

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE ANIMAL**

**INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE AMBIENTAL
MARINHA NA CAPTURA DA SARDINHA-
VERDADEIRA *Sardinella brasiliensis* (STEINDACHNER,
1879) NO SUL DO BRASIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Sherida Ferreira Pinheiro de Mesquita

Santa Maria, RS, Brasil

2013

PPGBA/ UFSM, RS

PINHEIRO-MESQUITA, Sherida Ferreira

Mestre

2013

**INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE AMBIENTAL MARINHA
NA CAPTURA DA SARDINHA-VERDADEIRA *Sardinella
brasiliensis* (STEINDACHNER, 1879) NO SUL DO BRASIL**

Sherida Ferreira Pinheiro de Mesquita

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Animal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências Biológicas, Área – Biodiversidade Animal**.

Orientador: Ronald Buss de Souza

Co-orientador: Eduardo Tavares Paes

Santa Maria, RS, Brasil

2013

Ferreira Pinheiro de Mesquita, Sherida
Influência da variabilidade ambiental marinha na
captura da sardinha-verdadeira *Sardinella brasiliensis*
(Steindachner, 1879) no Sul do Brasil / Sherida Ferreira
Pinheiro de Mesquita.-2013.
45 p.; 30cm

Orientador: Ronald Buss de Souza
Coorientador: Eduardo Tavares Paes
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Biodiversidade Animal, RS, 2013

1. Sardinha-verdadeira 2. Temperatura da superfície do
mar 3. Clorofila 4. Índice de Oscilação Sul I. Buss de
Souza, Ronald II. Tavares Paes, Eduardo III. Título.

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Animal

A Comissão Examinadora , abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado

INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE AMBIENTAL MARINHA NA CAPTURA DA SARDINHA-VERDADEIRA *Sardinella brasiliensis* (STEINDACHNER, 1879) NO SUL DO BRASIL

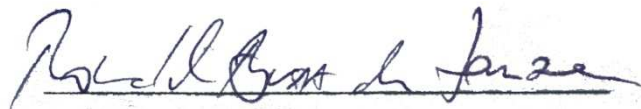
elaborada por

Sherida Ferreira Pinheiro de Mesquita

como requisito parcial para a obtenção do grau de

Mestre em Ciências Biológicas, área Biodiversidade Animal

COMISSÃO EXAMINADORA:



Ronald Buss de Souza, Dr. (INPE)

(Presidente/Orientador)



Tatiana Mora Kuplich, Dra. (INPE)



Everton Rodolfo Behr, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 25 de janeiro de 2013

Muitas pessoas fizeram parte desse trabalho, direta ou indiretamente, e venho aqui prestar os meus sinceros e cordiais agradecimentos.

Ao meu orientador, Ronald Buss de Souza, que me mostrou que era possível trabalhar com o mar, minha paixão, mesmo a quilômetros dele, através da oceanografia por satélites. E mesmo sendo inexperiente nessa área, agradeço a paciência e estímulo durante todo o processo.

Ao meu co-orientador, Eduardo Tavares Paes, pela acolhida em Belém durante o estágio, me mostrando os diversos horizontes das minhas análises, me ensinando a ler meus dados e interpretá-los. Muito obrigada por ter participado de tudo isso!

À CAPES por ter concedido minha bolsa de mestrado, fato que facilitou a minha estadia em Santa Maria e meu estágio com meu co-orientador em Belém.

Aos meus importantíssimos *help desk* das rotinas de Matlab, Catarina Cecilio, Eduardo Gigliotti e especialmente Marcelo Santini, o meu muito obrigada mesmo, vocês foram essenciais para o meu trabalho.

Ao prof. Antonio Olinto e Eduardo Moraes, agradeço pelas dúvidas tiradas e dicas dadas em relação a pesca da sardinha-verdadeira.

Ao prof. Paulo Pezzuto, por ter cedido os dados pesqueiros do litoral catarinense, através dos Boletins Estatísticos Pesqueiros da UNIVALI.

Ao Walter Pinaya por ter me ajudado com os trâmites do Ministério da Pesca e Aquicultura, assim como por ter me introduzido no assunto “pesca”.

Ao pessoal do LAMOS por todas as risadas e abraços apertados que vocês me proporcionaram durante as piores horas do meu estresse.

Aos meus L's queridos, Lara, Letícia e Larissa, por estarem sempre junto nos momentos alegres e ruins. Obrigada pelos abraços, risadas, saídas, visitas e cervas! A amizade vai além das fronteiras geográficas.

Aos meus pais, Romene e Arquimedes e meu irmão, Nickollas, os grandes responsáveis por tudo o que sou e quem eu sou. Essa conquista também é de vocês! Amo muito!

Ao meu esposo e colega de trabalho, Paulo Cesar, agradeço pela paciência, dedicação, estímulo, exemplo e força durante dia e noite. Obrigada por sempre acreditar em mim e me fazer ir em frente. Você é indispensável na minha vida!

À tantas outras pessoas que participaram desse processo, o meu muito obrigada!

“Nascemos com os olhos acostumados ao azul das águas. Temos um corpo que anseia pelo braço do mar e um pulmão que aceita grandes privações de ar apenas para prolongar a nossa vida no mundo azul.”

(Jacques Cousteau)

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Animal

Universidade Federal de Santa Maria

INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE AMBIENTAL MARINHA NA CAPTURA DA SARDINHA-VERDADEIRA *Sardinella brasiliensis* (STEINDACHNER, 1879) NO SUL DO BRASIL

AUTORA: SHERIDA FERREIRA PINHEIRO DE MESQUITA

ORIENTADOR: RONALD BUSS DE SOUZA

CO-ORIENTADOR: EDUARDO TAVARES PAES

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 25 de fevereiro de 2013

A *Sardinella brasiliensis*, peixe pelágico marinho que tem um único estoque pesqueiro confinado na costa brasileira, ocorre desde o Rio de Janeiro (22° S) até Santa Catarina (29° S). As variáveis ambientais influenciam a biologia dos peixes de diferentes formas. Aqui investigamos a influência de variabilidade ambiental marinha na Captura por Unidade de Esforço (CPUE) da *S. brasiliensis* no Sul do Brasil durante 10 anos. A CPUE é relacionada com os picos de oscilação da captura da espécie com variáveis como a temperatura da superfície do mar (TSM), concentração de clorofila (CC) e o Índice de Oscilação Sul (SOI). Os dados de CPUE foram obtidos a partir dos Boletins Estatísticos Pesqueiros da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI). Os dados de TSM provém do projeto NOAA *Pathfinder*, a CC a partir do banco de dados *Giovanni* da NASA e o SOI a partir do banco de dados do *Bureau of Meteorology* australiano. Dividimos o local de estudo em quatro áreas, confinadas na costa sul do Brasil até a isóbata de 100 m. Calculamos as anomalias de temperatura da superfície do mar (ATSM). Todas as séries de tempo foram tratadas utilizando interpolação linear para dados faltantes, filtradas por um filtro de média móvel de três pontos e submetidas à análises de correlação cruzada e transformada de ondeleta. Observamos que CPUE e ATSM são correlacionados inversamente enquanto que CPUE e CC são correlacionados diretamente. Há um ciclo anual para CC e bianual para ATSM. A transformada de ondeleta de CPUE mostra fortes sinais no período de 16 meses, ao longo de toda a série de tempo. Nos anos de 2001 a 2002 e entre 2003 e 2006 o período de 21 meses é igualmente importante e forte. Sabendo que o estoque adulto da sardinha acompanha a dinâmica da Corrente Costeira do Brasil, sugerimos que uma maior estabilidade dessa corrente em termos de ATSMs mais positivas e CCs mais altas favorecem desovas mais bem sucedidas e condições mais propícias para o recrutamento da *S. brasiliensis* ao estoque adulto um ano mais tarde.

Palavras-chave: Temperatura da superfície do mar. Clorofila. Índice de Oscilação Sul.

ABSTRACT

Master Dissertation

Post graduation in Animal Biodiversity

Universidade Federal de Santa Maria

INFLUENCE OF THE MARINE ENVIRONMENTAL VARIABILITY ON THE CAPTURE OF THE BRAZILIAN SARDINE *Sardinella brasiliensis* (STEINDACHNER, 1879) IN SOUTHERN BRAZIL

AUTHOR: SHERIDA FERREIRA PINHEIRO DE MESQUITA

ADVISOR: RONALD BUSS DE SOUZA

CO-ADVISOR: EDUARDO TAVARES PAES

Sardinella brasiliensis is a marine pelagic fish that belongs to a single fish stock confined at the Brazilian coast, occurs from Rio de Janeiro (22 ° S) to Santa Catarina (29 ° S) states in southern Brazil. Environmental variables influence on the biology of fishes in different ways. Here we investigate the influence of marine environmental variability on the Catch per Unit of Effort (CPUE) of *S. brasiliensis* in southern Brazil for 10 years. We tested the correlation of the peaks of oscillation of CPUE with variables such as the sea surface temperature (SST), chlorophyll concentration and the Southern Oscillation Index (SOI). CPUE data were obtained from Fisheries Statistics Bulletins, from the University of Vale do Itajai (UNIVALI). The SST data come from the NOAA Pathfinder project, the chlorophyll concentration (CC) from the NASA Giovanni database and the SOI from the Australian Bureau of Meteorology database. We divided the study area into four areas, confined at the southern coast of Brazil down to the 100 m isobath. We calculated the anomalies of sea surface temperature (SSTA). All time series were treated using linear interpolation for missing points, a 3-point moving average filter, then submitted to cross-correlation analysis and wavelet transform. We found that CPUE and SST are inversely correlated while CPUE and CC are directly correlated. There is an annual cycle of CC and biannual for SSTA. The wavelet transform CPUE shows a strong signal in the period of 16 months, all along the time series. In the years 2001 to 2002 and from 2003 to 2006, the period of 21 months is also important and strong. Knowing that the sardine adult stock follows the dynamics of the Brazil Coastal Current, we suggest greater stability of the current in terms of more positive SSTAs and CCs favoring higher spawns more successful and improve conditions for recruitment of *S. brasiliensis* adult stock to a year later.

Key words: Sea surface temperature. Chlorophyll. Southern Oscillation Index.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	8
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11
ARTIGO – Influência da variabilidade ambiental marinha na captura da sardinha-verdadeira <i>Sardinella brasiliensis</i> (Steindachner, 1879) no Sul do Brasil.....	13
RESUMO	13
INTRODUÇÃO.....	14
MATERIAL E MÉTODOS.....	17
RESULTADOS	20
DISCUSSÃO	21
REFERÊNCIAS	26
FIGURAS E TABELAS.....	30
CONCLUSÕES GERAIS	39
LIMITAÇÕES DO TRABALHO E TRABALHOS FUTUROS.....	40
Anexo A – Dados de pesca retirados dos Boletins de Estatística Pesqueiros da UNIVALI.	41

INTRODUÇÃO GERAL

A sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* (Staindachner, 1879), é pertencente à ordem Clupeiformes e à família Clupeidae que atualmente possui 66 gêneros e 216 espécies com distribuição global (FISHBASE, 2013). A sardinha-verdadeira ocorrendo restritamente sobre a Plataforma Continental do Sudeste do Brasil a partir do Cabo de São Tomé no Rio de Janeiro (22°S) até o Cabo de Santa Marta Grande em Santa Catarina (29°S) (CERGOLE e VALENTINI, 1994; CERGOLE, 1995; DALLAGNOLO et al., 2010).

A sardinha-verdadeira se caracteriza por ser uma espécie pelágica marinha de águas costeiras, vivendo em até aproximadamente 100 m de profundidade. Seu tamanho na fase adulta varia de 9 cm chegando até os 25 cm de comprimento. Alcança a maturidade com aproximadamente um ano de idade, seu tipo de desova é parcelada, cujo a fêmea libera pequenas parcelas de ovócitos em determinadas regiões, entre 15 e 30 metros de profundidade (MATSUURA, 1998). A desova acontece durante a noite, o que pode ser considerado como uma estratégia de sobrevivência já que a atividade marinha diminui durante o período noturno, minimizando a predação dos ovos. A maior concentração de fauna desovante é localizada principalmente em Santos (SP) e Itajaí (SC), os grandes desembarques que se localizam nos portos dessas cidades podem ter relação com a população desovante de sardinha-verdadeira que ali se concentram.

Essa espécie é considerada o principal recurso pesqueiro brasileiro, responsável por mais de 30% da produção nacional (DIAS-NETO e DORNELLES, 1996) e portanto, possui um alto valor econômico. A pesca da sardinha-verdadeira é considerada a atividade comercial marítima mais importante do Brasil que acontece desde a década de 1950. O tipo de pesca utilizado é a de cerco que utiliza uma rede de nylon distribuída por uma embarcação menor junto com uma embarcação maior, geralmente do tipo traineira, com o intuito de cercar o cardume (DALLAGNOLO et al., 2010; IBAMA, 2000).

Dados de captura da sardinha-verdadeira no Brasil vêm sendo registrados desde a década de 1960 e indicam que existe uma variação proeminente da biomassa da espécie ao longo dos anos. No início dos anos 1970 foram observadas capturas de 200

mil ton/ano, em 1990 essas capturas decaíram para cerca de 32 mil ton/ano. Em 1994 a 1997 as capturas foram em média de 118 mil ton/ano e novamente decaindo para 20 mil ton no período de 1999 a 2000 (CERGOLE, SACCARDO e ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 2002).

Essa variação pode ocorrer tanto devido aos efeitos da sobrepesca, como devido a fatores ambientais e climáticos (ZAGAGLIA e HAZIN, 2009). Pinaya (2008) analisou a influência das variações climáticas comparando com a Captura por Unidade de Esforço (CPUE) na pesca da sardinha-verdadeira. Suas unidades de esforço foram: número de barcos e número de lances de rede de pesca. As variáveis ambientais estudadas (temperatura da superfície do mar, vento e outras) explicam uma parte da variância total representada pela CPUE. O autor propõe que existam outros fatores que não foram estudados mas que são influentes sobre a biomassa da espécie.

Pinaya (2008) também observou que as anomalias do Transporte de Ekman, possuem uma grande influência sobre todo o ciclo de vida da sardinha-verdadeira, pelo enriquecimento das águas através da Água Central do Atlântico Sul (ACAS). O Transporte de Ekman por sua vez, corresponde ao movimento da água do mar devido à ação do vento. O fluxo resultante integrado na coluna d'água no Hemisfério Sul é de 90° para a esquerda da direção predominante do vento (GARRISON, 2009).

A partir de registros históricos de temperatura e salinidade, observou-se que o regime das águas junto à plataforma entre 20°S e 40°S, possui uma influência forte das águas do aporte fluvial do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos, fazendo com que a pluma que se originou dessas descargas atinjam a Plataforma Continental do Sudeste do Brasil durante o inverno (PIOLA et al., 2000).

O fenômeno El Niño – Oscilação Sul (ENOS) se caracteriza como um modo de oscilação do sistema oceano-atmosfera, apresentando uma tendência interanual. As fases quentes de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial se referem ao El Niño e as fases frias de TSM se referem à La Niña (GIGLIOTTI, 2008).

O componente atmosférico do ENOS é chamado de Oscilação Sul e é calculado através do Índice de Oscilação Sul (SOI), este por sua vez, representa a diferença da pressão atmosférica em relação ao nível do mar entre Tahiti, na Polinésia Francesa e

Darwin, na Austrália. Os valores negativos do Índice de Oscilação Sul representam eventos de El Niño e os valores positivos representam eventos de La Niña.

A clorofila é o principal pigmento fotossintético do fitoplâncton, responsável pela produtividade primária oceânica. A concentração do fitoplâncton é sensível às mudanças de correntes, Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e disponibilidade de nutrientes (PARSONS et al, 1984). A concentração de pequenos peixes pelágicos pode estar associada ao fitoplâncton, principalmente durante o período larval dos peixes, já que o ictioplâncton costuma se alimentar do fitoplâncton (SCHNEIDER e SCHWINGEL, 1999).

Devido ao fato da *S. brasiliensis* possuir seu ciclo de vida dependente do ambiente pelágico, fatores como temperatura da água, ocorrência de ventos, concentração de clorofila, ocorrência de El Niño, tem grande influência na intensidade de desova, na sobrevivência larval, no desenvolvimento das larvas e no período de recrutamento (SUNYÉ e SERVAIN, 1998; MATSUURA, 1998). O recrutamento consiste no processo de chegada de organismos jovens de uma população na área explorada por mudança de comportamento ou migração (CALAZANS, 2011).

O presente estudo tem como objetivo investigar, dentro de um período de 10 anos (2000 a 2009), a influência das variáveis ambientais marinhas na Captura por Unidade de Esforço (CPUE) de sardinha-verdadeira do litoral de Santa Catarina. A área do estudo foi dividida em quatro blocos que vão desde a linha da costa até a isóbata de 100 m de profundidade, seguindo a linha de atuação da frota e a largura da isóbata como área de abrangência da sardinha-verdadeira.

As variáveis estudadas foram: anomalia da temperatura da superfície do mar, concentração de clorofila e o Índice de Oscilação Sul. A relação entre essas variáveis e a definição dos ciclos naturais de oscilação das mesmas foram obtidas através de técnicas de análises de série de tempo de dados fazendo uso de interpolação linear para os dados faltantes, filtragem, correlação cruzada e transformada de ondeleta (wavelet).

Foi produzido um único artigo que será submetido para a revista internacional *Scientia Marina* e, portanto, a formatação do texto apresentado no mesmo segue o critério da revista pretendida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALAZANS, D. **Estudos Oceanográficos do instrumental ao prático**. Pelotas: Editora Textos, 2011. 462 p.

CERGOLE, M. C. Stock assessment of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*, of the southeastern Coast of Brazil. **Scientia Marina**, Barcelona, v. 59, n. 3-4, p. 597-610, 1995.

CERGOLE, M. C., VALENTINI, H. Growth and mortality estimates of *Sardinella brasiliensis* in the southeastern Brazilian bight. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, São Paulo, v. 42, n. ½, p. 113-127, 1994.

CERGOLE, M. C., SACCARDO, S. A., ROSSI -WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B. Fluctuations in the spawning stock biomass and recruitment of the Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) 1977- 1997. **Revista Brasileira de Oceanografia**, São Paulo, v. 50, n. único, p. 13-26, 2002.

DALLAGNOLO, R.; SCHWINGEL, P. R., PEREZ, J. A. A. Estimativas de produção anual de sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) em Santa Catarina: um modelo de projeção de capturas a partir de padrões mensais de desembarque no estado. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, v. 14, n. 2, p. 95-104, 2010.

DIAS-NETO, J.; DORNELLES, L. D. C. 1996. **Diagnóstico da pesca marítima no Brasil**. Brasília: IBAMA, 1996. 164 p. (Coleção Meio Ambiente – série estudos: Pesca, nº 20).

FISHBASE. **Banco de dados**. Disponível em: <<http://www.fishbase.org>>. Acesso em: 28 fev. 2013.

GARRISON, T. **Fundamentos de Oceanografia**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 440 p.

GIGLIOTTI, E. S. **Variabilidade ambiental da Plataforma Continental do Sudeste do Brasil e sua relação com as áreas de desova da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*)**. 2008. Folhas. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatório da reunião técnica sobre o estado da arte e ordenamento da pesca de sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) para os estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina.** Itajaí, 2000.

MATSUURA, Y. Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) spawning in the southeast Brazilian Bight over the period 1976 – 1993. **Revista Brasileira de Oceanografia**, São Paulo, v. 46, n. 1, p. 33- 43, 1998.

PARSONS, T. R., TAKAHASHI, M., HARGRAVE, B. **Distributions of plankton and nutrients.** In: Biological Oceanographic Processes. Pergamon Press, 1984. p. 11-36.

PINAYA, W. H. D. **Variabilidade climática marinha na Plataforma Sudeste Brasileira e sua relação com a pesca da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*).** 2008. 187 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) - Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2008.

PIOLA, A. R. et al. Subtropical Shelf Front off Eastern South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, p. 6565-6578, 2000.

SCHNEIDER, F., SCHWINGEL, P. R. Estudo preliminar da ecologia trófica da *Sardinella brasiliensis* na costa Sudeste do Brasil. **Notas Técnicas Facimar**, v. 3, p. 67-72, 1999.

SUNYÉ, P. S., SERVAIN, J. Effects of seasonal variations in meteorology and oceanography on the Brazilian sardine fishery. **Fisheries Oceanography**, v. 7, n. 2, p. 89-100, 1998.

ZAGAGLIA, C. R.; HAZIN, F. H. V. **Sensoriamento aplicado à pesca.** In: SOUZA, R. B. (Org.). Oceanografia por satélites. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 274-285.

ARTIGO – Influência da variabilidade ambiental marinha na captura da sardinha-verdadeira *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) no Sul do Brasil

Sherida F. Pinheiro-Mesquita^{1,2*}, Ronald B. Souza², Eduardo T. Paes³, Marcelo Santini²

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Animal. Av. Roraima s/nº, Camobi, Santa Maria, RS 97105-900, Brasil.

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, CRS, Santa Maria, RS, Brasil.

³ Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, Brasil.

*Corresponding author: sheridapinheiro@gmail.com

RESUMO

As variáveis ambientais influenciam a biologia dos peixes de diferentes formas. Aqui investigamos a influência de variabilidade ambiental marinha na Captura por Unidade de Esforço (CPUE) da *Sardinella brasiliensis* no Sul do Brasil durante 10 anos, relacionamos os picos de oscilação da captura da espécie com variáveis como a temperatura da superfície do mar (TSM), concentração de clorofila (CC) e Índice de Oscilação Sul (SOI). Dados de CPUE, anomalia de TSM (ATSM), SOI e CC foram obtidos a partir de diferentes bancos de dados. Dividimos o local em quatro áreas. Observamos que CPUE e ATSM são correlacionados inversamente enquanto que CPUE e CC são correlacionados diretamente. Há um ciclo anual para clorofila e bianual para ATSM. A transformada de ondeleta de CPUE mostra fortes sinais no período anual e em 16 meses, ao longo de toda a série de tempo. Nos anos de 2001 a 2002 e entre 2003 e 2006 o período de 21 meses é igualmente importante e forte. Sabendo que o estoque adulto da sardinha acompanha a dinâmica da Corrente Costeira do Brasil, sugerimos que uma maior estabilidade dessa corrente em termos de ATSMs mais positivas e CCs mais altas favorecem desovas mais bem sucedidas e condições mais propícias para o recrutamento da *S. brasiliensis* ao estoque adulto um ano mais tarde. No período 2004 a 2006 ocorreu uma influência negativa na CPUE devido o El Niño. Visto que *S. brasiliensis* é adaptada a ATSM positivas, provavelmente ocorreram desovas bem

sucedidas com o bom aproveitamento do suporte alimentar do fitoplâncton enquanto larvas, alcançando bom desenvolvimento e conseqüente sucesso pesqueiro.

Palavras-chave: Sardinha-verdadeira, Concentração de Clorofila, Índice de Oscilação Sul e Temperatura da Superfície do Mar.

INTRODUÇÃO

A sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis*, é uma espécie de peixe pelágico marinho dependente da estabilidade da coluna d'água para se desenvolver e é encontrada na Plataforma Continental do Sudeste do Brasil (PCSE) entre o Cabo de São Tomé (24° S), no Rio de Janeiro e o Cabo de Santa Marta Grande (29° S), em Santa Catarina (CERGOLE, 1995). Alcança a maturidade com 1 ano de idade, reproduzindo-se durante os meses de outubro a março (primavera e verão) com desova parcelada. Cada fêmea deposita uma fração dos ovócitos durante esse período, numa profundidade entre 15 m e 30 m, onde as condições de temperatura e salinidade devem estar em nível ótimo, caso contrário, a estação de reprodução pode ser deslocada para outro período. Por conta desse tipo de desova, cada fêmea acaba desovando mais de 10 vezes durante esse período (MATSUURA, 1998).

A desova da sardinha-verdadeira normalmente ocorre em diferentes locais na PCSE, mais ao norte no estado do Rio de Janeiro, ao centro entre as cidades de Santos e Iguape (São Paulo) e ao sul entre Paranaguá e Itajaí (Santa Catarina). Os locais mais persistentes de fauna desovante se localizam entre Santos e Itajaí, também identificado como local de maior densidade de ovos (MATSUURA, 1998; GIGLIOTTI et al., 2010). A desova é noturna, podendo ser considerada uma estratégia evolutiva para minimizar o efeito de predação sobre os ovos. Os estágios larvais ocorrem por até 45 dias. As larvas alimentam-se de fitoplâncton, enquanto que os juvenis incluem o zooplâncton na sua dieta (SCHNEIDER e SCHWINGEL, 1999). Por volta dos meses entre julho a agosto, alcançados os 90 mm de comprimento, ocorre o recrutamento ao estoque adulto.

No início dos anos 1970 ocorreram capturas de 200 mil ton/ano, em 1990 essas capturas decaíram para cerca de 32 mil ton/ano. Em 1994 a 1997 as capturas alcançaram, em média, 118 mil ton/ano e novamente decaíram para 20 mil ton/ano no

período de 1999 a 2000 (CERGOLE, SACCARDO e ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 2002).

De acordo com Zagaglia e Hazin (2009) as flutuações que são observadas na abundância das populações marinhas podem ser causadas tanto pela sobrepesca como pela variabilidade climática marinha. Pelo fato de *S. brasiliensis* possuir seu ciclo de vida dependente do ambiente pelágico, fatores como temperatura da água, ocorrência de ventos, variações nas florações fitoplanctônicas, ocorrência de El Niño, tem grande influência na intensidade de desova, na sobrevivência larval, no desenvolvimento das larvas e no período de recrutamento (SUNYÉ e SERVAIN, 1998; MATSUURA, 1998).

O El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico que leva ao aquecimento anormal das águas na região do oceano Pacífico Tropical, mudando o clima, ventos e os regimes de chuvas. O seu componente atmosférico é chamado de Oscilação Sul (TRENBERTH, 1997). Um dos índices para medir o El Niño e La Niña é o Índice de Oscilação Sul (SOI) que é calculado com base nas flutuações mensais ou sazonais resultantes da diferença de pressão atmosférica em relação ao nível do mar entre as cidades de Tahiti (17,5° S; 149,6° W) e Darwin (12,4° S; 130,9° W). Durante os episódios de El Niño o índice é negativo (com valores a partir de -8) e durante episódios de La Niña o índice é positivo (com valores a partir de +8).

O El Niño-Oscilação Sul (ENOS) possui uma forte ligação com o clima do sul do Brasil. O ENOS se define como um fenômeno oscilatório, resultante da interação sistema oceano-atmosfera no Pacífico Equatorial. O El Niño é considerado a fase positiva (com anomalias positivas de TSM) do ENOS e a La Niña a fase negativa (com anomalias negativas de TSM) (SOPPA, 2011).

O litoral da região Sul sofre a influência da Corrente Costeira do Brasil (CCB) e da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) que favorece uma alta produção biológica através da ressurgência produzida por essas correntes (SOUZA e ROBINSON, 2004; GIGLIOTTI et al., 2010). Franco et al. (2005) observaram que quando as águas tropicais, na superfície, e águas subtropicais nos estratos mais profundos penetram a plataforma continental há um aumento da abundância de larvas de peixes incluindo os da família Clupeidae, por causa do processo de mistura dessas águas que promove ótimo gradiente termohalino, favorecendo a estratificação da coluna d'água e

estabilidade para concentração de nutrientes necessários à floração do fitoplâncton que por sua vez serve de alimento para o ictioplâncton.

A clorofila é o principal pigmento fotossintético do fitoplâncton e está diretamente ligada à produtividade primária oceânica, concentrando-se nas camadas superficiais do mar, já que o fitoplâncton depende da radiação solar para fazer a fotossíntese. A concentração de fitoplâncton é sensível às mudanças de correntes marinhas, a temperatura da superfície do mar (TSM) e disponibilidade de nutrientes (PARSONS et al. 1984). A concentração de pequenos peixes pelágicos também pode estar associada ao fitoplâncton, principalmente durante o período larval, quando muitas espécies utilizam este recurso para alimentação (e.g. *Sardinella brasiliensis*, *Engraulis rigens* e *Engraulis anchoita* (SCHNEIDER e SCHWINGEL, 1999; LONGHURST, 1971)).

A população de *S. brasiliensis* sofre destacáveis flutuações que variam de ano para ano. Devido a isso, em tempos de instabilidade pesqueira, tem-se observado que há um redirecionamento para a exploração de outros recursos pesqueiros como, por exemplo, a corvina (*Micropogonias furnieri*) que também se encontra sob situação de sobrepesca, a tainha (*Mugil platanus*) e a anchova (*Pomatomus saltatrix*) que apresentam ciclo sazonal com variações imprevisíveis de abundância (VALENTINI e PEZZUTO, 2006; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, ÁVILA-DA-SILVA e CERGOLE, 2006). Entretanto, não se sabe se as espécies “compensatórias” são capazes de oferecer biomassa suficiente para suportar a pescaria industrial, além de não se saber se possuem a boa resiliência que a *S. brasiliensis* apresenta, podendo levar à depleção total destas espécies.

Nesse contexto investigamos a influência da variabilidade ambiental marinha no volume de pesca em 10 anos, no período entre 2000 a 2009, dados utilizados pela primeira vez, relacionando os picos de oscilação da Captura por Unidade de Esforço (CPUE) da sardinha-verdadeira do litoral de Santa Catarina com a anomalia da TSM (ATSM), a concentração de clorofila (CC) e o Índice de Oscilação Sul (SOI). A relação entre essas variáveis e a definição dos ciclos naturais de oscilação das mesmas foram obtidas através de técnicas de análises de série de tempo de dados utilizando interpolação linear para os dados faltantes, filtragem, correlação cruzada e transformada de ondeleta (wavelet).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O local do estudo é a área de abrangência da *S. brasiliensis* no litoral catarinense, que se compreende entre 25°55' S e 29° S. Essa área foi dividida em quatro regiões, transformadas em blocos, de acordo com a linha de atuação da frota pesqueira catarinense, levando em consideração os dados pesqueiros e ambientais disponíveis para regiões entre a linha de costa e a isóbata de 100 metros de profundidade (Fig. 1 e Tabela 1).

Fonte dos dados

Obtivemos os dados de TSM no banco do projeto *Pathfinder*, distribuído pelo *Physical Oceanography Distributed Active Archive Center* (PODAAC) da NASA, captado pelo sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), um radiômetro imageador de varredura composto por cinco canais espectrais, dos quais três são os responsáveis pela estimativa da TSM, já que abrangem a faixa do infravermelho termal, disponível em: <<http://www.nodc.noaa.gov/SatelliteData/pathfinder4km/>>. Com dados provenientes da passagem diurna do satélite, com garantia de menos intensidade de ventos e menor concentração de vapor d'água na atmosfera. Possui resolução espacial de 4 km x 4 km, para o período do ano 2000 ao 2009.

Já os dados de CC obtivemos através do *Ocean Color Project*, no banco de dados *Giovanni* da NASA, estimados pelo sensor *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (*SeaWiFS*), um radiômetro multiespectral com oito bandas espectrais e resolução de 9 km x 9 km, para igual período. Os dados de CC referem-se a médias mensais por setor em concentração de mg/m³. Disponível em: <http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=ocean_month> (ROBINSON, 2004).

Obtivemos o Índice de Oscilação Sul (SOI) a partir do site <<http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtml.shtml>> disponibilizado pelo *Australian Bureau of Meteorology* na resolução temporal mensal. Ele é calculado com base nas flutuações mensais que resultam da diferença de pressão atmosférica ao nível do mar entre as cidades de Tahiti (17,5 °S; 149,6 °W) e Darwin (12,4 °S; 130,9 °W).

Esse índice foi escolhido por ser o mais utilizado por medir e monitorar os eventos, além de possuir uma série temporal longa (ROPELEWSKI e JONES, 1987).

Os dados de captura de sardinha-verdadeira, em toneladas provém de Boletins Estatísticos Pesqueiros da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI). Os Boletins referem-se aos dados da frota pesqueira catarinense e contém informações mensais como número de barcos, número de desembarques e captura total em toneladas para os anos entre 2000 e 2009.

Análise dos dados

A série temporal de anomalias da temperatura da superfície do mar (ATSM) foi composta através cálculo da anomalia normalizada para eliminar o caráter sazonal dos dados, através da subtração do valor mensal pela média climatológica do mês correspondente, dividido pelo desvio padrão mensal (WILKS, 2006). Esse cálculo foi feito para cada série temporal, ou seja, pra cada área. Segue abaixo o cálculo da ATSM através do cálculo da anomalia normalizada:

$$z = \frac{x - \bar{x}}{S_x} = \frac{x'}{S_x}$$

onde z é a anomalia normalizada, x é o valor mensal, \bar{x} é a média climatológica do mês correspondente e S_x é o desvio padrão mensal.

Calculamos a CPUE tipo II através da equação entre o total de captura, transformados em raiz quadrada, e número de barcos. A CPUE é um índice utilizado para expressar produção em função do esforço pesqueiro (PRETERE et al., 2010). O cálculo da CPUE segue abaixo:

$$CPUE_2 = \sqrt{C_i/f_i}$$

onde C_i é o total de captura mensal e f_i corresponde ao esforço de pesca utilizado no mês respectivo (no caso, número de barcos).

Em seguida todas as séries temporais que continham *missing* passaram por interpolação linear para preencher dados faltantes e foram posteriormente filtradas com

um filtro média móvel de 3 pontos, para suavizar a série e retirar picos de alta frequência.

Visando determinar a relação entre CPUE e as variáveis ambientais estudadas e considerando possíveis retardos de resposta (lag), aplicamos a análise de correlação cruzada para indicar os períodos de máxima correlação entre as variáveis com as séries de (i) ATSM e CPUE, (ii) CC e CPUE, (iii) SOI e CPUE. O coeficiente de correlação cruzada (r_{xy}) é obtido através da equação:

$$r_{xy}(k) = \frac{c_{xy}(k)}{\sigma_x \sigma_y}$$

Onde k é a defasagem de tempo (ou lag), x e y são as duas séries de tempo analisadas, c_{xy} é o coeficiente da covariância cruzada e σ é o desvio padrão das séries.

Com vistas a determinar os ciclos de oscilação predominantes, a distribuição temporal da predominância desses picos na série, aplicamos uma transformada de ondeleta em todas as séries de tempo. Usamos como ondeleta-mãe, a ondeleta de *Morlet* que é utilizada para analisar variações mais suaves encontradas em sistemas naturais, assim como, é a mais utilizada na análise de séries temporais de dados oceanográficos e atmosféricos. Maiores informações sobre a análise de ondeleta e sua aplicação para dados geofísicos podem ser obtidas em Torrence e Compo (1998) e Morettin (1999).

Os períodos de oscilação das séries foram identificados por meio das análises de transformada de ondeleta. Nesses gráficos, a abscissa representa o tempo decorrido da série e a ordenada representa o período de variabilidade (no nosso caso, em meses). O eixo vertical (representado pela paleta de cores) representa a energia contida em cada período do ciclo de oscilação ao longo do tempo. Em todas as análises consideramos os resultados significativos sempre que obtivemos uma significância maior ou igual a 95% ($p \geq 0.05$). Nos gráficos resultantes a linha de forma cônica indica o cone de influência dentro do qual os resultados são significativos.

RESULTADOS

Os picos de variação de ATSM na série de tempo se mostram anuais. A disposição das ATSM nas quatro áreas são bem similares. Os maiores picos de anomalia positiva se encontram nos anos 2001, 2005, 2007, 2008 e final de 2009. Os maiores picos de anomalia negativa se encontram nos anos 2000, 2003, 2007 e 2009 (Fig. 2).

Observamos que as séries de CC demonstram uma variabilidade anual, com os maiores valores de CC entre os meses do inverno. Os picos de maior concentração de clorofila se encontram nos anos 2000, 2002, 2003 e 2007. Sendo que o maior valor de CC encontrado ocorreu no ano de 2007 (Fig. 2).

A série de tempo de SOI demonstra que houve evento de El Niño durante os anos 2002 – 2003 (considerado fraco), 2004 – 2005 (moderado), 2006 – 2007 (fraco) e 2009 (fraco), eventos de La Niña em 2000 (moderado), 2007 - 2008 (moderado), 2008 – 2009 (moderado) (Fig. 2).

Para a série de tempo de CPUE, os maiores valores se concentram no fim de 2001, em 2004, em 2007, fim de 2008 e fim de 2009, porém o maior esforço de pesca foi encontrado nos anos de 2001, 2006 e 2008 (Fig. 2).

Os resultados das correlações cruzadas entre as séries de (i) ATSM e CPUE, (ii) CC e CPUE, (iii) SOI e CPUE e (iv) CC e SOI estão sumarizados na Tabela 2. Verificamos que as duas variáveis ambientais, dentro das variáveis estudadas, que possuem forte influência na pesca da *S. brasiliensis* foram SOI e ATSM.

Para ATSM os gráficos de transformada de ondeleta (TO) demonstram um ciclo bem consistente que está presente em todas as áreas e varia dentro de um período de 21 e 23 meses, apresentando periodicidade bianual (Fig. 3).

Para clorofila, observamos um período de variação de 9 a 14 meses, ocorrendo até meados de 2004, com uma interrupção e retornando em meados de 2006. Essa interrupção apresentou-se mais suave na A4 (Fig. 4).

Para CPUE o gráfico de TO (gráfico de espectro de energia local) mostram dois ciclos muito marcantes com períodos que variam em 16 meses e outro em 25 meses. (Fig. 5).

O gráfico de espectro de energia local do SOI demonstram um forte sinal no ciclo com período que vai de 16 meses até 25 meses. (Fig. 6).

Os picos dos sinais das transformada de ondeleta para cada série de tempo estudada encontra-se sumarizado na Tabela 3.

DISCUSSÃO

A exploração da sardinha-verdadeira é instável, ocorrendo variação na pesca. Em cada ciclo de instabilidade ocorre um período de abundância na captura seguido de um período de diminuição (CERGOLE e VALENTINI, 1994; MATSUURA, 1998; KURTZ e MATSUURA, 2001).

Os gráficos da série de ATSM para as quatro áreas estudadas são bem similares entre si, o que pode ser devido à proximidade da localização das mesmas. As anomalias quentes (frias) da TSM acompanham eventos de El Niño (La Niña), observados no gráfico da série de SOI.

Já os gráficos de concentração de clorofila (CC) demonstram um grande pico no ano de 2007, que pode ter sido efeito do evento de El Niño moderado no ano de 2005. A série de CPUE demonstrou cinco grandes picos, sendo que os picos de captura dos anos 2001 e 2008 podem estar relacionados com o maior esforço de pesca empregado durante o período (maior número de barcos), porém durante o maior pico do ano de 2004 não houve um grande esforço de pesca, e pode ser que esteja relacionado com o ciclo anual da CC observado na transformada de ondeleta da CC.

As correlações revelaram uma associação inversa entre as variáveis de ATSM e CPUE. A defasagem de 16 meses dos valores de máxima correlação em todas as áreas, sugere que ocorreu uma diminuição de temperatura da superfície do mar a cerca de 16

meses do dado de captura, no período de desova da sardinha, influenciando positivamente a pesca dos adultos 16 meses depois.

Sardinella brasiliensis tem preferência pela combinação ótima das condições física e biológicas da coluna d'água. Já que seus ovócitos são liberados nas camadas superiores do oceano sobre a Plataforma Continental do Sudeste do Brasil (PCSE), entre as isóbatas de 15 m a 50 m e a uma temperatura média de 24,3° C e salinidade de 35,2 psu (MATSUURA, 1998). As características termohalinas das massas d'água presentes na PCSE são resultado da mistura da Água Tropical (AT) com temperatura superior a 20° C e salinidade acima de 36,4 psu; ACAS, com temperatura menor que 20° C e salinidade abaixo de 36,4 psu; e a Água Costeira (AC), com temperatura superior a 24° C e salinidade inferior a 35 psu. As variações do estoque observadas até o momento podem ser advindas da flutuação da biomassa desovante e do recrutamento dos quais dependem da sobrevivência dos estágios iniciais do ciclo de vida.

Nossos resultados indicam que variações na TSM influenciam estes aspectos da biologia da *S. brasiliensis*, afetando a sobrevivência de ovos e larvas. Além da TSM não podemos descartar o efeito de outras variáveis que não foram avaliadas neste estudo como ventos e salinidade.

A sardinha costuma ser pescada com idade entre 16 e 17 meses, o que é coerente com os resultados de correlação cruzada entre CC e CPUE que apresentaram os maiores índices de correlação com defasagem de tempo de 17 meses, sugerindo ter havido um aumento do aporte de clorofila durante a fase larval da sardinha, servindo de suporte alimentar e proporcionando o desenvolvimento da mesma até a captura. Estas defasagens estão presentes em todas as quatro áreas analisadas, demonstrando consistência dos resultados.

Pereira et al. (2009) constataram em seu estudo que a ressurgência costeira no sul de Santa Catarina ocorre nos meses de novembro, janeiro e fevereiro. E que durante o outono e inverno observaram-se valores maiores de clorofila, que possivelmente tem influência da presença da Pluma do Rio da Prata na costa catarinense. O ciclo anual de entrada de clorofila na área estudada pode ser efeito da entrada da Pluma do Rio da Prata no local estudado, tendo relação sazonal consistente para as quatro áreas.

O Rio da Prata recebe uma grande descarga de nutrientes vindo do continente, essa massa de água rica em nitrito, nitrato e silicato favorece a floração do fitoplâncton pois é constituinte da sua composição celular. Portanto, quando o Rio da Prata deságua

no oceano leva grande parte desses nutrientes que vai sendo consumido ao longo da costa pelo ictioplâncton.

Essa ressurgência costeira ocorre durante o período de desova da sardinha-verdadeira, culminando com grande aporte de nutrientes da Pluma do Rio da Prata, trazidos pela Corrente Costeira do Brasil (CCB) durante o período de recrutamento das sardinhas juvenis (no outono e inverno), propiciando seu desenvolvimento, demonstrado pelo ciclo bianual do gráfico de ondeleta de CPUE.

No litoral do nordeste da África, o aumento da abundância de peixes é atribuído às condições oceanográficas favoráveis, a *Sardinella aurita* prospera com eventos de ressurgência e alta produtividade primária durante a primavera e com a retenção das águas sobre a plataforma nos períodos do verão e outono (ZEEBERG et al., 2008). A *S. brasiliensis* e *S. aurita* são clupeídeos e se alimentam na sua fase larval de fitoplâncton.

Yáñez et al. (2001) fizeram uma análise relacionando o recrutamento, biomassa de adultos e ambiente entre a anchova, *Engraulis ringens*, e a sardinha *Sardinops sagax* para o litoral chileno, que mostrou que o recrutamento anual da anchova cresce com aumento da turbulência na água (mistura) provocada pelo vento. Já para a sardinha o recrutamento aumenta com a estabilidade do vento, ou seja com a ocorrência de ventos estáveis com mesma velocidade. Eles sugerem que as variações climáticas associadas a evento de El Niño afetam a abundância de peixes pelágicos costeiros, juntamente com o esforço pesqueiro, assim como pode ser observado no nosso trabalho eventos de El Niño influenciam na concentração de clorofila que tende a modular na CPUE da sardinha-verdadeira.

Soppa et al. (2011) investigaram a variabilidade das ATSM no Oceano Atlântico Sudoeste relacionado com ENOS, através de análise espectral nas séries de ATSM que mostraram ciclos interanuais e correlação cruzada entre ATSM e ENOS que mostrou uma relação significativa entre as variáveis, porém sem nenhuma associação direta entre episódios quentes de El Niño e ATSM positivas. Os autores acreditam que essa relação pode ocorrer a partir dos efeitos do ENOS sobre as áreas de TSM conduzidas pela Corrente do Brasil, Corrente das Malvinas ou por meio da corrente costeira de inverno que se desloca na plataforma continental sul-americana.

Eventos de El Niño demonstram ser relacionados com variações interanuais da Pluma do Rio da Prata, transportando águas de baixa salinidade rumo ao norte e influenciando diretamente nos ecossistemas locais (CAMPOS et al., 2008). Já que as águas transportadas pela Pluma do Rio da Prata além de pouco salinas são ricas em

nutrientes é possível que os eventos de El Niño expliquem o nosso índice de correlação entre SOI e CPUE que se demonstrou o mais alto ($r = 0.38$) dentre todas as outras correlações e com variabilidade anual.

Os gráficos de ondeleta de ATSM (Fig. 3) mostram que um ciclo consistente está presente em toda área para o período entre 19 e 24 meses, apresentando aspecto bianual. Com a concentração de clorofila nota-se um ciclo presente em grande parte do tempo estudado, com um período de 12 meses, inicialmente visto com aspecto sazonal, havendo um enfraquecimento no sinal entre janeiro de 2004 e 2006.

Gráfico de ondeleta de CPUE (Fig. 5) mostram um forte sinal no ciclo de 16 meses, em relação a isto, o que sugere que ocorreu um provável aumento da CC devido à influência das águas frias (com maior conteúdo de nutrientes) da CCB, no período de desova da sardinha influenciando a captura posteriormente.

A CCB é uma corrente que flui desde a desembocadura do Rio da Prata pela costa uruguaia e sobre a PCSB em direção nordeste, sendo oposta à Corrente do Brasil. A CCB transporta águas da Pluma do Rio da Prata (MÖLLER et al., 2008) que são frias e pouco salinas, desenvolvendo-se e predominando sobre as regiões desse estudo durante o inverno. A extensão do transporte e o limite de ocorrência da CCB dependem do regime de ventos e da descarga do Rio da Prata. CCB é uma corrente lenta porém com grande energia (com energia cinética turbulenta predominando sobre a energia cinética média) (SOUZA e ROBINSON, 2004), com forte variabilidade interanual. Ela tem forte variabilidade temporal na escala sazonal que depende do regime de ventos, descarga do Rio da Prata e da variabilidade da região de encontro entre a Corrente das Malvinas e a Corrente de Brasil em oceano profundo no Atlântico Sul, região conhecida como a Confluência Brasil-Malvinas (SOUZA e ROBINSON, 2004).

O gráfico de ondeleta de CC (Fig. 4) demonstrou um ciclo anual consistente em todas as quatro áreas que sofre um pequeno enfraquecimento no período entre janeiro de 2004 e janeiro de 2006. Conforme observado no gráfico de ondeleta do SOI houve um ciclo de 20 a 25 meses com sinal mais forte entre o período de 2004 e 2006, o que provavelmente explica a falha nos gráficos de clorofila devido à presença de evento de El Niño no período.

Os episódios de El Niño influenciam na formação das correntes dos oceanos e afetam a temperatura da superfície do mar, fator ligado à produtividade marinha costeira. Uma provável influência do fenômeno ENOS sobre os ventos poderia influenciar o deslocamento da CCB a cada ano (PIOLA et al., 2005). Com isso, os

cardumes de sardinha podem mudar o seu local de desova em busca de condições mais favoráveis, o que pode levar a um deslocamento da área de recrutamento para a pesca.

Nossos resultados dão suporte às conclusões de Gigliotti et al. (2010) que trabalharam com distribuição espacial de *S. brasiliensis* através dos métodos de análise espacial e dados de sensoriamento remoto, para caracterizar seus locais de desova e verificaram que a espécie faz expansão e contração da área de desova de acordo com a mudança das condições ambientais.

Zeeberg et al. (2008) fizeram estudos com taxas de captura e estimativas acústicas que revelaram o aparente declínio da captura total de *Sardinella aurita* no Nordeste da África, o que indica que a espécie atualmente encontra-se no processo de sobreexploração, assim como a sardinha-verdadeira. A sobreexploração de peixes de valor comercial tem sido cada vez mais abordada nas pesquisas e a captura máxima sustentável tem se tornado alvo de discussão entre os especialistas (CASTELLO, 2007). Peixes de alto valor comercial e muito sensíveis às mudanças climáticas tendem a depleção total no seu habitat, pois existem duas forças influenciando na captura, a ambiental e o poder econômico.

Paes e Moraes (2007) observaram que dois anos depois de um intenso evento de El Niño em 1982, o desembarque de sardinha-verdadeira foi de 140 mil toneladas, um valor maior do que o observado nos anos anteriores. Em 1988 houve um pequeno desembarque de 75 mil toneladas que pode ter sido decorrente de um evento de El Niño de baixa intensidade, ocorrido em 1987. É possível que o grande desembarque de sardinha-verdadeira verificado em nossos dados em 2004, tenha sido consequência do El Niño ocorrido em 2002.

A análise dos dados revelou que houve um período de entrada de fitoplâncton provavelmente trazido pela CCB, enriquecida pela Pluma do Rio da Prata, causando anomalias mais baixas de temperatura da superfície do mar durante o período de larva da sardinha-verdadeira pescada (PAES e MORAES, 2007). Acreditamos que a sardinha-verdadeira é favorecida pela entrada da Pluma do Rio da Prata na costa de Santa Catarina trazida pela CCB enriquecida com os nutrientes.

Supomos que houve intrusão gradual da CCB, a temperatura da superfície do mar diminuiu, essa corrente que ocorre no inverno transportou nutrientes, incluindo fitoplâncton, na área que favoreceu o desenvolvimento dos juvenis de sardinha-verdadeira no período do recrutamento. Salvo o período entre 2004 e 2006 em que houve uma falha no ciclo da clorofila, devido à ocorrência de eventos de El Niño

demonstrados pelo forte sinal do SOI, influenciando negativamente na CPUE durante esse período.

Muitos autores tem mostrado que as mais diversas variáveis ambientais influenciam sobre os processos biológicos. Para espécies comerciais a importância dos estudos climáticos e ambientais sobre os seus aspectos comportamentais, ecológicos e fisiológicos possui uma urgência maior, já que toneladas de indivíduos por ano são retirados da natureza.

A ciência pesqueira tem evoluído a partir do momento que agregou outras ciências como a oceanografia, ecologia marinha e biologia e dinâmica de população de peixes (LEHODEY et al., 2006). Unindo todas essas áreas do conhecimento, aos poucos estamos desvendando os processos que regem o desenvolvimento e o recrutamento da sardinha-verdadeira. Objetivamos nos aproximarmos cada vez mais da exploração sustentável dessa espécie, sem arriscar outras populações de peixes pelágicos que não tenham a mesma capacidade de suporte que a *S. brasiliensis* possui. Do ponto de vista econômico, o Brasil é carente em estudos da natureza apresentada aqui para evitar grandes perdas econômicas na indústria pesqueira nacional.

REFERÊNCIAS

Campos E. J. D., Piola A. R., Matano R. P., Miller J. L. 2008. Plata: A synoptic characterization of the of the southwest atlantic shelf under influence of the Plata River and Patos Lagoon outflows. *Cont. Shelf. Res.* 28: 1551-1555.

Castello J. P. 2007. Gestão sustentável dos recursos pesqueiros, isto é realmente possível? *Panam.J.A.S.* 2: 47-52.

Cergole, M. C. 1995. Stock assessment of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*, of the southeastern Coast of Brazil. *Sci. Mar.* 59: 597-610.

Cergole M. C., Saccardo S. A., Rossi -Wongtschowski C. L. D. B. 2002. Fluctuations in the spawning stock biomass and recruitment of the Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) 1977- 1997. *Braz. J. Oceanogr.* 50: 13-26.

Cergole M. C., Valentini H. 1994. Growth and mortality estimates of *Sardinella brasiliensis* in the southeastern Brazilian bight. *Bol. Inst. Oceanogr.* 42: 113-127.

Franco B. C., Muelbert J. H., Mata M. M. 2005. *O ictioplâncton e a quebra da plataforma da Região Sudeste-Sul do Brasil e sua relação com as condições ambientais*. Instituto Oceanográfico - USP, São Paulo, 40 pp.

Gigliotti E. S., Gherardi D. F. M., Paes E. T., Souza R. B., Katsuragawa M. 2010. Spatial analysis of egg distribution and geographic changes in the spawning habitat of the Brazilian sardine *Sardinella brasiliensis*. *J. Fish. Biol.* 77: 2248-2267.

Kurtz F. W., Matsuura Y. 2001. Food and feeding ecology of Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) larvae from the southeastern Brazilian Bight. *Braz. J. Oceanogr.* 49: 61-74.

Lehodey P., Alheit J., Barange M., Baumgartner T., Beaugrand G., Drinkwater K., Fromentin J. M., Hare S. R., Ottersen G., Perry R. I., Roy C., van der Lingen C. D., Werner F. 2006. Climate variability, fish and fisheries. *Am. Meteorol. Soc.* 19: 5009-5030.

Longhurst A. R. 1971. The clupeoid resources of tropical seas. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 9: 349-385.

Matsuura, Y. 1998. Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) spawning in the southeast Brazilian Bight over the period 1976 – 1993. *Braz. J. Oceanogr.* 46: 33-43.

Möller O. O. JR., 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.* 8: 1607-1624.

Morettin P. A. 1999. *Ondas e ondaletas: Da Análise de Fourier à Análise de Ondaletas*. EdUSP, São Paulo, 275 pp.

Paes E. T., Moraes L. E. 2007. A new hypothesis on the influence of the El Niño/La Niña upon the biological productivity, ecology and fisheries of the Southern Brazilian Bight. *Panam.J.A.S.* 2: 94-102.

Parsons T. R., Takahashi M., Hargrave B. 1984. Distributions of plankton and nutrients. In: *Biological Oceanographic Processes*. Pergamon Press, 11-36 pp.

Pereira M. D., Schettini C. A. F., Omachi C. Y. 2009. Caracterização de feições oceanográficas na plataforma de Santa Catarina através de imagens orbitais. *Rev. Bras. Geof.* 27: 81-93.

Piola A. R., Matano R. P., Palma E., Moller O. O., Campos E. J. D. 2005. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic Shelf. *Geophys. Res. Lett.* 32: 1-4.

Pretere Jr. M.; Giacomini H. C.; De Marco Jr. P. 2010. Catch-per-unit-effort: which estimator is best? *Braz. J. Biol.* 70: 483-491.

Robinson I. S. 2004. *Measuring the Oceans from Space*. Springer, Nova Iorque, 669 pp.

Rossi-Wongtschowski C. L. D. B., Ávila-Da-Silva A. O., Cergole M. C. 2006. *Análise das principais pescarias comerciais da região Sudeste-Sul do Brasil: Dinâmica populacional das espécies em exploração – II*. Instituto Oceanográfico – USP, São Paulo, 96 pp.

Schneider F., Schwingel P. R. 1999. Estudo preliminar da ecologia trófica da *Sardinella brasiliensis* na costa Sudeste do Brasil. *Notas Téc. Facimar.* 3: 67-72.

Soppa M. A., Souza R. B., Pezzi L. P. 2011. Variabilidade das anomalias de temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico Sudoeste e sua relação com o fenômeno El Niño-Oscilação Sul. *Rev. Bras. Meteorol.* 26: 347-363.

Souza R. B., Robinson I. S. 2004. Lagrangian and satellite observations of Brazilian Coastal Current. *Cont. Shelf. Res.* 24: 241-262.

Sunyé P. S., Servain J. 1998. Effects of seasonal variations in meteorology and oceanography on the Brazilian sardine fishery. *Fish. Oceanogr.* 7: 89-100.

Torrence C., Compo G. P. 1998. A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 79: 61-78.

Trenberth K. E. 1997. The definition of El Niño. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 78: 2771-2777.

Valentini H., Pezzuto P. R. 2006. *Análise das principais pescarias comerciais da região Sudeste - Sul do Brasil com base na produção controlada do período 1986 – 2004*. Instituto Oceanográfico – USP, São Paulo, 56 pp.

Wilks D. S. 2006. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Academic Press, Londres, 648 pp.

Yáñez E., Barbieri M. A., Silva C., Nieto K., Espíndola F. 2001. Climate variability and pelagic fisheries in northern Chile. *Prog. Oceanogr.* 49: 581-596.

Zagaglia C. R., Hazin F. H. V. 2009. Sensoriamento aplicado à pesca. In: Souza R. B. (ed.), *Oceanografia por satélites*. Oficina de Textos, São Paulo, 274-285 pp.

Zeeberg J., Corten A., Tjoe-Awie P., Coca J., Hamady B. 2008. Climate modulates the effects of *Sardinella aurita* fisheries off Northwest Africa. *Fish. Res.* 89: 65-75.

FIGURAS E TABELAS

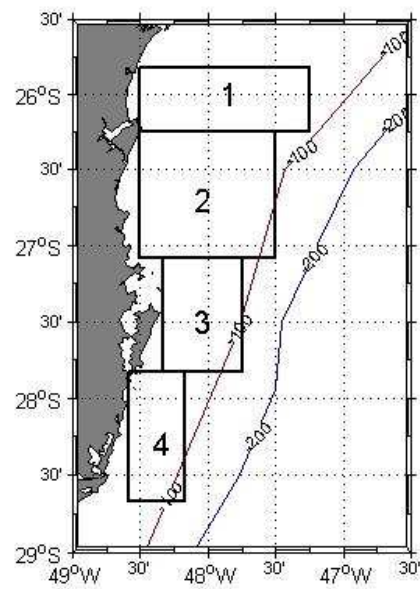


Fig. 1. – Área de estudo na PCSE e respectivas regiões de estudo.

Tabela 1. - Localização das caixas A1, A2, A3 e A4 na área de estudo.

	Área	Lat. (°S)	Long (°W)
1		25°50' -26°15'	47°15' -48°30'
2		26°15' -27°05'	47°30' -48°30'
3		27°05' -27°50'	47°45' -48°20'
4		27°50' -28°40'	48°10' -48°35'

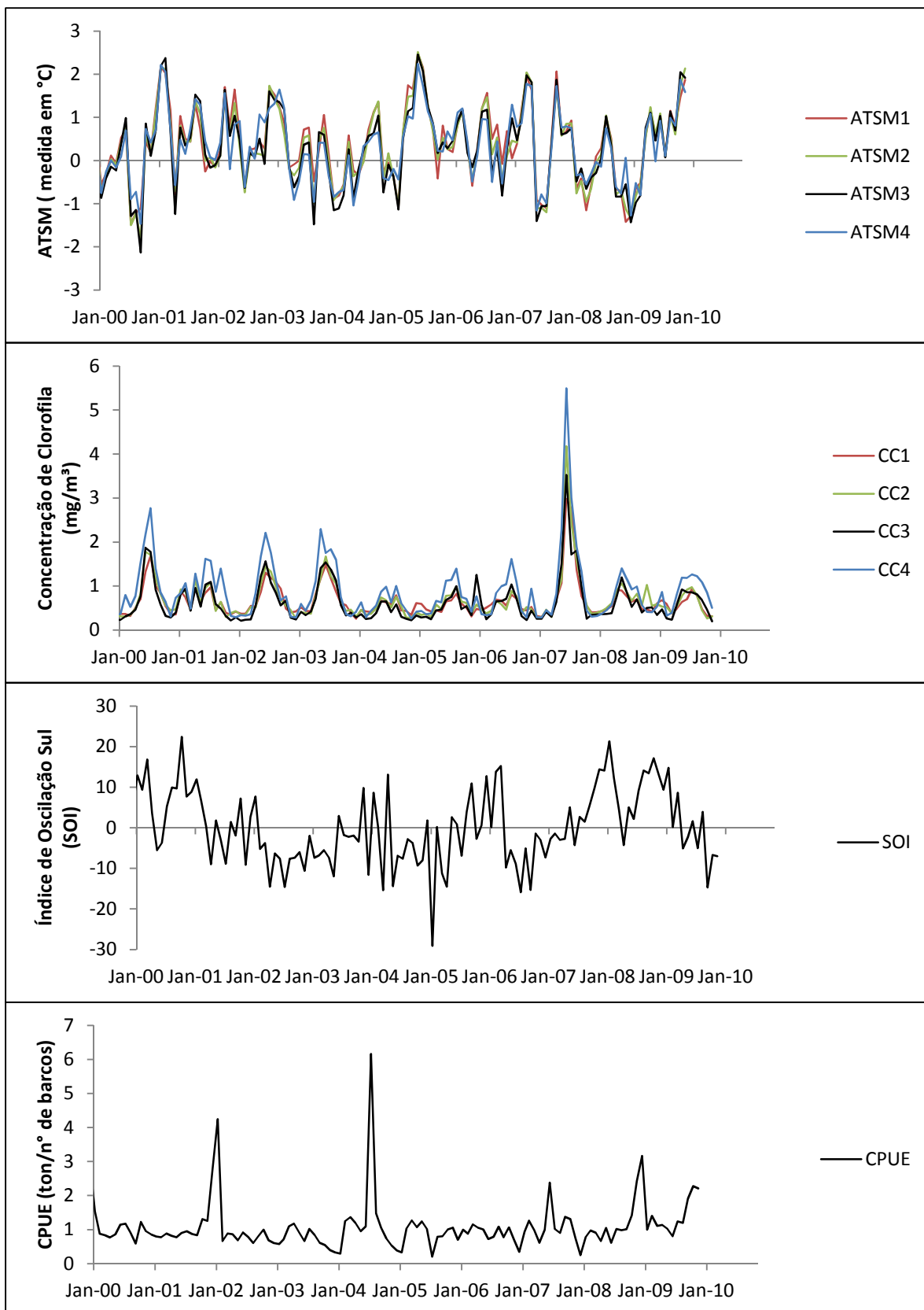


Fig. 2. – Séries de tempo de ATSM, Concentração de clorofila, SOI e CPUE.

Tabela 2. - Valores de máxima correlação entre as séries de ATSM, CC e SOI contra CPUE. A1, A2, A3, e A4 representam as regiões de estudo descritas na Fig. 1.

Correlação	r	Defasagem de tempo (meses)	p
ATSM(A1) x CPUE	-0.29	-17	< 0.001
ATSM(A2) x CPUE	-0.30	-16	< 0.01
ATSM(A3) x CPUE	-0.25	-16	< 0.01
ATSM(A4) x CPUE	-0.24	-16	0.01
CC(A1) x CPUE	0.32	-17	< 0.01
CC(A2) x CPUE	0.30	-17	< 0.01
CC(A3) x CPUE	0.27	-17	< 0.01
CC(A4) x CPUE	0.26	-17	< 0.01
SOI x CPUE	0.38	-13	< 0.01

Tabela 3.- Identificação dos picos dos sinais da transformada de ondeleta em cada série de tempo estudada .

Séries	Ciclos (meses)	Predomínio temporal
ATSM	12.25	2003 – 2006
	20.25	Toda série de dados
CC	12.25	2001 - 2004, 2006 - 2008
	20.25	2003 – 2007
CPUE	16	2002 – 2008
	20.25	Toda série de dados

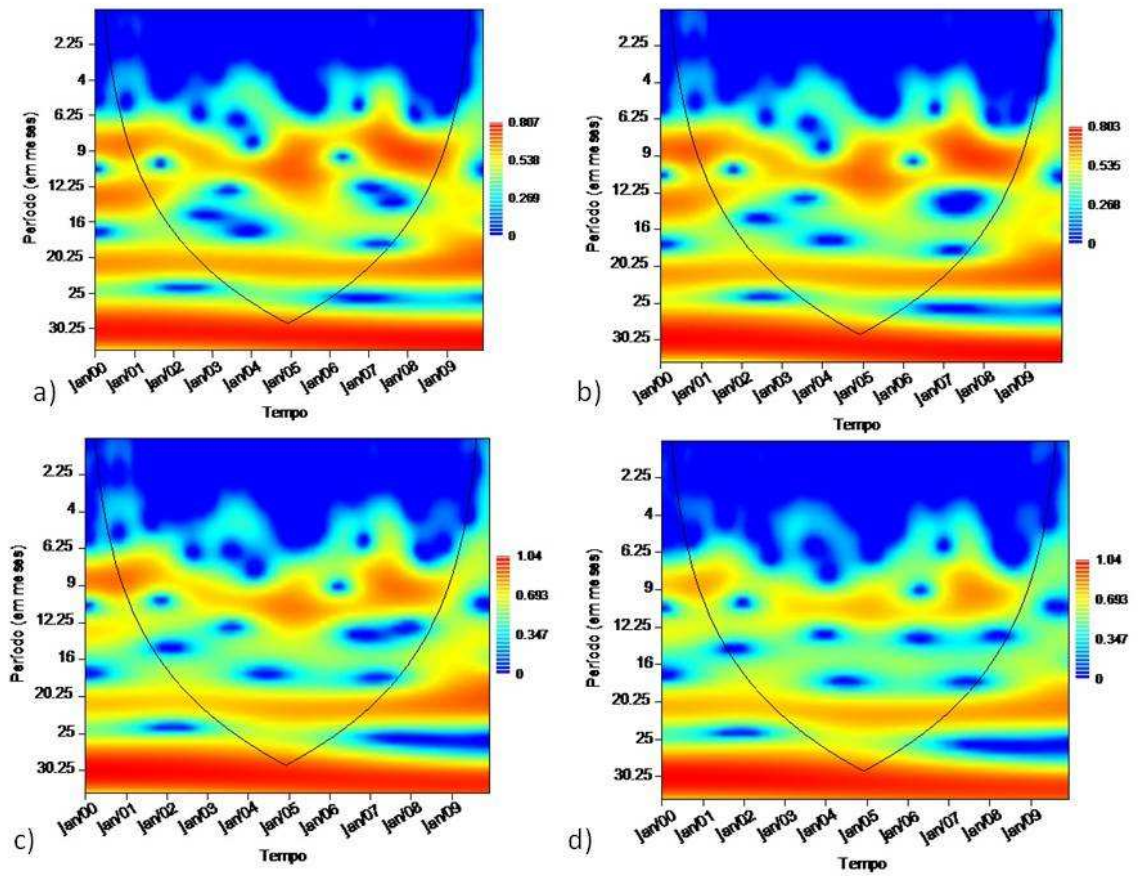


Fig. 3. - Transformada de ondeleta com os ciclos de oscilações das anomalias de temperatura da superfície do mar, para A1 (a), A2 (b), A3 (c) e A4 (d).

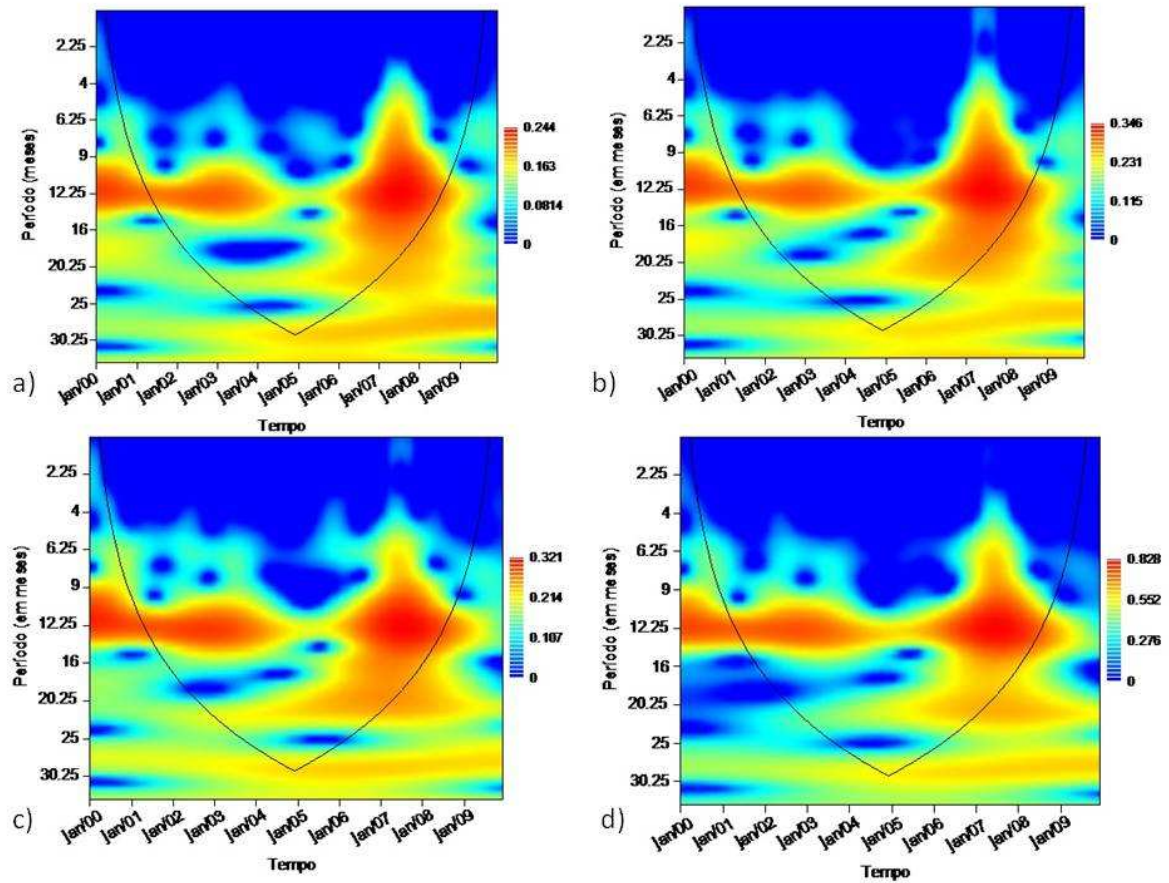


Fig. 4. - Transformada de ondeleta com os ciclos de oscilações da concentração de clorofila para A1 (a), A2 (b), A3 (c) e A4 (d).

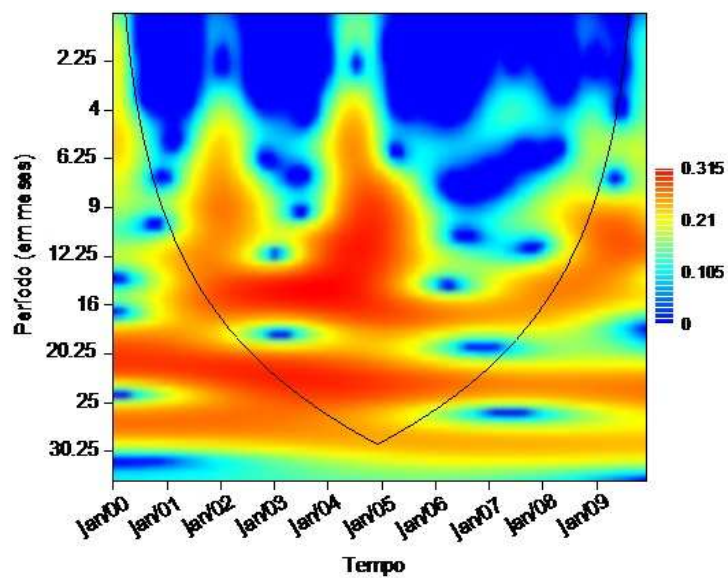


Fig. 5. - Transformada de ondeleta com os ciclos de oscilação da Captura por Unidade de Esforço para todas as áreas.

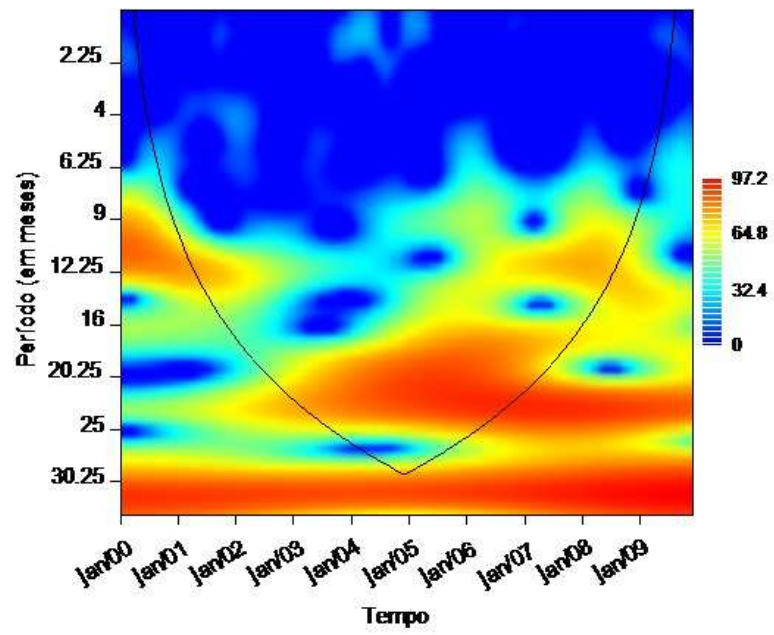


Fig. 6. - Transformada de ondeleta com os ciclos de oscilação para o Índice de Oscilação Sul para todas as áreas.

CONCLUSÕES GERAIS

- As quatro áreas analisadas apresentaram valores muito semelhantes de Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (ATSM) e Concentração de Clorofila, explicado pela proximidade das áreas.
- A CC apresenta uma sazonalidade anual para todas as quatro áreas analisadas, com os maiores valores nos meses de inverno. O que pode ser consequência da influência da entrada da Corrente Costeira do Brasil na Plataforma Continental do Sudeste do Brasil.
- Eventos de El Niño e anomalias da temperatura da superfície do mar são as variáveis climáticas, dentro das variáveis estudadas no trabalho, que mais influenciam na pesca da sardinha-verdadeira.
- As análises de correlação comprovaram que tanto a ATSM como a CC influenciaram a captura da sardinha-verdadeira 17 meses depois, seguindo a defasagem de tempo consistente para todos os dados.
- Durante o período de larva da sardinha-verdadeira, houve uma entrada de fitoplâncton transportado pela Corrente Costeira do Brasil, enriquecida pela Pluma do Rio da Prata, que favoreceu o desenvolvimento dos indivíduos pescados.
- Portanto, houve um aumento da concentração de clorofila, causado pela floração fitoplanctônica favorecida pelos nutrientes da Pluma do Rio da Prata esta influenciando positivamente no desenvolvimento e pesca da sardinha-verdadeira. Exceto durante o período entre 2004 e 2006, que ocorreu um evento de El Niño, demonstrado pelo Índice de Oscilação Sul, que provocou uma falha no sinal de entrada de clorofila no litoral catarinense.

LIMITAÇÕES DO TRABALHO E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho possui algumas limitações como por exemplo, a resolução temporal em meses de todos os dados utilizados, fator limitante para uma análise mais detalhada da influência das variáveis na pesca da sardinha-verdadeira.

A diferença das resoluções das imagens de satélites utilizadas, como por exemplo a de ATSM com resolução de 9 km x 9 km e a de concentração de clorofila com resolução de 4 km x 4 km, podem influenciar nos resultados do trabalho.

Outro fator limitante do trabalho é verificado na base de dados pesqueira utilizada. As falhas nos preenchimentos dos Mapas de Bordo e nas Fichas de Produção, com informações inexatas prejudicam os dados de pesca. Além disso, nem todos os barcos pesqueiros entregam seus formulários de acompanhamento de captura, apesar da sua entrega ser obrigatória.

Com o objetivo de aprimorar o estudo da influência da variabilidade ambiental marinha na captura da sardinha-verdadeira, deverão ser adicionadas outras variáveis como por exemplo, vento, salinidade, Índice Multivariado do ENOS. Realizar análises com séries temporais na resolução temporal semanal.

Adicionar estudos sobre a variabilidade da biomassa desovante para a área, incluindo índices ictioplanctônico, mortalidade de juvenis, taxa de desova e relacionando com as variáveis ambientais, auxiliaria no processo de compreensão da variabilidade do recrutamento da sardinha-verdadeira, facilitando a sua previsão.

Anexo A – Dados de pesca retirados dos Boletins de Estatística Pesqueiros da
UNIVALI.

Ano 2000	T capt. (t)	Nº des	Nº barco	Méd/des	Méd/mês
jan	37	7	2	5	37
mar	1,492	111	44	13	1,492
abr	716	85	32	8	716
maio	726	65	35	11	726
jun	752	81	32	9	752
jul	1,346	122	32	11	1,346
ago	233	46	13	5	233
set	400	58	22	6	400
out	78	25	15	3	78
nov	293	30	14	9	293
dez	397	50	21	7	397
Ano 2001	T capt. (t)	Nº des	Nº barco	Méd/des	Méd/mês
mar	1,494	135	50	11	1,494
abr	1,462	136	43	10	1,462
maio	2,326	137	59	16	2,326
jun	1,495	126	50	11	1,495
jul	2,287	151	53	15	2,287
ago	3,243	278	60	11	3,243
set	511	52	26	9	511
out	3,335	252	69	13	3,335
nov	8,630	464	71	18	8,630
dez	57	8	6	7	57
Ano 2002	T capt. (t)	Nº des	Nº barco	Méd/des	Méd/mês
fev	18	1	1	18	18
mar	1,103	202	50	5	1,103
abr	861	119	33	7	861
maio	167	21	15	7	167
jun	2,372	258	71	9	2,372
jul	2,465	203	54	12	2,465
ago	1,587	138	51	11	1,587
set	1,079	157	54	6	1,079
nov	320	41	18	7	320
dez	68	12	12	5	68
Ano 2003	T capt. (t)	Nº des	Nº barco	Méd/des	Méd/mês
fev	3	3	3	1	3
mar	431	38	29	11	431
abr	580	48	22	12	580
maio	4,305	211	56	20	4,305
jun	4,408	285	73	15	4,408
jul	1,227	159	53	7	1,227

ago	2,404	177	48	13	2,404
set	2,983	327	65	9	2,983
out	1,443	258	62	5,594	1,443
nov	186	51	25	3	186
dez	4	5	5	0.913	4
Ano 2004	T capt. (t)	Nº des	Nº barco	Méd/des	Méd/mês
fev	0	1	1	0.088	0
mar	3,901	171	50	22	3,901
abr	5,276	155	53	34	5,276
maio	7,390	366	72	20	7,390
jun	3,857	324	65	11	3,857
jul	691	33	24	20	691
ago	38	1	1	38	38
set	4,443	167	45	26	4,443
out	2,367	173	46	13	2,367
nov	312	32	24	9	312
Ano 2005	T capt. (t)	Nº des	Nº barco	Méd/des	Méd/mês
fev	1	3	3	0.493	1
mar	3,126	218	54	14	3,126
abr	5,822	304	60	19	5,822
maio	2,965	189	51	15	2,965
jun	7,512	339	70	22	7,512
jul	3,755	275	60	13	3,755
ago	2	7	7	0.361	2
set	2,079	183	58	11	2,079
out	1,883	277	54	6	1,883
nov	444	23	21	19	444
dez	10	4	3	2	10
Ano 2006	T capt. (t)	Nº des	Nº barco	Méd/des	Méd/mês
jan	24	13	7	1	24
fev	36	7	6	5	36
mar	1,709	137	47	12	1,709
abr	4,938	237	61	20	4,938
maio	6,750	371	78	18	6,750
jun	6,456	455	80	14	6,456
jul	1,709	110	57	15	1,709
ago	10	5	4	2	10
set	6,429	324	74	19	6,429
out	1,738	219	54	7	1,738
nov	949	67	29	14	949
Ano 2007	T capt. (t)	Nº des	Nº barco	Méd/des	Méd/mês
jan	3	7	5	0.56	3
fev	1,416	64	40	22	1,416
mar	7,792	417	70	18	7,792
abr	2,234	148	48	15	2,234
maio	338	45	30	7	338
jun	1,993	95	45	20	1,993
jul	51	3	3	17	51

ago	5,857	192	75	30	5,857
set	938	70	34	13	938
out	3,158	115	41	27	3,158
nov	1,066	49	25	21	1,066
Ano 2008	T capt. (t)	Nº des	Nº barco	Méd/des	Méd/mês
jan	1	6	4	0.303	1
fev	222	31	19	7	222
mar	1,433	78	39	18	1,433
abr	3,676	182	67	20	3,676
maio	931	129	46	7	931
jun	2,547	129	48	19	2,547
jul	84	27	15	3	84
ago	7,694	331	86	23	7,694
set	3,955	268	64	14	3,955
out	981	58	31	16	981
nov	1,252	62	25	20	1,252
Ano 2009	T capt. (t)	Nº des	Nº barco	Méd/des	Méd/mês
jan	10	1	1	10	10
fev	168	13	13	12	168
mar	4,729	176	49	26	4,729
abr	3,984	154	57	25	3,984
maio	3,509	142	52	24	3,509
jun	765	38	27	20	765
jul	65	17	10	3	65
ago	8,857	433	76	20	8,857
set	4,817	247	58	19	4,817
out	4,458	126	35	35	4,458
nov	130	6	5	21	130