111:292-296.
- MATSUURA Y. 1996. A probable cause of recruitment failure of the Brazilian sardine, *Sardine Ilaaurita* population during the 1974/75 spawning seasons. *S Afr J Mar Sci*, 17:29-35.
- MAZZINI PLF & SCHETTINI CAF. 2009. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quasesinóticos. *Braz J Aquat Sci Technol*, 13(1): 53-64.
- McCULLAGH P, NELDER JA.1989. Generalized Linear Models, second ed. Chapman & Hall, London.
- MENEZES NA & FIGUEIREDO JL. 1980. Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil: IV. Teleósteos (3). Museu de Zoologia. Universidade de São Paulo. 96p.

- MÖLLER OO; PIOLA AR, FREITAS AC & CAMPOS E. 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off Southeastern South America. *Cont Shelf Res*, 28:1607-1624.
- MUELBERT JH, ACHA M, MIANZAN H, GUERRERO R, RETA R, BRAGA ES, GARCIA VMT, BERASATEGUI A, GOMEZ-ERACHE M & RAMÍREZ F. 2008. Biological, physical and chemical properties at the Subtropical Shelf Front Zone in the SW Atlantic Continental Shelf. *Cont Shelf Res*, 28 (13):1662-1673.
- NEVES T, BUGONI L & ROSSI-WONGTSCHOWSKI CLDB. 2006. Aves oceânicas e suas interações com a pesca na Região Sudeste-Sul do Brasil.
 1. ed. São Paulo: Instituto Oceanográfico da USP, v. 1. 104 p.
- ODEBRECHT C. & GARCIA VMT. 1997. Phytoplankton. In: U.SEELIGER, C ODEBRECHT & JP CASTELLO (eds), Subtropical convergence environments, pp. 105-109. Springer Verlag, Heidelberg.
- ONLEY D & SCOFIELD P. 2007. Albatrosses, Petrels & Shearwaters of the World. Princeton Field Guides.
- PADOVANI LN, VINAS MD & PAJARO M. 2011.Importance of the Rio de la Plata estuarine front (southwestern Atlantic Ocean) in the feeding ecology of Argentine anchovy, *Engraulis anchoita (*Clupeiformes, Clupeidae. *Lat Am J Aquat Res*, 39(2):205-213.
- PÁJARO M. 2002. Feeding of the Argentine anchovy (*Engraulis anchoita* Hubbs y Marini, 1935) (Pisces: Clupeiformes) during the spawning season. *Rev Investig y Desarro Pesq*, 15:111-125.

- PAULY D, CHRISTENSEN V, GUÉNETTE S, PITCHER TJ, SUMAILA UR, WALTERS CJ, WATSON R & ZELLER D. 2002 .Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 418:689–695.
- PAYNE RT. 1984. Some approaches to modeling multispecies systems. In: May, RM. (ed.) Exploitation of marine communities. Dahlem Konferenzen, Springer-Verlag. Berlin, p. 191-207.
- PIATT I & SYDEMAN W. 2007. Seabirds as indicators of marine ecosystems. *Mar Ecol Prog Ser*, 352:199-204.
- PIOLA AR, CAMPOS EJD, MÖLLER OO, CHARO M & MARTINEZ C. 2000. The subtropical shelf front of eastern South America. J Geophys Res, 105: 6565-6578.
- PRENSKI LB, MORALES-YOKOBORI M, BRIDI J, GASALLA MA & MINTE-VERA C. 2011. Assessment Report MSC bonaerense Anchovy Fishery. Organizacíon Internacional Agropecuaria, 211p
- PROGRAMA REVIZEE. 2006. Avaliação do potencial sustentável de recursos vivos na zona econômica exclusive: Relatório Executivo / MMA, Secretaria de Qualidade Ambiental. - Brasília: MMA. 280p.
- REID K, SIMS M, WHITE RW & GILLON K. 2004. Spatial distribution of redatorprey interactions in the Scotia Sea: implications for measuring predatorfisheries overlap. *Deep Sea Res*, 51:1383–1396.
- REID K, CROXALL JP, BRIGGS DR & MURPHY EJ. 2005. Antarctic ecosystem monitoring: quantifying the response of ecosystem indicators to variability in Antarctic krill. *ICES J Mar Sci*, 62:366–373.

- SANCHEZ RP & MANAZZA GO.1994. Estudios sobre la alimentación de larvas de anchoíta (*Engraulis anchoita*), en relación con los frentes de marea de la región patagónica. *Frente Marítimo*, 15 (A): 51-65
- SANTORA JA, REISS CS, COSSIO AM, VEIT RR. 2009. Interannual spatial variability of krill (*Euphausia Superba*) influences seabird foraging behavior near Elephant Island, Antarctica. *Fish Oceanogr*. 18(1):20–35.
- SANTORA JA, RALSTON S & SYDEMAN WFJ .2011. Spatial organization of krill and seabirds in the central California Current. *ICES J Mar Sci*, 68:1391–1402.
- SCHWINGEL PR & CASTELLO JP. 1994, Alimentación de la anchoita, (*Engraulis anchoita*), en el sur de Brasil. *Frente Maritima*, 15:67-85.
- SCHWINGEL PR. 1998. Feeding ecology of *Engraulis anchoita* (Hubbs & Marini 1935) in Brazilian Waters (22°S to 34°S). Tese de Doutorado, Universidade de Hamburg, Alemanha. 204 p.
- SCOLARO JA, BADANO, LA. 1986. Diet of the Magellanic Penguin (*Spheniscus magellanicus*) during the chick-rearing period at Punta Clara, Argentina. *Cormorant*, 13:91-97.
- SCOLARO JA, WILSON RP, LAURENTI S, KIERSPEL M, GALLELLI H, UPTON JA .1999. Feeding preferences of the Magellanic Penguin over its breeding range in Argentina. *Waterbirds* 22:104–110.
- SICK H. 1997. Ornitologia brasileira, II edição. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 912.
- SIMMONDS EJ & MACLENNAN DN. 2005. Fisheries acoustics: theory and practice. Londres:.Blackwell Science, 2; p. 437.

- SINCLAIR M, ARNASON R, CSIRKE J, KARNICKI Z, SIGURJONSSON J, RUNESKJOLDAL H & VALDIMARSSON G. 2002. Responsible fisheries in the marine ecosystem. *Fish Res*, 58:255-265.
- SMITH ADM, BROWN CJ, BULMAN CM, FULTON EA, JOHNSON P, , KAPLAN IC, LOZANO-MONTES H, MACKINSON S, MARZLOFF M, SHANNON LJ, SHIN YJ,& TAM J.2011. Impacts of fishing low-trophic level species on marine ecosystems. *Science*, 333(6046), 1147-1150.
- SPRINGER A ROSENEAU D, LLOYD D, MCROY C & MURPHY E. 1986. Seabird responses to fluctuating prey availability in the eastern Bering Sea. *Mar Ecol Prog Ser*, 32:1-12.
- TASKER ML, JONES PH, DIXON T & BLACKE BF. 1984. Counting seabirds at sea from ships: a review of methodology and a suggestion for standardized approach. *Auk* 101:567-577.
- VELARDE E, SOLEDAD-TORDESILLAS M de la, VIEYRA L & ESQUIVEL R. 1994. Seabirds as indicators of important fish populations in the Gulf of California. *CalCOFI* Rep. 35:137-143.
- VELASCO CG & CASTELLO JP. 2005. An ecotrophic model of southern Brazil continental shelf and fisheries scenarios for *Engraulis anchoita* (Pisces, Engraulididae). Rio Grande, *Atlântica*, 27(1): 59–68.
- VIÑAS MD & RAMIREZ FC.1996. Gut analysis of first-feeding anchovy larvae from Patagonian spawning area in relation to food availability. *Arch Fish Mar Res*, 43:231-256.

- VIÑAS MD, MARRARI M, MAURO R Di, CEPEDA G & PADOVANI L. 2013. El zooplancton del hábitat reproductivo de la población bonaerense de anchoíta. *Rev Invest Desarr Pesq*, 23:125-144.
- VOOREN, CM. & FERNANDES AC. 1989. Guia de albatrozes e petréis do Sul do Brasil. Porto Alegre: Sagra 99p.
- WILSON RP, SCOLARO JA, GRÉMILLET D, KIERSPEL MAM, LAURENTI S, UPTON J, GALLELLI H, QUINTANA F, FRERE E, MÜLLER G, STRATEN MT, ZIMMER I. 2005. How do magellanic penguins cope with variability in their access to prey? *Ecol Monogr*, 75(3):379–401.
- ZWOLINSKI J, DEMER D, CUTTER G, STIERHOFF K & MACEWICZ B. 2014. Building on fisheries acoustics for marine ecosystem surveys. *Oceanogr*, 27(4):68-79.

CAPÍTULO 2 – Descrição do cenário ambiental da plataforma continental do Rio Grande do Sul entre junho e outubro de 2010.

2.1 Introdução

A região sul do Brasil é uma área sob a influência da Convergência Sub-Tropical e da descarga de águas continentais da Lagoa dos Patos e do Rio da Prata (Castello & Möller, 1977; Hubold, 1982 a,b; Castello, 1997). Esta Convergência é formada a partir do fluxo para o sul de águas da Corrente do Brasil e águas de origem subantártica, que fluem para o norte, da Corrente das Malvinas e da Corrente Patagônica. As águas oriundas do Rio da Prata, misturadas com as águas da plataforma deslocam-se ao longo da costa uruguaia e do sul do Brasil, como uma língua de água pouco salina, até a latitude do Farol da Conceição (Castello & Möller, 1977). A Pluma do Rio da Prata durante outono e primavera, sob influência dos ventos sudoeste, pode alcançar até 1000 km ao norte da desembocadura do Rio da Prata (Guerrero et al, 1997). Uma diminuição na densidade da água ocorre também devido ao aumento de precipitação na bacia de drenagem no sistema lagunar Patos-Mirim acarretando uma contribuição significativa de água doce à região costeira em frente a Rio Grande e litoral norte (Castello & Möller, 1977), contribuindo para a formação de picnoclinas que podem gerar uma forte estabilidade da coluna de água (Castello et al, 1991; Lima & Castelo, 1995; Möller, 2008).

Com a proximidade do verão, a Água subantártica de Plataforma (ASAP) recua para sul associada à penetração da Água Tropical que, juntamente com

a Água Costeira passam a ocupar a plataforma ao longo do verão e outono na Plataforma Continental do Rio Grande do Sul (PC-RS) (Garcia, 1998; Castro *et al*, 2006; Möller *et al*, 2008). Por outro lado no inverno e primavera, a penetração da Água Subantártica de Plataforma (ASAP), juntamente com o aporte de águas continentais da Lagoa dos Patos e do Rio da Prata, proporcionam elevada produção primária, particularmente na porção sul da plataforma interna e média (Ciotti *et al*, 1995; Matsuura, 1996; Odebrecht & Garcia, 1998; Piola *et al*, 2000, Castro *et al*, 2006; Möller *et al*, 2008). Estas condições favorecem a ocorrência de peixes pelágicos e demersais (Haimovici *et al*, 1989; Castello, 1997).

O objetivo deste capítulo é descrever o cenário ambiental da Plataforma Continental do Extremo Sul do Rio Grande do Sul durante o período de inverno e primavera de 2010, no intuito de compreender os processos que atuaram na região naquele período e afetaram a presença de *Engraulis anchoita*.

2.2 Metodologia

A descrição do cenário ambiental foi realizada através de dados satelitais e dados coletados *in situ*. A área foi caracterizada ao longo dos meses de junho a outubro de 2010 quanto à temperatura superficial e clorofila, a partir de dados satelitais e de temperatura e salinidade (superficial e fundo) com dados *in situ* de estações de CTD. Para análises das massas de água foram elaborados diagramas TS para cada mês amostrado e gerados mapas com a contribuição das diferentes massas de água nos estratos de 5, 25 e 50 m. (maiores detalhes Item 1.3.3).

2.3 Resultados

2.3.1 O cenário ambiental no Atlântico sudoeste: dados satelitais

No mês de junho, em latitudes maiores do que 38°S e entre as longitudes 55°W e 56°W, observa-se um núcleo de água fria com temperaturas entre 6°C e 9°C (Figura 1A). Em agosto, esta água atinge a latitude de 37°S (Figura 1C), na qual se mantém em setembro (Figura 1 E). No mês de outubro, esse núcleo frio retorna ao sul, sendo observado novamente apenas em latitudes maiores de 38°S (Figura 1G). Essa dinâmica em grande escala, ao longo do período amostrado, tem efeito direto nas águas que ocupam a plataforma continental sul brasileira, que se apresenta relativamente mais fria no mês de agosto (entre 12°C e 15°C) (Figura 1C).

A clorofila satelital está primeiramente associado ao deságue do Rio da Prata, uma vez que as maiores concentrações são observadas nas áreas adjacentes. Estes altos valores (>9 mg/m³) em junho (Figura 1B) estão concentradas apenas na região de desague do Rio da Prata, ao passo que em agosto (Figura 1D), elas estão também presentes na plataforma continental sul brasileira até aproximadamente a latitude 32°S. Nos meses subsequentes, as densas concentrações de clorofila-a gradativamente reduzem na plataforma continental brasileira, ocorrendo em áreas rasas nas latitudes superiores a 33°S. (Figuras 1F e H). Os valores de clorofila satelital se trata de valores de pigmento refletidos na superfície da agua, é importante destacar que valores muito altos pode também ser atribuídos ao aporte de sedimentos na desembocadura do Rio da Prata. A Figura 2 apresenta a média de TSM e clorofila-a por pixel (o qual corresponde 16 km²) entre os paralelos 31°S e 34°S e as longitudes 54°W e 50°W (<u>http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-</u>

bin/G3/gui.cgi?instance_id=oceanmonth).

Entre junho e outubro de 2010 essa região sofreu um resfriamento das águas superficiais que reduziram a TSM de 17°C em junho para ~13,5°C em agosto. Nos meses subsequentes a temperatura voltou a aumentar, com média superior aos 17°C em outubro. Acompanhando a mesma tendência, mas com o padrão inverso, a concentração de clorofila-a, apresentou um valor mínimo em junho; no mês seguinte atingiu seu pico de ~7,5 mg/m³, em agosto as concentrações foram ainda relativamente altas, em setembro reduziram para ~4 mg/m³ e, em outubro, novamente o ambiente se configura com valor médio de clorofila-a muito próximo ao observado em junho.

2.3.2 O cenário ambiental no Atlântico sudoeste: dados in situ.

Temperatura

A temperatura média da água no cruzeiro de agosto foi a mais fria (13.95°C) para o período amostrado (junho a outubro). Dois meses antes, no cruzeiro de junho, as águas encontravam-se mais quentes, com média de 16.65°C. A temperatura média na superfície foi menor em agosto (12.3°C) e atingiu o seu máximo em outubro (15.7°C). Em junho, a temperatura na superfície variou entre 14.3°C e 17.3°C e a temperatura superficial de toda área prospectada diminuiu em agosto, com valores entre 11.5°C e 13.3°C (Figura 3A). No terceiro cruzeiro, realizado entre os meses de agosto e setembro em uma área mais ao norte, a temperatura na superfície ficou entre

13,5°C e 16,3°C (Figura 3A). As águas frias na superfície, observadas em setembro (entre 11,1°C e 16,7°C), foram restritas à porção sul da área amostrada (Figura 3A) e em outubro, águas frias não foram mais registradas em estratos superficiais, configurando um cenário próximo do observado em junho (14,6°C e 17,6°C; Figura 3A).

A temperatura de fundo, por sua vez, variou entre os meses de junho e outubro, com destaque para a marcada queda na temperatura entre os meses de junho e agosto. Neste período a temperatura no fundo reduziu de uma média de 16.7°C para 13.9°C. Nos cruzeiros de setembro e outubro, a temperatura média no fundo se manteve entre 13.5°C e 13.4°C. A principal diferença entre as águas frias de fundo nos meses de agosto, setembro e outubro foi sua abrangência na área (Figura 3B). Em agosto, águas frias no fundo foram encontradas na plataforma interna até aproximadamente 32°S e, na plataforma média externa, apenas na porção sul da área (~33.5 °S). No mês de setembro, essa água foi registrada em praticamente toda a plataforma situada abaixo da latitude 33°S, com um núcleo frio na plataforma média a 34°S. (Figura 3B).

Salinidade

Seguindo a tendência da temperatura, a salinidade variou de junho para agosto, sendo o menor valor registrado em agosto (19,5). Essa redução considerável foi observada nas águas de superfície, cuja média reduziu de 30,24 para 27,8 de junho a agosto respectivamente (Figura 3C).

A principal diferença entre a salinidade superficial nos meses de agosto setembro e outubro se deve ao fato de que em agosto águas com salinidades

menores que 29 ocorreram em toda a plataforma interna e média, ao passo que em setembro ocuparam apenas uma porção da plataforma interna, próximo a 32,5°S; e em outubro praticamente não estiveram presentes (Figura 3C). A salinidade no fundo variou pouco entre os meses, ficando entre 32,2 (outubro) e 34 em (agosto /setembro). Águas com salinidades maiores de 33 ocuparam estratos de fundo em toda a plataforma média e externa, em toda a área. Destaca-se a presença das águas de salinidade baixa (menor de 29) na plataforma interna em agosto e em setembro em menor proporção (Figura 3D).

Diagramas TS

Durante o período de amostragens, de acordo com os índices descritos por Möller *et al* (2008), foi possível detectar a presença de das massas de água: a) Pluma do Rio da Prata (PRP); b) Água Subtropical de Plataforma (ASTP) ; c) Água Sub-Antártica de Plataforma (ASAP); d) Água Central do Atlantico sul; e e) Água Tropical (AT). Observando os diagramas TS da figura 4 verificou-se que no cruzeiro de junho, a contribuição da PRP foi de águas com temperaturas maiores de 14°C, enquanto em agosto a água PRP em grande parte é representada por águas com temperaturas menores de 14°C e de baixa salinidade. A principal diferença entre estes dois cenários é a presença marcante da ASAP em agosto. Ao norte de 33°S, setor onde foi conduzido o cruzeiro de agosto/setembro, a ASAP não esteve presente. Em menor proporção, a ASAP esteve também presente em setembro e outubro. Cruzeiros estes em que a PRP já está relativamente mais quente e menos diluída que em agosto.

Percentuais de mistura de massa de água

De acordo com os diagramas TS apresentados na Figura 4 foram definidos os índices termohalinos das massas de água, conforme descrito na Tabela 3- Capítulo 1. Estes índices termohalinos foram utilizados como vértices do triângulo de mistura desenvolvido por Mamayev (1975). A figura 5 apresenta a distribuição das frações de mistura nas profundidades de 5, 25 e 50 m para os cinco cruzeiros, com limites mínimos de 35% e máximo de 100%, que representaria a "água pura".

No estrato de cinco metros, a PRP predominou no cruzeiro de junho. Em agosto, a PRP ocupa a plataforma interna enquanto a plataforma média e externa em latitudes maiores de 33°S é ocupada pela ASAP. Em latitudes menores do que 33°S (cruzeiro agosto/setembro) dominou a PRP. Em Setembro a ASAP ocupa cerca de 80% da área, com um núcleo com alto percentual na plataforma media próximo a 34 °S. Em outubro a contribuição da ASAP é menor e a PRP volta a dominar no estrato de 5 m (Figura 5).

No estrato de 25 m é possível notar a presenças da AT, ASTP e ASAP. Em junho, a plataforma interna e média estão ocupadas pela PRP enquanto a plataforma externa é ocupada pela ASTP. No cenário de agosto, a ASAP domina a 25 m, mas ainda com a contribuição da PRP. Em latitudes menores do que 33°S, predomina a ASTP (Agosto/setembro) e em latitudes maiores do que 33°S, em setembro, domina a ASAP, com uma menor fração da ASTP na plataforma externa. Em outubro a ASAP ocupa apenas latitudes maiores do que 34°S (Figura 5).

No estrato de 50m estiveram presentes as águas AT, ASAP e ASTP. Em junho estiveram presentes somente a AT, dominando em latitudes menores de

33.5°S e a ASTP, dominando nas latitudes maiores 33.5°S. As áreas que em junho estavam ocupadas pela ASTP (>33.5°S), em agosto são ocupadas pela ASAP, formando uma frente com a ASTP que passa a ocupar latitudes menores de 33.5°S. Em setembro esta frente se mantém, entretanto a ASAP avança para o norte pela plataforma média até aproximadamente 33°S, ao passo que a ASTP avança para sul pela plataforma externa até aproximadamente 34.5°S. Em outubro a ASAP recua para sul com limite próximo a latitude 34°S e a PRP passa a ter maior influencia na plataforma externa (Figura 5).

2.4 Discussão

A variabilidade ambiental observada no período amostrado esteve fortemente marcada pela intrusão de águas de origem subantártica, marcada principalmente pela presença de águas frias em estratos de fundo. A mudança ambiental que se destaca é a que ocorre entre o mês de junho e agosto, como pode ser notado tanto nos dados de satélite como nos dados *in situ*. O cenário oceanográfico dos cruzeiros muda bruscamente devido à atuação de dois fatores principais: a presença das águas de origem subantártica que resfriou as águas na região; e a influência do deságue do rio da Prata, que ocupou a plataforma com águas de baixa salinidade. Em trabalhos realizados nesta mesma região autores descrevem a região no inverno e verão, como sistemas bastante diferenciados (Guerreiro *et al*, 1997; Piola *et al*, 2005; Möller *et al*, 2008). Neste trabalho foi possível observar, ao longo de cinco cruzeiros sequenciais, a evolução do sistema de inverno e o início de retorno ao cenário de verão (outubro), ocorrendo ao longo de cinco meses.

O cruzeiro de junho (inverno) destaca-se pela presença da AT. De acordo com os resultados do triângulo de mistura a AT possui uma importante contribuição no estrato de 50m. A presença desta massa de água na região ocorre devido ao fluxo N-S da Corrente do Brasil que conduz a AT entre as isóbatas de 50 e 100m (Lima & Castello, 1995; Möller *et al*, 2008).

A ASTP, presente nos estratos de 25 e 50m, com pequena contribuição em 5 m no cruzeiro 1, deriva da mistura das águas da PRP com a AT. Möller *et al* (2008) sugerem que durante o inverno a ASTP é formada em uma região mais ao norte, onde a PRP e AT possuem contato direto, e que esta massa de água também é transportada para o sul pela Corrente do Brasil.

Após dois meses, em agosto, o cenário já era diferenciado. A PRP apresentou uma maior influência na camada superficial e menores salinidades foram observadas, ocupando a área que abrange desde a região costeira até a isóbata de 50 m, com baixos valores concentrados em frente à barra de Rio Grande, devido à influência do aporte de águas oriundas da Lagoa dos Patos (Castello & Moller, 1977).

O deslocamento da PRP para norte é atribuído ao efeito de Ekman associado à maior intensidade de ventos do quadrante sul no inverno (Guerreiro *et al*,1997; Piola *et al*, 2005; Möller *et al*,2008). A temperatura da água na região torna-se mais baixa (na superfície e no fundo), pois a área passa a ter influência das massas de água subantárticas (ASAP). A intrusão destas águas na região deve-se ao fluxo S-N das correntes da Patagônia e das Malvinas, que fluem na plataforma intermediária (Lima & Castello, 1995; Möller *et al*, 2008).

Analisando-se a contribuição e os percentuais de mistura da ASAP nos estratos de 5, 25 e 50 m sugere-se que a intrusão desta massa de água iniciase em camadas profundas que apresentaram maior porcentual de contribuição. No estrato de 50 m a ASAP encontra-se com a ASTP a qual transportada no sentido N-S através da Corrente do Brasil. No estrato de 25 m a contribuição da ASTP jé reduzida e a ASAP passa a ter uma ocupação ampla horizontalmente, ocupando uma significativa porção da região entre as isóbatas de 50 e 100 m, como observado para o cruzeiro de junho.

Entre os meses de agosto e setembro, no cruzeiro deslocado para o norte, é possível observar que a influência da ASAP não atinge latitudes menores do que 32°S em estratos de 25m. Observando o diagrama TS, notase a presença de águas com índice de ACAS nessa região. No entanto, esta água não foi selecionada como vértice para o cálculo de mistura, pois não existem evidencias desta água sobre a plataforma. Assim sendo provavelmente, esses índices de ACAS sobre a plataforma são provenientes de misturas da ASTP, ASAP e PRP (Möller, *com. pess*). Este setor de fato foi influenciado por águas pouco salinas, devido a influencia do deságue da Lagoa dos Patos.

No cruzeiro de setembro fica evidente uma forte influência da ASAP em todos os estratos diminuindo em outubro. Observando os dois últimos cruzeiros pode-se sugerir que houve o início de um processo de recuo da ASAP para o sul. Ao mesmo tempo nota-se uma redução da influência da água do PRP na região. Com a intensificação dos ventos de nordeste, que dominam e se intensificam na região durante a primavera, a PRP sofre uma retração

(Piola *et al*, 2005). De fato, como observado nos resultados, a presença da PRP ao longo das estações é determinante para presença ou ausência das demais massas de água sobre a plataforma (Piola *et al* ,2005).

Com base nos resultados apresentados, é possível verificar uma transição ambiental durante o período de amostragem. O resfriamento da água tanto em superfície como no fundo foi observada entre os messes de junho e agosto, destacando a influência de águas de origem subantárticas (ASAP) na região de estudo. No que se refere a salinidade, destacou-se a presença de águas com baixa salinidade em superfície no mês de agosto, o qual gradativamente foi reduzindo sua contribuiçao nos meses de setembro e outubro, evidenciando a influência das águas da Pluma do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos na região de estudo.

2.5 Referências Bibliográficas

- CASTELLO JP & MÖLLER OO.1977. On the oceanographic conditions in the Rio Grande do Sul state. *Atlântica* 2(2):25-110.
- CASTELLO JP. 1997. Pelagic Teleosts. In "Subtropical Convergence Environments. In Seeliger, U; Odebrecht, C. & Castello, J.P;Eds. The coast and sea in the Southwestern Atlantic" Springer. 123-128.
- CASTRO BM, LORENZETTI JA, SILVEIRA IC & MIRANDA LB. 2006. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, CLDB & LSP Madureira. (Orgs). O ambiente oceanográfico da Plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil. São Paulo. EDUSP: 11-120.

- CIOTTI A, ODEBRECHT C, FILLMAN G & MÖLLER OO. 1995. Freshwater outflow and subtropical convergence influence on the phytoplankton biomass on the Southern Brazilian Continental Shelf. *Cont Shelf Res*, 15(14):1737-1756.
- GARCIA CAE. 1998. Características Hidrográficas, pp. 18-21. In: Seeliger, U, C
 Odebrecht & JP Castello (eds.). Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do
 Extremo Sul do Brasil. Rio Grande: Ecoscientia, p. 18-21.
- GUERRERO R, ACHA M, FRAMIÑAN MB & LASTA CA.1997. Physical oceanography of the Río de la Plata Estuary, Argentina. *Cont Shelf Res* 17:727–742.
- GIOVANNI Geospatial Interactive Online Visualization and Analysis Infrastructure- NASA
- HAIMOVICI M, PEREIRA SD & VIEIRA PC. 1989. La pesca demersal en el sur do Brasil en el periodo 1975-1985. *Frente Maritimo*, 5(A):151-163.
- HUBOLD G. 1982a. Hydrography and plankton off southern Brazil and Rio de La Plata, August November 1977. *Atlântica*, 4:1-22.
- HUBOLD G. 1982b. Second report on hydrography and plankton off southern Brazil and Rio de La Plata: autumn Cruise: April – June, 1978. *Atlântica*, 4:23-52.
- LIMA ID & CASTELLO JP. 1994. Distribución y abundancia de la anchoíta (*Engraulis anchoita*) en la costa sur de Brasil. *Frente Marítimo*, 15:87-100.
- LIMA ID & CASTELLO JP. 1995. Distribution and abundance of South-west Atlantic anchovy spawners (*Engraulis anchoita*) in relation to

oceanographic processes in the southern Brazilian shelf. *Fish Oceanog*, 4 (1):1-17.

- MAMAYEV OI. 1975. Temperature-salinity analysis of world ocean waters. Amsterdam, Elseiver, 374 p.
- MATSUURA Y. 1996. A probable cause of recruitment failure of the Brazilian sardine, Sardinella aurita population during the 1974/75 spawning seasons. *S Afr J Mar Sci*, 17:29-35.
- MÖLLER OO, PIOLA AR, FREITAS AC & CAMPOS EJDV. 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off Southeastern South America. *Cont Shelf Res*, 28:1607-1624.
- ODEBRECHT, C. & GARCIA, V.M.T. 1998. Fitoplâncton. In Seeliger, U.,
 Odebrecht, C. & Castello, J.P. (eds). Os Ecossistemas Costeiro e Marinho
 do Extremo Sul do Brasil .Editora Ecoscientia, Rio Grande, p. 117-121.
- PIOLA AR, ROMERO SI & Zajaczkovski U. 2008. Space-time variability of the Plata plume inferred from ocean color. *Cont Shelf Res*, 28:1556–1567.
- PIOLA AR, CAMPOS EJD, MÖLLER OO, CHARO M & MARTINEZ C. 2000. The subtropical shelf front of eastern South America. *J Geophys Res*, 105:6565-6578.
- PIOLA AR, MATANO RP, PALMA ED, MÖLLER OO & CAMPOS EJD. 2005. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. *Geophys Res Lett*, 32(L01603).



Figura 1- TSM (painéis a esquerda) e concentração de clorofila-a (mg.m⁻³ painéis a direita) nos meses de junho (A e B), agosto (C e D), setembro (E e F) e outubro (G e H) de 2010. Fonte: GIOVANNI- sensor MODIS Aqua 4 km.O retângulo destaca a área amostrada.

37S



Figura 2- Média de TSM (esquerda) e clorofila (direita) por número de pixels nas áreas entre 31°S e 34°S e 54°W e 50°W entre os meses de junho e outubro de 2010. (fonte: GIOVANNI)



Figura 3- Temperatura na superfície (A) temperatura de fundo (B) salinidade superficial(C) e de fundo (D) nos cinco cruzeiros entre junho em outubro 2010 realizados na plataforma continetal do Rio Grande do Sul.



Figura 4 Diagramas TS refentes a dados adquiridos com CTD em cinco cruzeiros entre junho em outubro 2010 realizados na plataforma continetal do Rio Grande do Sul.



Figura 5 Percentual de mistura das massas de água nos estratos de 5, 25 e 50 m. PPW (Pluma do Rio da Prata); STSW (Água Subtropical de Plataforma); TW (Água Tropical); SASW (Água Subantártica de Plataforma).

CAPÍTULO 3 – O zooplâncton e suas relações com variáveis ambientais na plataforma continental do Rio Grande do Sul.

3.1 Introdução

Organismos zooplanctônicos são os mais numerosos consumidores primários do oceano. Taxonomicamente e estruturalmente diversos, desempenham um papel fundamental na cadeia trófica marinha como principais consumidores da produção primária e como alimento essencial para diversos organismos de níveis tróficos superiores (Lali & Parsons, 1997). Populações de peixes podem ser afetadas por variações na comunidade zooplanctônica (Mann, 1993), particularmente no caso de pequenos peixes pelágicos que são parte de uma curta cadeia trófica baseada no zooplâncton (Hunter & Alheit, 1995).

Engraulis anchoita é um pequeno peixe pelágico amplamente distribuído no Atlântico Sudoeste desde o Cabo de São Tomé até ao centro da Patagônia na Argentina (Whitehead *et al*, 1988). Esta espécie é abundante na Plataforma Continental do Rio Grande do Sul (Lima & Castello, 1995; Castello, 1997; Madureira *et al*, 2009; Costa *et al*, 2016) e como pequeno forrageiro ocupa uma baixa posição na rede trófica, o que o torna um importante componente no fluxo de energia no ecossistema marinho do Atlântico Sudoeste (Angelescu, 1982; Velasco & Castello 1995; Gasalla *et al*, 2007). Adultos de anchoita são predadores oportunistas do meso e macrozooplâncton. Assim como outros engraulídeos, exibem dois diferentes mecanismos de alimentação: filtração de pequenas presas e captura de presas maiores (Angelescu, 1982). Dentre os componentes do zooplâncton, os copépodes são descritos como um importante recurso trófico para a anchoita, da fase larval à adulta (Ciechomski, 1967;

Angelescu, 1982; Sánchez & Manazza, 1994; Schwingel & Castello, 1994; Viñas & Ramírez, 1996; Schwingel,1998; Pájaro, 2002; Padovani *et al,* 2011; Viñas *et al.* 2013). Trabalhos na plataforma Argentina ainda destacam como importantes itens alimentares para anchoita Cladóceros, Appedincularia e Pterópodos (Capitanio *et al,* 1997; Capitanio *et al.* 2005; Padovani *et al.* 2011). Particularmente, no estoque bonaerense que abrange águas do sul brasileiro, Schwingel (1998) cita como principais recursos alimentares da anchoita não somente os copépodes, mas também anfípodos, eufausiáceos e larvas de moluscos.

O zooplâncton da plataforma continental gaúcha tem sido relativamente bem estudado de acordo com Brandini et al (1997), que apresentaram uma revisão sobre estudos com zooplâncton no Brasil. Uma importante contribuição para os estudos de composição e distribuição do zooplâncton na plataforma continental do Rio Grande do Sul embasou-se em resultados provenientes de amostras coletadas numa série de cruzeiros entre 1987 e 1991, no âmbito do projeto ECOPEL (Estudo do Ecossistema Pelágico do Extremo sul do Brasil). Os trabalhos de Resgalla Júnior (1993), Resgalla Júnior & Montú (1993, 1994, 1995), relacionaram os grupos Pteropoda, Cladocera e Chaetognatha como indicadoras de massas de água. Amaral (1996) e Amaral et al (1997) estudaram a composição e abundância das salpas. Gorri (1995) estudou a relação das espécies de eufasiáceos às massas de água. Bruno (2009) utilizou dados de 1980 à 2007, incluindo dados do ECOPEL, para estudar a relação do mesozooplâncton com as massas de água, em especial dos copépodes calanóides. Recentemente Duarte (2014) estudou a variação sazonal de copépodes e da biomassa zooplânctonica.

Muelbert *et al* (2008) observaram que a variabilidade ambiental na plataforma continental do Rio Grande do Sul, entre os meses de inverno e verão, primariamente atribuídas ao aporte de águas enriquecidas do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos, condicionaram mudanças na comunidade de copépodes.

A composição das espécies e a distribuição espacial e temporal do zooplâncton sobre a plataforma continental do sul do Brasil são diretamente relacionadas à dominância de diferentes massas de água (Montú *et al*, 1997). Com o intuito de caracterizar a comunidade de zooplâncton em uma área de ocorrência de anchoita, o presente capítulo tem como objetivo relacionar a densidade e a comunidade dos grandes grupos de zooplâncton com variáveis ambientais nos meses de inverno e primavera, período no qual este pequeno peixe pelágico é abundante na plataforma continental no extremo sul do Brasil.

3.2 Material métodos

Para o estudo do zooplâncton foram coletadas amostras em estações oceanográficas predeterminadas, ao longo da plataforma continental do RS, de junho a outubro de 2010 (Figura 1-Capítulo-1). Uma rede vertical com malha de 200 µm, 60 cm de diâmetro da boca e sistema de fechamento foi utilizada em uma estratégia diferenciada de coleta ao longo dos cruzeiros. Nas coletas de junho e agosto a amostragem foi estratificada, com uma amostra acima e uma abaixo da termoclina em cada estação de amostragem. Nos demais cruzeiros foi realizada uma amostragem da coluna de água até, no máximo, 50 m de profundidade (detalhes item 1.3.4). A densidade (ind/m³) e composição dos grupos de zooplâncton foram analisadas frente aos dados ambientais coletados *in situ* (temperatura e salinidade) no estrato de profundidade amostrado. Os
percentuais das massas de água nos estratos foram calculados aplicando o triângulo de mistura (Mamayev, 1975) como descrito no item 1.3.3.

Análises estatísticas

As densidades de zooplâncton e as variáveis ambientais

Modelos Lineares Generalizados (MLG) e Modelos Aditivos Generalizados (MAG) foram aplicados e comparados para testar a hipótese de que a densidade do mesozooplâncton é condicionada pela presença de águas de origem subantártica na plataforma continental do RS. Para testar a influência de águas de origem subantártica foram determinadas dois conjutos de variáveis avaliados separadamente. O primeiro modelo que testou a relação da densidade do zooplâncton com as variáveis: temperatura, salinidade, profundidade local e, como fatores, a massa de água dominante no estrato coletado e cruzeiro (*i*).

(i)

$$\begin{split} \eta = \log \mu &= a + \beta_1. \textit{temperatura} + \beta_2. \textit{salinidade} + \beta_3. \textit{profundidade} + \beta_4. \textit{cruzeiro} + \beta_5. \textit{massa de agua} \end{split}$$

onde

$$\eta = g(\mu) = \frac{1}{\mu}$$

O segundo modelo testado inclui com variáveis resposta os índices de mistura (%) das massas de água encontradas no estrato em que foram coletados e cruzeiros como fator (*ii*).

(ii)

$$\eta = \log \mu = a + \beta_1 \cdot cruzeiro + \beta_2 \cdot \%ASAP + \beta_3 \cdot \%AT + \beta_4 \cdot \%ASTP + \beta_5 \cdot \%PRP$$

Os modelos foram ajustados usando a distribuição Gamma onde:

$$E(Y) = \mu \ e \ var(Y) = \frac{\mu^2}{v}$$

Sendo Y a densidade de zooplâncton e a dispersão determinada por $1/_{12}$.

Assim sendo para os modelos inicialmente propostos:

е

A seleção de modelos iniciou com o cálculo dos coeficientes de correlação de Pearson, entre todas as variáveis preditoras, para testar a possibilidade de covariação. O AIC (Akaike Information Criterion) foi usado como critério para selecionar o modelo inicial entre as possíveis combinações que não incluíssem variáveis preditoras correlacionadas (p>0,5). A partir deste modelo, o efeito de cada uma das variáveis foi examinado após sua retirada do modelo inicial. Aquela variável cuja remoção resultou em uma redução não significativa na deviância comparada com o modelo inicial foi excluída. Assim, o modelo final selecionado foi o que apresentou o menor AIC incluindo apenas as variáveis significativas para o modelo. A fração da deviância explicada ([null deviance-residual deviance]/null deviance) foi usada para avaliar o poder de explicação de cada modelo final.

A comunidade de zooplâncton e as variáveis ambientais

Para verificar o agrupamento das amostras biológicas, em função de seu grau de similaridade, aplicou-se a Análise de Ordenação (nMDS – Multi Dimensional Scaling). Para esta, calculou-se a matriz de similaridade através do Índice de Bray-Curtis, com os dados de densidade transformados em raiz quadrada, apenas para os grupos com frequência de ocorrência superior a 10% para evitar influência de observações raras. As diferenças na estrutura das associações de grupos de zooplâncton amostrados nas estações de

inverno e primavera foram testadas através da Análise de Similaridade (ANOSIM, p < 0,05). Este método foi novamente aplicado para testar diferenças na estrutura das associações de grupos de zooplâncton em diferentes estratos de temperatura, salinidade, profundidade, massas de água. Os estratos de temperatura e salinidade foram definidos de acordo com os limites estabelecidos por Möller *et al* (2008) para as massas de água (Tabela 2-Capítulo 1). Os percentuais de massas de água foram calculados conforme descrito no capítulo 2 e foi atribuída para as amostras a massa de água que contribuiu com mais de 50% no estrato amostrado. Uma vez verificadas diferenças significativas na estrutura das associações de grupos de zooplâncton, aqueles que contribuíram para a dissimilaridade foram determinados através da Análise de Porcentagem de Similaridade (SIMPER).

A análise multivariada BIOENV (Clarke & Ainsworth, 1993) foi usada para estimar qual o conjunto de variáveis ambientais que melhor explica a variação na estrutura da comunidade. As variáveis ambientais testadas foram: temperatura, salinidade, profundidade e percentual das massas de água (%ASAP, %PRP, %AT, %ASTP). A análise BIOENV é baseada na determinação do *ranqueamento* de Spearman, entre as matrizes de similaridade ambiental e biológica. O maior "*rank*" de similaridade indica as variáveis ambientais que melhor explicam os dados biológicos. Diferentes combinações de variáveis ambientais foram comparadas para identificar a combinação que apresenta a mais alta correlação com os dados biológicos. As matrizes de similaridade dos dados ambientais e biológicos foram construídas usando a distância Euclidiana e índice de Bray-Curtis, respectivamente.

Todas as análises estatísticas foram processadas em R com auxilio do pacote "vegan".

3.3 Resultados

Dentre os grupos de zooplâncton identificados, os copépodes tiveram a maior contribuição percentual em todos os cruzeiros, com 49% da densidade total em agosto chegando a 95% da densidade entre agosto/setembro (Tabela 1). Cladóceros integraram o segundo grupo que mais contribuiu em percentual, com a mais alta contribuição em Agosto (46 %) (Tabela 1). Os grupos Calanoida, Cladocera, Cyclopoida, Chaetognata e *Oikopleura* sp. foram, de forma geral, os que mais contribuíram nos cruzeiros de junho ,setembro e outubro e juntos chegaram respectivamente a 96,9%, 98,6% e 98,2% da densidade total nos cruzeiros. Em agosto, apenas Calanoida e Cladocera contribuíram com 95% da densidade total e em Agosto-Setembro, as amostras foram dominadas em densidade por Calanóida (95%). Os demais grupos apresentaram contribuição percentual inferior a 1% da densidade total.

Comparando os cruzeiros de Junho e Agosto, os quais seguiram a mesma estratégia amostral, a densidade média de zooplâncton em agosto foi aproximadamente quatro vezes maior que em Junho (Tabela 1). Nos cruzeiros subsequentes, as médias variaram pouco, entre 1854 org.m⁻³ (agosto/setembro) e 2248 org.m⁻³ (outubro; Tabela 1).

A densidade de zooplâncton e as variáveis ambientais

Os estratos amostrados abrangeram águas com temperatura entre 11°C e 20°C. A densidade média do zooplâncton foi maior em águas com temperaturas menores que 15°C, com ótimo a 13°C, com registro de 5.111

org/m^{3.} A menor densidade média (399 org.m⁻³) foi observada em águas com temperatura de 20°C (Figura 1A).

A salinidade nos estratos de coleta variou desde águas fortemente influenciadas por aporte continental, com salinidade de 24, as águas oceânicas com salinidade de 36. Nesta amplitude de salinidade a densidade de zooplâncton foi maior em menores salinidades (<32), com a maior densidade média observada em águas com salinidade 27 (6.589 org.m⁻³). Por outro lado, a menor densidade foi observada em águas com salinidade de 36 (229 org.m⁻³; Figura 1B).

Dentre as variáveis ambientais avaliadas, o MLG com menor AIC para densidade de zooplâncton incluiu o fator cruzeiro, a temperatura média do estrato e a profundidade local (m), ambas com efeito negativo. Em outras palavras, o coeficiente negativo no modelo final (Tabela 2) indica que maiores temperaturas e maiores profundidades tiveram um efeito negativo na densidade do zooplâncton. Apenas o mês de agosto foi significativamente diferente do cruzeiro de junho (Tabela 2; Figura 2C).

Aplicando o MLG, a deviância explicada foi de 34% e quando no ajuste MAG a deviância explicada aumentou para 45%. De acordo com os resultados do MAG, efeitos positivos na densidade de zooplâncton ocorreram com temperaturas menores do que 16°C (com ótimo em 14°C) e profundidades local menores que 60 m, com ótimo aproximadamente em 40 m (Figuras 2 A e B).

As densidades do zooplâncton e as massas de água

As massas de água presentes nos estratos amostrados ao longo dos cinco cruzeiros foram: Água Subantártica de Plataforma (ASAP); Água Subtropical de Plataforma (ASTP), Água Tropical (AT) e Pluma do Rio da Prata

(PRP). Com base no cálculo do percentual de mistura a PRP foi a que mais contribuiu nos estratos amostrados (47%). No entanto, nos estratos com domínio de ASAP, que apresentou uma contribuição de 21%, a densidade média de zooplâncton foi a maior registrada (3.160 org.m⁻³; Figura 3).

Observando de forma direta os valores de temperatura e salinidade média nos estratos, plotados em diagrama TS com as respectivas densidades de zooplâncton, nota-se que nos cruzeiros de junho e agosto/setembro a ocorrência e maiores densidades apresentam padrões de distribuição bastante semelhantes com predomínio em intervalos termohalinos correspondentes à PRP. Este padrão foi também observado nos demais cruzeiros, no entanto marcado por algumas poucas amostragens com alta densidade na PRP (Figura 4).

Investigando a significância dos percentuais de mistura das massas de água para a densidade de zooplâncton, o modelo selecionado com menor AIC incluiu apenas %PRP como significativa para a densidade de zooplâncton. Esta variável, juntamente com a variável cruzeiro explicaram 30,7% e 33,8% da deviância nos modelos MLG e MAG, respectivamente (Tabela 3). O efeito positivo na densidade de zooplâncton foi observado a partir de 35% de contribuição da PRP no estrato amostrado (Figura 5). Observando a figura 5 também é possível endender porque o ajuste MAG não é claramente superior que MLG (Δ AIC <3), pois a relação entre %PRP e a densidade de zooplâncton foi praticamente linear.

A comunidade de zooplâncton e os fatores ambientais

A análise de ordenamento (nMDS) não evidenciou agrupamentos através da composição e abundância dos grupos de zooplâncton (Figura 6). A

análise ANOSIM não apontou diferença na composição de zooplâncton nas amostras de inverno e primavera, bem como nos classes de profundidade, temperatura, salinidade e nas diferentes massas de água (Tabela 4).

No que se refere às profundidades destaca-se que os eufasiáceos foram mais abundantes em profundidades maiores que 50 m, embora tenham ocorrido em toda a plataforma (Figura 8). Por outro lado Cyclopoida, Larvas de poliquetas e crustáceos, Veliger de bivalve e Gastropoda; Quetognatas e Hidromedusa foram mais abundantes em locais com profundidades inferiores a 50 m (Figuras 7 e 8), destacando que Hidromedusa somente ocorreu em profundidades inferiores a 40m (Figuras 7 e 8).

Os grupos Hidromedusa e Larva de Crustáceos ocorrerem apenas em temperaturas superiores a 14,5°C. Os demais grupos ocorreram em águas com temperaturas entre 11 e 20° (Figura 7 e 8).

De maneira geral, os grupos de zooplâncton foram abundantes em salinidades inferiores a 33,5, salvo os eufasiáceos, os quais ocorreram em duas estações ao sul da área amostrada (Figura 8), com maior abundância em salinidades entre 33,5 e 34,2.

Larvas de poliquetas e de crustáceos, véliger de gastrópodo, anfípodes hiperídeos e hidromedusa ocorreram apenas em águas com salinidade superior a 28 (Figura 7). Os demais grupos não apresentaram preferencias por salinidades, ocorrendo desde águas com salinidade 23 até 36 (Figura 7). As hidromedusas e quetognatas ocorreram em maiores abundâncias bem próximos à costa (Figura 8). Os cladóceros ocorrem em toda plataforma, somente ao sul da desembocadura da Lagoa dos Patos. A Appedinculária *Oikopleura* sp. ocorreu em maiores densidades em latitude superior a 33°S

com destaque para uma estação com alta abundância nas regiões de maior profundidade (~100 m). Da mesma forma, os eufasiáceos foram abundantes em amostras ao sul e em regiões mais profundas.

3.4 Discussão

A densidade total do zooplâncton nas amostras coletadas entre junho e outubro de 2010 sobre a Plataforma Continental do Rio Grande do Sul esteve fortemente relacionada com a presença da massa de água. Os resultados reforçam a importância da PRP e da ASAP para o zooplâncton, como reportado em trabalhos anteriores na região (Muelbert et al, 2008, Bruno, 2009; Duarte et al, 2014). O efeito positivo na densidade de zooplâncton em águas com temperaturas relativamente baixas (<14°C) sugere a importância da influência de águas de origem subantártica para o zooplâncton. Estas águas proporcionam um importante aporte de nutrientes para a região, como reportado por Braga et al. (2008) que observou altas concentrações de nitrato em regiões com a presença de ASAP, nutriente que induz a produção primária. Duarte et al, 2014 observaram maiores biomassas de zooplâncton e clorofila-a relacionadas às águas PRP e ASAP no período de inverno. Estes sistemas de enriquecimento atribuídos a essas massas de água podem exercer influência nas densidades de zooplâncton observadas. Os copépodos calanóides apresentaram maior abundância e freguência em todos meses amostrados. Os copépodes em geral estão entre os mais abundantes e mais bem conhecidos grupos de zooplâncton marinho, presentes em todas as regiões marinhas, representando entre 55-95% da biomassa do zooplâncton total em sistemas marinhos pelágicos (Longhurst, 1985). Na região de estudo os copépodes vem sendo estudados desde o trabalho de Björnberg (1963) e, mais recentemente

Duarte (2014), destaca a grande contribuição dos copépodes para a biomassa zooplanctônica da região. Por serem dominantes em densidade e biomassa, os calanóides são de fato o mais importante de alimento disponível para a anchoita, como já reportado na costa sul brasileira por Schwingel (1998) e por diversos trabalhos na plataforma argentina (Marrari *et al.* 2004; Capitanio *et al.* 2005; Padovani *et al.* 2011; Viñas *et al,* 2013; Marrari *et al.* 2013).

Os cladóceros foram o segundo grupo mais representativo em termos de abundância, grupo que possui apenas nove espécies de representantes marinhos. Este grupo, importante na ecologia pelágica marinha foi citado como um dos principais itens alimentares na dieta de anchoita em trabalhos desenvolvidos na plataforma argentina (Capitanio *et al.* 2005; Padovani *et al.* 2011, Viñas *et al.* 2013). Em estudo na plataforma continental do Rio Grande do Sul, Resgalla (1993) registrou a ocorrência de apenas três espécies de cladóceros no inverno, restritos a profundidades menores do que 100 m. Em concordância com esse autor, as amostragens deste estudo no inverno e primavera, os cladóceros estiveram abundantemente distribuídos sobre a plataforma até 100 m, configurando este grupo como recurso alimentar para anchoita na região.

Os copépodes e os cladóceros foram absolutos em abundância nas amostragens e, portanto podemos sugerir que constituem potenciais presas de anchoita da região. Por outro lado, grupos menos expressivos em termos de densidade, mas frequentes nas amostragens podem se configurar como potenciais presas de anchoita por seu padrão de distribuição: os eufasiáceos e Appedincularia (mais especificamente *Oikopleura* sp.).

Os eufausiáceos foram frequentes nas amostragens sobre a plataforma, sobretudo altas densidades foram observadas em amostras entre 50 e 100 m e com salinidade entre 33,5 e 34,2. Da mesma forma Gorri (1995) observou maior abundância de eufausiáceos na plataforma entre 50 e 100m, sendo no inverno representado por Euphausia lucens. Schwingel (1998) observou para a mesma região do presente estudo que 14% da biomassa encontrada no conteúdo estomacal de anchoita era composto por eufausiáceos. Costa et al. (2016, capítulo 4), neste estudo, encontrou altas densidades de anchoita distribuídas sobre a plataforma externa em latitudes maiores de 33°S (Anexo 1), em áreas que coincidem com as maiores abundâncias de eufausiáceos. Pájaro (1998) e Marrari et al. (2004), em estudos na plataforma da Argentina, sustentam a hipótese de que *E. anchoita* realiza curtas migrações em direções a águas mais profundas para se alimentar e retorna para regiões costeiras para reproduzir. Assim sendo, pode-se sugerir que em profundidades maiores de 50 m no extremo sul da costa brasileira os eufasiáceos podem constituir um importante recurso alimentar para a anchoita.

Oikopleura sp. foi frequente e relativamente abundante nas amostragens. Sua ocorrência abrangeu toda a plataforma em latitudes maiores de 32°S com tendência de aumento de densidade em direção ao sul, em profundidades maiores de 50 m. Estudos em regiões contíguas ao sul do Brasil destacam a importância de *Oikopleura dioica* e *O. fusiformis* como itens alimentares na dieta de anchoita na costa do Uruguai e Argentina (Capitanio *et al.* 1997, 2005, Spinelli *et al.* 2013). Os registros destas espécies em águas brasileiras indicam que *Oikopleura dioica* é abundante em águas próximo à costa e *O. fusiformis* sobre a plataforma e o talude (Forneris, 1965; Montú *et al*, 1997). Assim como

sugerido para eufasiáceos, *Oikopleura* sp. pode ser uma potencial presa para anchoita por ocorrer em áreas com grandes concentrações de anchoita tambem na costa sul do Rio Grande do Sul (Ver Anexo1).

A análise de agrupamento não separou grupos de zooplâncton. Sugere-se que, primeiro porque uma distinção clara de agrupamentos seria esperada se houvessem gradientes claros de massas de água e barreiras físicas que não permitissem a mistura entre a comunidade de zooplâncton. Durante o período das amostragens na plataforma ocorreram apenas massas de água modificadas ou misturadas, com perdas de suas características iniciais. Observando os mapas de distribuição de percentuais de massas de águas (Figura 5 -Capítulo 2) nota-se que poucas áreas estavam ocupadas por águas com mais de 80% de contribuição. Como em grande parte das áreas foi observada uma mistura de águas é coerente que as comunidades zooplantônicas também se misturem.

O segundo ponto a ser observado é que a resolução em nível de grande grupo, dificulta uma separação clara, ainda que algumas amostragens tenham sido coletadas em águas bastante distintas. O mesmo grupo taxonômico pode apresentar espécies associadas a diferentes massas de água, como reportado em estudos na região para cladóceros, chaeatognatos, pterópodes (Resgalla,1993, 2008; Resgalla e Montú, 1993, 1994), eufausiáceos (Gorri, 1995) e copépodes (Muelbert *et al*, 2008; Duarte *et al*, 2014) por exemplo. A ocorrência e abundância, ao nível de espécie, podem estar relacionadas com as flutuações na temperatura e salinidade das massas de água, mas as espécies não estão necessariamente limitadas somente por esses fatores. Quando as condições ambientais são ótimas para uma espécie esta é

dominante, mas se várias espécies encontram condições ideais, cada uma representa uma porcentagem menor do total população.

Tendo em vista os fatores acima mencionados, os resultados apresentados no presente capítulo não são conclusivos em relação à comunidade de zooplâncton e sua variação em relação à profundidade, massa de água, temperatura, salinidade e estação do ano. Estudos identificando o zooplâncton em nível de espécie dentro de uma estratégia de coleta que permita amostrar diferentes massas de água (eg. como o método estratificado acima e abaixo da termoclina) poderiam contribuir para um melhor conhecimento dos padrões de distribuição da comunidade de zooplâncton na área de estudo. Ainda, estudos direcionados às potenciais presas de anchoita como copépodes, cladóceros, eufasiáceos e *Oikopleura* sp., associados a estudos de dietar poderão esclarecer melhor a contribuição desses grupos na teia trófica da região e consequentemente da anchoita.

3.5 Referências Bibliográficas

- AMARAL WJA. 1996. Composição, distribuição e abundância de salpidae (Thaliacea) na plataforma brasileira entre as latitudes 24°S e 29°42' S -SUESTE I. Monografia. Curso de Especialização em Ecologia Aquática Costeira. Depto. Oceanografia. FURG. 16pp.
- AMARAL WJA, MONTÚ MA & GLOEDEN IM. 1997. Salpidae (Thaliacea) da plataforma continental do extremo sul do Brasil: composição, distribuição e abundância (verão de 1990). *Atlântica,* 19:51-66
- ANGELESCU V. 1982. Ecología trófica de la anchoíta del Mar Argentino (Engraulidae, *Engraulis anchoita*). Parte II. Alimentación, comportamiento

y relaciones tróficas en el ecosistema. Contrib. Inst. Nac. Invest. Desarr. Pesq. (Mar del Plata), Nº 409, 83pp

- BJÖRNBERG TKS. 1963. On the marine free-living copepods off Brasil. *Bol Inst Ocean*, 13(1):3-142.
- BRAGA ES, CHIOZZINI VC, BERBEL GBB, Maluf JCC, Aguiar VMC, Charo M, Molina D, Romero SI, Eichler BB. 2008. Nutrient distributions over the Southwestern South Atlantic continental shelf from Mar del Plata (Argentina) to Itajaí (Brazil): Winter-summer aspects. *Cont Shelf Res* 28:1649-1661.
- BRANDINI FP, LOPES RM, GUTSEIT KS, SPACH HL & SASSI R. 1997. Planctonologia na plataforma continental do Brasil: diagnose e revisão bibliográfica. 196.
- BRUNO MA. 2009. Mesozooplâncton do Extremo Sul do Brasil com ênfase em copépodes calanoida. Tese de Doutorado, Universidde do Rio Grande, 106 p.
- CAPITANIO FL, PAJARO M & ESNAL GB. 2005. Appendicularians: an important food supply for the Argentine anchovy *Engraulis anchoita* in coastal waters. *J Appl Ichthyol*. 21(5):414-419.
- CAPITANIO FL, PÁJARO M, ESNAL GB. 1997. Appendicularians (Chordata, Tunicata) in the diet of anchovy (*Engraulis anchoita*) in the Argentine Sea. *Sci Mar* 61, 9–15.
- CASTELLO JP, HAIMOVICI M, ODEBRECHT C & VOOREN CM. 1997. The continental shelf and slope. In: U.Seeliger, C. Odebrecht & J.P. Castello (eds.).Subtropical convergence environments: the coast and sea in the southwestern Atlantic. Springer, New York, pp. 171-179.

- CIECHOMSKI JD. 1967. Investigations of food and feeding habits of larvae and juveniles of the argentine anchovy, *Engraulis anchoita*. *CalCOFI Rep*., 11: 72-81
- CLARKE KR & AINSWORTH M. 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Mar Ecol Prog Ser*, 92: 205-219.
- COSTA PL, VALDERRAMA PRC, MADUREIRA LASP. 2016. Relationships between environmental features, distribution and abundance of the Argentine anchovy, *Engraulis anchoita,* on the South West Atlantic Continental Shelf. *Fish Res*, 173:229-235.
- DUARTE AK 2014. Variações sazonais dos copépodes e da biomassa zooplanctônica na Plataforma Continetal e Talude superior do extremo sul do Brasil.Tese de Doutorado, Universidde do Rio Grande, 165p.
- DUARTE AK. KINAS, PG, MUXAGATA E & ODEBRECHT C. 2014. Zooplankton biomass distribution in the Subtropical Southwestern Atlantic Ocean : relationships with environmental factors and chlorophyll a. *Panam J Aquat Sci*, 9(4):239-261.
- FORNERIS L. 1965 Appendicularian species groups and southern Brazil water masses. *Bol Inst Ocean.*;14(213):53-113.
- GASALLA MA, VELASCO G, ROSSI-WONGTSCHOWSKI CLDB, HAIMOVICI M & MADUREIRA LSP. 2007. Modelo de equilíbrio do ecossistema marinho da Região Sudeste- Sul do Brasil entre 100 - 1000 m de profundidade. Série documentos do REVIZEE-Score Sul. São Paulo, Edusp, 56 p.

- GORRI C. 1995. Distribuição espaço-temporal e estrutura populacional de Euphausiacea (Crustracea) na região do extremo sul do Brasil (31°40' S 33°45' S). Dissertação de Mestrado, Fund. Univ. Rio Grande, 124p.
- HUNTER JR, ALHEIT J. 1995. International GLOBEC small pelagic fishes and climate change program. GLOBEC Report No. 8, 72 pp
- LALLI C & PARSONS T .1997. Biological Oceanography an Introduction.Pergamon Press, Oxford.
- LIMA ID & CASTELLO JP. 1995. Distribution and abundance of South-west Atlantic anchovy spawners (*Engraulis anchoita*) in relation to oceanographic process in the southern Brazilian shelf. *Fish Oceanogr*, 4,1-16.
- LONGHURST AR. 1985. The structure and evolution of plankton communities. *Prog Oceanogr*, 15(1):1-35.
- MADUREIRA LASP, CASTELLO JP, PRENTICE-HERNÁNDEZ C, QUEIROZ MI, SANTO ML, RUIZ WA, ABDALLAH P, HANSEN J, BERTOLOTTI MI, MANCA E, YEANNES MI, AVDALOV N & AMORIN S. 2009. Current and potential alternate food use of the Argentine anchoita in Argentina, Uruguay and Brazil. In: Hasan, MR. (ed). Fish as feed inputs for aquaculture: practice, sustainability and implications. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 518. Rome, FAO.
- MAMAYEV OI. 1975. Temperature-salinity analysis of world ocean waters. Amsterdam, Elseiver, 374 p.
- MANN KH. 1993. Physical oceanography, food chains, and fish stocks: a review. *ICES J Mar Sci*, 50: 105-119

MARRARI M, VIÑAS MD, MARTOS P, HERNÁNDEZ D. 2004.Spatial patterns of mesozooplankton distribution in the Southwestern Atlantic Ocean (34°-41°S) during austral spring: Relationship with the hydrographic conditions. *ICES J Mar Sci*, 61(4):667-679.

MARRARI M, SIGNORINI S, MCCLAIN C, PÁJARO M, MARTOS P, VIÑAS MD,
HANSEN J, DIMAURO R, CEPEDA GD & BURATTI C. 2013.
Reproductive success of the Argentine anchovy, *Engraulis anchoita*, in
relation to environmental variability at a midshelf front (Southwestern Atlantic Ocean). *Fish Oceanogr*. 22:247 – 261.

- MÖLLER OO, PIOLA AR, FREITAS AC & CAMPOS EJDV. 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off Southeastern South America. *Cont Shelf Res*, 28:1607-1624.
- MONTÚ M, GLOEDEN IM, DUARTE AK & RESGALLA JR C.1997. Zooplankton. In: U. Seeliger, C. Odebrecht and J.P. Castello (Eds.), Subtropical Convergence Environments. The coast and sea in the Southwestern Atlantic, pp. 110-114. Springer-Verlag, Berlin.
- MUELBERT JH, ACHA M, MIANZAN H, GUERRERO R, RETA R, BRAGA ES, GARCIA VMT, BERASATEGUI A, GOMEZ-ERACHE M & RAMÍREZ F. 2008. Biological, physical and chemical properties at the Subtropical Shelf Front Zone in the SW Atlantic Continental Shelf. *Cont Shelf Res*, 28(13), 1662-1673.
- PADOVANI LN, VINAS MD & PÁJARO M. 2011.Importance of the Rio de la Plata estuarine front (southwestern Atlantic Ocean) in the feeding ecology of Argentine anchovy, *Engraulis anchoita (*Clupeiformes, Clupeidae. *Lat Am J Aquat Res*, 39(2):205-213.

- PÁJARO M. (1998). El canibalismo como mecanismo regulador densodependiente de mortalidad natural en la anchoíta argentina (*Engraulis anchoita*). Su relación con las estrategias reproductivas de la especie.
 Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata. 273 pp.
- PÁJARO M. (2002). Feeding of the Argentine anchovy (*Engraulis anchoita* Hubbs y Marini, 1935) (Pisces: Clupeiformes) during the spawning season. *Rev Investig y Desarro Pesq*;15:111-125.
- RESGALLA JÚNIOR C & MONTÚ M. 1993. Cladóceros marinhos da plataforma continental do Rio Grande do Sul Brasil. Nauplius 1: 63-79.
- RESGALLA JÚNIOR C & MONTÚ M. 1994. Distribuição espacial e temporal de Pteropoda Euthecosomata (Mollusca, Gastropoda) na plataforma sul do Brasil. *Atlântica* 16: 99-123.
- RESGALLA JÚNIOR C. & MONTÚ M. 1995. Quetognatos de la plataforma continental del sur del Brasil. *Inv Mar CICIMAR* 10(1-2): 23-41.
- RESGALLA JÚNIOR, C. 1993. Influência das massas de água na distribuição espaço- temporal de Pteropoda, Cladocera e Chaetognatha na Plataforma Sul do Brasil (31° 40'S 33° 48'S). Dissertação de Mestrado, Fund. Univ. Rio Grande, 134p.
- SÁNCHEZ RP& MANAZZA GO. 1994. Estudios sobre la alimentación de larvas de anchoíta (*Engraulis anchoita*), en relación con los frentes de marea de la región patagónica. *Frente Marítimo*, 15 (A): 51-65
- SCHWINGEL PR. 1998. Feeding ecology of Engraulis anchoita (Hubbs & Marini, 1935) in Brazilian waters (22° to 34°S). Doctoral Thesis in Science, Faculty of Biology, Federal University of Hamburg, Hamburg, 204 pp.

SCHWINGEL RP & CASTELLO JP. 1994. Alimentación de la anchoíta (Engraulis anchoita) en el sur de Brasil. Frente Marítimo, 15 (A): 67-86.

- SPINELLI M, GUERRERO R, PÁJARO M & CAPITANIO F. 2013. Distribution of Oikopleura dioica (Tunicata, Appendicularia) associated with a coastal frontal system (39°- 41°S) of the SW Atlantic Ocean in the spawning area of *Engraulis anchoita* anchovy. *Brazilian J Oceanogr*, 61(2):141-148.
- VELASCO CG & CASTELLO, JP. 2005. An ecotrophic model of southern Brazil continental shelf and fisheries scenarios for *Engraulis anchoita* (Pisces, Engraulididae). *Atlântica*, 27(1): 59–68.
- VIÑAS MD & RAMIREZ FC. 1996. Gut analysis of first-feeding anchovy larvae from Patagonian spawning area in relation to food availability. *Arch Fish Mar Res*, 43: 231-256
- VIÑAS MD, MARRARI M, MAURO R Di, CEPEDA G & PADOVANI L .2013. El zooplancton del hábitat reproductivo de la población bonaerense de anchoíta *Rev invest desarr pesq*. 2013;23:125-144.
- WHITEHEAD PJP, NELSON GJ & WONGRATANA T.1988. FAO species catalogue. Clupeoid fishes of the world (Suborder Clupeoidei). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. Part 2 Engraulididae. FAO Fisheries Synopsis, 7: 305-579.

Tabelas

Tabela 1. Densidade de organismos (org.m⁻³) por grupo de zooplâncton, Densidade média (densidade/n. estações amostradas no cruzeiro), desvio padrão (dp) e percentual de contribuição na densidade total do cruzeiro (%).

	Inverno												Primavera							
Grupos d	e Junho				Agosto				Agosto-Se	tembro			Setembro					Outubro		
2000111111111	org.m ⁻³	média	dp	%	org.m ⁻³	média	dp	%	org.m ⁻³	média	dp	%	org.m ⁻³	média	dp	%	org.m ⁻³	média	dp	%
Calanoida	27026.99	1351.35	611.81	59.41	49039.21	4458.11	893.00	49.18	38592.77	1754.22	1410.92	94.61	30502.44	1794.26	1933.01	81.56	36438.13	1735.15	2104.15	77.19
Cladocera	12486.38	624.32	735.38	27.45	45663.81	4151.26	1174.68	45.80	31.98	1.45	3.62	0.08	4194.92	246.76	404.18	11.22	6621.16	315.29	484.74	14.03
Cyclopoida	3139.66	156.98	70.29	6.90	1207.25	109.75	19.36	1.21	1088.01	49.46	85.55	2.67	1238.09	72.83	79.09	3.31	2343.18	111.58	257.71	4.96
Chetognata	749.22	37.46	22.26	1.65	434.05	39.46	11.86	0.44	331.98	15.09	16.17	0.81	190.97	11.23	10.38	0.51	722.97	34.43	61.92	1.53
<i>Oikopleura</i> sp.	668.24	33.41	22.15	1.47	1433.03	130.28	38.77	1.44	253.49	11.52	28.79	0.62	765.50	45.03	67.67	2.05	258.94	12.33	13.98	0.55
Hidromedusa	306.70	15.34	18.15	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	26.54	1.21	4.14	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	35.39	1.69	0.00	0.07
Naupii	206.02	1/ 20	10/7	0.65	1 20	0 1 2	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Copepoda	290.02	14.00	10.47	0.05	1.29	0.12	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Harpacticoida	240.33	12.02	10.29	0.53	4.91	0.45	0.62	0.00	18.05	0.82	2.10	0.04	133.69	7.86	15.05	0.36	449.40	21.40	7.24	0.95
Hiperideo	100.18	5.01	5.00	0.22	92.19	8.38	3.01	0.09	91.32	4.15	4.36	0.22	88.35	5.20	8.23	0.24	34.68	1.65	2.30	0.07
Euphausiacea	138.48	6.92	6.42	0.30	440.95	40.09	137.15	0.44	118.45	5.38	7.79	0.29	212.22	12.48	18.27	0.57	174.09	8.29	10.25	0.37
Vel. Bivalve	57.58	2.88	8.80	0.13	167.99	15.27	4.44	0.17	69.47	3.16	7.74	0.17	8.85	0.52	2.15	0.02	82.72	3.94	16.57	0.18
Vel.Gastopoda	47.82	2.39	3.59	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	6.07	0.28	0.91	0.01	28.83	1.70	3.83	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
Doliolidae	44.23	2.21	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Misidaceo	42.13	2.11	0.00	0.09	24.99	2.27	1.09	0.03	14.65	0.67	1.95	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Larv.Crustáceo	40.37	2.02	2.18	0.09	7.08	0.64	0.70	0.01	10.44	0.47	1.79	0.03	11.80	0.69	2.86	0.03	23.21	1.11	4.70	0.05
Siphonopharae	33.15	1.66	2.18	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.80	0.69	2.95	0.03	0.00	0.00	3.00	0.00
Naupl.Cirripedi	a 21.23	1.06	3.40	0.05	8.25	0.75	0.48	0.01	29.31	1.33	4.67	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Larv.Poliqueta	19.56	0.98	1.54	0.04	61.53	5.59	1.98	0.06	14.02	0.64	2.35	0.03	11.80	0.69	2.86	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Larv.peixe	17.74	0.89	1.97	0.04	46.68	4.24	1.58	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gamarideo	5.90	0.29	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	8.85	0.40	1.89	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Foronidae	3.54	0.18	0.00	0.01	60.53	5.50	2.89	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.15	0.67	4.09	0.03
Pol.Bentonico	3.44	0.17	0.48	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ostracoda	1.13	0.06	0.18	0.00	9.24	0.84	0.66	0.01	1.42	0.06	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cypris	0.00	0.00	0.00	0.00	1.89	0.17	0.13	0.00	10.97	0.50	1.92	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ovos peixe	0.00	0.00	0.00	0.00	9,41	90.86	38.12	1.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cumaceo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.88	3.04	11.35	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Continua																				
Fritillaria	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.54	0.17	1.02	0.01
Pteropoda	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.31	0.24	0.83	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13	0.10	0.00	0.00
Stephanomia bijuga	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13	0.05	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	45490.02	2274.50			99704.30	9064.03			40791.11	1854.14			37399.22	2199.95	5		47203.68	3 2247.79)	
N. estaçoes	20.00				11.00				22.00				17.00				21.00			

Tabela 2-Tabela com resumo dos resultados do MLG e MAG para a densidade de zooplâncton (org.m⁻³).

MLG					MAG				
Parameter					Parameter				
Family	Gamma				Family	Gamma			
Null deviance	143.34								
Residual deviance	94.28								
d.f.	102								
AIC	1875.18				AIC	1861.96			
Deviance explained	34.20%				Deviance explained	45.20%			
Covariates					Covariates				
	Estimate	Std.Error	t value	Pr(> t)		Estimate	Std.Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	10.2529	1.008116	10.17	<2.00E-16***	(Intercept)	7.007	0.1709	40.992	<2.00E-16***
August	1.120348	0.342751	3.269	0.00147**	August	1.2752	0.3351	3.805	0.000247***
Aug/Sep	0.417153	0.261621	1.594	0.11392	Aug/Sep	0.5191	0.253	2.052	0.042901*
September	0.241528	0.340514	0.709	0.47975	September	0.4768	0.3278	1.455	0.148968
October	0.550601	0.347449	1.585	0.11613	October	0.5743	0.3318	1.731	0.086593
Temperature	-0.17289	0.063542	-2.721	0.00766**	Approximate significance	of smooth t	terms:		
Depth	-0.008711	0.003223	-2.703	0.00806**		edf ^x	Ref.df	F	p-value
					s(Temperature)	3.286	4.118	3.358	0.012052*
					s(Depth)	3.306	4.087	5.194	0.000709***

^x Graus de liberdade estimados.

GLM					GAM				
Parameter					Parameter				
Family	Gamma				Family	Gamma			
Null deviance									
Residual deviance									
AIC	1879.61				AIC	1877.034			
Deviance explained	30.70%				Deviance explained	33.80%			
Covariates					Covariates				
	Estimate	Std.Error	t value	Pr(> t)		Estimate	Std.Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	6.32	0.25	25.77	<2.00E-16***	(Intercept)	6.93	0.16	43.13	<2.00E-16***
August	1.76	0.28	6.22	1.08E-08*	August	1.69	0.28	6.03	2.67E-08*
Aug/Sep	0.55	0.26	2.10	0.038308 *	Aug/Sep	0.46	0.27	1.71	0.09046
September	1.05	0.30	3.47	0.000756***	September	0.92	0.31	2.96	0.00379**
October	0.91	0.32	2.82	0.005786**	October	0.79	0.33	2.43	0.01702*
%PRP	0.01	0.00	3.59	0.000501***	Approximate significan	ce of smooth	terms:		
						edf	Ref.df	F	p-value
					s(%PRP)	2.49	3.12	5.78	0.000955***

Tabela 3-Tabela com resumo dos resultados o MLG e MAG para a densidade de zooplâncton (org.m⁻³) testando apenas os percentuais de massas de água.

Tabela 4- Resultado da análise ANOSIN.

Fontes de Variação	Anosim Global					
	R	р				
Estação do ano (Inverno/Primavera)	0.08	0.96				
Massas de água (ASAP, PRP, AT, ASTP, MISTURA)	0.07	0.10				
Profundidade (<20m; 20-50m; 50-100m e >100m)	0.07	0.08				
Temperatura (<14°C; 14°C a 18.5 E <18)	0.06	0.11				
Salinidade (<33.5; 33.5-34.2; 34.2-35.3; 35.3-36; >36)	0.21	0.07				

Figuras



Figura 1-Mediana, primeiro e terceiro quartil do log da densidade de zooplâncton (org.m⁻³) por temperatura (A) e salinidade(B). Pontos isolados indicam valores extremos.



Figura 2-Ajustes suavizados das variáveis temperatura (A), profundidade (B) e efeito estimado por cruzeiro (C). As marcas no eixo x são os dados observados. O eixo Y representa a função "spline". Linhas pontilhadas indicam intervalo de confiança de 95%.



Figura 3-Percentual de amostras nas massas de água ASAP, ASTP, AT e PRP e suas respectivas densidades médias de zooplâncton (org/m3).



Figura 4-Diagrama de temperatura, salinidade e densidade de zooplâncton nos meses amostrados e total. Os círculos representam proporcionalmente a menor e a maior densidade de zooplâncton observada. Os retângulos representam os limites de massas de água descritos em Möoller et al (2008). Pluma do Rio da Prata (PRP), ASAP (Água Subantártica de Plataforma), ACAS (Água Central do Atlântico Sul), Água Subtropical de Plataforma (ASTP) e AT (Água Tropical).



Figura 5-Ajuste suavizado da variável % PRP (percentual de contribuição da pluma do Rio da Prata). As marcas no eixo x são os dados observados. O eixo Y representa a função "spline". Linhas pontilhadas indicam intervalo de confiança de 95%.



Figura 6-Representação em dois eixos da Análise de Escalonamento Multidimensional (nMDS) gerada sobre a matriz de similaridade de Bray–Curtis dos valores de densidade organismos dos 13 grupos de zooplâncton com frequência de ocorrência superior a 10% nas amostras. Ordenação das amostras pelos fatores ambientais estação do ano, massa de água, profundidade local, temperatura e salinidade.



Figura 7-Mediana, primeiro e terceiro quartil da temperatura, salinidade e profundidade nos locais amostrados com a ocorrência dos grupos mais frequentes (FO>10% das estações). Pontos isolados indicam valores extremos.



Figura 8-Distribuição espacial da densidade (org. m⁻³) nas amostras dos 13 grupos de zooplâncton com frequência superior 10%. Os círculos são proporcionais a densidade e indicam do menor ao maior valor observado para cada grupo.

CAPÍTULO 4 – Anchoita e sua relação com as variáveis ambientais na plataforma continental do Rio Grande do Sul

Parte dos resultados são referentes ao artigo: Costa, P. L., Valderrama, P. R. C. & Madureira, L. A. S. P. Relationships between environmental features, distribution and abundance of the Argentine anchovy, *Engraulis anchoita*, on the South West Atlantic Continental Shelf. *Fish. Res. 173*(2016):229-235. doi:10.1016/j.fishres.2015.07.008 (Anexo 1).

4.1 Introdução

Engraulis anchoita é um pequeno pelágico que habita regiões costeiras do Atlântico sudoeste. Sua distribuição ocorre entre 41° e 24° S dividida em dois estoques: bonaerense e patagônico. Como pequeno pelágico esta espécie desempenha um importante papel na teia trófica marinha, como *link* de transferência de energia para níveis tróficos superiores. Estimativas de estoque na região chegam a 4,5 milhões de toneladas (Hansen, 2000; Madureira *et al*, 2009). Entretanto, apesar de abundante, esta espécie é sub explorada na Argentina e não explorada em águas brasileiras.

O estoque bonaerense é abundante na costa brasileira nos meses de inverno e primavera (Castello & Habiaga 1982; Castello *et al*, 1991; Lima & Castello 1994, 1995; Madureira *et al*, 2009) período em que a região sul brasileira é fortemente influenciada pela intrusão de águas de origem subantártica e águas do Rio da Prata.

Sob a influência da confluência entre as correntes do Brasil, que carrega águas quentes para o sul e, da corrente das Malvinas, que transporta águas frias para o norte, a plataforma continental sul brasileira torna-se um ambiente

favorável à presença de pequenos pelágicos na região. Lima e Castelo (1995), em estudo na plataforma continental sul brasileira atribuem à presença do estoque reprodutivo de anchoita no inverno e início da primavera a dois processos que ocorrem na região neste período: o transporte de Ekman, direcionado para a costa, combinado aos efeitos de descarga de água doce e um fluxo de água fria, próxima ao fundo que resultam em uma forte estabilidade sobre a plataforma, o que favoreceria a retenção de larvas (Vasconcellos *et al* 1998) e, portanto a ocorrência do estoque adulto nesta região.

O presente capítulo tem como objetivo testar a hipótese de que a presença e a densidade do estoque adulto da anchoita na plataforma continental sul brasileira é atribuída à intrusão de águas de origem subantártica na região.

4.2 Metodologia

Dados acústicos foram utilizados para estimar a biomassa de anchoita adulta para cada um de uma série de cinco cruzeiros, realizados entre junho e outubro de 2010, de acordo com a metodologia descrita por Jolly e Hampton (1990; detalhes item 2.1; Anexo 1). A densidade em peso foi calculada para cada milha náutica amostrada acusticamente. Para cada milha náutica amostrada foi atribuído seu correspondente valor de salinidade e temperatura, de acordo com o posicionamento extraído dos dados *in situ* descritos no Capítulo 2.

MLG's foram ajustados primeiramente com a presença da anchoita como variável resposta. Foram testadas cinco variáveis em ajustes MLG para

cada um dos meses amostrados: temperatura e salinidade (superfície e fundo) e profundidade.

Um MLG para o ano de 2010 foi ajustado, testando a presença da anchoita ao longo do inverno e primavera frente a oito variáveis: cruzeiros (como fator com cinco níveis), temperatura e salinidade (superfície e fundo); diferença entre temperatura da superfície e de fundo (Δ T); diferença entre salinidade de superfície e de fundo (Δ S) e; profundidade. Estas mesmas variáveis foram usadas também para ajustar um MLG tendo como variável resposta a densidade de anchoita (t.mn⁻²) para os meses de inverno e primavera de 2010. A Tabela 1 apresenta um resumo dos modelos ajustados.

Para selecionar o modelo final de cada um dos ajustes propostos, inicialmente foi verificada a colinearidade entre as variáveis preditoras. Matrizes de correlação de Pearson foram geradas e os modelos iniciais incluíam somente variáveis não correlacionadas (r < 0,5). O modelo final foi selecionado com base no menor valor de AIC.

4.3 Resultados

4.3.1 Biomassa de anchoita nos cruzeiros

A biomassa de anchoita estimada para os cruzeiros variou de 72.750 toneladas em junho à 814.016 toneladas, em agosto de 2010 (Tabela 1; Anexo 1). Com uma diferença de dois meses, a biomassa de adultos de anchoita aumentou onze vezes. Gradativamente a biomassa total e a contribuição de indivíduos adultos no total de indivíduos é reduzida nos cruzeiros subsequentes (agosto-setembro, setembro e outubro), uma vez que aumentou a contribuição de indivíduos com Lt < 10 cm, conforme apresentado na Figura 1. No mês de agosto, a biomassa de anchoita encontrou-se distribuída na plataforma interna (menos 50 m), com altas densidades observadas ao sul da área, onde se estendeu até aproximadamente 100 m. Neste cruzeiro a anchoita ocupou apenas 39% da área amostrada (Figura 1). Por outro lado, em setembro e outubro a anchoita passou a ocupar respectivamente 59% e 60% da área amostrada , com maiores densidades nos perfis mais ao sul da área amostrada (Figura 2; Anexo 1).

4.3.2 Presença de anchoita e a relação com variáveis ambientais

A ocorrência da anchoita ao longo dos cruzeiros flutuou com a variação na temperatura. Em superfície observou-se um declínio na temperatura, no cruzeiro de junho teve águas com mínimo de 14,3°C e em agosto, os valores máximos não ultrapassaram 13,3°C (Figura 2). A amplitude de temperaturas na superfície no segundo cruzeiro foi de 1,8°C e a ocorrência da anchoita foi registrada em temperaturas inferiores a 12,7°C (Figura 2). Em setembro, a amplitude de temperaturas na superfície foi de 5,6°C e anchoita esteve presente em todo este espectro de temperatura (Figura 2).

No que se refere às temperaturas de fundo observou-se um decréscimo ao longo dos meses amostrados, com amplitudes mínimas e máximas entre 4,3°C e 7,8°C (Figura 2). No cruzeiro de agosto registraram-se águas nos estratos de fundo com temperaturas de até 18,5°C. No entanto, a presença de anchoita foi somente registrada em temperaturas inferiores a 14,5°C (Figura 2).

Num contexto geral, no período dos cruzeiros de 2010, a anchoita ocorreu em intervalos de temperatura superficial de 11,1°C a 17,1°C e de fundo entre 10,3°C e 19,2°C (Figura 2).

A salinidade por sua vez apresentou menor variabilidade do que a temperatura, essencialmente em seus máximos que, em todos os cruzeiros foram próximos a 33 na superfície e 36 no fundo. Os mínimos de salinidade foram observados em superfície nos cruzeiros de agosto e setembro, indicando uma forte presença de desague de água continental na região. A anchoita ocupou águas com uma ampla variação na salinidade, que em superfície foram de 22.7 a 32.9 e no fundo, de 26.1 a 36.3. O que se destaca em relação à salinidade é que no cruzeiro de junho, apesar de uma amplitude de salinidade de 8.9, a anchoita ocorreu apenas em salinidades superficiais entre 22.7 e 32 (Figura 2).

Variabilidade da presença de anchoita nos cruzeiros

As variáveis selecionadas para explicar a variabilidade na presença da anchoita foram diferentes para os distintos cruzeiros e o poder de explicação dos modelos variou de 27%, nos dados coletados em setembro, a 59%, nos dados coletados em agosto. O modelo ajustado para o mês de junho incluiu como significativas apenas as variáveis salinidade de fundo e profundidade que explicaram 40% da variabilidade dos dados. Em agosto, dentre as cinco variáveis, apenas a salinidade superficial não foi incluída como significativa para o modelo. No cruzeiro realizado entre agosto/setembro, apenas a temperatura de fundo não foi incluída como significativa para a presença de anchoita. Em setembro, as cinco variáveis foram incluídas no modelo, ao passo que em outubro apenas a temperatura de fundo e a profundidade foram incluídas no modelo (detalhes ANEXO 1).

Variabilidade na presença de anchoita no ano de 2010.

De acordo com a matriz de correlação apresentada na tabela 2 existe correlação entre a temperatura de fundo e TSM; a salinidade de fundo está correlacionada com temperatura de fundo, ΔT , ΔS e profundidade; e a profundidade com ΔS . Assim sendo foram estabelecidos sete possíveis modelos (incluindo interações) para a variável resposta, probabilidade de ocorrência de anchoita no ano de 2010.

O modelo M2, com o menor AIC, está indicado em negrito na tabela 3. O modelo selecionado explicou 46% da variabilidade na presença de anchoita na área. Em termos de probabilidade de ocorrência de anchoita, os cruzeiros de agosto, agosto/setembro e setembro foram significantemente diferentes do realizado em junho enquanto que em outubro, o cruzeiro não se diferencia do primeiro (Tabela 4).

A interação entre a TSM e SSM foi significativa para a presença da anchoita. As probabilidades estimadas pelo MLG por simulações indicam que águas superficiais com temperaturas inferiores a 14°C e salinidades superiores a 28 condicionam positivamente a presença de anchoita. Por outro lado, com temperaturas superficiais de 16°C o efeito é sutilmente positivo apenas se a água apresentar também salinidades maiores que 32 (Figura 3).

Nos cruzeiros de junho, agosto, agosto/setembro e outubro as temperaturas superficiais inferiores a 14°C apresentaram efeito positivo na probabilidade de ocorrência da anchoita (Figura 4A). No cruzeiro de setembro observou-se padrão inverso, conforme Figura 4 e Tabela 4.

Em relação à SSM, o efeito foi positivo à probabilidade de ocorrência de anchoita em valores superiores à 30 nos cruzeiros de junho, setembro e outubro. No cruzeiro de agosto/setembro o padrão foi inverso e em agosto, a salinidade superficial pouco influenciou na presença da anchoita (Figura 4B).

Nos cruzeiros de junho e agosto a estratificação da coluna de água em termos de temperatura (Δ T) não foi expressiva para a presença de anchoita. O coeficiente negativo observado indica que a probabilidade de ocorrência de anchoita é maior quanto mais homogênea estiver a coluna de água em termos de temperatura (Tabela 4). Nos meses subsequentes, essa estratificação passou a ter um efeito significativo e positivo nas probabilidades de presença de anchoita, ou seja, maior probabilidade de presença de anchoita é esperada em ambientes com Δ T entre 4 e 5 (Figura 4 C; Tabela 4).

O efeito da profundidade local para a presença de anchoita foi negativo para todos os cruzeiros, sempre com maiores probabilidade em profundidades inferiores à 60 m. Nos dois primeiros cruzeiros a influência da profundidade não foi significativa como para os demais.

4.3.3 Densidade de anchoita e sua relação com variáveis ambientais.

De acordo com a análise exploratória sobre a colinearidade das variáveis preditoras, existe correlação entre a temperatura de fundo e a TSM. A salinidade de fundo foi correlacionada com ΔT , ΔS e profundidade (Tabela 5).

Diante das possibilidades foram testados 4 modelos em que as variáveis correlacionadas não estivessem presentes no mesmo modelo. As variáveis estatisticamente significativas, selecionadas no melhor modelo para explicar a

variabilidade na densidade de anchoita, foram: cruzeiro, SSM, temperatura de fundo, $\Delta T \in \Delta S$ (Tabela 6, Modelo M4.1).

O modelo selecionado explicou 25% da variabilidade na densidade de anchoita (Tabela 7). Dentre os cruzeiros, agosto apresentou a maior contribuição para densidade de anchoita (Tabela 7).

Um efeito positivo foi observado na densidade de anchoita em águas superficiais com salinidade ~32 (Figura 5A) assim com em águas com temperatura inferior a 12°C nos estratos de fundo. (Figura 5B). O efeito destas duas variáveis foi relativamente maior no cruzeiro de agosto (Figura 5B).

A estratificação da coluna de água em termos de temperatura (Δ T) e salinidade (Δ S) apresentaram efeitos opostos na densidade. Densidades maiores de anchoita são esperadas quando a coluna de água encontra-se mais homogênea termicamente e com maior estratificação salina, de acordo com os coeficientes apresentados na Tabela 7 para as variáveis Δ S e Δ T.

4.4 Discussão

A presença de águas de origem subantártica na região consistiu um importante fator para a presença de anchoita na região. Nos modelos selecionados a temperatura teve uma relação inversa com a presença de anchoita preferencialmente em temperaturas menores de 14°C e salinidades maiores de 26. De acordo com Möller *et al* (2008) águas com temperaturas inferiores a 14°C referem-se a Água Subantártica de Plataforma (ASAP) se a salinidade estiver entre 33,5 e 34,2 ou Água da Pluma do Rio da Prata (PRP) se a salinidade for inferior a 33,5. Portanto, pode-se sugerir que de fato as

águas de origem subantártica contribuem positivamente para a presença de anchoita.

Na plataforma bonaerense entre 34°S e 41°S, durante a primavera, altas densidades de anchoita foram encontradas em temperaturas entre 12°C e 16,5°C C (Martos et al, 2005). Da mesma forma, também na primavera, Hansen et al (2001) registrou a preferência por temperaturas entre 12 e 16,5 °C para o estoque patagônico (latitudes maiores de 41°S). Na plataforma continental sul brasileira, Castello (2007) observou a presença de anchoita sempre em temperaturas entre 9,5°C e 18,5°C, particularmente no inverno, a amplitude de temperatura em que ocorreram os cardumes em perfis mais ao sul da área foi entre 11°C e 14°C. Em concordância com esses resultados, nas nossas amostragens no inverno e primavera cardumes de anchoita ocorreram em temperaturas entre 10,3°C e 19,2°C, com maior probabilidade de ocorrência em temperaturas menores de 14°C. Particularmente, as águas frias em estratos de fundo foram significativas para a densidade de anchoita. Águas frias em estratos de fundo são indicativas de águas de origem subantártica (ASAP). A ASAP é uma água fria que domina a porção sul da plataforma, aproximadamente 33°S no inverno (Piola et al, 2000) e na figura 5-capítulo 2 foi observada nessa região, principalmente em extratos de 25 e 50 m. Águas frias e pouco salinas da plataforma argentina fluem ao longo da costa brasileira atingindo seu máximo no fim do inverno, quando águas frias e ricas em nutrientes ocupam a maior parte da plataforma continental no sul do Brasil (Lima & Castello, 1995). Essa intrusão de água é transportada por uma corrente na plataforma média que tem um forte ciclo sazonal. A circulação
nessa região é principalmente dirigida pelo vento, onde a interação entre o transporte dirigido por ventos do quadrante sul e a circulação geostrófica sobre a plataforma produzem um fluxo direcionado para norte e para a costa durante o inverno (Lima *et al.*, 1996), o que poderia explicar o fato das águas frias no fundo em latitudes menores que 33°S se concentrarem na plataforma interna, com a distribuição da anchoita acompanhando este padrão (Figura 3-Anexo 1).

A estratificação da água em termos salinos foi importante para a densidade de anchoita. Em observações semelhante, Martos et al (2005) observaram maior abundância média de anchoita em locais com diferenças de salinidade superior a 1. A estratificação vertical da salinidade é primariamente associada com o contraste entre águas com baixa salinidade (Pluma do Rio da Prata; S<32,5) e águas quentes e salinas (ASTP; S<35,7). O aporte de águas do Rio da Prata e Lagoa dos Patos forma uma "língua" de baixa salinidade sobre a plataforma continental na região que diminui a salinidade a valores menores de 30. Essas águas de baixa salinidade tem um forte impacto na estratificação vertical (Piola et al. 2000, 2008), que em profundidades maiores que 50 m sobrepõe águas com maiores salinidades como ASAP e ASTP. De acordo com Piola et al. (2000), a ASAP, derivada da plataforma norte da Patagônia, forma uma borda fria de baixa salinidade que localmente separa as águas da plataforma externa (ASTP) das água da plataforma interna (PRP) no inverno. Localizada em média entre a isóbata de 50 m, entre 32°S e 36°S, a Frente Subtropical de Plataforma (FSTP) consiste em uma brusca transição termohalina entre ASAP e ASTP como uma extensão da transição subantarctica-subtropical observada na Confluência Brasil-Malvinas sobre a

plataforma continental (Piola *et al,* 2000, 2008). A transição ASAP e ASTP foi observada nos dados ambientais (Figura 5-Capítulo 2) em estratos de 50 m e, portanto pode-se sugerir ainda que indiretamente que o efeito positivo da estratificação salina na anchoita se deve à presença da FSTP, que promove processos de enriquecimento em termos de produção primária e secundária e atraem a anchoita para áreas sobre influência da frente, nas quais foram observadas altas densidades.

Com base nos resultados conclui-se que os fatores que influenciaram a presença da anchoita na área de estudo durante os meses de junho a outubro de 2010 foram positivamente relacionadas a águas superficiais com temperatura inferior a 14° e salinidade de aproximadamente 32. No que se refere a condicionantes para a densidade da anchoita, águas superficiais com salinidade em torno de 32 e águas no fundo com temperaturas inferiores a 14°C foram favoráveis as maiores densidades de anchoita. Ainda, os resultados indicaram que áreas com maior estratificação salina tendem a concentrar maiores densidade de anchoita. Ao longo dos meses amostrados foi possível detectar a relação entre a chegada de águas de origem subantártica e a presença e densidade de anchoita na área de estudo, evidenciada pelo resfriamento da água quando comparamos os cruzeiros de junho e agosto, o qual foi acompanhado por um aumento na biomassa de anchoita na região.

4.5 Referências Bibliográficas

CASTELLO JP. 1997. A anchoíta (*Engraulis anchoita*, Engraulididae, Pisces) no sul do Brasil. Doctoral Thesis, Programa de Pós-Graduação em

Oceanografia Biológica, Universidade Federal do Rio Grande, FURG, Rio Grande, 84 pp.

- CASTELLO JP & HABIAGA RPG.1982. Resultados preliminares da avaliação de pequenos peixes pelágicos usando técnicas hidroacústicas na plataforma de Rio Grande do Sul. Anais do I Simpósio Naval de Sonar; Arraial do Cabo; Rio de Janeiro, 2:1-19.
- CASTELLO JP, HABIAGA RP, AMARAL JC & LIMA JR ID.1991. Prospecção hidroacústica e avaliação da biomassa de sardinha e anchoita, na região sudeste do Brasil (outubro/novembro de 1988). Publicação Especial do Instituto Oceanográfico São Paulo, 8:15-29.
- HANSEN JE, MARTOS P & MADIROLAS A. 2001. Relationship between spatial distribution of the Patagonian stock of Argentine anchovy, Engraulis anchoita, and sea temperatures during late spring to early summer. *Fish Oceanogr*, 10(2):193-206.
- HANSEN J. 2000. Anchoíta *Engraulis anchoita*. In: Bezzi, P., Akselman, R., Boschi, E. (Eds.), Síntesis Del Estado De Las Pesquerías Marítimas En Argentina y La Cuenca Del Plata. Años 1997–1998, Con Actualización 1999: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP). Mar del Plata, pp. 205–216.
- JOLLY GM & HAMPTON I .1990. A stratified random transect design for acoustic surveys of fish stocks. *Can J Fis Aq Sci*, 47:1282–1291.
- LIMA ID & CASTELLO JP.1994. Distribuición y anbundancia de la anchoita (*Engraulis anchoita*) en la costa sur de Brasil. *Frente Marítimo*, 15:87-99.

- LIMA ID. & CASTELLO JP.1995. Distribution and abundance of South-west Atlantic anchovy spawners (*Engraulis anchoita*) in relation to oceanographic process in the southern Brazilian shelf. *Fish Oceanogr*, 4:1-16.
- LIMA ID, GARCIA CAE, & MÖLLER OO. 1996. Ocean surface processes on the Southern Brazilian shelf: characterization and seasonal variability. *Cont Shelf Res*, 16:1307-1317.
- MADUREIRA LASP, CASTELLO JP, PRENTICE-HERNÁNDEZ C, QUEIROZ MI, SANTO ML, RUIZ WA, ABDALLAH P, HANSEN J, BERTOLOTTI MI, MANCA E, YEANNES MI, AVDALOV N & AMORIN S. 2009. Current and potential alternate food use of the Argentine anchoita in Argentina, Uruguay and Brazil. In: Hasan, MR. (ed). Fish as feed inputs for aquaculture: practice, sustainability and implications. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 518. Rome, FAO.
- MARTOS JE, NEGRI RM & MADIROLAS A. 2005. Factores oceanográficos relacionados con la abundancia relativa de anchoita sobre la plataforma bonaerense(34°-41°S) durante la primavera. *Rev Investig y Desarro Pesq*, 17:5-33.
- MÖLLER OO, PIOLA AR, FREITAS AC & CAMPOS EJD. 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off Southeastern South America. Cont. Shelf Res, 28:1607-1624.
- PIOLA AR, MÖLLER OO, GUERRERO RA & CAMPOS EJD. 2008. Variability of the subtropical shelf front off eastern South America: Winter 2003 and summer 2004. *Cont Shelf Res*, 28:1639-1648.

VASCONCELLOS M, FREIRE KF & CASTELLO JP. 1998. Distribution patterns and feeding success of anchovy, *Engraulis anchoita*, larvae off southern Brazil. *Sci Mar*, 62(4):385-392.

Tabelas

Tabela 1 Resumo das análises MLG aplicadas à presença e densidade de anchoita.

			Variáveis explicativas									
Modelos Ajustados Modelo Binomial EY= μ η =log(μ /(1- μ)) var μ (1- μ)		Variável resposta (Y)	N	Cruzeiro (fator)	TSM	SSM	Temperatura de Fundo	Salinidade de Fundo	Profundidade	ΔТ	ΔS	
	1	Presença de anchoita em Junho	509	_	Х	Х	Х	Х	X		_	
Modelo	2	Presença de anchoita em Agosto	513		Х	Х	Х	Х	Х			
Binomial	2	Presença de anchoita em Agosto/										
EY=µ	З	Setembro	482		Х	Х	Х	Х	Х			
η=log(μ/(1–μ))	4	Presença de anchoita em Setembro	542		Х	Х	Х	Х	Х			
var μ(1–μ)	5	Presença de anchoita em Outubro	307		Х	Х	Х	Х	Х			
	6	Presença de anchoita em 2010	2353	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	
Modelos Gama EY=μ η=1/μ var Y=μ2/ν	7	Densidade de Anchoita (ton*mn ⁻²) Y>0	860	x	x	х	x	x	Х	х	х	

Variáveis preditoras	TSM	SSM	Temperatura de Fundo	Salinidade de fundo	ΔΤ	ΔS	Profundidade
TSM	1						
SSM	0.35	1					
Temperatura de Fundo	0.52	0.17	1				
Salinidade de fundo	0.17	0.45	0.51	1			
ΔΤ	-0.02	0.08	0.37	0.51	1		
ΔS	-0.09	-0.32	0.41	0.70	0.47	1	
Profundidade	0.06	0.40	0.38	0.86	0.45	0.59	1

Tabela 2 Matriz de correlação de Pearson entre todas as variáveis ambientais testadas no MLG binomial. Em negrito as variáveis com coeficiente de correlção >0,5.

Tabela 3-Modelos MLG binomial testados. Em negrito o modelo com menor valor de AIC.* interação entre as variáveis.

Presença de anchoita GLM family=binomial	AIC df
M1 TSM*SSM+Cruzeiro*SSM+Cruzeiro*TSM+Cruzeiro*Salinidade de fundo	1930.83 21
$M2 \ TSM*SSM+Cruze iro*SSM+Cruze iro*TSM+Cruze iro*\Delta T+Cruze iro*profund idade$	1720.30 26
M3 TSM*SSM+Cruzeiro*SSM+Cruzeiro*TSM+Cruzeiro*∆S	1926.56 21
M4 TSM*SSM+Cruzeiro*SSM+Cruzeiro*TSM+Cruzeiro*ΔT+Cruzeiro*ΔS	1782.72 26
M5 TSM*SSM+Cruzeiro*SSM+Cruzeiro*TSM+Cruzeiro*ΔT	2027.01 21
M6 TSM*SSM+Cruzeiro*SSM+Cruzeiro*Temperatura de fundo +Cruzeiro*ΔT+Cruzei	ro*ΔS 1876.85 27
M7 TSM*SSM+Cruzeiro*SSM+Cruzeiro*temperatura de fundo +Cruzeiro*ΔT+Cruzeir	ro*profundidade 1813.29 27

Coefficients:	Estimate	Std.Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	2.50873	5.72267	0.438	0.661108	
TSM	-1.03268	1.32703	-0.778	0.436459	
SSM	4.39392	1.2341	3.56	0.00037	***
factor(cruzeiro)2	18.88059	5.68122	3.323	0.000889	***
factor(cruzeiro)3	24.35853	6.20676	3.925	8.69E-05	***
factor(cruzeiro)4	-25.67598	4.64122	-5.532	3.16E-08	***
factor(cruzeiro)5	-11.39079	6.51644	-1.748	0.080463	
ΔΤ	-1.2816	0.57219	-2.24	0.025104	*
Profundidade	-0.79864	0.43385	-1.841	0.065648	
TSM:SSM	-0.44063	0.13246	-3.327	0.000879	***
SSM:factor(cruzeiro)2	-1.81939	1.05097	-1.731	0.083425	
SSM:factor(cruzeiro)3	-2.62667	1.14562	-2.293	0.02186	*
SSM:factor(cruzeiro)4	0.02282	1.04508	0.022	0.982578	
SSM:factor(cruzeiro)5	-0.89289	1.12537	-0.793	0.427533	
TSM:factor(cruzeiro)2	-1.88487	1.38264	-1.363	0.172805	
TSM:factor(cruzeiro)3	-2.40246	1.47367	-1.63	0.103046	
TSM:factor(cruzeiro)4	4.54773	1.1232	4.049	5.15E-05	***
TSM:factor(cruzeiro)5	2.29644	1.2589	1.824	0.068128	•
factor(cruzeiro)2:∆T	-0.47164	0.61445	-0.768	0.442732	
factor(cruzeiro)3:∆T	1.88651	0.65434	2.883	0.003938	**
factor(cruzeiro)4:∆T	2.0025	0.62442	3.207	0.001341	**
factor(cruzeiro)5:∆T	2.32499	0.60805	3.824	0.000131	***
factor(cruzeiro)2:Profundidade	-0.64476	0.5278	-1.222	0.221859	
factor(cruzeiro)3:Profundidade	-1.74624	0.59063	-2.957	0.003111	**
factor(cruzeiro)4:Profundidade	-1.14348	0.47791	-2.393	0.016727	*
factor(cruzeiro)5:Profundidade	-0.9307	0.50035	-1.86	0.062875	·
Null deviance	3089.5				
Residual Deviance	1668.3				
GL	2327				
AIC	1720.3				
Deviance explained	46%				
R-sq.(adj)	0.505				_

Tabela 4 Resumo dos resultados do modelo selecionado para presença de anchoita. **M2=TSM*SSM+Cruzeiro*SSM+Cruzeiro*TSM+Cruzeiro*ΔT+Cruzeiro*profundidade**

Cruzeiro 1=junho; Cruzeiro 2=Agosto; Cruzeiro 3= Agosto/Setembro;

Cruzeiro 4= Setembro; Cruzeiro 5= Outubro.

*Variáveis significativas p< 0,05.

Tabela 5 Matriz de correlação de Pearson entre todas as variáveis ambientais testadas para o MLG para densidade de anchoita. Em negrito as variáveis com coeficiente de correlação >0,5

Variáveis preditoras	TSM	SSM	Temperatura de Fundo	Salinidade de fundo	ΔT	ΔS	Profundidade
TSM	1						
SSM	0.20	1					
Temperatura de Fundo	0.50	-0.26	1				
Salinidade de fundo	0.10	0.45	0.19	1			
ΔΤ	0.38	0.24	0.12	0.54	1		
ΔS	-0.07	-0.43	0.43	0.61	0.33	1	
Profundidade	0.00	0.38	0.00	0.82	0.38	0.50	1

Tabela 6 Modelos MLG Gamma testados para variável densidade de anchoita. Em negrito o modelo com menor valor de AIC.

	Densidade de anchoita (ton/nm2) MLG family=Gamma	AIC	gl
M1	cruzeiro+ SSM+ TSM + Salinidade de fundo	8294	9
M2	cruzeiro + SSM + TSM + Δ T+ Δ S +Profundidade	8292	11
M3	cruzeiro +SSM + Temperatura de fundo + Salinidade de fundo	8272	9
M4	cruzeiro + SSM + Temperatura de fundo+ΔT+ ΔS +Profundidade	8260	11
M4.1	cruzeiro + SSM+ Temperatura de fundo +ΔT+ ΔS	8258	10

Tabela 7 Resumo dos resultados do modelo MLG Gamma selecionado para densidade de anchoita.

M4.1 Cruzeiro+SSM+Temp	eratura de	fundo+∆T+	-ΔS		
Coefficients:	Estimate	Std Error	z value	Pr(>lzl)	
	Lotiniato	Old.End	2 10100	11(* [4])	=
(Intercept)	4.10	1.06	3.86	0.000	***
factor(cruzeiro)2	1.81	0.50	3.64	0.000	***
factor(cruzeiro)3	0.65	0.38	1.73	0.084	
factor(cruzeiro)4	-1.66	0.36	-4.61	0.000	***
factor(cruzeiro)5	-1.25	0.37	-3.42	0.001	***
SSM	0.88	0.10	8.40	< 2 E-16	***
Temperatura de Fundo	-0.80	0.14	-5.65	0.000	***
ΔΤ	-0.43	0.12	-3.66	0.000	***
ΔS	0.37	0.12	3.02	0.003	**
Null deviance	3721.9				
Residual Deviance	2801.2				
GL	851				
AIC	8258				
Deviance explained	25%				

Figuras



Figura 1 Distribuição da biomassa por classe de tamanho da anchoita nos cruzeiros (A-E). Percentual da área do cruzeiro ocupada por anchoita e densidade de anchoita nos cruzeiros (F).



Figura 2-Intervalos de temperatura e salinidade registrados na superfície e no fundo para cada cruzeiro. A barra cinza corresponde à amplitude de observação dos dados e a barra preta a amplitude de temperatura em que a anchoita ocorreu. A1= junho; A2=agosto; A3=agos/set.; A4=setembro e A=outubro.



Figura 3-Predição dos efeitos da interação entre TSM e SSM na probabilidade de presença da anchoita detectadas pelo modelo MLG selecionado. Somente uma variável foi modificada por vez, fixando as demais variáveis na média.



Figura 4-Predição dos efeitos das variáveis temperatura (A) e salinidade (B) em estrato superficial, $\Delta T(C)$ e profundidade (D) na probabilidade de presença da anchoita detectada pelo modelo MLG selecionado. Somente uma variável foi modificada por vez, fixando as demais variáveis na média. A1: junho; A2:agosto; A3:agos/set.; A4:setembro e A5: outubro.



Figura 5-Predição dos efeitos das variáveis salinidade superficial (A) e temperatura de fundo(B) na densidade da anchoita detectadas pelo modelo MLG selecionado. Somente uma variável foi modificada por vez, fixando as demais variáveis na média. . A1: junho; A2:agosto; A3:agos/set.; A4:setembro e A5: outubro.

CAPÍTULO 5 – Aves marinhas, variáveis ambientais e *Engraulis anchoita* no Atlântico Sudoeste.

Manuscrito "Seabirds, environmental features and the anchovy (*Engraulis anchoita*) in the Southwest Atlantic Ocean" em revisão na revista Marine Ecology Progress Series (MEPS) (Anexo 2).

Resumo

No presente capítulo foram avaliadas a variabilidade da presença e densidade das aves marinhas, separando as aves voadoras dos pinguins (Spheniscus magellanicus), ao longo de cinco cruzeiros realizados entre junho e outubro de 2010, sobre a plataforma continental sul da costa do Rio Grande do Sul. Os dados de aves marinhas foram coletados simultaneamente com os dados ambientais e de densidade de anchoita. MLG foram ajustados para testar o efeito das variáveis ambientais e da densidade de anchoita sobre a presença e densidade das aves marinhas. A temperatura da água em estratos superficiais foi significativa para a presença das aves voadoras enguanto que a estratificação, em termos de temperatura e salinidade da água (ΔS and ΔT), foram significativas para a densidade destas aves. A salinidade, a temperatura da água no fundo e a densidade de anchoita foram significativos para a presença de pinguins, enquanto que para a densidade destas aves, foram significativas apenas as variáveis temperatura de fundo e a densidade da anchoita.Baseados nos valores de AAIC o fator mais importante para explicar a densidade de aves voadoras foi AS, e para os pinguins, a densidade da anchoita. Os resultados deste capítulo destacam a influência da Frente Subtropical de Plataforma como uma feição chave para agregação das aves

voadoras. A intrusão de águas frias em extratos de profundidade destaca a importância de águas de origem subantártica para explicar a presença dos pinguins, sendo que a densidade destes está fortemente relacionada a áreas com alta densidade de anchoita.

CAPÍTULO 6 – Discussão final e Conclusões

No presente estudo aspectos físicos e biológicos relacionados às condicionantes ambientais e à abundância de anchoita foram investigados no ecossistema da plataforma continental sul do Rio Grande do Sul (PCSRS) e revelaram uma significativa variabilidade entre os meses de junho e outubro de 2010. As variações nas características hidrográficas deste ambiente foram primariamente detectadas pelas diferenças de temperatura e salinidade da água, medidas nos cruzeiros de junho e agosto. Essas alterações, de acordo com as observações dos cruzeiros, estiveram relacionadas à intrusão de águas frias, de origem subantártica em estratos de fundo e, águas de baixa salinidade, da Pluma do Rio da Prata (PRP) em estratos de superfície. Esta transição, observada em um curto intervalo de tempo, foi acompanhada por um aumento na densidade do zooplâncton e por um incremento na abundância de anchoita, que por sua vez favoreceu diretamente a presença e a densidade do pinguim de Magalhães na região.

De acordo com os resultados dos modelos ajustados, águas com baixa salinidade e relativamente frias (PRP), foram significativas para a densidade de zooplâncton, presença e densidade de anchoita, e presença das aves voadoras. Águas com temperaturas inferiores a 16°C, bem como o percentual de contribuição da PRP, tiveram efeito positivo para a densidade do zooplâncton na região do presente estudo. Temperaturas superficiais inferiores a 14°C apresentaram efeito positivo na probabilidade de ocorrência de anchoita e salinidades superficiais entre 30 e 32 tiveram efeito positivo tanto para a presença como para a densidade de anchoita. Da mesma forma, temperaturas

superficiais inferiores a 14°C tiveram efeito positivo também na presença das aves voadoras. Esses resultados reforçam a importância das águas enriquecidas da PRP, como já reportado na literatura para esta região (Ciotti et al, 1995; Odebrecht & Garcia ,1997; Muelbert et al, 2008). O aporte de nutrientes das águas do Rio da Prata e, em menor escala da Lagoa dos Patos, tem influência significativa na produção biológica nas áreas costeiras adjacentes (Garcia & Garcia, 2008). Os processos de fertilização nesta região sazonais e influenciados pela hidrodinâmica da plataforma que são disponibiliza nutrientes para a camada eufótica e induz a produção fitoplanctônica (Ciotti et al, 1995). Braga et al (2008) em estudo sobre a distribuição de nutrientes na região observaram maiores concentrações de fosfato no inverno, bem como uma relação das concentrações do silicato com baixos níveis de salinidade, os quais foram atribuídos à contribuição de águas de origem continental. No caso da PCSRS, águas da PRP e da lagoa dos Patos configuram importantes sistemas de intrusão de nutrientes sobre a plataforma. Ainda de acordo com esses autores os maiores valores de nitrato no inverno foram atribuídos à presença de águas de origem subantártica. Estes aportes de nutrientes, expressos de forma mais evidente nos meses de inverno e primavera, favorecem um aumento na produção primária (Ciotti et al, 1995), desencadeando um enriquecimento biológico com reflexo também na produção nos níveis tróficos subsequentes.

De acordo com Muelbert *et al.* (2008) na plataforma continental do atlântico sudoeste, as maiores abundâncias de copépodes, ovos e larvas de peixes foram encontradas nas regiões costeiras, atingindo valores máximos no inverno. Os autores sugerem que a distribuição de clorofila-a e a abundância

de copépodes e do ictioplâncton estão fortemente relacionadas à presença da PRP. De forma complementar às observações de Muelbert *et al* (2008), os resultados apresentados nesta tese apontam para uma forte influência das águas de baixa salinidade nos componentes do zooplâncton, para a anchoita e para as aves marinhas, reforçando a importância do aporte de águas de origem continental nos processos de enriquecimento na PCSRS, particularmente, no inverno e primavera.

Anchoitas são filtradoras oportunistas do meso e do macrozooplânton. A distribuição e abundância destes organismos pode ser um indicativo da disponibilidade de alimento para este pequeno peixe pelágico. Os grupos Calanoida, Cladocera, Cyclopoida, Cheatognata e *Oikopleura* sp. foram os mais abundantes nas amostragens, chegando a contribuir com 98,6% da densidade total de zooplâncton, nas amostragens no cruzeiro de setembro. Dentre os grupos de zooplâncton observados, destaca-se a sobreposição das densidades de eufasiáceos e *Oikopleura* sp. com áreas de ocorrência de anchoita em regiões de profundidades superiores a 50 m e no setor sul da área amostrada.

Em função da diferença na resolução entre os dados de densidade de anchoita, estimados com acústica e os dados de amostragem do zooplâncton, não foi possível testar, por meio de inferências estatísticas, a segunda hipótese proposta no trabalho, de mensurar como variações nas densidades de anchoita estariam condicionadas às variações na densidade do zooplâncton. As amostragens acústicas permitiram obter valores de densidade de anchoita a cada milha náutica quadrada, enquanto que as densidades de zooplâncton foram provenientes de amostras espaçadas a cada 20 mn. Apesar de não

terem sido realizados testes estatísticos relacionando as duas informações, os resultados indicam que tanto a densidade de zooplâncton quanto a presença de anchoita apresentaram efeito positivo em águas superficiais com menores temperaturas e salinidades, e, portanto esses dois componentes estariam respondendo a uma mesma fonte de variação, neste caso ao enriquecimento ambiental em função da presença da PRP.

Os MLG ajustados para densidade de anchoita no ano de 2010 apontam que as variáveis ambientais referentes a características físicas da água (temperatura e salinidade) explicaram apenas 25% da variabilidade nas densidades deste pequeno pelágico, de forma que é possível sugerir que fatores como a disponibilidade de alimento poderiam estar contribuindo dentro dos 75% da variabilidade não explicada pelos modelos. O fato de que grupos como eufásiaceos e Oikopleura sp serem frequentes em áreas de ocorrências de anchoita e, citados na bibliografia como importantes itens alimentares na dieta deste peixe (Capitanio et al. 1997, 2005; Schwingel, 1998; Spinelli et al. 2013), indica uma possível associação entre esses componentes e a densidade de anchoita no ecossistema da PCSRS. Esses resultados são preliminares e descritivos e, portanto, estudos mais refinados são necessários para investigar se e como de fato a distribuição, abundância e biomassa de espécies do zooplâncton podem afetar diretamente a distribuição e a densidade da anchoita. Uma alternativa para o desenvolvimento do conhecimento das relações entre predadores e presas neste sistema seriam trabalhos amostrais que permitissem uma resolução de dados de zooplâncton em uma escala compatível com as amostragens acústicas, o que permitiria avaliar as relações de biomassa de anchoita e a biomassa de zooplâncton.

Outro aspecto importante é o direcionamento de esforços para caracterizar os grupos mais abundantes na PCSRS, tais como os copépodes, cladóceros, eufasiáceos e *Oikopleura* sp. Descrever como as diferentes espécies do zooplâncton, que configuram potenciais presas de anchoita, estão distribuídas agregará conhecimento para entender como se estabelecem as relações com a distribuição da anchoita na região.

A variabilidade das aves marinhas frente às variáveis ambientais e densidade de anchoita foi testada através de modelos MLG separadamente para aves voadoras e para o Pinguim de Magalhães. A densidade da anchoita foi particularmente significativa e com efeito positivo para a presença e densidade do pinguim de Magalhães. Assim como observado para a anchoita, as baixas temperaturas da água de fundo apresentaram um efeito positivo sobre a presença e densidade de pinguins. Estes resultados indicam que os pinguins e a anchoita responderam a um mesmo processo de enriquecimento observado na região, a saber, a intrusão de águas subantárticas em estratos de fundo. Os resultados induzem a corroboração da hipótese de que as variações na densidade de aves (no caso para o pinguim) são condicionadas pelas variações na densidade de anchoita, sugerindo então que os pinguins se agregaram em regiões com maiores densidades de anchoita, fato esse já observado em estudos da plataforma Argentina. (Boersma *et al*, 1990; Boersma, 2008, Boersma *et al*, 2009).

As aves voadoras foram principalmente representadas pelo albatroz-desobrancelha (*Thallassarche melanophris*), pela pardela-preta (*Procellaria aequinoctialis*) e pelas *Sterna* spp as quais dominaram em frequência e abundância nas amostragens. A presença das aves voadoras esteve

condicionada a menores temperaturas da água na superfície, enquanto as maiores densidades destas aves estiveram condicionadas a águas verticalmente estratificadas, em termos de salinidade e homogêneas termicamente. Uma das hipóteses para esta observação é que a estabilidade na coluna de água, devido à estratificação halina, primariamente relacionada à presença de águas de baixa salinidade da PRP nas camadas superficiais, proporcione uma maior disponibilidade de alimento para as aves nas camadas superficiais.

Além do olfato muitas espécies de aves marinhas utilizam a visão para localizar suas presas (Nevitt *et al*, 1999; Davoren *et al*, 2003). Assim sendo, sugere-se que a relação positiva das aves com a estratificação halina seja uma resposta a uma visível disponibilidade de alimento para aves voadoras proporcionada pela estabilização da coluna de água. Sugere-se que sejam realizados estudos direcionados a investigar a disponibilidade de alimentos e a presença dessas aves nas regiões com intensa estratificação salina. Uma alternativa é identificar áreas com estratificação (vertical e horizontal) e planejar amostragens para estimar a biomassa de alimento e densidade de aves sobre estes setores e em áreas adjacentes. Desta forma seria possível mensurar e comparar se a densidade de aves de fato aumenta em regiões com maior influência de frentes. De forma complementar, registrar o comportamento das aves durante as avistagens, possibilitaria buscar padrões de alimentação em áreas com maior disponibilidade de alimento associado às frentes.

Diante dos resultados apresentados conclui-se, com base nas variáveis ambientais analisadas, que a presença das águas de origem subantártica somadas ao aporte de águas da Pluma do Rio da Prata na PCSPRS

propiciaram um efeito positivo na densidade de zooplâncton, bem como na presença e densidade de anchoita e das aves marinhas. A redução na temperatura e na salinidade da água detectada na PCSRS estabeleceu-se em um período de cinco meses, considerando um processo dinâmico de intrusão e recuo de diferentes águas. Essa mudança, fortemente evidenciada entre os meses de junho e agosto refletiu em um efeito positivo para os três níveis tróficos analisados neste trabalho. É importante destacar que os resultados apresentados representam um panorama de inverno e primavera, dentro de um processo dinâmico que varia ao longo tempo. Um monitoramento de longo prazo, acompanhando os processos físicos de deslocamento das massas de água, simultaneamente com coleta de dados padronizada poderia esclarecer e quantificar de forma mais precisa como os processos oceanográficos influenciam simultaneamente a variabilidade do zooplâncton, da anchoita e das aves marinhas. Trabalhos desta natureza deveriam ser desenvolvidos em larga escala, abrangendo toda a plataforma de ocorrência do estoque bonaerense da anchoita, que já é explotada na Argentina e que, representa para o Brasil a única fonte importante de proteína marinha ainda não explorada.

Referências bibliográficas

- BOERSMA PD, STOKES D L & YORIO P .1990. Reproductive variability and historical change of Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) at Punta Tombo, Argentina, in Biology of Penguins, L.Davis and J.Darby, Eds., pp. 15–43,MacMillan,New York, NY, USA.
- BOERSMA PD. 2008. Penguins as marine sentinels. BioScience, 58(7):597-607.

- BOERSMA PD,REBSTOCK GA,FRERE E & MOORE E.2009. Following the fish: penguins and productivity in the South Atlantic. *Ecol Monogr*, 79(1):59–76.
- BRAGA ES, CHIOZZINI VC, BERBEL GBB, MALUF JCC, AGUIAR VMC, CHARO M, MOLINA D, ROMERO SI, EICHLER BB. 2008. Nutrient distributions over the Southwestern South Atlantic continental shelf from Mar del Plata (Argentina) to Itajaí (Brazil): Winter-summer aspects. *Cont Shelf Res*, 28:1649-1661
- CAPITANIO FL, PAJARO M & ESNAL GB. 2005. Appendicularians: an important food supply for the Argentine anchovy *Engraulis anchoita* in coastal waters. *J Appl Ichthyol*, 21(5):414-419.
- CAPITANIO FL, PÁJARO M, ESNAL GB. 1997. Appendicularians (Chordata, Tunicata) in the diet of anchovy (*Engraulis anchoita*) in the Argentine Sea. *Sci Mar*, 61:9–15.
- CIOTTI ÁM, ODEBRECHT C, FILLMANN G, MOLLER OO. 1995.Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. *Cont Shelf Res*, 15(14):1737-1756.
- DAVOREN GK, MONTEVECCHI WA & ANDERSON JT.2003.Distributional patterns of a marine bird and its prey: habitat selection based on prey and conspecific behaviour. *Mar Ecol Prog Ser*, 256:229-242.
- GARCIA CAE & GARCIA VMT.2008. Variability of chlorophyll-a from ocean color images in the La Plata continental shelf region. *Cont Shelf Res,* 28:1568-1578.

MUELBERT JH, ACHA M, MIANZAN H., GUERRERO R, RETA R, BRAGA ES, GARCIA VMT, BERASATEGUI A, GOMEZ-ERACHE M & RAMÍREZ F. 2008. Biological, physical and chemical properties at the Subtropical Shelf Front Zone in the SW Atlantic. *Cont. Shelf Res*, 28:1662-1673.

- NEVITT G .1999. Olfactory foraging in Antarctic seabirds: A species-specific attraction to krill odors. *Mar Ecol Prog Ser*, 177:235–241.
- ODEBRECHT, C. & GARCIA, V.M.T. 1998. Fitoplâncton. In Seeliger, U.,
 Odebrecht, C. & Castello, J.P. (eds). Os Ecossistemas Costeiro e Marinho
 do Extremo Sul do Brasil .Editora Ecoscientia, Rio Grande, p. 117-121.
- SCHWINGEL RP & CASTELLO JP. 1994. Alimentación de la anchoíta (*Engraulis anchoita*) en el sur de Brasil. *Frente Marítimo*, 15 (A):67-86.
- SCHWINGEL PR. 1998. Feeding ecology of *Engraulis anchoita* (Hubbs & Marini, 1935) in Brazilian waters (22° to 34°S). Doctoral Thesis in Science, Faculty of Biology, Federal University of Hamburg, Hamburg, 204 pp.
- SPINELLI M, GUERRERO R, PÁJARO M & CAPITANIO F. 2013. Distribution of *Oikopleura dioica* (Tunicata, Appendicularia) associated with a coastal frontal system (39°- 41°S) of the SW Atlantic Ocean in the spawning area of *Engraulis anchoita* anchovy. *Brazilian J Oceanogr*, 61(2):141-148.

ANEXO 1

Artigo Costa, P. L., Valderrama, P. R. C. & Madureira, L. A. S. P. "Relationships between environmental features, distribution and abundance of the Argentine anchovy, *Engraulis anchoita*, on the South West Atlantic Continental Shelf". *Fish. Res.* 173(2016):229-235. doi:10.1016/j.fishres.2015.07.008.

AFTICLE IN PRESS

Fisheries Research xxx (2015) xxx-xxx



Contents lists available at ScienceDirect

Fisheries Research



Relationships between environmental features, distribution and abundance of the Argentine anchovy, *Engraulis anchoita*, on the South West Atlantic Continental Shelf

Paloma Lumi Costa^{a,*}, Pedro Ramiro Castillo Valderrama^{a,b}, Lauro Antônio Saint Pastous Madureira^a

^a Fisheries Technology and Hydroacoustics Lab, Institute of Oceanography, Federal University of Rio Grande (FURG), Campus Carreiros Av. Itália km 8, Bairro Carreiros, Rio Grande do Sul, Brazil
^b IMARPE– Instituto del Mar del Perú, Peru

ARTICLE INFO

Article history: Received 26 January 2015 Received in revised form 6 July 2015 Accepted 7 July 2015 Available online xxx

Keywords: Small pelagic fish Temperature Salinity Acoustic biomass

ABSTRACT

Marine fisheries in Brazil follow a similar trend as the rest of the world, with reduced catches of most stocks. Although extensive, the Brazilian coast is poorly assessed, and marine fishery resources are not properly managed. Small pelagic fishes are secondary consumers, which feed on zooplankton and serve as foraging species for large, carnivorous fishes. The anchovy (Engraulis anchoita) is an abundant, small pelagic fish found in abundance in Brazilian waters as it migrates along the Brazilian, Uruguayan and Argentine shelves. In 2010, five acoustic assessment cruises were conducted to estimate anchovy biomass in the southernmost part of the Brazilian coast. Hydroacoustic data were obtained using a SIMRAD EK 500 echo sounder along parallel transects. CTD (conductivity temperature depth) casts and mid-water trawl hauls were used to collect environmental and biological data. Anchovy biomass was estimated using NASC values, the fish target strength by size and the dimension of the surveyed area. For each survey, a GLM binomial was fitted to anchovy presence and the following explanatory variables: surface salinity and temperature, bottom salinity and temperature, and depth. Anchovy biomass ranged between 73,000 (June) and 814,000 (August) tons. We observed a mean temperature decrease of ~3 °C during the June and August surveys. This sharp environmental change was followed by a distinct increase in adult anchovy biomass from the first to the second survey. Fitted GLM models indicated that the bottom layers of cold, saline water had a positive effect on anchovy presence in August but not in June. Furthermore, during the August survey, a sharp change in the surface layer waters was observed on the Southern Brazilian Shelf, as the result of a low-salinity water inflow to this area. This phenomena was due to the Patos Lagoon runoff and also to the coastal winds over the Argentine Shelf, which forces the northward spreading of the Plate River plume to lower latitudes. This inflow increases primary productivity and, subsequently, the occurrence of fishes within the area.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

The genus *Engraulis* supports the world's largest fishing catch based on a single species; the anchoveta (*Engraulis ringens*) yields catches from 7 to 10 million tons annually along the Peruvian coast (SOFIA, 2012). The Argentine anchovy (*Engraulis anchoita*), hereafter called anchovy, inhabits the Southwest Atlantic Ocean on the other side of South America. It has attracted the attention of fishing companies and researchers because of its abundance and currently

http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2015.07.008 0165-7836/© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved. low levels of commercial exploitation. In addition, it is an important food item for many commercially exploited animals, including seabirds and mammals (Castello and Castello, 2003; Velasco and Castello, 2005). This small pelagic fish is widely distributed over the shelf in the Southwest Atlantic Ocean from Rio de Janeiro (22°S) to San Jorge Gulf (47°S) (Bakun and Parrish, 1991; Castello, 2007; Hansen, 2004).

Annual abundance estimates vary between 600,000 and 4.5 million tons, with significant regional and yearly variations in biomass along the continental shelves of Argentina, Uruguay and Brazil (Hansen, 2000; Madureira et al., 2009). Argentina currently exploits this resource commercially, with a maximum allowable catch of 120,000 tons per year (Argentina, 2014; Hansen et al.,

^{*} Corresponding author.

E-mail address: paloma.lumi@gmail.com (P.L. Costa).

2

P.L. Costa et al. / Fisheries Research xxx (2015) xxx-xxx

2014) and with certified vessels operating within a sustainable fishery (Prenski et al., 2011). In Brazil, this resource has been studied since the 1980s (Castello and Habiaga, 1982; Castello et al., 1991; Lima and Castello 1994, 1995), when the acoustic estimates were at a maximum of 1,928,516 tons in September 1988 (Lima and Castello, 1995). In 2005, the estimates varied between 597,000 and 754,000 tons (Madureira et al., 2009). The most recent anchovy biomass estimates in Brazil are reported in this paper and are based on five acoustic cruises conducted in 2010. Despite its abundance, the anchovy is still not commercially exploited in Brazil.

The southeastern Brazilian continental shelf is positioned within the subtropical convergence, where the cold, northward-flowing waters of the Falklands/Malvinas current converge with the warm, southward-flowing waters of the Brazilian current (Emilson, 1961; Miranda, 1972). Two distinct water masses occupy the subsurface shelf layers: the cold, fresh Sub Antarctic Shelf Water (SASW) derived from the Patagonia continental shelf and the warm, salty Subtropical Shelf Water (STSW), which is primarily influenced by the Brazilian current (Piola et al., 1999, 2000). A third, low-salinity water mass was found in the surface layer and is derived from the La Plata River outflow, which discharges an average of 23,000 $m^3\,s^{-1}$ and is the main input of freshwater to the western South Atlantic (Piola et al., 2005; Möller et al., 2008). This water mass, referred to as the Plata Plume Water (PPW) (Möller et al., 2008), fertilizes the southern Brazilian shelf, which is one of the most important fishery zones along the Brazilian coast (Castello et al., 1990). In the winter, an important portion of the adult anchovy stock moves from the Uruguayan and Argentine continental shelves onto the southern sector of the Brazilian continental shelf, which is associated with the cold water intrusion from the coastal branch of the Malvinas current, Lima and Castello (1995) recorded high anchovy biomass associated with subantarctic water masses in the same geographical area.

Anchovy populations, similar to other small pelagic fishes, are subject to considerable fluctuations that are primarily associated with changes in the natural mortality rates induced by environmental variability (Cushing, 1988). The present study measured anchovy biomass and environmental variables (e.g., temperature and salinity) along a sequence of five cruises to assess the effects of different environmental variables on the presence and distribution of juvenile and adult in the Brazilian sector of the Southwest Atlantic Ocean.

2. Materials and methods

2.1. Acoustic surveys

Five acoustic assessment surveys were conducted between June and October 2010 to estimate the anchovy biomass along the southernmost part of the Brazilian coast. Surveys were conducted onboard the R/V *Atlântico Sul* between 30°S and 34°S and between the 15- and 100-m isobaths. Fig. 1 presents the survey designs that were used to collect acoustic, biological and environmental data, exclusively during day light hours. June and August surveys followed the same survey design (Fig. 1a), whereas the third survey, between late August and early September was conducted farther north, to detect the presence of anchovy in the northern limit of the coolest water in the area (Fig. 1b). Two additional surveys were conducted during September and October in the southern area, as far south as the border with Uruguay (Fig. 1c).

2.2. Acoustic and biological data

Hydroacoustical data were obtained along parallel transects (Fig. 1) using a SIMRAD EK 500 echo sounder operating at 38 and



Fig. 1. Survey design environmental stations distribution along transects. (A) Survey design for June and August surveys; (B) Survey design for August/September survey; (C) Survey design for September and October cruises. The left corner of panel B highlights inter-transect distances for biomass acoustic estimates.

120 kHz frequencies. Transducer was positioned 3 m below the sea surface, the echo sounder was calibrated using a 38-mm tungsten carbide sphere following Foote (1982). Mid-water hauls were conducted to catch small pelagic fishes using a trawl with square and wings comprising 400 mm meshes, a body with 50 mm meshes, a cod end with 20 mm meshes and a 12 m vertical opening. Along hauls trawl depth and fish movements were monitored using a SAMYUNG ENC net sounder (model SYN-200CR). Samples were separated by species, measured and weighed onboard, where the total catch was also quantified. Fish species were identified following Figueiredo and Menezes (1978, 2000) and Menezes and

P.L. Costa et al. / Fisheries Research xxx (2015) xxx-xxx

Figueiredo (1980). Adult anchovy were identified as individuals over 10 cm in length (Lt) (Acuña and Castello, 1986).

Acoustic backscatter data from 38 kHz, which is proportional to anchovy density, were available within 1-nautical mile intervals (elementary sampling distance units [ESDU]) and fixed to all cruises. During data processing, every ESDU had allocated to it the nearest mid water trawl haul data. The software program Echoview 4.1 was used to process nautical area backscattering coefficients (sA) for every ESDU, from 3 m below the sea surface to 1 m above the seabed. The theoretical target strength (TS) versus log-length relationship (TS = $20 \log Lt - 70.9$) was used, according to MacLennan et al. (1998).

Anchovy biological densities (tons per square nautical mile) were calculated as $\rho = \Sigma (s_A/(4\pi \times \sigma_{bs})) \times fi \times Wi$, where σ_{bs} is the backscattering cross-section ($\sigma_{bs} = 10^{0.1 \times TS}$), fi is the frequency of the ith length class, and Wi is the weight of the ith length class. Anchovy biomass estimations followed Jolly and Hampton (1990) method: biomasses were calculated per ESDU considering $s_A \times A$, where the area *A* varies according to the distance between transects (Fig. 1b). In this study, distance between transects was 15 nm for all surveys. Total survey biomass was the sum of all 15 nm² for each respective ESDU.

2.3. Environmental data

A minimum of 20 and a maximum of 32 oceanographic stations were sampled along the five acoustic surveys (Fig. 1). Distance between stations was less than 20 nm, with temperature and salinity measured from the sea surface to approximately 4 m above the seabed, using a CTD Ocean Seven 316, IDRONAUT. The mean cruise temperature, mean surface and bottom temperatures as well as salinity values were calculated from the CTD dataset. A failure in the CTD during the October cruise reduced the number of stations to twenty.

Surface temperature and salinity as well as bottom temperature and salinity were interpolated to the central point of every nautical mile along all transects via the Kriging method. These midpoints correspond to the mid positions (latitude and longitude) of the ESDUs for which the anchovy density values were calculated. The Kriging method was also used to extrapolate temperature and salinity in spatial maps of the surveyed areas.

2.4. Statistical analysis

Generalized linear models (GLMs) were fitted to examine the potential association of anchovy presence with environmental variables along track intervals. The assumption was that the presence of anchovy acoustic records in one nautical mile (yi) (i=1, 2,..., n)(yi=1) or not (yi=0) would be affected by the recent intrusion of a cold water mass in the area. To test this hypothesis, we fitted the presence of anchovy (yi=1) with five explanatory variables: surface and bottom temperature (°C), surface and bottom salinity, and depth. The probability distribution model applied f(Y) was binomial with a log link function. The initial model contained all covariates that were optimized with backward selection using a reduction in Akaike's information criterion (AIC) (Akaike, 1974) as an indicator of model improvement and included only significant variables (p value < 0.05). A pseudo-determination coefficient (pseudo-R2) was calculated to examine the fraction of the total variability explained by the selected model. This coefficient was calculated as 100 × ([null deviance - residual deviance]/null deviance) according to Zuur et al. (2009). The program R v.3.1.0 (R Development Core Team, 2014) was used for model fitting.

3. Results

3.1. Biomass estimation

Anchovy biomass estimates varied from a minimum of 72,750 tons during the June survey to a maximum of 814,016 tons during the August survey (Table 1) when the mean depth of the anchovy schools was around 25 m. Both cruises had identical survey designs; however, the second survey biomass was eleven times larger than the first one, within a time interval of 2 months. In addition, during the June survey, 54% of the estimated biomass was composed of fish larger than 100 mm, in contrast to 95% during the August survey.

Estimated anchovy biomasses were high in the subsequent surveys but values were not as high as those obtained on the second cruise. The third survey track was farther north (Fig. 1b) and differences in the anchovy biomass values were observed. The 317,354 tons estimated during this cruise increased to 599,943 tons and 443,069 tons during September and October, respectively, when the cruise tracks were displaced to the south again (Table 1). Along the August/September survey, the proportion of adult anchovy in the total anchovy biomass was 62% and decreased to 52% and 45% during the September and October surveys, respectively.

High anchovy biomass values were recorded more frequently along the southern tracks (Fig. 2). In June, the anchovy distribution was limited to the 50-m isobath, but two months later (August survey) this species was distributed over the inner shelf with dense off-shore concentrations in the south, towards the 100-m isobath. During the September and October surveys, anchovy high densities were homogeneously distributed on the continental shelf (Fig. 2).

3.2. Environmental data

3.2.1. Temperature

The average seawater temperature across the whole water column, for all five cruises, varied from 13.95 °C during August to 16.65 °C in June (Table 1). The lowest and highest values were 10 °C and 20.7 °C in September and June, respectively.

Sea surface temperature varied between a minimum of $11.1 \,^{\circ}$ C in September and a maximum of $17.6 \,^{\circ}$ C in October. During the June survey, the continental shelf was occupied by warm water with temperatures between $14.3 \,^{\circ}$ C and $17.3 \,^{\circ}$ C; the highest values were in the northern sector. In August (second survey), surface temperatures dropped in all surveyed areas with values from $11.5 \,^{\circ}$ C to $13.3 \,^{\circ}$ C. In August/September (third survey), transects were dislocated northwards, and the sea surface temperature increased from $13.5 \,^{\circ}$ C to $16.3 \,^{\circ}$ C. Cold surface waters occurred only in the southern sector in September (fourth survey) (Fig. 2). In October (fifth survey), cold waters were not present along the surface; sea surface temperatures were higher (between $14.6 \,^{\circ}$ C and $17.6 \,^{\circ}$ C) with a scenario similar to the first survey in June (Table 1).

Bottom temperatures and anchovy densities from the five surveys are shown in Fig. 3. In June, the bottom temperature varied between 14.8 °C and 19.7 °C, with warmer waters in the northern sector (Fig. 3). In August, bottom temperatures were lower and varied from 11.0 °C to 18.5 °C. Fig. 3 highlights a cold-water intrusion along the inner shelf but spread over the entire shelf in the southern sector. In September (Fig. 3), the northern limit of the bottom cold waters was positioned in higher latitudes than the previous survey, which indicates that the intrusion had begun to retreat to the south. Interpolated bottom temperatures showed that during the September survey, cold waters dominated almost half of the surveyed area. During the October survey, despite the lack of CTD data in the northern sector, there was a core of cold water smaller than in the previous cruise in the south.

Please cite this article in press as: Costa, P.L., et al., Relationships between environmental features, distribution and abundance of the Argentine anchovy, Engraulis anchoita, on the South West Atlantic Continental Shelf. Fish. Res. (2015), http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2015.07.008

ARTICLE IN PHES

P.L. Costa et al. / Fisheries Research xxx (2015) xxx-xxx

4 Table 1

Summary of date, depth, class length (cm), biomass (total and adult anchovy) to each survey, temperature, and salinity.

Surveys 2010	Date		Depth (m) Class leng		gth (cm) Biomass (to		on)		Temperature (°C)	Salinity	
	Start	End	Min	Max	Min	Max	Total	Lt (>10 cm)	%	$Mean\pmsd$	$Mean\pm sd$
lune	22/06/2010	29/06/2010	113	117	3-3.5	14-14.5	72,750	39,004	53.6	16.7 ± 1.3	32.6 ± 1.9
June	22/00/2010	18/08/2010	11.5	118	5-5.5	17.5-18	814,016	773,086	95.0	14.0 ± 2	32.2 ± 2.7
August /Combornaborn	21/08/2010	06/00/2010	10.6	104 1	65-7	155-16	317,354	197,433	62.2	16.1 ± 1.3	33.5 ± 2.5
August/September	16/00/2010	26/09/2010	12.4	122.8	3-35	165-17	599,943	310,809	51.8	14.2 ± 2.3	33.0 ± 1.8
October	04/10/2010	10/10/2010	12.4	116.4	4-4.5	16.5-17	443,069	199,867	45.1	14.5 ± 1.6	32.2 ± 1.9



Fig. 2. Sea surface temperature (°C) interpolated for each survey. Black dots indicate adult anchovy densities estimated vertically and within 1-nm intervals.



Fig. 3. Distribution of the bottom temperature (°C) during each survey. Black dots indicate adult anchovy densities, estimated vertically integrated along 1-nm intervals.

3.2.2. Salinity

The minimum salinity value was recorded during the August survey (19.5) followed by the September cruise (21.3), with a maximum value of 36.3. At the surface, salinity values were lower than in the bottom. The mean surface salinity dropped sharply from 30.3 to 27.8 between the first (June) and the second (August) survey. During the remaining three surveys, salinity values were approximately 29.5 (third survey) and 29.9 (October survey) (Fig. 4). In the bottom, mean salinity varied little between a minimum of 32.2 in the last survey (October) and 34.0 in the third survey (August/September) (Fig. 5).

3.3. Anchovy and environmental variables

The fitted GLM models differed among the five surveys (Table 2). In the first cruise, bottom salinity and bottom depth were included in the selected model (pseudo- $R^2 = 40$). In the August survey, surface salinity was the only environmental variable that was not

included in the adjusted model. During the next cruise, only bottom temperature was not significant in explaining anchovy presence. In the September cruise, all variables were included in the model, but the total variability explained by the model was low (pseudo- $R^2 = 27$). In the October survey, only bottom temperature and bottom depth were included in the best model. Bottom temperature was not important to anchovy presence during the first or third cruise; the latter cruise was conducted farther north than were the other cruises. Among the remaining surveys, bottom temperature was an important parameter to explain anchovy presence. The estimated parameters for bottom temperatures were negative (Table 2), which indicated that the probability of anchovy presence increased with lower bottom temperatures. Sea surface salinity was significant only in the August/September and September surveys. Bottom salinity was a significant variable influencing anchovy presence in four of the five cruises. In the first and third surveys, the bottom salinity estimated parameter was negative, but it was positive during the August/September survey (Table 2). Bottom depth



Fig. 4. Surface salinity distribution during each survey. Black dots indicate adult anchovy densities estimated vertically along 1-nm intervals.



Fig. 5. Bottom salinity distribution during each survey. Black dots indicate adult anchovy estimated vertically along 1-nm intervals.

Table 2													
Generalized linear r	nodeling res	ults for each sur	vey. The anch	ovy prese	ence was fi	tted assur	ning a bin	nomial eri	ror distribu	ition and e	mploying a	log link fu	unction.
_													

Parameter	Survey I (June)		Survey II (A	urvey II (August) Survey III (August/September Survey IV (Se			September)	Survey V (October)		
	Estimate	Std error	Estimate	Std error	Estimate	Std error	Estimate	Std error	Estimate	Std error
(Intercept)	8.6	1.6	39.7	4.4	44.9	5.2	-4.0	2.1	17.5	2.1
SST	-	-	-2.9	0.8	-6.4	1.0	2.2	0.4	-	-
Bottom temperature	-	-	-5.7	0.7	-	-	-1.7	0.3	-2.1	0.4
SSM	-	-	-	-	-1.1	0.6	1.7	0.3	-	-
Bottom salinity	-5.9	1.1	3.6	0.5	1.9	0.4	-1.1	0.3	-	-
Depth (m)	3.2	0.8	-4.6	0.6	-4.0	0.6	-0.6	0.3	-1.6	0.2
Null deviance	313.5		669.6		605.4		751.4		394.4	
Residual	188.9		273.5		275.2		539.8		274.4	
AIC	194.9		283.5		285.2		551.8		208.4	
Residual d.f.	506.0		508.0		477.0		536.0		304.0	
Pseudo- R^2 (%)	40.0		59.0		54.0		27.0		30.0	

was significant in all surveys, and from August to October, the parameter estimated to this variable was negative.

4. Discussion

Anchovy biomass values from previous acoustics studies conducted along similar periods and in the same sectors of the Brazilian coast varied from 115,975 tons (October–November 1982) to 1,928,516 tons (September 1988), Lima and Castello (1995) and, more recent surveys, from 597,000 tons (September) to 754,000 tons (August) in 2005 (Madureira et al., 2009). During our five acoustic cruises, the biomass estimates varied from 72,000 to 814,016 tons in June and August, respectively. In contrast to the previous studies, the current work included data from a sequence of surveys conducted along one winter and one spring. Therefore, differently from previous studies, we could follow the entry of anchovy schools into the area as the winter progressed and their subsequent movement out of the area, during spring.

5

Our results showed evidence to accept the hypothesis that the presence of adult anchovy is affected by the recent intrusion of cold water along the southern Brazilian shelf. The GLM results indicated that bottom layer waters, with low temperature and high salinity, have a positive effect on anchovy presence. The cold, high salinity water in the bottom layer was attributed to a recent intrusion of the SASW, which was not observed during the June survey, when biomass was the lowest but it was observed during the August survey, when the adult anchovy biomass was 20 times higher. According to Piola et al. (2000), SASW dominates to the south of

6

ARICHEIN PRESS

P.L. Costa et al. / Fisheries Research xxx (2015) xxx-xxx

 ${\sim}33^\circ\text{S}$ in the winter, with thermohaline intervals lower than 14 °C and salinity values between 33.5 and 34.2. An indication of SASW presence was recorded during August on the outer shelf south of ${\sim}33^\circ\text{S}$. Anchovy was only detected on the outer shelf in this particular area, thus reinforcing the relationship between SASW and anchovy presence.

We also observed the recent intrusion of a cold surface layer water that indicates that the sharp changes in surface temperature and salinity from June to August survey also contributed to an increment in the adult anchovy presence in August. During the August survey GLM results suggest that the probability of anchovy presence increases with lower SST. Cold and low salinity waters from the Argentine shelf flow along the Brazilian coast and reach their maximum in late winter, when cold nutrient-rich water occupies most of the continental shelf (Lima and Castello, 1995). This intrusive water is transported by a mid-shelf current, which has a strong seasonal cycle with a maximum northward displacement in the austral winter, when temperatures as low as 13 °C and salinity as low as 33 are reported for the water mass core (Castro and Miranda, 1998). The lower surface salinity observed in August can be attributed to the strong influence of the River Plate and Patos Lagoon runoff. Low-salinity water inflow to the Southern Brazilian Shelf is high in the autumn, winter and spring austral seasons due to the Patos Lagoon runoff and to the coastal winds over the Argentine shelf that force the northward spreading of the plume to lower latitudes, even during low river discharge periods (Piola et al., 1999; Soares and Möller, 2001; Möller et al., 2008 Möller et al., 2008). In the subsequent surveys, surface salinity was higher, suggesting a gradual reduction in the PRP influence and, consequently, a decrease in anchovy adult biomass. From August to September. the cold low-salinity surface water decreased and it detected to the south of 33°S. In October, the cold low-salinity water was not present in the sampling area, and the proportion of adult anchovy decreased to 45% of the total biomass.

On an annual cycle, the Southern Brazilian Shelf is influenced by the Brazil–Malvinas Confluence hydrodynamics within a scale that includes processes acting between 30°S and 45°S. In the summer, this sector is characterized by the southward flow of warm water from the Brazilian current. In the winter, the northward flow of cold subantarctic waters of the Malvinas current strongly influences the shelf. In addition, the intrusion of the SASW over the shelf and the Plate River and Patos Lagoon runoffs induce great primary productivity, mainly along the inner and mid shelves (Ciotti et al., 1995; Matsuura, 1996; Odebrecht and Garcia, 1997; Piola et al., 2000; Möller et al., 2008). These conditions favor the occurrence of pelagic and demersal fishes (Castello et al., 1990; Castello et al., 1990), turning this area into one of Brazil's most important fishing grounds (Castello et al., 1990).

5. Conclusions

The scenario presented in this study reinforces the importance of the cold low-salinity water to the presence of adult anchovy over the southern Brazilian shelf. The five sequential surveys conducted during one season differed from previous studies (Castello and Habiaga, 1982; Castello et al., 1991; Lima and Castello 1994, 1995). Our results indicate that environmental changes are strongly induced by the Patos Lagoon and La Plata River runoffs as well as the intrusion of subantarctic waters. The southern Brazilian shelf environment has a strong variability that was detected along the five surveys and is clearly associated with fluctuations in anchovy abundance.

The dynamic interplay of the different waters on the Southern Brazilian Shelf creates a region with high nutrient input, high primary and secondary production as well as ichthyoplankton abundance (Muelbert et al., 2008) and high biomass levels of secondary consumers such as anchovy.

Considering the depletion of most Brazilian fish stocks (Haimovici et al., 1989, 1997; Haimovici, 2011), anchovy is currently the only species capable of supporting a new large-scale fishery in Brazil (Castello, 2005). This resource is already sustainably exploited on the Argentine and Uruguayan Shelves where 18,077 tons were caught in 2013. This is a low value, considering that the acoustic estimates of total biomass of the Argentine anchovy stock are approximately 3 million tons (Madirolas et al., 2013.)

In order, to manage properly a future anchovy fishery in Brazilian waters, it will be necessary to follow the stock biomass fluctuations and individuals size composition. Commercial fishing boats operations will depend on the presence of adult fish on the Brazilian continental shelf. We suggest that future studies aiming to assess and monitor anchovy stocks be conducted via cooperation between Brazil, Uruguay and Argentina because the anchovy stock is shared among these countries. Detailed information about the dynamics of this environment is essential to understand the northern and southern movements of the anchovy stock during winter and spring. Additionally, simultaneous studies to monitor primary and secondary production will provide essential information to improve the understanding of the anchovy stock dynamic observed on the South West Atlantic Continental Shelf.

Acknowledgements

We thank the Institute of Oceanography of the Rio Grande Federal University (FURG), the Ministry of Fisheries and Aquaculture (MPA), the Coordination for the Improvement of Higher Level Education Personnel (CAPES-MEC), and the National Counsel of Technological and Scientific Development (CNPQ-MCTi) for providing financial support. We also acknowledge Commander Homero Alvariza of the R/V Atlântico Sul and his crew for their support at sea.

References

- Acuña, A., Castello, J.P., 1986. Estructura de la población, crecimiento, y reproducción de Engraulis anchoita (Hubbs & Marini, 1935) en el sur de Brasil. Rev. Biol. Mar. 22, 31–60.
- Akaike, H., 1974. A new look at the statistical identification model. IEEE Trans. Autom. Co 19, 716–723.
- Argentina, 2014. Ley N^c 24.922, Resolução N^o 04/2014, Consejo Federal Pesquero, Buenos Aires, 5 de junio de 2014.
- Bakun, A., Parrish, R.H., 1991. Comparative studies of coastal pelagic fish reproductive habitats: the anchovy (*Engraulis anchoita*) of southwestern Atlantic. ICES J. Mar. Sci. 48, 343–361.
 Castello, J.P., 2005. A anchoita Engraulis anchoita (Engraulididae, Teleosteii) no sul
- Castello, J.P., 2005. A anchoita Engraulis anchoita (Engraulididae, Teleosteii) no sul do Brasil. Anâlise/Refinamento dos Dados Pretéritos Sobre Prospecção Pesqueira. In: Haimovici, M. (Ed.). Avaliação Do Potencial Sustentável De Recursos Vivos Na Zona Econômica Exclusiva – REVIZEE, 31, 3, pp. 13–22, Anex. 2, Rio Grande.
- Castello, J.P., 2007. Síntese sobre a anchoíta (*Engraulis anchoita*) no sul do Brasil. In: Haimovici, M. (Ed.), A Prospecção Pesqueira E Abundância De Estoques Marinhos No Sul Do Brasil Nas Décadas De 1960 a 1990: Levantamento De Dados De Avaliação Crítica. Ministério do Meio Ambiente - MMA, Brasília, pp. 197–217.
- Castello, J.P., Habiaga, R.P.G., 1982. Resultados preliminares da avaliação de pequenos peixes pelágicos usando técnicas hidroacústicas na plataforma de Rio Grande do Sul. Anais do I Simpósio Naval de Sonar; Arraial do Cabo; Rio de Janeiro 2, 1–19.
- Castello, J.P., Habiaga, R.P., Amaral, J.C., Lima Jr, I.D., 1991. Prospecção Hidroacústica E Avaliação Da Biomassa De Sardinha E Anchoita, Na Região Sudeste Do Brasil (Outubro/Novembro De 1988), 8. Publicação Especial do Instituto Oceanográfico São Paulo, pp. 15–29.Castello, J.P., Duarte, A., Möller, O.O., Niencheski, F., Odebrecht, C., Weiss, G.,
- Castello, J.P., Duarte, A., Möller, O.O., Niencheski, F., Odebrecht, C., Weiss, G., Habiaga, R.P., Bellotto, V.R., Kitzman, D., Souto, C., de Souza, R.B., Ciotti, A.M., Fillman, G., Schwingel, P.R., Bersano, J.C., Cirano, M., Freire, K., Lima Jr., I., Mello, R., Monteiro, A., Resgalla Jr., C., Soares, I., Suzuki, M., 1990. On the importance of Coastal and Sub-antartic waters for the shell ecosystem off Rio Grande do Sul, Anais do II Simpósio de Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira. Estrutura. Função e Manejo. Pub. ACIESP 1–1, 112–129.

P.L. Costa et al. / Fisheries Research xxx (2015) xxx-xxx

Castello, L., Castello, J.P., 2003. Anchovy stocks (Engraulis Anchoita) and larval

- growth in SW Atlantic. Fish. Res. 59, 409–421. Castro, B.M.F., Miranda, L.B., 1998. Physical oceanography of the western Atlantic continental shell located between 4'N and 34'S. Coastal segment (4,W). In: Robinson, A.R., Brink, K.H. (Eds.), The Sea: The Global Coastal Jocan – Regional Studies and Syntheses, vol. 11. John Wiley & Sons, pp. 209–251.
 Ciotti, A.M., Odebrecht, C., Fillman, G., Möller, O.O., 1995. Freshwater outflow and subscripted segment of the second sec
- subtropical convergence influence on the phytoplankton biomass on the Southern Brazilian Continental Shelf. Cont. Shelf Res. 15, 1737–1756.

Cushing, D.H., 1988. The Provident Sea. Cambridge University Press, Cambridge Emilson, I., 1961. The Shelf and coastal waters off southern Brazil. Boletim Do

Instituto Oceanográfico Da Universidade De São Paulo, 11, 2., pp. 101–112. Figueiredo, J.L., Menezes, N.A., 1978. Manual de peixes marinhos do sudeste do

Brasil. II. In: Teleostei (1). Museu de Zoologia. Universidade de São Paulo. Figueiredo, J.L., Menezes, N.A., 2000. Manual de peixes marinhos do sudeste do

Brasil. IV. In: Teleostei (5). Museu de Zoologia. Universidade de São Paulo Foote, K.G., 1982. Optimizing copper spheres for precision calibration of hydroacoustic equipment. J. Acoust. Soc. Am. 71, 742–747.

Haimovici, M., Pereira, S.D., Vieira, P.C., 1989, La pesca demersal en el sur do Brasil en el periodo 1975–1985, Frente Marit, 5, 151–163,
 Haimovici, M., 2011, Sistemas Pesqueiros Marinhos E Estuarinos Do Brasil Caracterização E Analise Da Sustentabilidade Brasil. Editora da FURG Rio

Grande

- Haimovici, M., Castello, J.P., Vooren, C.M., 1997. Fisheries. In: Seeliger, U., Oderbretch C., Castello, J.P. (Eds.), Subtropical Convergence Environments: The Coastal and Sea in the Southwestern Atlantic. Springer-Verlag, Berlin, pp. 183 - 196
- Hansen, J., 2000. Anchoita Engraulis anchoita. In: Bezzi, P., Akselman, R., Boschi, E. Hansen, J., Zoor, Anchora Engraduis anchora, M.: Bezzi, P., Aksennan, K., Boszi, E. (Eds.), Sintesis Del Estado De Las Pesquerías Marítimas En Argentina y La Cuenca Del Plata. Años 1997–1998, Con Actualización 1999: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP). Mar del Plata, pp. 205–216.
 Hansen, J.E., 2004. Anchoíta (Engraduis anchoita). In: Sánchez, R., Bezzi, S. (Eds.), El Mar Argentino y Sus Recursos Pesqueros. Tomo 4. Los Peces Marinos De Interés
- Pesquero. Caracterización Biológica y Evaluación Del Estado De Explota Instituto Nacional De Investigacion y Desarrollo Pesquero –INIDEP. Mar del Plata, pp. 101-115
- Hansen, J.E., Garciarena, D., Buratti, C.C., Orlando, P., 2014. Dinámica Poblacional De La Anchoita Bonaerense Entre 1990 Y 2013: Ecomendaciones De Capturas Máximas En El Año 2014. Informe Técnico –Instituto Nacional de Investigacion y Desarrollo Pesquero –INIDEP, 08/2014. Jolly, G.M., Hampton, I., 1990. A stratified random transect design for acoustic
- surveys of fish stocks. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47, 1282–1291. Lima, I.D., Castello, J.P., 1994. Distribuición y anbundancia de la anchoita (Engraulis
- en la costa sur de Brasil. Frente Marít. 15, 87-99.
- Lima, I.D., Castello, J.P., 1995. Distribution and abundance of South-west Atlantic anchovy spawners (Engraulis anchoita) in relation to oceanographic process in the southern Brazilian shelf. Fish. Oceanogr. 4, 1-16
- MacLennan, D.N., Gutierrez, M., Castillo, R., Ganoza, F., Escudero, L., Gonzalez, A., Chalén, X., Aliaga, A., 1998. Target Strength of Anchovy (Engraulis ringens) Using Frequencies of 38 and 120kHz. IMARPE Report N°133.
- Madirolas, A., Hansen, J.O.E., Cabreira, A.G., 2013. Revisión y síntesis de las estimaciones acústicas de abundancia de anchoita (Engraulis anchoita)

efectuadas entre 1993 y 2008. Revista de Investigación y Desarrollo Pesqueiro 24.35-48

7

- Madureira, L.A.S.P., Castello, J.P., Prentice-Hernández, C., Queiroz, M.I., Santo, M.L., Ruiz, W.A., Abdallah, P., Hansen, J., Bertolotti, M.I., Manca, E.S., Yeannes, M.I., Avdalov, N., Amorin, S., 2009. Current and potential alternate food use of the Argentine anchoita (Engraulis anchoita) in Argentina, Uruguay and Brazil. In: Hasan, M.R. (Ed.), Fish as Feed Inputs for Aquaculture: Practice, Sustainability and Implications, 518, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, Rome, pp. 269-285
- Matsuura, Y., 1974. A probable cause of recruitment failure of the Brazilian sardine, Sardinella aurita population during the1974 /75 spawning seasons. South Afr. J. Mar. Sci. 17, 29–35.
- Menezes, N.A., Figueiredo, J.L., 1980. Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil: IV. In: Teleósteos (3). Museu de Zoologia. Universidade de São Paulo. Miranda, L.B., 1972. Propriedades E Variáveis Físicas Das Aguas Da Plataforma
- ntinental Do Rio Grande Do Sul. Ph.D. Thesis. Instituto de Física, USP, São Paulo
- Möller, O.O., Piola, A.R., Freitas, A.C., Campos, E.J.D., 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off Southeastern South America Cont. Shelf Res. 28, 1607-1624
- Muelbert, J.H., Acha, M., Mianzan, H., Guerrero, R., Reta, R., Braga, E.S., Garcia, V.M.T., Berasategui, A., Gomez-Erache, M., Ramírez, F., 2008. Biological, physical and chemical properties at the Subtropical Shelf Front Zone in the SW Atlantic. Cont. Shelf Res. 28, 1662–1673.
- Odebrecht, C., Garcia, V.M.T., 1997. Phytoplankton. In: Seeliger, U., Odebrecht, C., Castello, J.P. (Eds.), Subtropical Convergence Environments. Springer Verlag, Heidelberg, pp. 105–109.
- Piola, A.R., Campos, E.J.D., Möller Jr, O.O., Charo, M., Martinez, C., 1999. Continental water masses off eastern South America -20°-40°S. 10th Symposium on Global Changes Studies, 9-12.
- Piola, A.R., Campos, E.J.D., Möller Jr., O.O., Charo, M., Martinez, C.M., 2000. Subtropical shelf front off eastern South America. J. Geophys. Res. 105 6566-6578.
- Piola, A.R., Matano, R.P., Palma, E.D., Möller, O.O., Campos, E.J.D., 2005. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. Geophys. Res. Lett. 32, L01603.
- Prenski, L.B., Morales-Yokobori M., Bridi, J., Gasalla, M.A., Minte-Vera, C., 2011. Assessment Report MSC bonaerense Anchovy Fishery. Organizacion
- Internacional Agropecuaria. R Development Core Team, 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org/.
- SOFIA, 2012. The State of World Fisheries and Aquaculture. Fisheries and aquaculture department food and agriculture Organization of the United nations, Rome
- Velasco, G., Castello, J.P., 2005. An Ecotrophic Model of Southern Brazil Continental Shelf and Fisheries Scenarios for Engraulis anchoita (Pisces, Engraulidae), 27, 1. Atlantica, pp. 59–68. Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A., Smith, G., 2009. Mixed Effects
- Models and Extensions in Ecology with R. Springer, New York.

ANEXO 2

Manuscrito "Seabirds, environmental features and the anchovy (*Engraulis anchoita*) in the Southwest Atlantic Ocean" em revisão na revista Marine Ecology Progress Series (MEPS)

1 Seabirds, environmental features and the anchovy (Engraulis anchoita) in 2 the Southwest Atlantic Ocean 3 Paloma Lumi Costa^{1,2}*& Lauro Antônio Saint Pastous Madureira¹ 4 ¹ Fisheries Technology and Hydroacoustics Lab, Institute of Oceanography. Federal University 5 of Rio Grande (FURG). Campus Carreiros Av. Itália km 8, Bairro Carreiros. Rio Grande do Sul, 6 Brazil. 7 ² Pós-graduação em Oceanografia Biológica, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal 8 do Rio Grande (FURG), Campus Carreiros, CP 474, 96203-900, Rio Grande, Rio Grande do 9 Sul, Brazil. 10 *Corresponding author: paloma.lumi@gmail.com 11 Abstract 12 We investigated the variability in the presence and density of flying seabirds 13 and Magellanic penguins (Spheniscus magellanicus) along the Southwestern 14 Atlantic (SW) Continental Shelf. Five acoustic assessment surveys were 15 conducted of the biomass of Argentine anchovy (Engraulis anchoita), 16 simultaneously with seabird censuses and collection of oceanographic data 17 (CTD output), between June and October 2010. GLM models were fitted to test the effect of the environmental variables and anchovy density (ton/nm²) on 18 19 seabirds density. Sea Surface Temperature (SST) was significant for the 20 presence of flying birds, and salinity and temperature stratification (ΔS and ΔT) 21 were significant in explaining the density of flying birds. Bottom water salinity 22 and temperature, as well as anchovy density, were significant in explaining the 23 presence of penguins, and anchovy density and bottom water temperature were 24 also significant for penguin density. Based in ΔAIC values, the most important 25 factor explaining density of flying birds was ΔS while for penguins density was 26 anchovy density. Results of this study highlight that the subtropical shelf front 27 (STSF) in the Southwest Atlantic Shelf is a key feature influencing aggregation

of flying birds. The bottom water intrusion, originated from the Sub-antarctic
Shelf Water (SASW), is an important factor explaining the presence of penguins
which tend to aggregate in areas with high anchovy density in the Southwest
Atlantic Shelf.

32 Keywords: seabirds, *Spheniscus magellanicus*, *Engraulis anchoita*, Sea
33 Surface Temperature, oceanographic variables, wintering areas.

34 **1. Introduction**

35 Seabirds are important components in marine ecosystems where they 36 represent important top predators. Global annual food consumption by seabirds 37 was estimated to be 96.4 million tons (95% CI: 78.0 to 114.7 million tons), 38 compared with a total catch of nearly 120 million tons by all marine fisheries 39 (Karpouzi et al. 2007). Seabirds are highly mobile and conspicuous predators 40 (Fauchald 2009) and are found in most trophic food webs, ranging from the 41 storm-petrels that feed on surface zooplankton, to gannets and some penguins 42 that catch pelagic fish and squid, to gulls and albatrosses that scavenge the 43 remains of dead animals (Shealer 2001). Due to endothermy seabirds have a 44 high and constant energy demand and, combined with their high mobility, can 45 be expected to show a strong aggregative response towards concentrations of 46 prey (Fauchald 2009). In order to increase their foraging success, predators 47 should search for areas with high prey density (Sih 1984, 2005). Seabirds use a 48 combination of visual and olfactory cues to detect patches of prey (Nevitt et al. 49 1999), either detecting a patch of prey directly or joining a flock of other 50 seabirds that has already found a patch (Au & Pitman 1986, Hebshi et al. 2008, 51 Goyert 2014). This behaviour produces a highly aggregated spatial distribution 52 of predators (Springer et al. 1986, Hunt 1990, Velarde et al. 1994, Davoren et

al. 2003, Karpouzi et al. 2007, Piatt & Sydeman 2007, Fauchald 2009,
González-Solís & Shaffer 2009).

The temporal covariance in predators and their prey suggests that 55 56 seabirds can be used as indicators of forage fish population fluctuations (Cury 57 et al. 2000, Piatt et al. 2007, Boyd 2002, Crawford 2007, Chiaradia et al. 2010). 58 The small pelagic fish of the genus *Engraulis* is a foraging species that supports 59 the world's largest fishing catch (SOFIA 2012). Seabird fluctuations are closely 60 related to temporal changes in fish abundance as documented for Engraulis 61 ringens in Peru (Chavez et al. 2003, Bertrand et al. 2012, Boyd, et al. 2015) and Engraulis encrasicolus in South Africa (Crawford & Shelton 1978, Crawford & 62 63 Dyer1995, Crawford 1998). In the Southwest Atlantic, the anchovy (Engraulis 64 anchoita) is a key species and a link from secondary consumers to top predator 65 (Velasco & Castello 1995, Gasalla et al. 2007, Castello 2005) including 66 seabirds. It is widely distributed over the shelf in the Southwest Atlantic Ocean 67 from Rio de Janeiro (22°S) to San Jorge Gulf (47°S) (Bakun & Parrish 1991, 68 Castello 2007, Hansen 2004). Although abundant in the region (Hansen 2000, 69 Madureira et al. 2009), this species is underexploited in Argentina(Argentina, 2014; Hansen et al., 2014) and not exploited in Brazil, but an important 70 71 component in seabirds diet in the Southwest Atlantic Ocean (Favero et al. 2000, 72 Mariano-Jelicich 2011, Alfaro et al. 2011, Bugoni & Vooren 2004, Bugoni et al. 73 2011, Scolaro & Badano 1986, Frere et al. 1996, Scolaro et al. 1999, Forero et 74 al. 2002).

The community of pelagic birds in Brazilian waters are dominated by seasonally migrant species that do not breed in the country, including 10 albatrosses (Diomedeidae) and 31 petrels (Procellariidae, Hydrobatidae and
Pelecanoididae; CBRO 2007). In Brazilian southern waters, along an area overlayed with high anchovy density (Lima & Castello 1995, Costa et al. 2015), Neves et al. (2006) observed 24 seabird taxa, of which 20 were recorded in winter/spring, and suggested that the presence of migratory birds from the south in winter occurred due to the intrusion of the Malvinas Current which was important in supplying resources including squid, and fish such as anchovy (Castello 1998).

85 Indeed, to understand the processes underlying the observed distribution 86 and abundance of birds at sea it is essential to investigate the physical regime 87 that results in either the passive accumulation of prey or, increased production 88 of prey, including the amount and type of prey present and its availability (Hunt 89 1990). However, simultaneous measure of hydrographic structure and 90 processes, as well as the distribution and abundance of both predators and 91 their prey, are a challenge for researchers and usually it is not possible to obtain 92 a complete suite of these data. Acoustic methodologies for measuring the 93 abundance of fish and zooplankton have made it possible to investigate the 94 synoptic spatial distribution of seabirds and their prey along ship transects (Hunt 95 1990, Reid et al. 2004, 2005, Santora 2009, Santora 2011, Zwolinski et al. 96 2014).

97 We carried out sequential acoustic surveys on the Southwest Atlantic 98 Continental Shelf in order to estimate anchovy (*Engraulis anchoita*) biomass in 99 the early winter and late spring, with seabird counting, acoustic acquisition and 100 hydrographic data obtained simultaneously. We hypothesize that the sub-101 Antarctic cold water has a positive impact on the seabirds presence over

102 Southern Brazilian shelf in the winter and spring and that eabirds aggregate in

103 areas of the highest abundance of anchovy. *Materials and Methods*

104 2. Materials and Methods

105 **2.1. Study area**

106 The Southern Brazilian shelf is under the influence of two important 107 hydrographic systems: the Brazil/Malvinas Confluence and the Rio de la Plata 108 discharge (Möller et al. 2008). The major boundary currents in the Southwest 109 Atlantic, derived by open ocean circulation, are dominated by the opposite flows 110 of the Brazil (subtropical) and the Falkland/Malvinas (sub-Antarctic) currents 111 (Castro-Filho & Miranda 1998). Both currents meet, in average, at 36°S (Olson 112 et al. 1988). The Southern Brazilian shelf area is affected by seasonal changes 113 in the latitudinal position of the border of the Brazil/Malvinas Confluence.

114 The major freshwater inflow into the western South Atlantic Ocean is associated with the Rio de la Plata discharges, on average about 23,000 m³/s. 115 116 Within a smaller scale, the Patos-Mirim Lagoon system located near 32°S, discharges on average about 2,000 m³/s (Zavialov et al. 2003). These 117 118 freshwater inflows induce a large-scale buoyant plume that, in the winter, 119 extends beyond 1,000 km from the estuaries. In response to these continental 120 runoffs, located between 30°S e 36°S, the sub-Antarctic and sub-tropical waters 121 are frequently capped by a low salinity layer, referred as Pluma Plate Water by 122 Möller et al. (2008). The subsurface shelf layers, underneath and offshore of the 123 Plata Plume, are occupied by two distinct water masses: cold-fresh sub-124 Antarctic shelf waters (SASW), derived from the Patagonia continental shelf 125 and, warm-salty subtropical shelf waters (STSW), primarily influenced by the 126 Brazilian Current (Piola et al. 2000). A sharp thermohaline transition between

127 SASW and STSW, referred to as subtropical shelf front (STSF) runs 128 approximately southwards, from the inner shelf off Rio Grande, Brazil, as an 129 extension of the sub-Antarctic sub-tropical transition, observed at the Brazil– 130 Malvinas Confluence, over the continental shelf (Piola et al. 2000).

131 The intrusion of the SASW over the shelf as well as the Rio de La Plata 132 and Patos Lagoon runoffs induce great primary productivity, mainly in the inner and mid shelves (Ciotti et al. 1995, Matsuura 1996, Odebrecht & Garcia 1997, 133 134 Piola et al. 2000, Möller et al. 2008). These conditions favour the occurrence of 135 pelagic and demersal fishes (Haimovici et al. 1989), turning this area into one of 136 Brazil's most important fishing grounds. In this way, the environmental 137 condition of the southern Brazilian shelf becomes favourable for seabirds, 138 especially due to the availability of food for many costal and pelagic seabird 139 species.

140 **2.2. Data acquisition**

141 Five acoustic surveys were conducted on board the R/V Atlântico Sul 142 along the Brazilian Southwest continental shelf between June and October 143 2010, as part of a project to estimate anchovy distribution and biomass within 144 an area from 31°30'S to 33°10'S. Transects were run from the 20 m to the 100 145 m isobaths, and with 15 nm distance inter transects using a calibrated Simrad 146 EK500 echo sounder, operating at 38 kHz. Four oceanographic stations were 147 sampled in each transect using a CTD Ocean Seven 316, IDRONAUT, with 148 temperature and salinity measured from the sea surface to about 4 m above the 149 bottom, distances between stations were shorter than 20 nm.

150 **2.3. Seabird censuses**

151 Seabirds were identified and counted along all transects. Seabird census 152 followed the standard 300 m strip transect method (Tasker et al. 1984) where 153 this distance was determined by the Heinemann (1981) method. With the ship 154 cruising at 10 knots along transects (Fig. 1), an observer positioned on "the 155 flying bridge" recorded all seabirds within a 90° arc with a 300 m radius, 156 spanning from the bow to the ship beam, on the side with the best visibility. 157 Hand-held binoculars were used to aid in species identification (Harrison 1985, 158 Onley & Scofield 2007).

159 Data were collected during all daylight hours. According to the "snapshot" 160 method, seabirds were recorded along ten minutes segments within ten "blocks" 161 of one minute. The area of each "block" corresponded to the fourth part of a 300 162 m radius circle, and thus the total area of a count is 10 times the fourth part of a 163 circle of radius 300 m (0.16 nm). The density of seabirds (total and by species) 164 of each counting was calculated as the sum of individuals sighted in ten "block" 165 counts divided by the summed area of each counting. The density in each census was expressed in individuals.nm⁻²in order to compare with anchovy 166 density (ton/nm²). We calculated the absolute abundance of each seabird 167 168 species per survey as the mean number of individuals, multiplied by the 169 surveyed area (nm^2) .

170

2.4. Anchovy density estimates

171 Anchovy densities were estimated according to the standard 172 hydroacoustical method described by MacLennan and Simmonds (1992). 173 Acoustic backscattering data, proportional to small pelagic fish densities, were 174 collected for every 1 nautical mile long ESDUs (Elementary Sampling Distance

175 Units). Using the software Echoview 4.1, Nautical-area-backscattering 176 coefficients (sA) were processed for every ESDU, from 3 m below sea surface 177 to 1 m above the seabed. Following the post processing method the nearest 178 trawl haul catch sampling data was allocated to every ESDU. Theoretical target 179 strength (TS) versus log-length relationships (TS = 20 log Lt – 70.9) were used 180 according to MacLennan et al. (1998), in order to convert acoustical density 181 data into biological density data.

Anchovy biological densities (tonnes per nautical mile⁻²) were calculated as $\rho = \Sigma (s_A/ (4\pi \sigma_{bs}))$. *fi Wi*, where σ_{bs} is the backscattering cross-section (σ_{bs} = 10^{0,1xTS}), fi *is* the frequency of the *i*th length class, and *Wi* is the weight of the *i*th length class. More details of acoustic methods see Costa et al. (2015).

186 **2.5. Ocea**

2.5. Oceanographic data

187 A minimum of 20 and a maximum of 32 oceanographic stations were 188 performed along each one of the five acoustic surveys (Fig. 1). Distances 189 between stations were shorter than 20 nm. A failure in the CTD during the 190 October cruise reduced the number of stations to 20. Sea surface temperature 191 (SST) and sea surface salinity (SSS), as well as bottom temperature and 192 bottom salinity were interpolated to the central point of every nautical mile using 193 the kriging method, along all transects. These midpoints corresponded to the 194 mid positions (latitude and longitude) of the ESDUs to which the anchovy 195 density values were calculated. To every nautical mile the difference between 196 surface and bottom temperature (ΔT) and salinity (ΔS) were calculated. The 197 kriging method was also used to map temperature and salinity in order to 198 compare with the seabird distribution within surveyed areas.

199

218

2.6. Statistical analysis

200 In order to explore potential relationships between seabird densities (no. individuals.nm⁻²), environmental variables and anchovy densities we fitted 201 202 GLM's with hurdle (ZA) and zero-inflated (ZI) models for count data. Seabirds 203 were separated in two groups: 1) flying birds and; 2) penguins. We selected 204 nine explanatory variables with potential to be useful predictors of seabird 205 presence and abundance in this study area: sea surface (SST) and bottom 206 temperature (BT), both in °C, sea surface (SSS) and bottom salinity (BS), depth 207 (m), distance from the shoreline (nm), difference between surface and bottom 208 temperature (ΔT), difference between surface and bottom salinity (ΔS) and anchovy density (ton/nm²) (Table1). 209

210 Count process was used for the models in order to estimate expected 211 counts of seabirds (both groups) and was fitted using the negative binomial 212 probability function which is given by:

213
$$f_{NB} = f(y; k, \mu) = \frac{\Gamma(y+k)}{\Gamma(k) \times \Gamma(y+1)} \times \left(\frac{k}{\mu+k}\right)^k \times \left(1 - \frac{k}{\mu+k}\right)^y$$

where y is the estimated seabirds count (0, 1, 2, 3, . . .); μ is the mean; k is dispersion parameter and the symbol Γ is the Gamma function defined as $\Gamma(y + 1) = y!$, the factorial of some non-negative integer y. The mean and variance of Y are given by:

$$E(Y) = \mu \qquad \qquad var(Y) = \mu + \frac{\mu^2}{k}$$

219 If *k* is large (relative to μ^2), the term μ^2/k approximates to 0, and the 220 variance of *Y* is μ ; in such cases the negative binomial converges to the 221 Poisson distribution. We decided to use negative binomial because this regression allows for overdispersion as well an increased ability to handle excessive zeros (Hilbe, 2011), as it is the case with these data set (Fig. 2).

224 The hurdle model (ZA), also known as two-parts model, was applied to the first group because only flying seabirds were included in the model. The 225 226 underlying idea for the hurdle model is that there are two ecological processes 227 playing a role. In this context, one process is causing the absence of flying birds and, at those sites where flying birds are present, there is a second process 228 229 influencing the number of flying birds. The binomial distribution was used to 230 model the absence and presence of seabirds, and a negative binomial 231 distribution was used for the count data. The probability function for a hurdle 232 models was built up accordingly:

$$f_{ZANB}(y;\beta,\gamma) = \begin{cases} f_{binomial}(y=0;\gamma) & y=0\\ (1-f_{binomial}(y=0;\gamma)) \times \frac{f_{NB}(y;\beta)}{1-f_{NB}(y=0;\beta)} & y>0 \end{cases}$$

233 Where *y* is the density of flying seabirds (birds*nm⁻²) and the mean and 234 variance is given by:

235
$$E_{ZANB}(Y_i) = \frac{1 - \pi_i}{1 - P_0} \times \mu_i, \text{ where } P_{0} = \left(\frac{k}{\mu_i + k}\right)^k, \text{ and}$$
$$var_{zamb}(Y_i) = \frac{1 - \pi_i}{1 - P_0} \times \left(\mu_i^2 + \mu_i \frac{\mu_i^2}{k}\right) - \left(\frac{1 - \pi_i}{1 - P_0} \times \mu_i\right)^2$$

The ZI model, also called mixture models in the literature, was applied to the penguin counts because this data was apparently zero inflated (Fig. 2). This model considers that zeros can indicate the absence because the habitat is not good to the penguins or due to the difficulty to observe individuals during submergence periods. So, zero inflation is added to the negative binomial model in order to fully account for zero counts, effectively functioning as a mixture model (Zeileis 2007, Zuur et al. 2009) because the zeros are modelled as coming from two different processes: the binomial process and the countprocess.

245 The probability functions of ZINB when Y is penguin density was:

$$f(y_i = 0) = \pi_i + (1 - \pi_i) \times \left(\frac{k}{\mu_i + k}\right)^k$$

 $f(y_i|y_i > 0) = (1 - \pi_i) \times f_{NB}(y)$

and the mean and variance of penguins are given by:

$$E(Y_i) = \mu_i \times (1 - \pi_i)$$

$$var(Y_i) = (1 - \pi_i) \times \left(\mu_i + \frac{{\mu_i}^2}{k}\right) + {\mu_i}^2 \times ({\pi_i}^2 + \pi_i)$$

247 In order to select the best fitted model to flying birds and penguins, we 248 initially look at the pairwise correlations between explanatory variables (Table 249 1). A matrix of pairwise correlations was generated and fitted eight possible 250 models, including only explanatory variables with no collinearity. In order to 251 assess the best fitted model we used the Akaike's Information Criterion (AIC; 252 Akaike 1974). This metric derives from maximum likelihood and allows not only 253 to compare among models, but also penalizes models with more parameters 254 (Burnham & Anderson 2002). Among the eight possible models, that one with 255 the smaller AIC was considered the full model. For the flying seabirds group 256 the full model included surface temperature, surface salinity, differences 257 between surface and bottom temperature, differences between surface and 258 bottom salinity and anchovy density. For the penguins group included 259 differences between surface and bottom temperature, bottom temperature and 260 bottom salinity and anchovy density.

261 These full models were optimized with backward selection, dropped 262 variables to binomial and to the count data portion. The reduction in AIC was

263 used as an indicator of model improvement. The model with the lowest AIC was 264 considered the best in relation to others if differences between AIC (Δ AIC) of 265 two models were greater than 2. If the difference between AIC were equal or 266 lower than 2, both models were equally plausible and thus we selected the 267 simplest one. Determination of variable importance and ultimate inclusion in the 268 model was done by calculating the increase in AIC for each variable after 269 dropping it from the model. The library "pscl" in program R v.3.1.0 (R 270 Development Core Team, 2014) was used for models fitting.

271 **3. Results**

272 **3.1. Seabird species composition**

273 Along five surveys 18 seabird species were observed in 188 counts. The 274 four most frequent species were Black-browed albatross (35%), White-chinned 275 petrel (26%), Magellanic penguin (24%) and Sterna spp. (24%) (Table 2). 276 These species were also the most abundant in the count data (Table 2) and 277 represented 78% of the 1,305 counted seabirds. The Magellanic penguins 278 represented 29% of the counts and all the other species (71%) were flying 279 seabirds. From the 188 counts, 138 could be coupled with the respective 280 nautical mile from the acoustical data.

281 **3.2. Seabirds and anchovy variability along the surveys**

Along the five surveys from early winter to spring environmental variability influenced anchovy biomass and absolute abundance of seabirds (Fig. 3). A sharp change in the bottom temperature, from June to August, was followed by an increase in anchovy biomass which was also reflected by an increment in the absolute abundance of seabirds. In June anchovy biomass was low and flying birds and penguins also had low absolute abundance. In the

288 following survey (August), when the presence of the bottom cold waters was 289 detected (Fig. 3), anchovy biomass increased eleven times; the absolute 290 abundance of flying birds increased two times and penguin abundance 175 291 times (Table 3). The highest absolute density of flying birds was recorded in the 292 September survey the. Along the last survey (October), seabird values 293 decreased to levels similar to those observed in the June survey. This trend 294 was also observed with the anchovy biomass, which was reduced by 26% and 295 47% (relative to the August survey) in September and October surveys, 296 respectively.

297 **3.3.GLM's fitted models**

The final models included different variables in order to explain the variability in presence and density of flying birds and penguins. The main difference was that the anchovy density was significant only for the penguins model (Tables 4 and 5).

302 Different variables were selected in the binomial part and the count part of 303 the ZANB model fitted to flying seabirds. For the binomial portion only SST was 304 selected and the negative coefficient suggests that the probability of the 305 presence of flying seabirds is higher with lower SST (Table 4, Fig. 4). The 306 variables that reflect the water stratification, in terms of temperature and salinity, 307 were significant in the count part of the model. The Δ AIC value associated with 308 differences between surface and bottom salinity (ΔS) was higher than to 309 differences in temperature (Table 4), suggesting that stratification of the water 310 column, in terms of salinity, was more important than the temperature in 311 explaining the density of flying birds in the region. Further, coefficients of 312 variables were opposite: the negative coefficient of ΔT suggests that higher

313 densities of flying seabirds were expected in thermally homogeneous waters 314 (Δ T smaller than 1; Fig. 4) while the positive coefficient of Δ S suggests that 315 waters with saline stratification were favorable to flying seabirds in the study 316 area (Table 4). In the model simulation, the effect of this latter variable was 317 higher than 6 (Fig. 4).

318 In the ZINB model fitted to the penguins data, the best fit included two 319 variables in common to both count and binomial portions, namely anchovy 320 density and bottom temperature. Bottom salinity was only included to the 321 binomial part. The binomial part of ZINB model fitted the probability of penguin 322 absence (Y=0), so an analysis of the Δ AIC values (Table 5) indicated that the 323 anchovy density was more important to the penguins density than to the 324 absence of penguins. Further, the positive coefficient of anchovy density in the 325 count data portion indicated that higher penguin densities were related with higher anchovy densities, with positive effect about 400 ton.nm⁻² (Fig. 5). With a 326 lower Δ AIC value, the anchovy density was negative in the binomial portion, so 327 328 high anchovy density reduces the probability of the absence of penguins.

329 Bottom waters were also important to the binomial part of the model. 330 Coefficients of bottom temperature were positive and salinity was negative. This 331 means that the probability of penguins absence increased with warm 332 temperature and low salinity bottom waters and the effect was positive for 333 penguin until about 14°C temperature and salinity 33 in the bottom layer (Fig. 334 5). The significance of bottom temperature to penguins density was lower (lower 335 Δ AIC in count data part, Table 5), but the negative coefficient also indicated that 336 cold bottom water had positive effects in penguins density.

337 4. Discussion

338 The relationships between seabirds, environmental features prev 339 abundance and seabird densities have been widely reported in the literature all 340 over the word (Abrams 1985, Hunt & Scheneider 1987, Hunt 1990, Begg 1997, 341 Amorim et al. 2008, Vilchis et al. 2006, Tremblay et al. 2009, Fauchald 2009). 342 This is the first study to examine the effects of abiotic environmental variables 343 and prey density simultaneously with seabird distribution and densities in the 344 SW Atlantic Ocean. Results confirm the hypothesis that the distribution of 345 seabirds was related to the anchovy (Engraulis anchoita) density and also to 346 cold sub-Antarctic waters in the southernmost part of the Southern Brazilian 347 shelves. Our results highlight the variability in the occurrence and density of 348 seabirds between winter and spring. Part of this variability could be due to the 349 intrusion of a cold-saline water, as observed during the August survey, that 350 drived a sharp change in the shelf environment, followed by an increment in 351 anchovy biomass and seabird abundance in the area.

352 The flying birds group was composed mainly by coastal birds such as 353 terns and gulls, as wells pelagic birds like albatrosses, petrels, and 354 shearwaters. Coastal birds may detect prey aggregations using visual cues, 355 both by direct location of prey or identifying the active presence of other 356 subsurface predators (large fish, seals, whales, dolphins and even penguins) 357 which drive prey close to the surface (Au & Pitman 1986, Chiaradia 1991, 358 Bugoni & Vooren 2004, Hebshi et al, 2008, Goyert 2014). Pelagic seabirds may 359 travel thousands of kilometers during their foraging flights and may use olfactory 360 cues to detect remote sources of food like zooplankton, fishes or squids which 361 concentrate at fronts (Nevitt 1999, Cunningham & Nevitt 2011). It is expected

that the flying birds concentrate in areas with physical conditions favorable forthe aggregation of their prey such as fronts.

364 Statistical models applied to our datasets highlighted the importance of 365 the saline stratification in the area to the density of flying seabirds. This 366 stratification can be indicative of two well-defined fronts in region (Piola et al. 367 2000, 2008). The most intense inner shelf front is not apparent in the temperature distribution and marks the offshore edge of the La Plata River 368 369 Plume; the outer shelf front marks the transition between diluted SASW and 370 STSW. In the austral winter the SASW, derived from the northern Patagonian 371 shelf, extends to about 33°S and forms a vertically coherent cold edge of low 372 salinity water that locally separate the fresher inner shelf Plata Plume Water 373 from the outer shelf, warm-salty water (STSW) derived from the Brazilian 374 Current and form the front called STSF (Piola et al. 2000, 2008). Thus, as any 375 frontal region, the STSF plays a key ecological role in the Southern Brazilian 376 shelves (Acha et al. 2004, Muelbert et al. 2008, Acha et al. 2015). Fronts are 377 usually vertically inclined interfaces between water masses with different 378 properties, where nutrient rich waters are moved up. It is well-known that high 379 phytoplankton biomass and enhanced activity at high trophic levels are features 380 distinctive at fronts (Le Fèvre 1986, Mann and Lazier 2006). High food 381 availability at fronts attract nekton (fish, squids, mammals), transferring energy 382 to higher trophic levels. The distribution of seabirds and the structure of seabird 383 assemblages are influenced by the presence of fronts and the physical structure 384 of the ocean in several areas (Schneider 1990, Veit 1995, Bost et al. 2009, 385 Scales et al. 2014), as well as in the southern Brazil.

386 The intensifications of STSF in the winter at the southernmost part of the 387 Brazilian Shelf seems responsible for the aggregation of flying seabirds in 388 regions with saline stratification, as reported in others front regions in the world. 389 Studies in the Bering Sea (Schneider 1982, Kinder et al. 1983, Schneider et al. 390 1987, Russel et al. 1999), southeastern Gulf of Alaska (O'Hara 2006), Pacific 391 Ocean off California (Ainley et al. 2005, Ainley 2009), Western Atlantic Ocean 392 off the southeastern United States (Haney & McGillivary 1985), Irish sea (Begg 393 1997, Durazo et al. 1998), south-eastern North Sea (Garthe 1997), and in the 394 Benguela Current off southern Africa (Abrams 1985) provide examples of 395 seabirds distributions responding to frontal systems throughout the world's 396 oceans.

397 SST is reported as the most tested variable to explain spatial variability in 398 seabirds (Trembley et al. 2009) and it is not surprising that in this study we 399 observed that the presence of flying seabirds was correlated with SST values. 400 The negative correlation between the presence of flying seabirds and SST, 401 indicated by the model, can be related with the northward flow of cold waters 402 from the Patagonian Shelf, enhanced by continental waters from the La Plata 403 River. Flying seabirds seem to follow this northward flow, tracking cold and 404 productive waters. Many flying birds that nest at high latitudes avoid adverse 405 winter conditions through migration to lower latitudes connected to the seasonal 406 flux of water mass (Vooren & Fernandes 1989). White-chinned petrels and 407 Black-browed albatrosses are the most abundant species in the study area 408 (Bugoni et al. 2008, Jiménez et al. 2009, Jiménez et al. 2011), these seabirds 409 are latitudinal migrants that nest in sub-Antarctic islands during summer. In the 410 southern Brazilian shelf the presence of flying seabirds were associated with

411 the arrival of cold waters, while the high density of flying seabirds was412 associated with front regions.

413 Variables that best explained the variability in the density of penguins 414 differed from variables explaining the densities of flying seabirds but were also 415 associated with the cold water presence in the region. The intrusion of the cold-416 saline waters along the bottom layer, as well as the anchovy densities were 417 related with high penguin densities. Our results indicate that the cold water was 418 important for the presence of both, flying birds and penguins, however, the 419 bottom cold water intrusion was only significant for the presence and density of 420 penguins. The models that simulated changes in the abundance of penguins 421 highlighted that these birds increased with high anchovy density. Our results 422 also showed that the presence of penguins was significantly associated with 423 gradients waters of temperature and salinity, within ranges that describe the 424 SASW (Möller et al. 2008).

425 The Magellanic penguin is widely distributed along the southern coast of 426 South America. On the Atlantic coast, the species breeds from the Peninsula 427 Valdez (42°04'S, 63°21'W) to Tierra del Fuego (54°54'S, 67°23'W), Argentina 428 (Gandini et al. 1996). First-year penguins migrate to lower latitudes during the 429 austral winter, reaching Brazilian waters between 33°S and 20°C (Sick 1997) in 430 some instances as far north as 13°S (Williams 1995, Stokes et al. 1998, Pütz et 431 al. 2000). Our results show a gradual increase in the density of penguins in the 432 southern Brazilian coast waters. In June these birds were almost absent in the 433 study area and reached the highest densities in August, decreasing in 434 September and October. The observed penguin occupation of the Southern 435 Brazilian shelf occurred simultaneously with the bottom cold salty water

intrusion and both, anchovy and penguin densities showed a synoptic
fluctuation with these waters, as detected by fitted models. According to the
models outputs, penguins aggregated in sites with higher anchovy densities.

Engraulis anchoita is the main food item of the Magellanic penguin in the Argentinean Patagonia (Scolaro & Badano 1986, Frere et al. 1996, Scolaro et al. 1999, Forero et al. 2002, Wilson et al. 2005). Our results indicate that anchovy can be also the most important food item for these penguins in the Southwest Brazilian Continental Shelf, what is in line with speculative suggestions that Magellanic penguins migrate northward following the displacement of schools of the Argentine anchovy.

446 **5. Conclusions**

The oceanographic dynamics that act along the southernmost sector of the Brazilian Continental Shelf during winter and spring directly or indirectly influence the distribution of birds, whether they are flying birds or penguins.

450 The occurrence of flying birds was related with low sea surface temperature 451 and the aggregate, high density flocks were associated with saline stratification, 452 i.e. high Δ S. The subtropical shelf front in this region is a key feature for the 453 aggregation of flying birds.

The bottom cold water intrusion observed in the surveyed area was an important factor to the presence of penguins which tended to aggregate in areas with high anchovy densities.

Indeed, the seasonal northward flow of the cold water and the La Plata River
discharge into the Southern Brazilian Shelf provides an enrichment, reflected in
high primary and secondary productions (Muelbert et al 2008) and higher
densities of secondary consumers such as anchovy (Costa et al 2016),

461 providing food sources for a range of higher trophic level consumers, as462 confirmed in the present study for penguins, terns, albatrosses and petrels.

463 **6. References**

477

Abrams RW (1985). Environmental determinants of pelagic seabird distribution
in the african sector of the southern ocean. J Biogeogr *12*(5):473-492.
doi:10.2307/2844955.

- Acha EM, Mianzan HW, Guerrero RA, Favero M, Bava J (2004) Marine fronts at
 the continental shelves of austral South America. J Mar Syst 44(1-2):83105. doi:10.1016/j.jmarsys.2003.09.005.
- Acha EM, Piola A, Iribarne O, Mianzan H (2015) Ecological Processes at
 Marine Fronts. Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3319-15479-4
- Ainley DG, Dugger KD, Ford RG, Pierce SD, Reese DC, Brodeur RD, Barth JA
 (2009) Association of predators and prey at frontal features in the California
 Current: Competition, facilitation, and co-occurrence. Mar Ecol Prog Ser
 389:271–294. doi:10.3354/meps08153
- 478 (2005) Physical and biological variables affecting seabird distributions
 479 during the upwelling season of the northern California Current. Deep-Sea
 480 Res Pt II *52*(1-2):123-143. doi:10.1016/j.dsr2.2004.08.016

Ainley DG, Spear LB, Tynan CT, Barth JA, Pierce SD, Ford RG, Cowles TJ

- 481 Akaike H (1974) A new look at the statistical model identification. IEEE
 482 Transactions on Automatic Control 19:716-723.
- Alfaro M, Mauco L, Norbis W, Lima M (2011) Temporal variation on the diet of
 the south american tern (*Sterna Hirundinacea*, Charadriiformes: Laridae)
 on its wintering grounds. Rev Chil Hist Nat 84(3):451-60.

Amorim P, Figueiredo M, Machete M, Morato T, Martins A, Serrao Santos R (2008) Spatial variability of seabird distribution associated with environmental factors: a case study of marine Important Bird Areas in the

489 Azores. ICES J Mar Sci 66(1):29-40. doi:10.1093/icesjms/fsn175

490 Argentina (2014) Ley N° 24.922, Resolução N° 04/2014, Consejo Federal
491 Pesquero, Buenos Aires, 5 de junio de 2014.

492 Au DWK, Pitman RL (1986) Seabird interactions with dolphins and tuna in the
493 eastern tropical Pacific. Condor 88:304-317.

Bakun A, Parrish RH (1991) Comparative studies of coastal pelagic fish
reproductive habitats: the anchovy (*Engraulis anchoita*) of southwestern
Atlantic. ICES J Mar Sci 48:343-361.

Begg G (1997) Spatial variation in seabird density at a shallow sea tidal mixing
front in the Irish Sea. ICES J Mar Sci 54(4):552-565.
doi:10.1006/jmsc.1997.0259.

Bertrand S, Joo R, Smet C, Tremblay Y, Barbraud C, Weimerskirch H (2012)
Local Depletion by a Fishery Can Affect Seabird Foraging. J Appl Ecol
49(5):1168-77.

Bost C A, Cotté C, Bailleul F, Cherel Y, Charrassin JB, Guinet C, Weimerskirch
H (2009) The importance of oceanographic fronts to marine birds and
mammals of the Southern Oceans. J Mar Syst 78(3):363-376.
doi:10.1016/j.jmarsys.2008.11.022

507 Boyd C, Castillo R, Hunt GL, Punt AE, Van Blaricom GR, Weimerskirch H, 508 Bertrand S (2015) Predictive modelling of habitat selection by marine 509 predators with respect to the abundance and depth distribution of pelagic 510 prey. J Anim Ecol n/a - n/a. doi:10.1111/1365-2656.12409.

- 511 Boyd IL (2002) Integrated environment-prey-predator interactions off South 512 Georgia: implications for management of fisheries. Aquat Conserv Mar 513 Freshw Ecosyst 12:119-126.
- Bugoni L, Mancini P, Monteiro D, Nascimento L, Neves T. (2008) Seabird
 bycatch in the Brazilian pelagic longline fishery and a review of capture
 rates in the southwestern Atlantic Ocean. Endanger Species Res 5:137147.
- 518 Bugoni L, McGILL R, Furness RW (2011) The importance of pelagic longline 519 fishery discards for a seabird community determined through stable 520 isotope analysis. J Exp Mar Bio Ecol 391:190-200.
- 521 Bugoni L, Vooren CM (2004)"Feeding Ecology of the Common Tern Sterna 522 Hirundo in a Wintering Area in Southern Brazil." Ibis 146(3):438-53.
- 523 Burnham KP, Anderson DR (2002) Model Selection and Multimodel Inference:
- 524 A Practical Information-theoretic Approach, second ed. Springer, NewYork.525 488pp.
- 526 Castello JP (1998). Teleósteos pelágicos. In: Seeliger U, Odebrecht C, Castello
 527 JP (eds) Os Ecossistemas Costeiros e Marinhos do extremo sul do Brasil.
 528 Rio Grande: Ed. Ecoscientia,137-143.
- Castello JP (2005) A anchoita Engraulis anchoita (Engraulididae, Teleosteii) no
 sul do Brasil. Análise/Refinamento dos Dados Pretéritos Sobre Prospecção
 Pesqueira. In: Haimovici M (ed) Avaliação Do Potencial Sustentável De
 Recursos Vivos Na Zona Econômica Exclusiva REVIZEE, 31, 3, pp. 1322, Anex. 2, Rio Grande.
- 534 Castello JP (2007) Síntese sobre a anchoíta (Engraulis anchoita) no sul do 535 Brasil. In: Haimovici M (ed) A Prospecção Pesqueira E Abundância De

536 Estoques Marinhos No Sul Do Brasil Nas Décadas De 1960 a 1990:
537 Levantamento De Dados De Avaliac, ão Crítica. Ministério do Meio
538 Ambiente - MMA, Brasília, pp. 197-217.

Castello JP, Haimovici M, Odebrecht C, Vooren CM (1997) Relationships and
Function of Coastal and Marine environments: the continental shelf and
slope In: Seeliger U, Odebrecht C, Castello JP (eds).Subtropical
Convergence Environments. The Coast and Sea in the Southern Atlantic.
Springer-Verlag, Berlin. 171-178.

Castro Filho BM, Miranda LB (1998) Physical oceanography of the western
Atlantic continental shelf located between 4°N and 34° S coastal segment
(40 W). In: Robinson AR, Brink KH (eds) The sea, pp. 209-251. John Wiley
and Sons, New York.

548 CBRO (2007) Lista das aves do Brasil, 6th edn (16 de agosto de 2007). Comitê
549 Brasileiro de Registros Ornitológicos, Sociedade Brasileira de Ornitologia.
550 Available at: www. cbro.org.br

551 Chavez FP, Ryan J, Lluch-Cota SE, Niquen C M (2003) From anchovies to 552 sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. Science 553 299(5604):217-221. doi:10.1126/science.1075880.

554 Chiaradia A (1991) Interação entre aves marinhas e cardumes de bonito listado
555 (Katswonus pelamis) na costa sul do Brasil. Atlântica 13(1):115-118.

556 Chiaradia A, Forero MG, Hobson KA, Cullen JM (2010) Changes in diet and 557 trophic position of a top predator 10 years after a mass mortality of a key 558 prey. ICES J Mar Sci 67:1710-1720.

559 Ciotti A, Odebrecht C, Fillman G, Möller OO (1995) Freshwater outflow and 560 subtropical convergence influence on the phytoplankton biomass on the 561 Southern Brazilian Continental Shelf. Cont Shelf Res 15(14):1737-1756.

562 Costa PL, Valderrama, PRC, Madureira, LASP (2016) Relationships between
563 environmental features, distribution and abundance of the Argentine
564 anchovy, *Engraulis anchoita*, on the South West Atlantic Continental Shelf.
565 Fish Res 173:229-235.

566 Crawford, RJM, Shelton PA (1978) Pelagic fish and seabird interrelationships 567 off the coasts of South West and South Africa. Biol Conser 14:85-109

568 Crawford, R. J. M. (1998).Responses of african penguins to regime changes of
569 sardine and anchovy in the Benguela system. South African J Mar Sci 19,
570 355-364.

571 Crawford, R. J. M. (2007) Food, fishing and seabirds in the Benguela upwelling 572 system. J Ornithol 148:253-260

573 Crawford RJM, Dyer BM (1995) Responses by four seabird species to a
574 fluctuating availability of Cape anchovy Engraulis capensis off South Africa.
575 Ibis 137:329-339

576 Cunningham GB, Nevitt GA (2011) Evidence for Olfactory Learning in 577 Procellariiform Seabird Chicks. J Avian Biol 42(1):85-88.

578 Cury P (2000) Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and 579 structural changes in 'wasp-waist' ecosystems. ICES J Mar Sci 57:603-580 618.

581 Davoren GK, Montevecchi WA, Anderson JT (2003) Distributional patterns of a
582 marine bird and its prey: habitat selection based on prey and conspecific
583 behaviour. Mar Ecol Prog Ser 256:229-242

584 Durazo R, Harrison NM, Hill AE (1998) Seabird observations at a tidal mixing 585 front in the Irish Sea. Estuar Coast Shelf Sci 47:153-164

586 Fauchald P (2009) Spatial interaction between seabirds and prey: review and
587 synthesis. Mar Ecol Prog Ser 391:139-151. doi:10.3354/meps07818

588 Favero M, Bó MS, Silva Rodríguez MP, García Mata C (2000) Food and 589 feeding biology of the South American Tern during the nonbreeding 590 season. Waterbirds 23:125-129.

591 Forero MG, Hobson KA, Bortolotti GR, Donázar JA, Bertellotti M, Blanco G 592 (2002) Food resource utilisation by the Magellanic penguin evaluated 593 through stable-isotope analysis: Segregation by sex and age and influence offspring 594 on quality. Mar Ecol Prog Ser 234:289-299. 595 doi:10.3354/meps234289.

596 Frere E, Gandini P, Lichtschein V (1996) Variacion latitudinal en la dieta del 597 pinguino (Spheniscus magellanicus). Ornitol Neotrop 7:35-41.

Gandini P, Frere E, Boersma PD (1996) Status and conservation of the
Magellanic Penguin *Spheniscus magellanicus* in Patagonia, Argentina. Bird
Conservation International 6:307-316.

Garthe S (1997) Influence of hydrography, fishing activity, and colony location
on summer seabird distribution in the south-eastern North Sea. ICES J Mar
Sci 54(4):566-577. doi:10.1006/jmsc.1997.0253

Gasalla MA, Velasco G, Rossi-Wongtschowski CLDB, Haimovici M, Madureira
LSP(2007) Modelo de equilíbrio do ecossistema marinho da Região
Sudeste- Sul do Brasil entre 100 - 1000 m de profundidade. Série
documentos do REVIZEE-Score Sul. São Paulo, Edusp.

- 608 González-Solís J, Shaffer S (2009) Introduction and synthesis: spatial ecology
 609 of seabirds at sea. Mar EcolProg Ser 391:117-120.
- Goyert HF, Manne LL, Veit RR (2014) Facilitative interactions among the
 pelagic community of temperate migratory terns, tunas and dolphins. Oikos
 123:1400-1408.
- Haimovici M, Pereira, SD, Vieira PC (1989) La pesca demersal en el sur do
 Brasil en el periodo 1975-1985. Frente Maritimo 5(A):151-163.
- Haney JC, McGillivary PA (1985) Midshelf fronts in the South Atlantic Bight and
 their influence on seabird distribution and seasonal abundance. Biol
 Oceanogr 3:401-430
- Hansen JE (2000). Anchoíta Engraulis anchoita. In: Bezzi P, Akselman R,
 Boschi E (eds) Síntesis Del Estado De Las Pesquerías Marítimas En
 Argentina y La Cuenca Del Plata. Anos 1997–1998, Con Actualización
 1999: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP).
 Mar del Plata.
- Hansen JE (2004) Anchoíta (Engraulis anchoita). In: Sánchez R, Bezzi S (eds)
 El Mar Argentino y Sus Recursos Pesqueros. Tomo 4. Los Peces Marinos
 De Interés Pesquero. Caracterización Biológica y Evaluación Del Estado
 De Explotación. Instituto Nacional De Investigacion y Desarrollo Pesquero
 –INIDEP. Mar del Plata.
- Hansen JE, Garciarena D, Buratti CC, Orlando P (2014) Dinámica Poblacional
 De La Anchoíta Bonaerense Entre 1990 Y 2013: Ecomendaciones De
 Capturas Máximas En El Ano 2014. Informe Técnico –Instituto Nacional de
 Investigacion y Desarrollo Pesquero –INIDEP, 08/2014.
- Harrison P (1985) Seabirds: an identification guide. London: Christopher Helm.

Hebshi A, Duffy D, Hyrenbach K (2008) Associations between seabirds and
subsurface predators around Oahu, Hawaii. Aquat Bio 19(3):89-98.
doi:10.3354/ab00098.

- 636 Hilbe JM (2011) Negative Binomial Regression. Cambridge University Press,637 New York.
- Hunt GL (1990) The pelagic distribution of marine birds in a heterogeneous
 environment hydrographic structures. Polar Res 28:43-54.
- Hunt GL, Schneider DC (1987) Scale-dependent processes in the physical and
 biological environment of marine birds. In: Croxall JP(ed) Seabirds: feeding
 ecology and role in marine ecosystems. Cambridge Univ. Press.
- Jackman S (2008). pscl: Classes and Methods for R Developed in the Political
 Science Com- putational Laboratory, Stanford University. Department of
 Political Science, Stanford Uni- versity, Stanford, California. R package
 version 0.95, URL http://CRAN.R-project.org/ package=pscl.
- Jiménez S, Domingo A, Brazeiro A (2009) Seabird bycatch in the Southwest
 Atlantic: interaction with the Uruguayan pelagic longline fishery. Polar Biol
 32:187-196.
- Jiménez S, Domingo A, Abreu M, Brazeiro A (2011) Structure of the seabird
 assemblage associated with pelagic longline vessels in the southwestern
 Atlantic: implications for bycatch. Endanger Species Res 15(3):241-254.
 doi:10.3354/esr00378.
- Karpouzi VS, Watson R, Pauly D (2007) Modelling and mapping resource
 overlap between seabirds and fisheries on a global scale: A preliminary
 assessment. Mar Ecol Prog Ser 343:87-99. doi:10.3354/meps06860

- Kinder, T. H., Hunt, G. L., Schneider, D., Schumacher, J. D. (1983).
 Correlations between seabirds and ocenic fronts around the Pribilof
 Islands, Alaska. Estuar Coast Shelf Sci 16(3):309–319. doi:10.1016/02727714(83)90148-8
- 661 Le Fèvre J (1986) Aspects of the biology of frontal systems. Adv Mar Biol662 23:164-299.
- Lima ID, Castello JP (1995) Distribution and abundance of South–west Atlantic
 anchovy spawners (*Engraulis anchoita*) in relation to oceanographic
 process in the southern Brazilian shelf. Fish Oceanogr 4:1–16.
- 666 MacLennan DN, Gutierrez M, Castillo R, Ganoza F, Escudero L, Gonzalez A,
- 667 Chalén X, Aliaga A (1998) Target strength of Anchovy (*Engraulis ringens*)
 668 using frequencies of 38 and 120 kHz. IMARPE Report N°133
- Maclennan DN, Simmonds EJ (1992) Fisheries Acoustics. Chapman & Hall,
 Fish and Fisheries Series 5, London.

671 Madureira LASP, Castello JP, Prentice-Hernández C, Queiroz MI, Santo ML,

Ruiz WA, Abdallah P, Hansen JE, Bertolotti MI, Manca ES, Yeannes MI,
Avdalov N, Amorin S (2009) Current and potential alternate food use of the

674 Argentine anchoita (*Engraulis anchoita*) in Argentina, Uruguay and Brazil.

In: Hasan MR (ed) Fish as Feed Inputs for Aquaculture: Practice,
Sustainability and Implications, 518. FAO Fisheries and Aquaculture
Technical Paper, Rome.

678 Mann KH, Lazier JRN (2006) Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-679 physical interactions in the oceans (3rd edition). Blackwell publishing.

680 Mariano-Jelicich R, Silva Rodriguez MP, Copello S, Pon JPS, Berón MP, Mauco

681 L, Ghys MI, Favero M (2011). The diet of the South American Tern: The

682 Argentine Anchovy as key prey in the non-breeding season. Emu683 111(4):292-296. doi:10.1071/MU10055.

Matsuura Y (1996) A probable cause of recruitment failure of the Brazilian
sardine, Sardinella aurita population during the 1974/75 spawning
seasons. S Afr J Mar Sci 17:29-35.

Möller OO, Piola AR, Freitas AC, Campos EJD (2008) The effects of river
discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America.
Cont Shelf Res 28:1607-1624. doi:10.1016/j.csr.2008.03.012

690 Muelbert JH, Acha M, Mianzan H, Guerrero R, Reta R, Braga ES, Garcia VMT,

Berasategui A, Gomez-Erache M, Ramírez F (2008) Biological , physical
and chemical properties at the Subtropical Shelf Front Zone in the SW
Atlantic Continental Shelf. Cont Shelf Res 28:1662-1673.
doi:10.1016/j.csr.2007.08.011z

Neves T, Vooren CM, Bugoni L, Olmos F, Nascimento L (2006) Distribuição e
abundância de aves marinhas no sudeste-sul do Brasil. In: Neves T,
Bugoni L, Rossi- Wongtschowski CLB (eds) Aves oceânicas e suas
interações com a pesca na região sudeste-sul do Brasil. USP-REVIZEE:
São Paulo.

Nevitt G (1999) Olfactory foraging in Antarctic seabirds: A species-specific
attraction to krill odors. Mar Ecol Prog Ser 177:235-241.
doi:10.3354/meps177235.

O'Hara PD, Morgan KH, Sydeman WJ (2006) Primary producer and seabird
associations with AVHRR-derived sea surface temperatures and gradients
in the southeastern Gulf of Alaska. Deep Sea Res II 53(3-4):359-369.
doi:10.1016/j.dsr2.2006.01.011.

- 707 Odebrecht C, Garcia VMT (1997) Phytoplankton. In: Seeliger U, Odebrecht C,
- 708 Castello JP (eds) Subtropical convergence environments. Springer
 709 Verlag, Heidelberg. p 105-109.
- Olson DB, Podestá GP, Evans RH, Brown OB (1988) Temporal variations in the
 separation of Braziland Malvinas currents. Deep Sea Res 35:1971-1990.
- 712 Onley D, Scofield P (2007) Albatrosses, Petrels & Shearwaters of the World.
 713 Princeton Field Guides.
- Piatt I, Sydeman W (2007) Seabirds as indicators of marine ecosystems. Mar
 Ecol Prog Ser 352:199-204.
- Piatt JF, Harding AMA, Shultz M, Speckma, SG, van Pelt TI, Drew GS, Kettle
 AB (2007) Seabirds as indicators of marine food supplies: cairns revisited.
 Mar Ecol Prog Ser 352:221–234
- Piola AR, Campos EJD, Möller OO, Charo M, Martinez C (2000) Subtropical
 Shelf Front off eastern South America. J Geophys Res 105:6565-6578.
 doi:10.1029/1999JC000300.
- Piola AR, Möller, OO, Guerrero RA, Campos EJD (2008) Variability of the
 subtropical shelf front off eastern South America: Winter 2003 and summer
- 724 2004. Cont Shelf Res 28, 1639–1648. doi:10.1016/j.csr.2008.03.013
- Pütz K, Ingham RJ, Smith JG (2000) Satellite tracking of the winter migration of
 Magellanic Penguins (*Spheniscus magellanicus*) breeding in the Falkland
 Islands. Ibis 142:614-622
- R Development Core Team, 2014. R: A language and environment for statistical
 computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN
- 730 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org/.

Reid K, Croxall JP, Briggs DR, Murphy EJ. (2005) Antarctic ecosystem
monitoring: quantifying the response of ecosystem indicators to variability
in Antarctic krill. ICES J Mar Sci 62:366-373.

Reid K, Sims M, White RW, Gillon K (2004) Spatial distribution of predator-prey
interactions in the Scotia Sea: implications for measuring predator-fisheries
overlap. Deep Sea Res 51:1383–1396.

Russell RW, Harrison NM, Hunt GL (1999) Foraging at a front: hydrography,
zooplankton, and avian planktivory in the northern Bering Sea. Mar Ecol
Prog Ser 182:77–93.

740 Santora JA, Ralston S, Sydeman WFJ (2011) Spatial organization of krill and

seabirds in the central California Current. ICES J Mar Sci 68:1391–1402

742 Santora J A, Reiss CS, Cossio AM, Veit RR (2009) Interannual Spatial
743 Variability of Krill (Euphausia Superba) Influences Seabird Foraging
744 Behavior near Elephant Island, Antarctica. Fish Oceanogr 18(1):20–35.

Scales KL, Miller PI, Embling CB, Ingram SN, Pirotta E, Votier SC (2014)
Mesoscale fronts as foraging habitats: composite front mapping reveals
oceanographic drivers of habitat use for a pelagic seabird. J Royal Society
11(100):1-9. doi:10.1098/rsif.2014.0679.

Schneider D (1982) Fronts and Seabird Aggregations in the Southeastern
Bering Sea. Mar Ecol Prog Ser 10:101–103. doi:10.3354/meps010101

751 Schneider, D. (1990). Seabirds and fronts: a brief overview. Polar Res 8:17–22.

752 Schneider D, Harrison NM, Hunt G L (1987) Variation in the occurrence of

753 marine birds at fronts in the Bering Sea. Estuar Coast Shelf Sci 25(1):135–

754 141. doi:10.1016/0272-7714(87)90031-X

- Scolaro JA, Badano, L A (1986) Diet of the Magellanic Penguin (*Spheniscus magellanicus*) during the chick-rearing period at Punta Clara, Argentina.
 Cormorant 13:91-97
- Scolaro, JA,Wilson RP, Laurenti S, Kierspel M, Gallelli H, Upton JA (1999)
 Feeding preferences of the Magellanic Penguin over its breeding range in
 Argentina. Waterbirds 22:104–110.
- Shealer D (2001). Foraging behavior and food of seabirds. In: Schreiber EA,
 Burger J (eds) Biology of Marine Birds. CRC Press. Florida.

763 Sick H (1997) Ornitologia Brasileira. Nova fronteira, Rio de Janeiro, 862 pp

- Sih A (2005) Predator-prey space use as an emergent out- come of a
 behavioral response race. In: Barbosa P, Castellanos I (eds) Ecology of
 predator-prey interactions. Oxford
- 767 Sih A (1984) The behavioral response race between predator and prey. Am
 768 Naturalist 123:143–150.
- SOFIA (2012) The State of World Fisheries and Aquaculture. Fisheries and
 aquaculture department food and agriculture Organization of the United
 nations, Rome
- Springer A, Roseneau D, Lloyd D, McRoy C, Murphy E (1986) Seabird
 responses to fluctuating prey availability in the eastern Bering Sea. Mar
 Ecol Prog Ser 32:1-12. doi:10.3354/meps032001.
- Stokes DL, Boersma PD, Davis LD (1998) Satellite tracking of Mag-ellanic
 Penguins migration. Condor 100:376–381
- Tasker M, Jones PH, Dixon T, Blake BF (1984) Counting seabirds at sea from
 ships: A review of methods employed and a suggestion for a standardized
 aproach. The Auk 101(3):11. doi:10.2307/4086610.

780 Tremblay Y, Bertrand S, Henry RW, Kappes MA, Costa DP, Shaffer SA (2009)

781 Analytical approaches to investigating seabird-environment interactions: A

782 review. Mar Ecol Prog Ser 391:153-163. doi:10.3354/meps08146

- 783 Veit RR (1995) Pelagic communities of seabirds in the South Atlantic Ocean. 784 Ibis 137:1–10
- 785 Velarde E, Soledad-Tordesillas M de la, Vievra L, Esquivel R (1994) Seabirds 786 as indicators of important fish populations in the Gulf of California. CalCOFI 787 Rep vol 35:137-143.
- 788 Velasco CG, Castello JP (2005) An ecotrophic model of southern Brazil 789 continental shelf and fisheries scenarios for Engraulis anchoita (Pisces, 790 Engraulididae). Atlântica 27(1):59-68.
- 791 Vilchis LI, Ballance, LT, Fiedler PC (2006) Pelagic habitat of seabirds in the eastern tropical Pacific: Effects of foraging ecology on habitat selection. 792 793 Mar Ecol Prog Ser 315:279–292. doi:10.3354/meps315279
- 794 Vooren C M, Fernandes, AC (1989) Guia de albatrozes e petréis do sul do 795 Brasil. Porto Alegre: Editora Sagra.
- 796 Williams TD (1995) The Penguins. Oxford University Press, Oxford.
- Wilson RP, Scolaro JA, Grémillet D, Kierspel MAM, Laurenti S, Upton J, Gallelli 798 H, Quintana F, Frere E, Müller G, Straten MT, Zimmer I (2005) How do 799 magellanic penguins cope with variability in their access to prey? Ecol. 800 Monogr 75(3):379-401
- 801 Zavialov PO, Kostianov AG, Möller OO (2003) SAFARI Cruise: Mapping River
- 802 Discharge Effects on Southern Brazilian Shelf. Geophys Res Lett 30 (21):1-
- 803

4.

Zeileis A, Kleiber C, Jackman S (2007) Regression models for count data in R.

805 Research Report Series / Department of Statistics and Mathematics

Zuur AF, Ieno EN, Walker NJ, Saveliev A, Smith G (2009) Mixed Effects Models
and Extensions in Ecology with R. Springer, New York

Zwolinski J, Demer D, Cutter G, Stierhoff K, Macewicz B (2014) Building on
 Fisheries Acoustics for Marine Ecosystem Surveys. Oceanogr 27(4):68-79.

810 doi:10.5670/oceanog.2014.87.

811 7. Acknowledgements

812 We thank the Institute of Oceanography of the Rio Grande Federal 813 University (FURG), the Ministry of Fisheries and Aquaculture (MPA), the 814 Coordination for the Improvement of Higher Level Education Personnel 815 (CAPES-MEC), and the National Counsel of Technological and Scientific 816 Development (CNPQ-MCTi) for providing financial support. We also 817 acknowledge Commander Homero Alvariza ("in memoriam") of the R/V 818 Atlântico Sul and his crew for their support at sea. Thank Leandro Bugoni and 819 his team for bird count in surveys.

Table 1- Summary of Argentine anchovy (*Engraulis anchoita*) and environmental variables to

Predictor	Mean	SD	min	max
TSM (°C)	14.43	1.57	11.2	17.05
Bottom temperature (°C)	14.51	2.03	10.29	19.27
SSM	29.22	1.78	20.71	32.89
Bottom salinity	32.41	2.34	25.27	36.09
Surface - Bottom				
temperature	1.39	0.97	0	3.9
Surface - Bottom salinity	3.192	2.11	0.07	7.11
Depth (m)	43.64	21.87	13.02	104.45
Distance of coast (nm)	34.57	20.18	3	88
Anchovy density (ton nm				
²)	31.34	106.55	0	935.04

822 five surveys conducted in 2010 in southern Brazilian continental shelf

823 Table 2- Frequency of occurrence (presence/census) and relative abundance (birds/census) of

824 seabirds' species observed in five surveys conducted in 2010.

Number of counts (n = 188)	Common name	Frequency of Occurrence (%)	Mean (birds/nm ²)	sd	N(%) (n=1305)
Pelagic seabirds	-	-	-	-	-
Spheniscus magellanicus	Magellanic penguin	24.47	9.74	40.77	28.89
Procellaria aequinoctialis	White-chinned petrel	25.53	7.26	26.31	21.53
Thallassarche melanophris	Black-browed albatross	35.11	3.43	8.41	10.19
Thallassarche chlororhynchos	Atlantic yellow-nosed albatross	13.83	1.99	7.89	5.90
Thallassarche sp.	-	5.85	0.39	1.66	1.15
Daption capense	Cape petrel	2.66	0.18	1.16	0.54
Oceanites oceanicus	Wilson's Storm-petrel	3.72	0.21	1.10	0.61
Macronectes giganteus	Southern giant petrel	2.13	0.10	0.70	0.31
Macronectes halli	Northern giant petrel	0.53	0.03	0.35	0.08
Macronectes sp.	-	1.60	0.18	1.84	0.54
Puffinus puffinus	Manx shearwater	12.77	2.38	13.18	7.05
Puffinus gravis	Great shearwater	5.85	0.67	3.30	1.99
Stercorarius spp.	Skuas and jaegers	3.72	0.26	1.64	0.77
Coastal seabirds					
Sterna hirundo	Common Tern	1.06	0.23	2.37	0.69
Sterna hirundinacea	South American Tern	2.66	0.21	1.31	0.61
Sterna trudeaui	Snowy-crowned Tern	0.53	0.03	0.35	0.08
<i>Sterna</i> spp.	-	23.94	5.99	24.84	17.78
Talasseus maximus	Royal Tern	1.60	0.31	3.57	0.92
Chroicocephalus maculipennis	Brown-hooded Gull	1.60	0.08	0.61	0.23
Larus dominicanus	Kelp Gull	0.53	0.03	0.35	0.08
Podicephorus major	Great Grebe	0.53	0.03	0.35	0.08

Surveys 2010	DATE		depth (m)		Temperature (°C)		Biomass (ton)	Absolute abundance	
	Start	End	Min	max	mean ± sd	mean ± sd	Total	Flying birds	Penguin
June	22/06/2010	29/06/2010	11.3	117	16.7 ± 1.3	32.6 ± 1.9	72,750	113,058	1,537
Aug	06/08/2010	18/08/2010	11.5	118	14.0 ± 2	32.2 ± 2.7	814,016	249,524	269,415
Aug/Sept	31/08/2010	06/09/2010	10.6	104.1	16.1 ± 1.3	33.5 ± 2.5	317,354	267,260	64,992
Sept	16/09/2010	26/09/2010	12.4	122.8	14.2 ± 2.3	33.0 ± 1.8	599,943	621,446	205,693
Oct	04/10/2010	10/10/2010	12	116.4	14.5 ± 1.6	32.2 ± 1.9	443,069	95,222	38,522

Table 3-Summary date, depth, temperature, salinity, anchovy biomass and Absolute abundance (flying birds and penguin) to each survey conducted in 2010.

827 Table 4- Summary of the retained variables in the final ZANB model of flying seabirds: the
828 count portion (top) and the binomial portion (bottom). ΔAIC is the difference (increase) in AIC

829	value by when	each variable is	excluded from	the model.
-----	---------------	------------------	---------------	------------

Count	Estimated	Standard	Z		
model	coefficient	error	score	p-value	ΔAIC
(Intercept)					
ΔΤ	-0.3941	0.1126	3.5010	0.0005	9.4546
ΔS	0.2218	0.0571	3.8870	0.0001	13.1437
Log (theta)	-0.1694	0.1741	0.9730	0.3306	
Binomial					
model					
(Intercept)	7.2749	2.2252	3.2690	0.0011	-
			-		
SST	-0.4246	0.1485	2.8580	0.0043	8.4144

- 830 **Table 5-** Summary table of the retained variables in the final ZINB model to Magellanic penguin:
- 831 the count portion (top) and the binomial portion (bottom). △AIC is the difference (increase) in
- 832 AIC value by when each variable is excluded from the model.

Count model	Estimated coefficient	Standard error	Z score	p-value	Δ AIC
(Intercept)	4.9296	1.0791	4.5680	<0.0001	
Anchovy density	0.0036	0.0010	3.5650	0.0004	17.8067
Bottom temperature	-0.1453	0.0781	- 1.8610	0.0628	3.2830
Log (theta)	-0.0780	0.2730	0.2860	0.7751	
Binomial model					
(Intercept)	4.8945	3.4978	1.3990 -	0.1617	
Anchovy density	-0.0057	0.0029	1.9560	0.0505	3.3644
Bottom temperature	0.6138	0.1556	3.9440	<0.0001	18.3048
Bottom salinity	-0.3855	0.1232	3.1300	0.0018	9.98834
834 **Figure captions**:

Figure 1. Survey design and distribution of station along transects. A) Survey design applies in June and August surveys; B) Survey design applies in August/September survey; C) Survey design applies in September and October surveys. The left corner of the panel B highlights inter transect distance applied to biomass acoustic estimative.

Figure 2. Density of flying birds (left) and Magellanic penguins (right)
(individuals per nm⁻²) Bars indicate the number of sets containing each unique
count of seabirds.

Figure 3. Top panel: Distribution of the bottom temperature (°C) during each survey. Black dots indicate adult anchovy biomass estimates vertically integrated the sampled water column to one nautical mile along-track intervals. White triangles represent flying bird's density (no. individuals .nm⁻²) and white square represent penguin density (no. individuals.nm⁻²). Bottom panel: Variation in anchovy biomass and absolute abundance by flying birds and penguins along five surveys.

Figure 4. Simulation models of the effect of the significant variables on flying seabirds as detected by GLM. Only one variable was simulated at a time by fixing others variables.

Figure 5. Simulation models of the effect of the significant variables on Magellanic penguin as detected by GLM. Only one variable was simulated at a time by fixing others variables. The shaded area correspond to the interval of water mass indices describe by Möller et al. (2008) as SASW (T \leq 14°C;33.5<S \leq 34.2) and PPW (T>10°C;S \geq 33.5)

169

858 Figure 1.



170







863 Figure 4



173



