

PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS COSTEIROS E OCEÂNICOS (PGSISCO)  
CENTRO DE ESTUDOS DE MAR (CEM)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR)

ANDREA DE LIMA RIBEIRO

**ÁREAS DE RESSURGÊNCIA NO ATLÂNTICO SUL  
SUBTROPICAL: IMPLICAÇÕES PARA A PESCA OCEÂNICA**

PONTAL DO PARANÁ  
MARÇO DE 2014

ANDREA DE LIMA RIBEIRO

**ÁREAS DE RESSURGÊNCIA NO ATLÂNTICO SUL  
SUBTROPICAL: IMPLICAÇÕES PARA A PESCA OCEÂNICA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Costeiros e Oceânicos, no Curso de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná

Orientador: Prof. Dr. Carlos A. D. Lentini

PONTAL DO PARANÁ

MARÇO DE 2014

CATALOGAÇÃO NA FONTE:  
UFPR / SIBI - Biblioteca do Centro de Estudos do Mar  
Liliam Maria Orquiza - CRB-9/712

Ribeiro, Andrea de Lima  
R484a Áreas de ressurgência no Atlântico Sul Subtropical: implicações para a pesca  
oceânica. / Andrea de Lima Ribeiro. – Pontal do Paraná, 2014.  
44 f.; 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Carlos A. D. Lentini.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e  
Oceânicos, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal  
do Paraná.

1. Temperatura da superfície do mar. 2. Transporte de Ekman. 3. Clorofila-a. 4.  
Cefalópodes. I.Título. II. Lentini, Carlos A. D. III. Universidade Federal do Paraná.

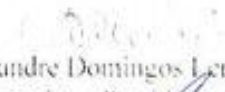
CDD 551.4601

**TERMO DE APROVAÇÃO**


Andrea de Lima Ribeiro

**Áreas de ressurgência no Atlântico Sul Subtropical: Implicações para  
a pesca oceânica**

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de  
Mestre em Sistemas Costeiros e Oceânicos, da Universidade Federal do  
Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

  
Dr. Carlos Alexandre Domingos Lentini - UTBA  
Orientador e Presidente

  
Dr. Mauricio Almeida Noernberg - UFPR  
Membro Examinador

  
Dr. Antonio Fernando Harter Fetter Filho - UFSC  
Membro Examinador

Pontal do Paraná, 13/03/2014.

## **AGRADECIMENTOS**

À PGSICO pela estrutura fornecida e pela oportunidade de desenvolver atividades junto à comunidade do CEM, que me abraçou de maneira tão carinhosa. Espero que eu possa ter contribuído para o crescimento de ambas durante o período em que estive desenvolvendo minhas atividades de mestrado. Aproveito para agradecer em especial ao Professor Paulo Lana, coordenador da PGSISCO durante a maior parte desse período, que sempre se preocupou e cuidou com o bem estar dos alunos.

Aos colegas de turma e amigos que fiz durante esses dois anos e que me aguentaram tantas vezes e estiveram ao meu lado quando mais precisei: isso não seria possível sem vocês. Os levarei para sempre em meu coração, junto de nossas histórias insólitas e momentos felizes.

Aos amigos de longe que sempre me deram apoio e sempre mandavam mensagens me incentivando...aqui atrevo-me a citar nominalmente duas pessoas que sempre tiveram paciência para lidar comigo e atendiam minhas ligações às 03 da manhã: Rafael e Nath, não tenho palavras para agradecer a vocês. Contem comigo para o que precisarem em suas vidas.

Aos professores e alunos do Grupo de Física Marinha: obrigada por tudo, tenho certeza de que não existiria melhor lugar para trabalhar nesse período.

Ao meu orientador, Prof. Carlos Lentini: muito obrigada pela PACIÊNCIA e por nunca ter desistido de mim. Sei que ainda temos uma parte da jornada pela frente e me esforçarei para não cometer os mesmos erros. O aprendizado que tive durante esse período foi muito importante para meu desenvolvimento pessoal e profissional e levarei isso para o resto de minha carreira.

## RESUMO

A região do Cabo de Santa Marta (CSM), RS, Brasil, é caracterizada pela ocorrência de uma ressurgência sazonal associada transporte de Ekman induzido por ventos de quadrante norte, topografia e bombeamento de Ekman. Utilizando dados de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), transporte de Ekman zonal (MEk-x) e concentração de clorofila-a (Cl-a) derivados de satélite, foram calculadas anomalias mensais para pontos costeiros e oceânicos ao norte e ao sul dessa feição costeira. Os dados de transporte de massa não forneceram informações satisfatórias sobre os eventos de ressurgência na região, com baixa correlação entre anomalias de TSM e MEk-x. Eventos anômalos de alta concentração de Cl-a foram associados à influência de águas da Pluma do Rio da Prata trazendo nutrientes para a região do CSM. Foi encontrada relação entre anomalias de TSM com eventos de El Niño e La Niña (ENOS). O estudo de caso envolvendo captura de paralarvas e juvenis de cefalópodes na região conduzido por Vidal et al. (2010) mostrou que é possível obter resultados coerentes quanto à ressurgência na região através da utilização de dados diários de transporte de massa em conjunto com os de TSM.

Palavras-chave: Temperatura da Superfície do Mar; transporte de Ekman; clorofila-a; cefalópodes.

## ABSTRACT

The area around Santa Marta Cape (CSM), RS, Brazil, is characterized by the occurrence of a seasonal upwelling associated to Ekman transport induced by Northerly winds, topography and Ekman pumping. Using Sea Surface Temperature (SST), zonal Ekman transport (MEk-x) and chlorophyll-a concentration data derived from satellites there were calculated monthly anomalies to coastal and oceanic sites up North and down South this coastal feature. The mass transport data didn't provide enough information about the upwelling events in the area, with a low correlation between SST and MEk-x. Anomalous events of high chlorophyll-a concentration were associated to the influence of Prata River Plume, inputting nutrients to the CSM area. It was found a relation between SST anomalies and La Niña and El Niño events (ENSO). The study case about the catch of paralarvae and juveniles of cephalopods conducted by Vidal et al. (2010) confirmed that it's possible to get coherent upwelling results in the area using daily transport and SST derived from satellite data.

Keywords: Sea Surface Temperature, Ekman transport, Chlorophyll-a, cephalopods

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. COORDENADAS GEOGRÁFICAS DOS PONTOS AMOSTRAIS PARA SÉRIES TEMPORAIS AO LONGO DO CABO DE SANTA MARTA, RS, BRASIL.....17

.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ÁREA DE ESTUDO AO LONGO DA REGIÃO DO CABO DE SANTA MARTA. ....	17
FIGURA 2. MULTIVARIATE ENSO INDEX (MEI) PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011.....	21
FIGURA 3. ANOMALIA MENSAL DO TRANSPORTE DE EKMAN ZONAL (MEK-X, KG/M/S) PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011 NOS PONTOS C1 E C2.....	22
FIGURA 4. ANOMALIA NORMALIZADA DO TRANSPORTE ZONAL (MEK-X NORMALIZADO, SEM UNIDADE) PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011 NOS PONTOS C1 E C2.....	22
FIGURA 5. ANOMALIA MENSAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR (TSM, EM°C) PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011 NOS PONTOS C1 E C2.....	24
FIGURA 6. IMAGENS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR FORNECIDAS PELO GHRSSST ) PARA OS DIAS 05/06/2007 (A), 15/06/2007 (B), 25/06/2007 (C).....	25
FIGURA 7. IMAGENS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR FORNECIDAS PELO GHRSSST (INTERPOLAÇÃO DE DADOS DE SATÉLITE, BOIAS E DERIVADORES) DO DIA 15/06 PARA OS ANOS DE 2005 (A), 2006 (B) E 2007 (C).....	25
FIGURA 8. ANOMALIA NORMALIZADA DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR (TSM, SEM UNIDADE) PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011 NOS PONTOS C1 E C2.....	26
FIGURA 9. ANOMALIA MENSAL CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA-A (MG/M <sup>3</sup> ) PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011 NOS PONTOS C1 E C2. ....	27
FIGURA10. IMAGENS DE CONCENTRAÇÃO MENSAL DE CLOROFILA-A DO SENSOR MODIS FORNECIDAS PELO GSFC (NÍVEL 3, 4 KM DE RESOLUÇÃO) PARA OS MESES DE JUNHO (A) E JULHO (B) DE 2007.....	28
FIGURA 11 IMAGENS DE CONCENTRAÇÃO MENSAL DE CLOROFILA-A DO SENSOR MODIS FORNECIDAS PELO GSFC (NÍVEL 3, 4 KM DE RESOLUÇÃO) PARA OS MESES DE JUNHO (A) E JULHO (B) DE 2007. EM DESTAQUE, A REGIÃO DO CABO DE SANTA MARTA.....	28

FIGURA 12 .IMAGENS DE CONCENTRAÇÃO MENSAL DE CLOROFILA-A DO SENSOR MODIS FORNECIDAS PELO GSFC (NÍVEL 3, 4 KM DE RESOLUÇÃO) PARA O MÊS DE JULHO NOS ANOS DE 2005 (A), 2006 (B), 2007 (C) E 2008 (D). . . . .	30
FIGURA 13. ANOMALIA MENSAL NORMALIZADA DA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA-A (SEM UNIDADE) PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011 NOS PONTOS C1 E C2. . . . .	31
FIGURA 14. CORRELAÇÃO CRUZADA ENTRE ANOMALIAS NORMALIZADAS MENSAIS DE TSM E MEK-X EM C1 PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011 . . . . .	32
FIGURA 15. CORRELAÇÃO CRUZADA ENTRE ANOMALIAS NORMALIZADAS A CADA 8 DIAS DETSM E MEK-X EM C1 PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011. . . . .	32
FIGURA 16. PARÂMETROS FÍSICOS DIÁRIOS ANALISADOS PARA O PERÍODO DE 20/10/1989 A 10/12/1989 EM C1: A) TSM (°C); B) MEK-X,(KG.M-1.S-1). . . . .	34
FIGURA 17. PARÂMETROS FÍSICOS DIÁRIOS ANALISADOS PARA O PERÍODO DE 20/10/1989 A 10/12/1989 EM C2: A) TSM (°C); B) MEK-X, (KG.M-1.S-1). . . . .	35
FIGURA 18. PARÂMETROS FÍSICOS DIÁRIOS ANALISADOS PARA O PERÍODO DE 20/10/1989 A 10/12/1989 EM C3: A) TSM (°C); B) MEK-X, (KG.M-1.S-1). . . . .	36
FIGURA 19. IMAGENS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR FORNECIDAS PELO GHRSS (INTERPOLAÇÃO DE DADOS DE SATÉLITE, BOIAS E DERIVADORES) PARA OS DIAS 10/11/1989 (A), 20/11/1989 (B) E 30/11/1989 (C). . . . .	37
FIGURA 20. IMAGENS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR FORNECIDAS PELO GHRSS (INTERPOLAÇÃO DE DADOS DE SATÉLITE, BOIAS E DERIVADORES) PARA OS DIAS 10/11/1989 (A), 20/11/1989 (B) E 30/11/1989 (C). EM DESTAQUE, A REGIÃO DO CSM . . . . .	38

## LISTA DE SIGLAS

ACAS – Água Central do Atlântico Sul

AMSR – Advanced Microwave Scanning Radiometer

AVHRR – Advanced Very High Resolution Radiometer

CSM – Cabo de Santa Marta

ENOS – El Niño e Oscilação Sul

EOP – Análise de Funções Ortogonais Empíricas

FNMOC – U.S. Navy Fleet Numerical Meteorological and Oceanographic Center

GHRSSST – Group for High Resolution Sea Surface Temperature

GSFC – Goddard Space Flight Center

MEI – Multivariate ENSO INDEX

NODC – National Oceanographic Data Center

PFEL – Pacific Fisheries Environmental Laboratory

PRP – Pluma do Rio da Prata

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

ZPP – Zona de Produtividade Pesqueira Pacific Fisheries Environmental

## LISTA DE ABREVIATURAS

Cl-a – Clorofila-a,

MEk-x – Transporte de Massa derivado na dinâmica de Ekman (direção zonal)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	16
2.1 OBJETIVO GERAL .....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
<b>3 DADOS E MÉTODOS</b> .....	17
3.1. ÁREA DE ESTUDO .....	17
3.2 SÉRIES TEMPORAIS.....	18
3.2.1 Multivariate ENSO Index (MEI) .....	18
3.2.2 Transporte de Ekman na direção Leste-Oeste (MEk-x) .....	18
3.2.3 Temperatura da Superfície do Mar (TSM).....	19
3.2.4 Concentração de Clorofila-a (Cl-a).....	20
3.3 CORRELAÇÃO CRUZADA.....	20
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	21
4.1 SÉRIES TEMPORAIS – PARÂMETROS FÍSICOS E BIOLÓGICOS .....	21
4.1.1 Multivariate ENSO Index (MEI) .....	21
4.1.2 Transporte de massa Leste-Oeste (MEk-x) .....	22
4.1.3 Temperatura da Superfície do Mar (TSM).....	24
4.1.4 Concentração de Clorofila-a (Cl-a) .....	27
4.2. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CRUZADA.....	31
<b>4.3 ESTUDO DE CASO – VIDAL <i>ET AL.</i> (2010)</b> .....	33
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	39
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	40

## 1 INTRODUÇÃO

Regiões de ressurgência são caracterizadas pelo afloramento de águas profundas, frias e ricas em nutrientes em áreas específicas dos oceanos, resultando no aumento de produtividade primária e pesqueira. O fenômeno acarreta ainda numa mudança na composição e ritmo de desenvolvimento das cadeias tróficas tornando essas áreas favoráveis à pesca e, ocupando cerca de 5% dos oceanos, são ainda responsáveis por mais de 25% da produção pesqueira mundial (JENNINGS *et al.*, 2001). Diversos fenômenos físicos propiciam a formação de ressurgência, tendo destaque o transporte e o bombeamento de Ekman (EKMAN, 1905; ELIAS, 2009).

Com caráter quasi-permanente, a intensidade do fluxo vertical de massas d'água nessas regiões sofre variações sazonais devido a mudanças na direção e intensidade do campo de ventos (CASTRO *et al.*, 1997; IKEDA & EMERY, 1984; PÉREZ-BRUNIUS *et al.*, 2007). A ressurgência costeira é observada com maior frequência nas margens oeste dos continentes, todavia é possível verificar sua ocorrência na costa brasileira sendo a mais conhecida a Ressurgência de Cabo Frio, localizada no estado do Rio de Janeiro (ALLARD, 1955). Outro sistema que merece destaque com uma ressurgência intermitente é no Cabo de Santa Marta, ao Sul do Brasil (CASTELO & MÖLLER, 1977; CAMPOS *et al.*, 2013).

Nos primeiros estudos desenvolvidos na região, Castelo & Möller (1977) associaram o processo de ressurgência à mudança do quadrante dos ventos durante os meses de primavera austral (outubro a dezembro). Odebrecht & Djurfelt (1996) corroboraram tal hipótese encontrando uma relação entre a intermitência da ressurgência e a alternância entre ventos do quadrante Nordeste e a passagem de frentes frias (ventos do quadrante Sul). Devido a sua dependência do campo de ventos local, a ressurgência ao longo de Santa Marta pode ainda estar associada a sinais de fenômenos climáticos globais como os ENOS, já que tanto o El Niño quanto a La Niña são responsáveis por mudanças nos padrões climatológicos da América do Sul, alterando as características sinóticas e meteorológicas da região (ROPELEWSKI & HALPERT, 1987;

GRIMM *et al.*, 2000). Perturbações no campo de ventos na baixa atmosfera acarretam em mudanças na direção preferencial do transporte de Ekman, principalmente em sua componente perpendicular à linha de costa (COLBERG *et al.*, 2004), potencializando ou diminuindo a ressurgência na região.

Atualmente estima-se que o campo de ventos local seja apenas uma das forçantes do fenômeno, que também é influenciado por vórtices e meandros gerados na retroflexão da Corrente do Brasil e pelas interações de fluxo com a topografia, com a isóbata de 50m a apenas 50 km da costa (CASTELÃO *et al.*, 2004; CAMPOS *et al.*, 2013). Assim, a escala temporal de análise se torna importante para determinação dos processos na região tendo em vista que o campo de ventos é dinâmico e influenciará o transporte de massa final.

Na região, são desenvolvidas ainda importantes atividades de pesca de cefalópodes (Vidal *et al.*, 2010), tunídeos (Andrade & Garcia, 1999) e engraulídeos (Carvalho & Castello, 2013). A variabilidade biológica é decorrente do balanço dinâmico entre processos regionais e locais como o vento e a transferência de energia turbulenta das maiores para as menores escalas, onde é eventualmente dissipada (MACKAS *et al.*, 1985). Dessa forma, o sinal biológico pode ser modulado por processos físicos tanto diretos, por advecção turbulenta de água e mistura, quanto indiretamente, atuando sobre as taxas de crescimento do fitoplâncton e em suas interações tróficas (ABRAHAM, 1998; HAURY *et al.*, 1978 citados por DONEY *et al.*, 2003); GARÇON *et al.*, 2001). Assim, é necessário identificar como os transportes de massa na área de estudo estão associados a variações sazonais e interanuais dos campos de ventos e a mudanças na concentração de cloforila-a, que repercutem por toda a cadeia trófica.

Esse estudo se propõe a descrever o comportamento da ressurgência no Cabo de Santa Marta utilizando dados de temperatura da superfície do mar, transporte de massa e concentração de clorofila-a derivados de plataformas orbitais para um período de dez anos (de 2002 a 2011). Esses resultados atuam como diretrizes para compreender como o sinal físico modula o sinal biológico através da análise de um estudo de caso baseado no trabalho de Vidal *et al.* (2010). Os parâmetros físicos analisados no trabalho original foram

indicativos de ressurgência, porém a direção e volume do transporte de massa não foram calculados devido à falta de tecnologia disponível para obtenção dessas variáveis remotamente na época em que o estudo foi realizado. Sem essa informação, não é possível inferir qual a magnitude do processo de ressurgência e determinar suas consequências para o sistema trófico..

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Descrever as variabilidades espacial e temporal do sistema de ressurgência no Cabo de Santa Marta através da análise de séries temporais de transporte de massa, temperatura da superfície do mar e concentração de clorofila-a derivadas de dados satelitais;

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Investigar se as componentes de transporte de massa, derivadas de sensores de satélite e modelos numéricos, estão de acordo com as observações de Vidal et al. (2010);podem servir como ferramentas na identificação do transporte de Ekman na região do Cabo de Santa Marta;

Identificar valores anômalos de transporte de Ekman, temperatura da superfície do mar e clorofila-a;

Identificar valores anômalos de clorofila-a e temperatura da superfície do mar e suas interações com o transporte de massa;

Analisar a magnitude e comportamento dos processos físicos atrelados ao evento de alta captura de paralarvas e juvenis de cefalópodes na plataforma continental brasileira relatado por Vidal et al. (2010) no CSM e como os mesmos afetaram a estrutura da coluna d'água, propiciando aumento da produtividade na região.

### 3 DADOS E MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDO

Para análise de séries temporais, foram escolhidos dois pontos costeiros ao longo da região do Cabo de Santa Marta, sendo C1 ao Norte do CSM e C2 ao sul dessa feição; após mudança na direção preferencial da linha de costa; para o estudo de caso de Vidal *et al.* (2010) foram utilizados os pontos C2 e C3. Suas respectivas latitudes e longitudes são apresentadas na TABELA 1.

FIGURA 1. ÁREA DE ESTUDO AO LONGO DA REGIÃO DO CABO DE SANTA MARTA, RS, BRASIL COM REPRESENTAÇÃO DAS ISÓBATAS DE 100, 200 E 1000 METROS E OS TRÊS PONTOS AMOSTRAIS C1, C2 E C3. AO SUL, DESTAQUE PARA A DESEMBOCADURA DO RIO DA PRATA (PRP).

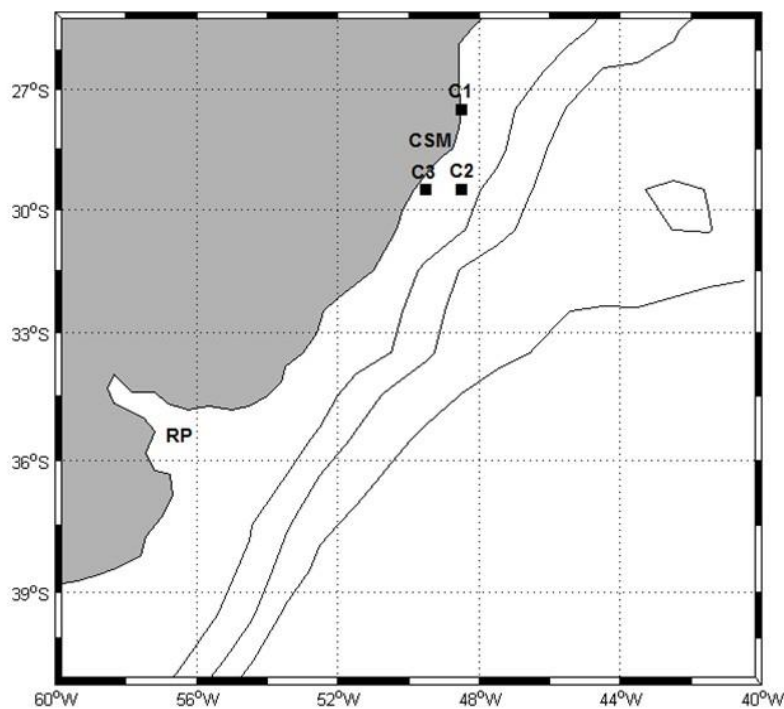


TABELA 1. COORDENADAS GEOGRÁFICAS DOS PONTOS AMOSTRAIS PARA SÉRIES TEMPORAIS AO LONGO DO CABO DE SANTA MARTA, RS, BRASIL.

Ponto de análise	Coordenadas geográficas
C1	27.5°S 48.5°W
C2	29.5°S 48.5°W
C3	29.5°S 49.5°W

### 3.2 SÉRIES TEMPORAIS

#### 3.2.1 Multivariate ENSO Index (MEI)

Para estimar os efeitos dos fenômenos ENOS sobre o transporte de massa em Santa Marta foi usado como padrão comparativo o MEI (Multivariate ENSO Index), desenvolvido por Wolter & Timlin (1993) e fornecido pela NOAA (National Ocean and Atmosphere Administration) em <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/rank.html>. Para cálculo do MEI são levadas em consideração as seguintes variáveis ao nível do mar no Pacífico tropical: pressão atmosférica, componentes zonal e meridional do vento predominante, temperatura atmosférica e fração do céu coberta por nuvens. Os valores são agrupados bimestralmente em uma matriz de co-variância: valores de 1 a 19 correspondem à La Niña, de 20 a 39 a um período de neutralidade e de 40 a 59 ao El Niño (WOLTER & TIMLIN, 2011).

#### 3.2.2 Transporte de Ekman na direção Leste-Oeste (MEk-x)

O transporte de massa derivado da dinâmica de Ekman na direção Leste-Oeste (MEk-x) foi fornecido pelo Live Access Server mantido pelo Pacific Fisheries Environmental Laboratory (PFEL) e disponível em <http://www.pfeg.noaa.gov/products/las.html>. Os dados de transporte de massa foram gerados através de dois modelos desenvolvidos pelo U.S. Navy Fleet Numerical Meteorological and Oceanographic Center (FNMOC) com resolução espacial de 10 e temporal de 06 horas. Esse conjunto de dados corresponde à componente ortogonal à costa do transporte de massa baseado na teoria de

Ekman e é fornecido em  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ . Para maiores detalhes, o leitor deve se referir ao sítio <http://www.pfel.noaa.gov/products/PFEL/modeled/holdings.html>.

Assumindo homogeneidade e uniformidade do campo de ventos, o transporte de massa devido ao cisalhamento do vento na superfície do mar é separado em duas componentes: normal (ou ortogonal) e paralela (longitudinal) à orientação da linha de costa. Valores positivos da componente ortogonal são indicativos de transporte de Ekman offshore em superfície, resultando em transporte em subsuperfície em direção à costa (ressurgência) podendo ou não chegar à superfície e ser detectada por dados de temperatura da superfície do mar e cor do oceano. Para que os vetores se localizem, respectivamente, ortogonal e paralelamente à linha de costa, a mesma foi rotacionada em  $20^\circ$  (sentido anti-horário) para que assumisse sentido Norte-Sul na região do Cabo de Santa Marta. Neste estudo será utilizada somente a componente Leste- Oeste (normal à costa) do transporte de massa na região.

Foram calculados dois tipos de anomalia: a mensal para C1 e C2; C3 a cada 8 dias para C1, a fim de averiguar a influência da escala temporal de análise para o sistema de ressurgência do CSM no período de 01/08/2002 a 31/08/2011. As anomalias foram normalizadas pelo desvio padrão, reduzindo a variabilidade de dados num conjunto ou série temporal e criando um intervalo de amplitude que inclui todas as variáveis, facilitando sua comparação a posteriori.

Para o estudo de caso foram utilizados dados a cada 6h de MEk-x , sendo calculada a média diária para o período de 01/11 a 10/12 de 1989.

### 3.2.3 Temperatura da Superfície do Mar (TSM)

Séries temporais de temperatura da superfície do mar (TSM) em Kelvin de nível L4 foram obtidas através do Live Access Server, mantido pelo National Oceanographic Data Center (NODC) em <http://data.nodc.noaa.gov/las/>. Essa base de dados corresponde a interpolações diárias de dados fornecidos pelo GHRSSST (Group for High Resolution Sea Surface Temperature) com resolução de  $\frac{1}{4}$  de grau utilizando dados dos sensores AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) e AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer),

boias, derivadores e dados coletados por navios de pesquisa. O produto final gerado pela interpolação de dados de diversas fontes não possui a mesma robustez de um dado coletado *in situ*, porém permite a elaboração de uma série consistente no tempo e sem lacunas devido a falhas ou limitações metodológicas. Posteriormente, os dados de TSM em Kelvin foram convertidos para Celsius utilizando as diretrizes do Sistema Internacional de medidas.

O período de análise de anomalias de TSM compreendeu de 01/08/2002 a 31/08/2011. As anomalias de temperatura da superfície do mar foram calculadas com resolução temporal mensal para C1 e C2 e a cada 8 dias para C1 e posteriormente padronizadas por seus desvios padrão conforme explicado na seção 3.2.2.

No estudo de caso de Vidal *et al.* (2010) foram utilizados dados diários de TSM para o período de 01/11 a 10/12 de 1989 com o mesmo nível de processamento.

#### 3.2.4 Concentração de Clorofila-a (Cl-a)

Composições de registros a cada 8 dias de concentração de clorofila-a ( $\text{mg.m}^{-3}$ ), nível 3, 4km de resolução do satélite MODIS/sensor AQUA foram disponibilizadas pelo GSFC (Goddard Space Flight Center) da NASA (National Aeronautics and Space Administration) no sítio <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/> para de 01/08/2002 a 31/08/2011, sendo calculadas anomalias mensais para os pontos C1 e C2. Assim como para o transporte de massa e temperatura, as anomalias de clorofila foram padronizadas pelos seus respectivos desvios-padrões, como descrito na seção 3.2.2.

### 3.3 CORRELAÇÃO CRUZADA

O método de correlação cruzada permite averiguar se há relação entre duas séries temporais e em que grau as duas estão correlacionadas. Sendo uma análise de convolução, é possível determinar o atraso na resposta de uma série em função de mudanças na outra (DUDA & HART, 1973). Foram realizadas correlações cruzadas entre anomalias normalizadas de transporte e temperatura

para os ponto C1 nas resoluções temporais de 1 mês e 8 dias para o período de agosto/2002 a agosto/2011.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 SÉRIES TEMPORAIS – PARÂMETROS FÍSICOS E BIOLÓGICOS

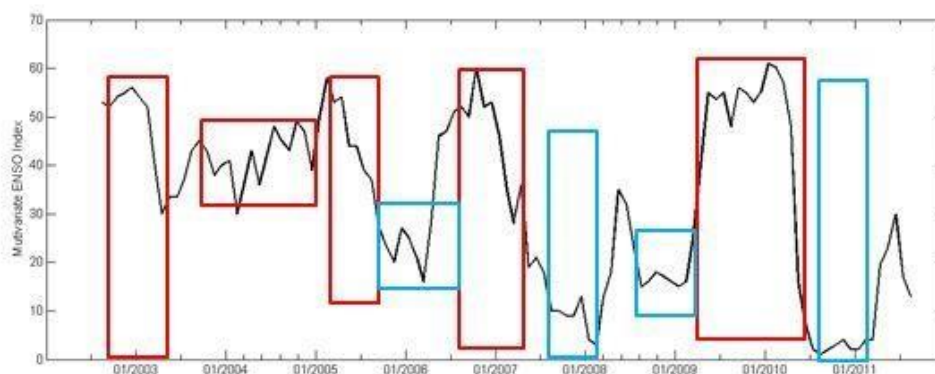
#### 4.1.1 Multivariate ENSO Index (MEI)

O período de análise apresentou grandes flutuações do MEI, com a ocorrência de 5 eventos de El Niño e 4 de La Niña, além de meses nos quais o índice tendeu à neutralidade (FIGURA 2). Eventos de El Niño fraco apresentam MEI de 40 a 45, moderado de 45 a 50 e forte de 50 a 59; eventos de La Niña fraca variam de 19 a 15, moderada de 15 a 10 e forte de 10 a 0 (Wolter & Timlin, 2011).

Os eventos de El Niño e suas respectivas magnitudes compreenderam os meses de agosto/2002 a fevereiro/2003 (forte); agosto/2003 a dezembro/2004 (fraco, tendendo à neutralidade); janeiro/2005 a junho/2005 (moderado); maio/2006 a janeiro/2007 (forte); abril/2009 a maio/2010 (forte).

Os períodos correspondentes à La Niña e suas intensidades foram: agosto/2006 a março/2006 (fraca); julho/2007 a fevereiro/2008 (moderada); agosto/2008 a fevereiro/2009 (fraca); junho/2010 a março/2011 (forte).

FIGURA 2. MULTIVARIATE ENSO INDEX (MEI) PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011. VALORES DE 0 A 19 SÃO INDICATIVOS DE LA NIÑA (AZUL); DE 40 A 59, DE EL NIÑO (VERMELHO).



#### 4.1.2 Transporte de massa Leste-Oeste (MEk-x)

O transporte de massa perpendicular representa o fluxo de água entre a costa e a plataforma continental em superfície. Por se tratar de uma análise de anomalia, os valores nulos ou tendendo à nulidade não são indicativos de ausência de transporte na região, mas sim que esses foram próximos à média mensal calculada.

De maneira geral, C1 e C2 apresentaram valores positivos para os meses de primavera/verão e negativos nos meses de inverno tanto para a anomalia mensal quanto para a normalizada, com exceção de junho/2005 (FIGURAS 3 e 4). Esse resultado corrobora o modelo de ressurgência clássica proposto para o Cabo de Santa Marta por Castelo & Möller (1977).

FIGURA 3. ANOMALIA MENSAL DO TRANSPORTE DE EKMAN ZONAL (MEK-X, KG/M/S) PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011 NOS PONTOS C1 E C2. EM DESTAQUE, OS PERÍODOS COM MEI INDICATIVO DE EL NIÑO (VERMELHO) E DE LA NIÑA (AZUL)

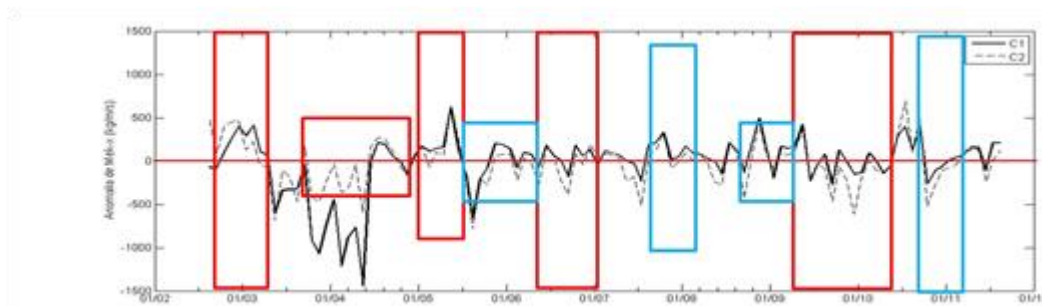
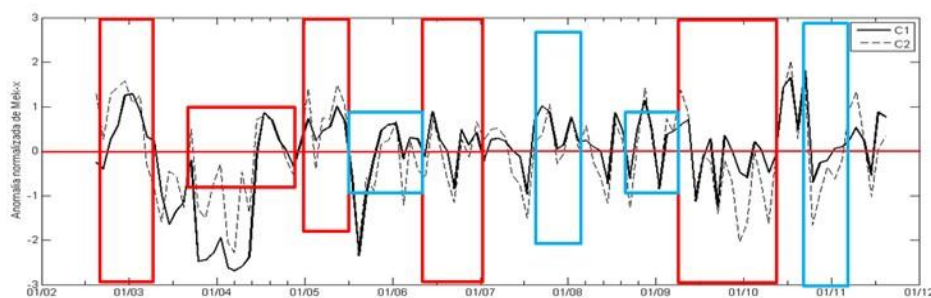


FIGURA 4. ANOMALIA NORMALIZADA DO TRANSPORTE ZONAL (MEK-X NORMALIZADO, SEM UNIDADE) PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011 NOS PONTOS C1 E C2. EM DESTAQUE, OS PERÍODOS COM MEI INDICATIVO DE EL NIÑO (VERMELHO) E DE LA NIÑA (AZUL).



O período de maio de 2003 a junho de 2004 foi caracterizado por intensos transportes negativos, com os menores valores de anomalia de transporte de Ekman registrados para C1; C2 (ponto ao Sul do CSM) manteve

anomalias levemente positivas ou tendendo à nulidade (figura 3). Arthur (1965); citado por Mazzini & Barth (2013) determinou que irregularidades na linha de costa (e.g. a existência de cabos e promontórios) podem modificar a curvatura de fluxos e produzir cisalhamento zonal gerador de ressurgência ao longo da plataforma; Mazzini & Barth (2013) encontraram para o CSM no verão austral, fluxos verticais associados à subsidência ao Norte do CSM e à ressurgência ao Sul dessa feição, justificando os transportes positivos encontrados para o ponto C2 no período. Em contrapartida, existe uma relação bem estabelecida entre a ressurgência ao longo do Cabo de Santa Marta, o campo de ventos e o aumento da intensidade da Corrente do Brasil durante a primavera e o verão (CAMPOS *et al.*, 2013), que contraria os resultados encontrados para os valores de transporte, tanto para pontos costeiros como para os oceânicos para esse período.

Recorrendo aos índices dos fenômenos ENOS de maio/2003 a junho/2004, há indicativo de El Niño fraco entre dois eventos de El Niño forte, com índices oscilando entre 56 e 30 (FIGURA 2). Assad (2012) identificou mudanças significativas no transporte em camadas superficiais a nível global devido à influência dos fenômenos ENOS no campo de ventos. Para a região Sul do Brasil, onde o CSM está localizado, Pereira *et al.* (2012) observaram uma mudança na ocorrência de frentes frias na região devido a esses fenômenos, enquanto que Berlato *et al.* (2003) identificaram um fortalecimento dos sistemas frontais durante a fase negativa (La Niña) e enfraquecimento dos mesmos na fase positiva (El Niño). Desta forma, o comportamento esperado para esse período seria de transportes positivos e não negativos.

O período de julho de 2004 a dezembro de 2008 foi marcado por anomalias de transporte tendendo à neutralidade com exceção de maio/2005 e junho/2005 (FIGURA 3). Em julho/2005, as anomalias negativas ou neutras de transporte ocorreram concomitantes ao rápido declínio dos índices ENOS.

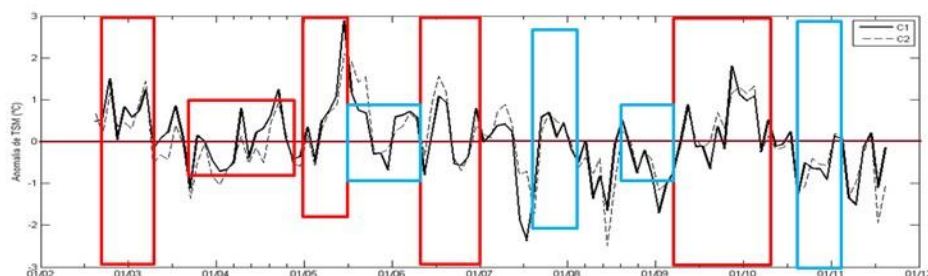
Apesar de não haver uma relação direta entre o MEI e o transporte de massa, melhores concordâncias de fase eram esperadas entre essas variáveis, principalmente no período de maio de 2003 a junho de 2004, sendo um indicativo de que os dados de transporte de massa utilizados podem não ser representativos para a região.

#### 4.1.3 Temperatura da Superfície do Mar (TSM)

A variável com a resposta mais rápida ao transporte de massa é a temperatura da superfície do mar (TSM). Diante de valores positivos de anomalia de MEK-x (i.e., transporte offshore), são esperadas anomalias negativas de TSM; em caso de valores negativos desse índice (i.e., transporte onshore), as anomalias de TSM seriam positivas.

Os pontos C1 e C2 apresentaram anomalias de TSM negativas nos meses de primavera e verão e transporte positivo (FIGURAS 5 e 3), indicando uma variabilidade interanual do fenômeno de ressurgência. Anomalias negativas não associadas ao transporte crossshelf também foram identificadas visualmente nas séries temporais para os meses de outono e inverno, tendo destaque o mês de junho/2007 com os menores índices registrados para os pontos em toda a série temporal (FIGURAS 5 e 8).

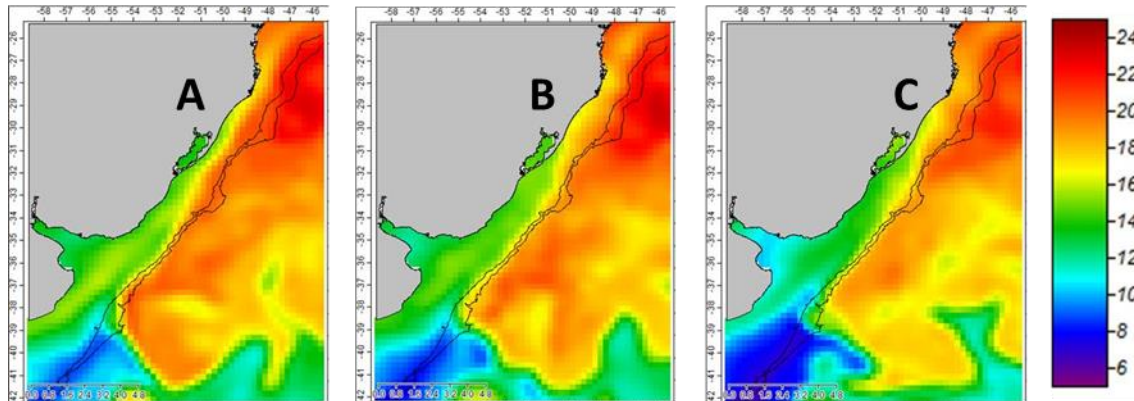
FIGURA 5. ANOMALIA MENSAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR (TSM, EM°C) PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011 NOS PONTOS C1 E C2. EM DESTAQUE, OS PERÍODOS COM MEI INDICATIVO DE EL NIÑO (VERMELHO) E DE LA NIÑA (AZUL).



Os campos de TSM fornecidos pelo GHRSSST para o mês de junho/2007 mostram uma expansão da Pluma do Rio da Prata (PRP) em direção Norte, atingindo o seu máximo no dia 15/06/2007 e sua evolução até o dia 25/06/2007 (FIGURA 6). Piola *et al.* (2000) identificaram uma grande variabilidade sazonal na componente paralela à costa da PRP, com os ventos do quadrante SW durante o inverno sendo responsáveis pela expansão da mesma até 28°S (Piola *et al.*, 2005). Mazzini & Barth (2013) determinaram ainda através de funções ortogonais empíricas (EOF) aplicadas a dados satelitais que o primeiro modo da análise, correspondente à intrusão de águas frias provenientes do sul, foi

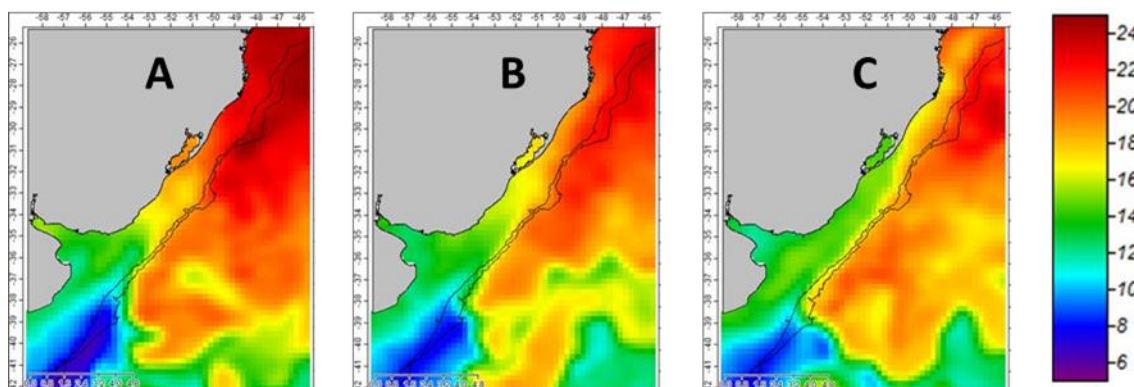
responsável por 34,7% das variações da TSM no CSM, evidenciando a importância desse fluxo para a TSM da região ao longo de todo o ano.

FIGURA 6. IMAGENS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR FORNECIDAS PELO GHRSSST ) PARA OS DIAS 05/06/2007 (A), 15/06/2007 (B), 25/06/2007 (C). EM DESTAQUE, AS ISÓBATAS DE 200 E 1000M



Em comparação com 2005, 2006 e 2008, é possível observar que a expansão da PRP em junho de 2007 foi maior que nos outros anos na área do Cabo de Santa Marta (FIGURA 7). As águas mais quentes da corrente do Brasil, externas à quebra de plataforma e em direção Sul, também aparecem menos marcadas no ano de 2007 do que em relação aos demais anos.

FIGURA 7. IMAGENS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR FORNECIDAS PELO GHRSSST (INTERPOLAÇÃO DE DADOS DE SATÉLITE, BOIAS E DERIVADORES) DO DIA 15/06 PARA OS ANOS DE 2005 (A), 2006 (B) E 2007 (C). EM DESTAQUE, AS ISÓBATAS DE 200 E 1000M.



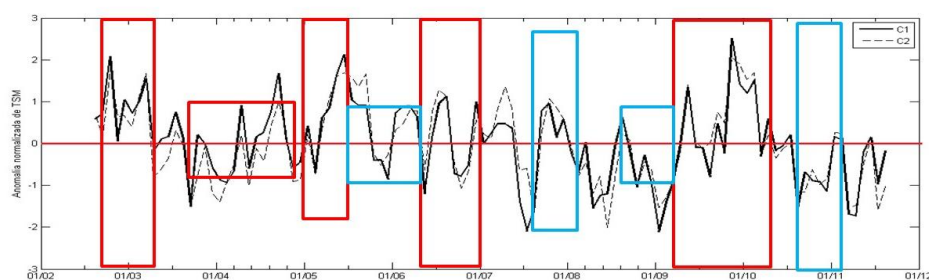
A expansão da PRP ao longo da costa adjacente sofre influência dos fenômenos ENOS, tendo em vista que os mesmos alteram o padrão de ventos local (PIOLA *et al.*, 2005). Pelo fato de as frentes frias ocorrerem com maior frequência durante o inverno, essa é a estação onde as mudanças de intensidade e direção do vento são mais notadas na região (SATYAMURTY & MATTOS, 1998). O MEI para junho/2007 foi indicativo de La Niña forte a moderada

(FIGURA 2), com o provável fortalecimento dos ventos do quadrante Sul ou aumento na quantidade de sistemas frontais passando pela região (PEREIRA *et al.*, 2012). Como os dados de transporte utilizados trabalham com médias de campos de pressão para determinar se os ventos e sistemas frontais podem ou não ser estacionários, as anomalias de MEK-x não necessariamente apresentariam sinais da passagem dos mesmos, embora Castro & Miranda (1998) tenham associado a passagem de sistemas sinóticos com modificações na dinâmica da ressurgência no Cabo de Santa Marta.

Na FIGURA 7A, referente à TSM do dia 15/06/2005, é possível observar uma água com TSM positiva nas proximidades do Cabo de Santa Marta. Lentini *et al.* (2001) identificaram ainda uma anomalia de TSM positiva durante e imediatamente após o El Niño, condições que foram observadas nesse período. Esses dois fatores em conjunto colaboraram para as maiores anomalias normalizadas no mês de análise (FIGURA 8).

O período de maio de 2003 a maio de 2004 foi dominado por anomalias de MEK-x negativas, com resposta positiva ou tendendo à neutralidade da anomalia de TSM, com exceção do mês de agosto/2003 (FIGURAS 2 e 5). As oscilações bruscas de transporte identificadas de janeiro de 2010 a junho de 2011 também foram detectadas para as anomalias mensais e normalizadas de TSM (FIGURAS 5 e 8).

FIGURA 8. ANOMALIA NORMALIZADA DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR (TSM, SEM UNIDADE) PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011 NOS PONTOS C1 E C2. EM DESTAQUE, OS PERÍODOS COM MEI INDICATIVO DE EL NIÑO (VERMELHO) E DE LA NIÑA (AZUL).

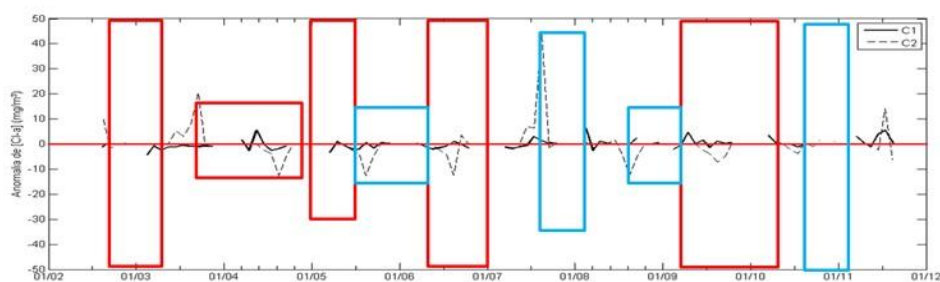


#### 4.1.4 Concentração de Clorofila-a (Cl-a)

A resposta do sinal biológico às forçantes físicas não é linear e nem sempre ocorre em mesma escala temporal. A produção pelágica é induzida principalmente pela componente perpendicular à linha de costa do vetor transporte de massa, que causa divergência de massas d'água costeiras e resulta em ressurgência de nutrientes na zona pelágica e eufótica. A componente longitudinal desse vetor tem pouca influência na comunidade planctônica, mas pode ser relacionada a padrões de dispersão em manchas em áreas com alta produtividade (MYERS & DRINKWATER, 1989).

As anomalias negativas de clorofila ocorreram quase que em sua totalidade nos meses de inverno; as positivas, ocorreram na primavera e verão com exceção do inverno de 2007, que apresentou os maiores valores para a série em C3. Ambos os resultados são condizentes com o esperado para o modelo de ressurgência clássica da região, dependente da potencialização dos ventos de quadrante Norte durante a primavera austral (CASTELO & MÖLLER, 1977).

FIGURA 9. ANOMALIA MENSAL CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA-A (MG/M<sup>3</sup>) PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011 NOS PONTOS C1 E C2. EM DESTAQUE VERMELHO, OS PERÍODOS COM MEI INDICATIVO DE EL NIÑO; EM AZUL, OS DE LA NIÑA



As imagens de satélite de concentração mensal de Cl-a em junho e julho de 2007 mostram uma intensa atividade biológica restrita à região costeira na desembocadura do Rio da Prata e na vizinhança do CSM (figura 10). Observando as mesmas imagens com foco na região do CSM, notam-se manchas com alta concentração de Cl-a (FIGURA 11). Esse período coincide com o de menores anomalias de TSM sobre influência da PRP, que se estendeu até as proximidades da quebra de plataforma no Cabo de Santa Marta (FIGURA 6).

Diversos estudos evidenciam a importância dessa água no input de nutrientes na região costeira, contribuindo para o aumento da produtividade biológica (Fillmann, 1990; Ciotti *et al.*, 1995), corroborando os resultados de alta concentração de clorofila mesmo sem transporte perpendicular indicativo de ressurgência.

FIGURA10. IMAGENS DE CONCENTRAÇÃO MENSAL DE CLOROFILA-A DO SENSOR MODIS FORNECIDAS PELO GSFC (NÍVEL 3, 4 KM DE RESOLUÇÃO) PARA OS MESES DE JUNHO (A) E JULHO (B) DE 2007. IMAGEM GERADA NO SÍTIO [HTTP://GIOVANNI.GSFC.NASA.GOV/](http://GIOVANNI.GSFC.NASA.GOV/).

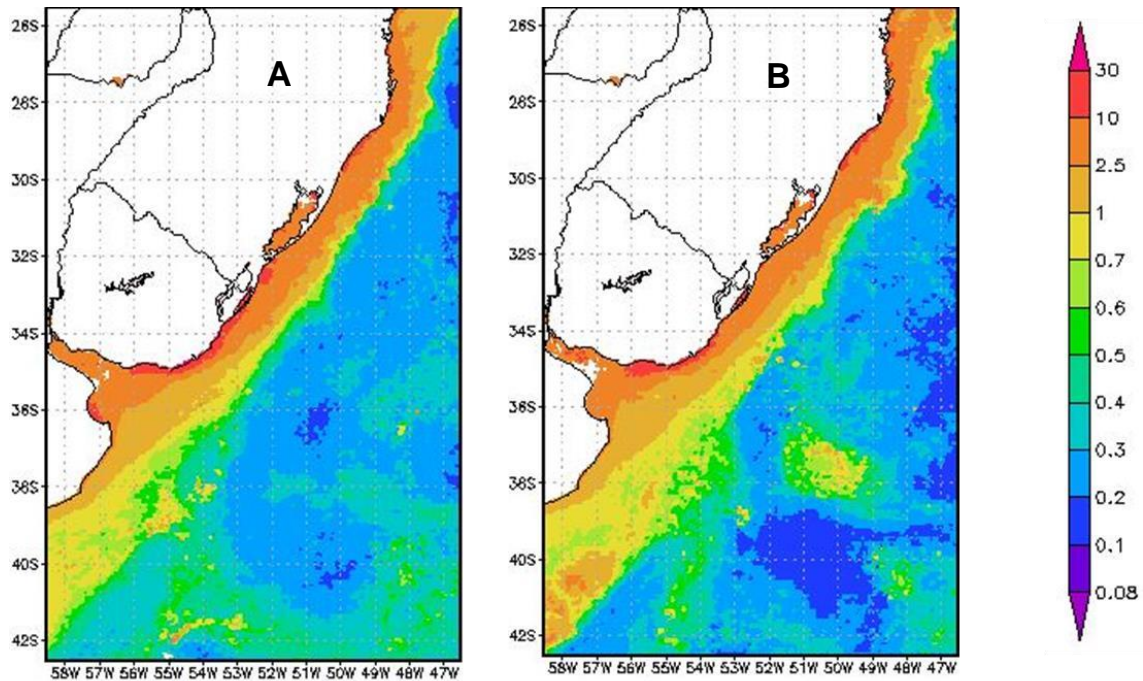
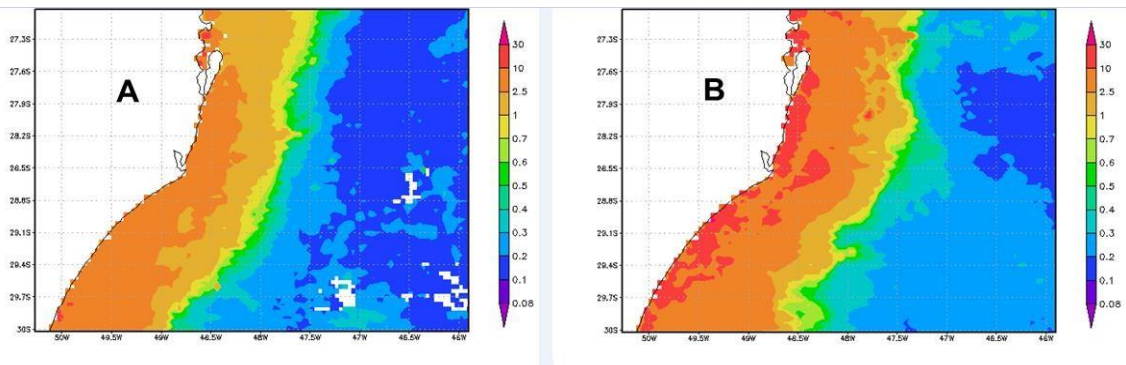
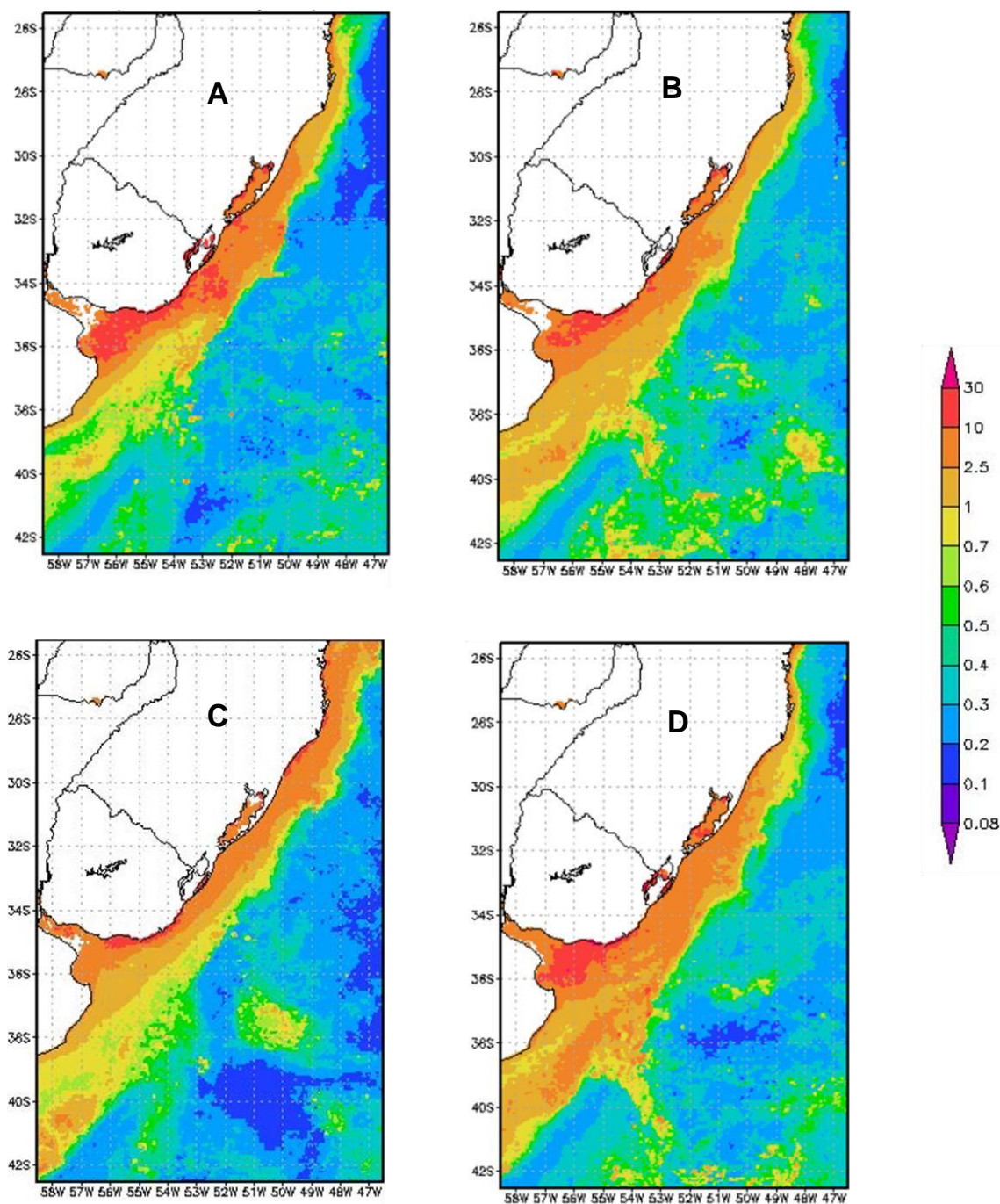


FIGURA 11. IMAGENS DE CONCENTRAÇÃO MENSAL DE CLOROFILA-A DO SENSOR MODIS FORNECIDAS PELO GSFC (NÍVEL 3, 4 KM DE RESOLUÇÃO) PARA OS MESES DE JUNHO (A) E JULHO (B) DE 2007. EM DESTAQUE, A REGIÃO DO CABO DE SANTA MARTA. IMAGEM GERADA NO SÍTIO [HTTP://GIOVANNI.GSFC.NASA.GOV/](http://GIOVANNI.GSFC.NASA.GOV/).



As imagens de satélite para a o mês de julho entre 2005 e 2008 mostram que o ano de 2007 (FIGURA 12C) apresentou uma concentração de clorofila ao redor do CSM muito superior aos demais (FIGURAS 12A,B, D); em contrapartida a concentração de Cl-a na região de desembocadura do Rio da Prata diminuiu drasticamente em 2007, ficando confinada próxima à costa. Recorrendo aos resultados do MEI (FIGURA 2) é possível observar que esse período foi marcado por uma brusca transição de El Niño para La Niña, o que acarreta em consequências como inversão do campo de ventos e fortalecimento de ventos do quadrante Sul, que podem ter sido responsáveis um confinamento da PRP à região costeira e transporte dessas águas em direção Norte no jato costeiro.

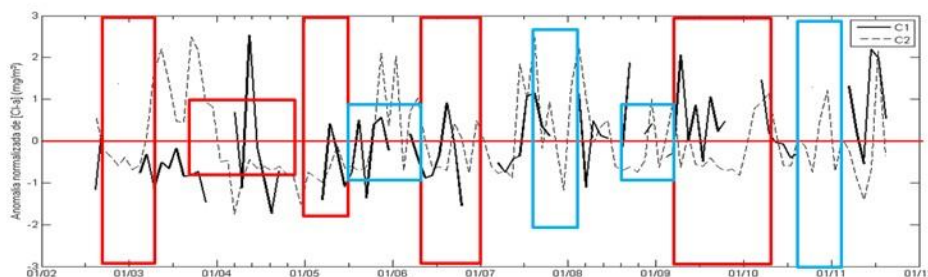
FIGURA 12 .IMAGENS DE CONCENTRAÇÃO MENSAL DE CLOROFILA-A DO SENSOR MODIS FORNECIDAS PELO GSFC (NÍVEL 3, 4 KM DE RESOLUÇÃO) PARA O MÊS DE JULHO NOS ANOS DE 2005 (A), 2006 (B), 2007 (C) E 2008 (D). IMAGEM GERADA NO SÍTIO [HTTP://GIOVANNI.GSFC.NASA.GOV/](http://GIOVANNI.GSFC.NASA.GOV/).



Os meses de agosto de 2003 e julho de 2010 também apresentaram anomalias positivas de concentração de clorofila (FIGURA 9), com transporte e TSM característicos de ressurgência. Embora o efeito direto da grande concentração de clorofila-a tenha sido observado de maneira mais evidente nos meses de junho e julho em C2 no ano de 2007, a anomalia normalizada mostra

que todos os pontos se desviaram muito da média desses meses para o período de análise (FIGURA 13).

FIGURA 13. ANOMALIA MENSAL NORMALIZADA DA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA-A (SEM UNIDADE) PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011 NOS PONTOS C1 E C2. EM DESTAQUE VERMELHO, OS PERÍODOS COM MEI INDICATIVO DE EL NIÑO; EM AZUL, OS DE LA NIÑA.

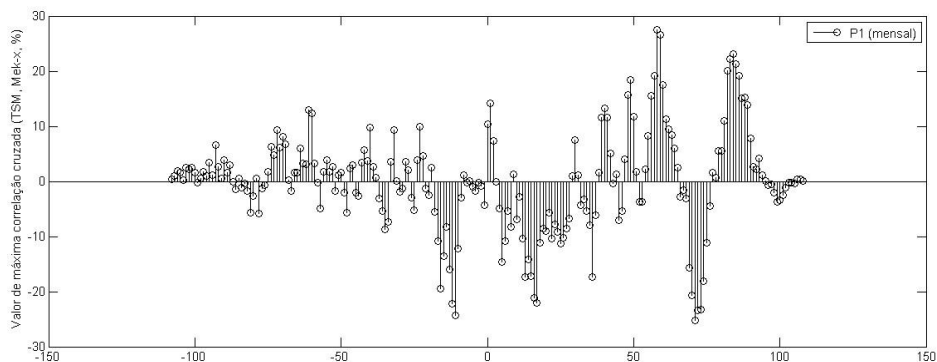


#### 4.2 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CRUZADA

A análise de correlação cruzada foi aplicada para avaliar se as anomalias normalizadas de TSM responde de maneira satisfatória ao de MEK-x e em que fase estão seus sinais, i.e., o tempo de resposta da temperatura às mudanças no transporte de massa.

Para C1, as anomalias normalizadas mensais de TSM e MEK-x apresentaram uma correlação de cerca de 30%, em contrapartida os valores máximos de correlação cruzada apresentam um atraso muito grande (58 meses) e houve baixa correlação direta (valores ao redor de 0) (FIGURA 14). Isso significa que a temperatura de um mês correspondeu ao transporte predominante há 58 meses, não condizente com o relatado pela bibliografia para a região e se configurando como uma correlação espúria. A baixa correlação ao redor dos menores atrasos de fase (i.e., uma correlação instantânea entre MEK-x e TSM do mesmo mês) indica ainda que a escala temporal mensal não reproduz satisfatoriamente a dinâmica de transporte e ressurgência na região.

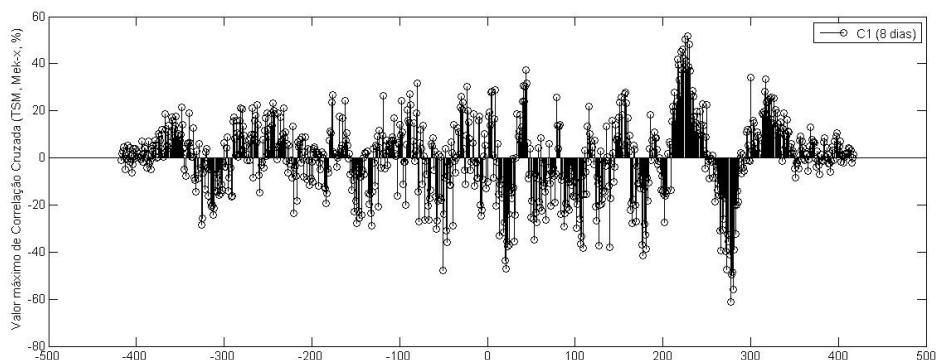
FIGURA 14. CORRELAÇÃO CRUZADA ENTRE ANOMALIAS NORMALIZADAS MENSAS DE TSM E MEK-X EM C1 PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011



Utilizando as anomalias de 8 dias para as mesmas variáveis, é possível observar que, de maneira geral, a correlação aumenta, chegando a quase 60% (FIGURA 15); todavia, o atraso de fase encontrado para as maiores correlações em C1 é alto (277 dias) recorrendo ao mesmo problema encontrado para as anomalias mensais, sendo assim uma correlação espúria sem implicar em causalidade/consequência.

Os coeficientes de correlação próximos ao atraso zero foram maiores para a resolução temporal de 8 dias (37%) do que para a mensal (18%); todavia, as grandes oscilações no sinal da correlação questionam novamente a representatividade dos valores de transporte em C1. Isso significa que embora haja uma correlação de 37% entre os transportes e TSMs de um mesmo período de 8 dias, o padrão esperado para a ressurgência (MEK-x positivo refletindo em TSM negativa) não foi sempre encontrado, recaindo novamente em correlações com coeficiente numérico razoável mas que não reproduzem as condições dinâmicas do ambiente (FIGURA 15).

FIGURA 15. CORRELAÇÃO CRUZADA ENTRE ANOMALIAS NORMALIZADAS A CADA 8 DIAS DE TSM E MEK-X EM C1 PARA O PERÍODO DE AGOSTO/2002 A AGOSTO/2011



#### 4.3 ESTUDO DE CASO – VIDAL *ET AL.* (2010)

Cefalópodes são recursos pesqueiros intensamente explorados na região Sul do Atlântico Sul, sendo a quebra de plataforma a área onde essa exploração se dá de forma mais intensa. Por possuírem estágios de vida na qual fazem parte do zooplâncton (paralarva e juvenil), o sucesso de seu desenvolvimento e recrutamento é dependente da disponibilidade de alimento e das condições oceanográficas às quais são expostas durante esse período crítico (Jackson *et al.* 2008). Nesse cenário, regiões de ressurgência se tornam locais chave para a ontogênese de paralarvas de diversas espécies, como *Illex argentinus* e *Loligo sanpaulensis*.

Embora existam evidências de correlação entre condições ambientais e distribuição de paralarvas de cefalópodes, há uma escassez de dados na área devido ao padrão de distribuição em manchas de diversas espécies somado à sua grande habilidade de fugir de redes planctônicas, dificultando sua captura (Vecchione, 1987). Otero (2009) encontrou uma forte correlação entre a distribuição de paralarvas de polvo e uma grande diminuição de clorofila e nutrientes na coluna d'água; experimentos conduzidos por Vidal (2006) determinaram ainda que paralarvas de cefalópodes respondem rapidamente a mudanças de nutrientes no ambiente, sendo um regulador para seu desenvolvimento e sobrevivência.

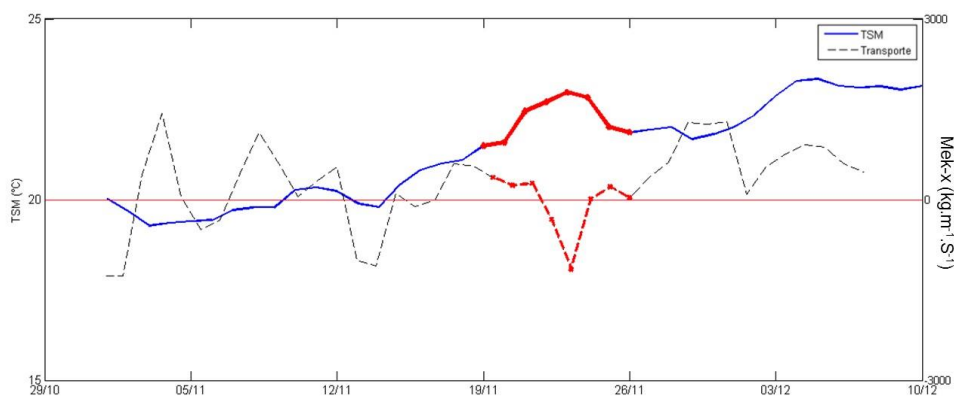
Vidal *et al.* (2010) reportaram uma das maiores capturas já registradas de paralarvas ao largo da plataforma do estado do Rio Grande do Sul durante um cruzeiro de pesca na primavera/verão de 1989, associando dados biológicos com os parâmetros ambientais coletados *in situ*. Através de dados de temperatura, salinidade e clorofila, foi inferida a existência de uma ressurgência de subsuperfície durante o período de amostragem, com intrusão de Água Central do Atlântico Sul (ACAS) sobre a plataforma.

Utilizando uma escala temporal de análise diária, o transporte de Ekman perpendicular positivo (indicativo de ressurgência) ocorreu nos três pontos de análise de forma intermitente (FIGURAS 16,17 e 18). Segundo Grimm (2000), há uma dominância dos ventos de quadrante Norte na região durante a transição entre a primavera e o verão; ventos NE ocorrem com maior intensidade e frequência e seriam os promotores de ressurgência na região (CASTELO & MÖLLER, 1978; CAMPOS *et al.*,2013). A alternância entre os índices positivos

e negativos de ressurgência se dá pelo fato de o campo de ventos não ser constante no tempo, o que caracteriza o transporte na região como extremamente dinâmico. De fato, essa alternância é corroborada por Odebrecht & Djurfelt (1996), que encontraram uma relação entre a intermitência da ressurgência na região e a mudança entre ventos do quadrante NE e a passagem de frentes frias.

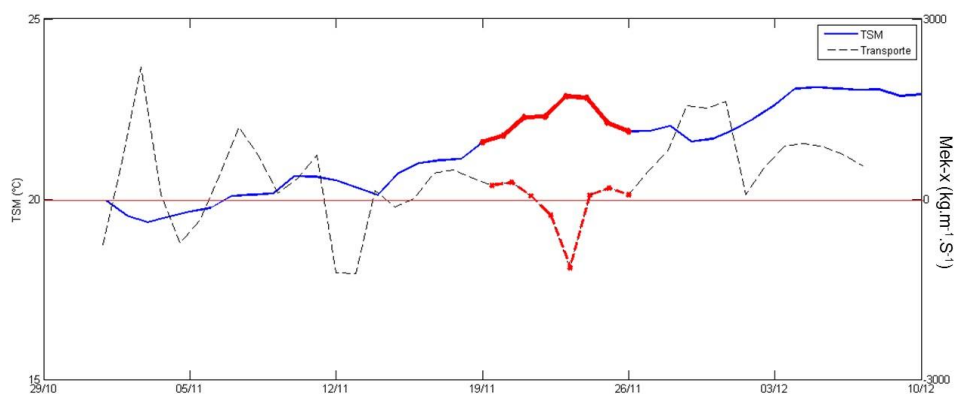
O período de amostragem biológica em C1 foi marcado por MEK-x característico de fluxos superficiais em direção à costa, gerando subsidência de massas d'água associada; ainda a uma elevação de aproximadamente 2°C na TSM (FIGURA 16).

FIGURA 16. PARÂMETROS FÍSICOS DIÁRIOS ANALISADOS PARA O PERÍODO DE 20/10/1989 A 10/12/1989 EM C1: A) TSM (°C, EM AZUL); B) MEK-X, (KG.M-1.S-1, EM TRACEJADO). OS DIAS DE AMOSTRAGEM BIOLÓGICA IN SITU ESTÃO DESTACADOS EM VERMELHO.



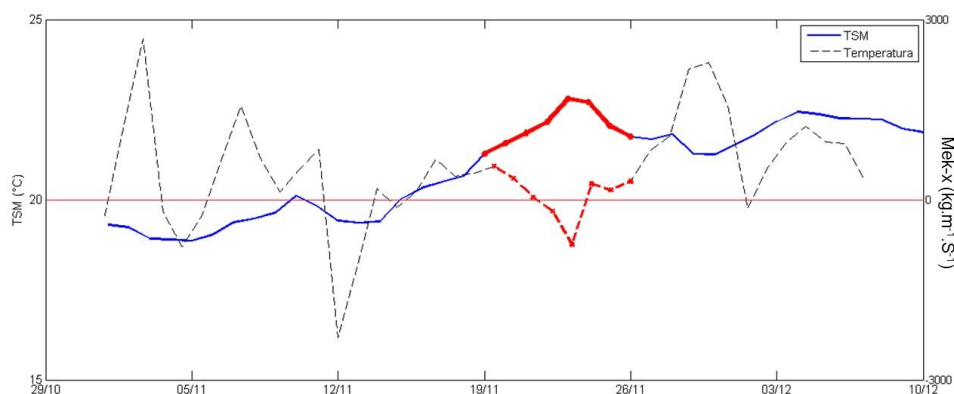
Dos pontos localizados ao Sul do CSM, C2 (FIGURA 17) apresentou transportes indicadores de ressurgência menores que C3, mas ainda assim maiores que C1 (FIGURA 16). A elevação da TSM após 14/11 fica clara também em C3, persistindo mesmo com MEk-x positivos a partir de 27/11.

FIGURA 17. PARÂMETROS FÍSICOS DIÁRIOS ANALISADOS PARA O PERÍODO DE 20/10/1989 A 10/12/1989 EM C2: A) TSM ( $^{\circ}\text{C}$ , EM AZUL); B) MEK-X, ( $\text{KG.M}^{-1}.\text{S}^{-1}$ , EM TRACEJADO). OS DIAS DE AMOSTRAGEM BIOLÓGICA IN SITU ESTÃO DESTACADOS EM VERMELHO.



C3 apresentou a maior amplitude de MEk-x, com os maiores e menores valores de transporte entre os três pontos de análise (FIGURA 10). A TSM apresentou os menores valores de 01/11 a 15/11, com aumento de 19/11 a 26/11 e leve diminuição associada a transportes positivos de 29/11 a 02/12.

FIGURA 18. PARÂMETROS FÍSICOS DIÁRIOS ANALISADOS PARA O PERÍODO DE 20/10/1989 A 10/12/1989 EM C3: A) TSM ( $^{\circ}\text{C}$ , EM AZUL); B) MEK-X, ( $\text{KG.M}^{-1}.\text{S}^{-1}$ , EM TRACEJADO). OS DIAS DE AMOSTRAGEM BIOLÓGICA IN SITU ESTÃO DESTACADOS EM VERMELHO.



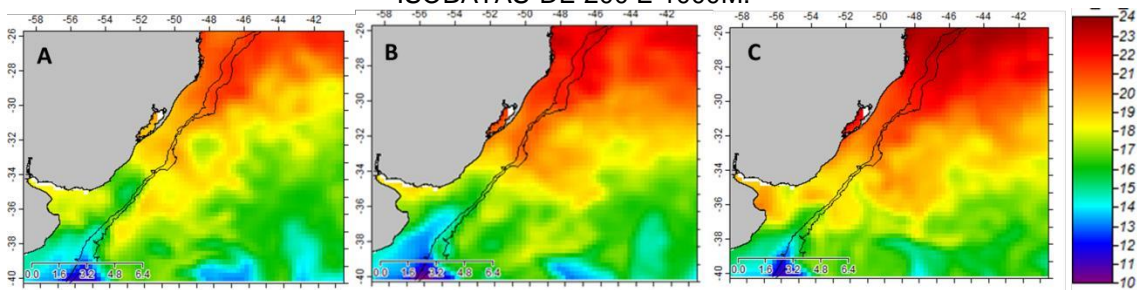
O período de amostragem biológica realizada por Vidal et al. (2010) foi caracterizado por MEK-x em direção à costa nos três pontos de análise e aumento da TSM, que não são indicativos claros de ressurgência. Entretanto, a estrutura da coluna d'água não responde imediatamente às mudanças no sinal de transporte (ABRAHAM, 1998). Os autores, realizando perfilagem com auxílio de CTDs, encontraram para o transecto ao sul do CSM temperaturas ao redor de  $21^{\circ}\text{C}$  e salinidades de 35,6, indicativos de uma possível intrusão de ACAS sobre a plataforma continental. Paralelamente, dados de fluorímetro indicaram ainda uma alta concentração de clorofila-a em subsuperfície. Para o transecto ao norte do CSM, Vidal et al.(2010) observaram TSMs maiores e não foi identificado um pico de Cl-a ao longo da coluna d'água e as densidades biológicas foram reduzidas. Resgalla et al. (2001) associam a ocorrência da ACAS na região com a alta concentração de zooplâncton de diversas espécies, o que se fez verdadeiro para Vidal et al. (2010) em seu estudo de paralarvas de cefalópodes.

Através da série temporal de TSM (FIGURAS 16, 17 e 18) é possível identificar uma discrepância entre o modelo clássico proposto para a ressurgência no CSM, que associa uma diminuição da TSM com o transporte positivo. Isso se dá devido ao fato de dados oriundos de imagem de satélite, apesar de serem a única abordagem factível para caracterizar a variabilidade em mesoescala da clorofila, temperatura e outros parâmetros da superfície dos oceanos ligados à produtividade biológica e eventos de ressurgência (Yoder, 2000), possuem a limitação de representar somente os primeiros metros da coluna d'água. Além disso, é possível identificar uma tendência de diminuição da TSM por algum processo além da ressurgência como p. ex. meandramento

da corrente de contorno oeste (Campos *et al.*, 2013) ou de presença de pluma de rio (Piola *et al.*, 2000) que podem induzir ao erro na constatação dos processos de ressurgência quando se leva em consideração somente a temperatura da superfície do mar.

Dada a necessidade de compreender de maneira mais ampla quais processos influenciaram a TSM da região no período, foram obtidas imagens do GHRSSST, nível 4, para os dias 10, 20 e 30 de novembro de 1989 (figura 19 a, b, c).

FIGURA 19. IMAGENS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR FORNECIDAS PELO GHRSSST (INTERPOLAÇÃO DE DADOS DE SATÉLITE, BOIAS E DERIVADORES) PARA OS DIAS 10/11/1989 (A), 20/11/1989 (B) E 30/11/1989 (C). EM DESTAQUE, AS ISÓBATAS DE 200 E 1000M.



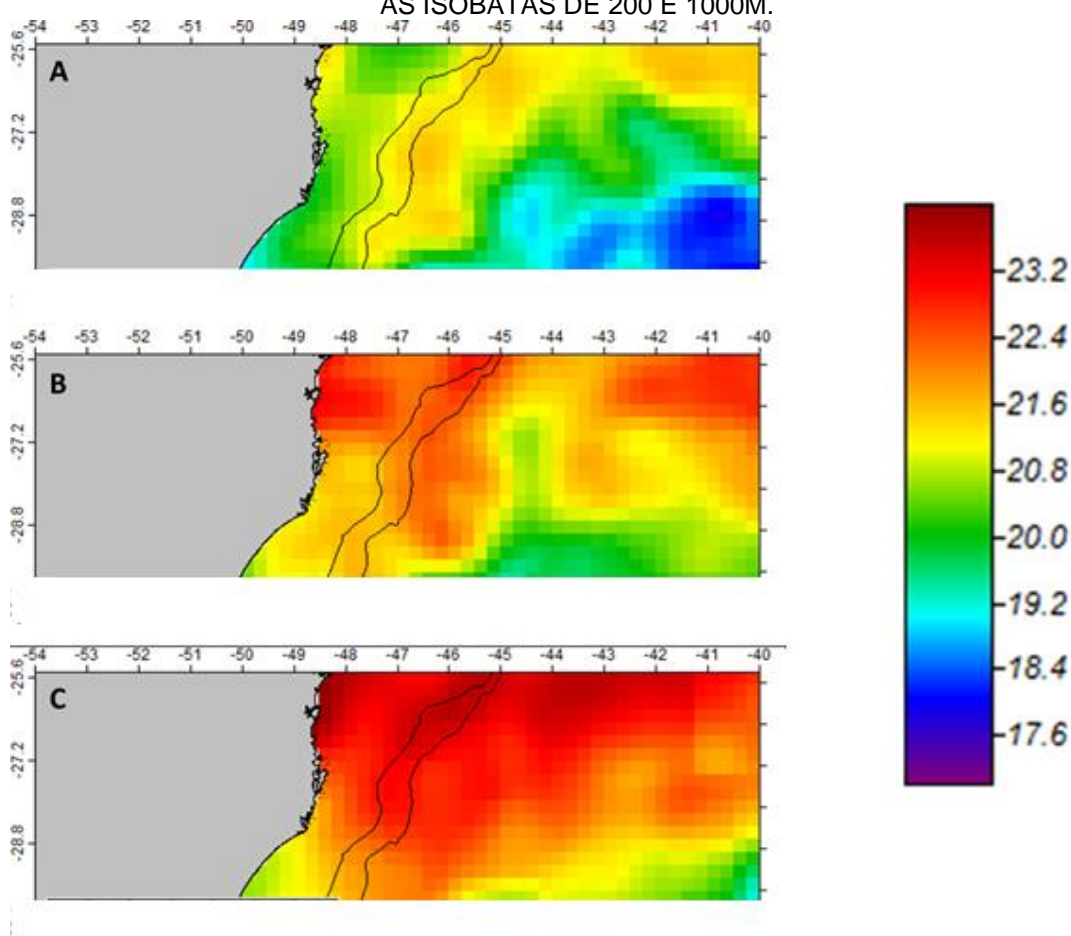
Para o dia 10 de novembro (figura 19a) é possível observar a expansão de uma língua de água fria e rica em nutrientes com origem ao Sul da região, possivelmente associada ao sistema de Pluma do Rio da Prata e à Lagoa dos Patos, diminuindo a TSM sobre da plataforma continental adjacente a essas áreas. Somando-se esse processo aos transportes positivos de 01 a 10/11, principalmente em C2 (figura 17) foram registradas as menores TSMs no CSM para o período de análise.

As imagens de TSM para os dias 20/11 (FIGURA 19b) e 30/11 (FIGURA 19c) mostram um panorama diferente, com menor influência de águas frias oriundas de sistemas ao sul do CSM; desta forma, as TSMs se elevaram e mantiveram-se acima de 20°C até o fim do período de análise. Ciotti *et al.* (1995) destacam a importância das águas da Pluma do Rio da Prata na fertilização da região do CSM, agindo como agente carreador de nutrientes e águas frias para a zona eufótica.

Observando a imagem de TSM com foco somente no CSM no dia 10/11/1989 (FIGURA 20a) é possível observar temperaturas abaixo de 20°C ao sul do CSM e entre 20 e 21°C ao norte, com índices de transporte indicativos de ressurgência para o período. A influência de águas mais frias oriundas de sistemas ao Sul, em conjunto com os transportes positivos indicativos de

ressurgência no período, modificaram a estrutura da coluna d'água de forma a aumentar a produtividade primária e secundária em subsuperfície, como registrado por Vidal et al. (2010). Nos dias subsequentes (FIGURAS 20b e 20c), as TSMs se elevaram na região, mas o padrão espacial de ressurgência concentrada ao sul do CSM apontado por Mazzini & Barth (2013) permaneceu, com menores temperaturas nessa região associadas a transportes positivos.

FIGURA 20. IMAGENS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR FORNECIDAS PELO GHRSSST (INTERPOLAÇÃO DE DADOS DE SATÉLITE, BOIAS E DERIVADORES) PARA OS DIAS 10/11/1989 (A), 20/11/1989 (B) E 30/11/1989 (C). EM DESTAQUE, A REGIÃO DO CSM E AS ISÓBATAS DE 200 E 1000M.



## 5 CONCLUSÕES

Embora tenham sido identificados transportes característicos de ressurgência associados à redução da TSM no Cabo de Santa Marta, o mesmo conjunto de dados apresentou resultados discrepantes e não condizentes com a bibliografia relatada para a região. Mesmo utilizando escalas temporais menores que a mensal (a cada 8 dias), resultados incoerentes foram encontrados, não reproduzindo o esperado para a ressurgência no CSM. Recomenda-se cautela na utilização dos dados e na interpretação dos resultados encontrados, apresentando correlações espúrias e valores questionáveis.

- Os dados de transporte utilizados oriundos do modelo do FNMOC não conseguiram reproduzir com totalidade das condições reais do sistema de ressurgência do Cabo de Santa Marta, mas podem ser utilizados como indicativo da tendência da dinâmica na região quando levados em consideração outros processos oceanográficos (e.g. influência da Pluma do Rio da Prata). A baixa resolução espacial desses dados (1°) parece ser a responsável por sua incongruência.

- As anomalias de TSM e clorofila-a não responderam de forma satisfatória às tendências de transporte zonal nos pontos costeiros, porém ficou clara a importância da Pluma do Rio da Prata e de sistemas costeiros adjacentes na região. Nem toda anomalia negativa de TSM ou positiva de Cl-a está associada a fenômenos de ressurgência no Cabo de Santa Marta, principalmente nos meses de inverno quando a PRP atinge seu máximo de expansão em direção ao Norte.

- Os fenômenos ENOS contribuíram para mudanças na TSM do Cabo de Santa Marta..

- O padrão de ressurgência relatado por Vidal *et al.* (2010) foi parcialmente reproduzido pelos dados de Mek-x e TSM.

- Há a necessidade de aprimoramento dos dados de transporte utilizados, confrontando-os com dados oriundos de outras fontes de sensoriamento remoto e coletados *in situ*.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHAM, E.R. 1998. The generation of plankton patchiness by turbulent stirring. **Nature**, v. 391, p. 577–580.
- ANDRADE, H. A. & GARCIA, A. E. Skipjack tuna fishery in relation to sea surface temperature off the southern Brazilian coast. **Fisheries Oceanography**, v.8, n. 4, p. 245-254, 1999.
- ARTHUR, R. S. On the calculation of vertical motion in eastern boundary currents from determinations of horizontal motion. **Journal of Geophysical Research**, v. 70, n. 12 , p. 2799–2803, 1965.
- ASSAD, L. P. F. ENSO-Type Wind Stress Fiel Influence over Global Ocean Volume and Heat Transports. **Climate Variability - Some Aspects, Challenges and Prospects**, Dr. Abdel Hannachi, InTech, 2012.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul: aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 110p., 2003.
- CALADO, L.; SILVEIRA, I. C. A.; GANGOPADHYAY, A.; CASTRO, B.M. Eddy-induced upwelling off Cape São Tomé (22°S, Brazil). **Continental Shelf Research** v., 30, p. 1181-1188, 2010.
- CAMPOS, E. J. D.; GONÇALVES, J. E.; YKEDA. Water mass characteristics and geostrophic circulation in the South Brazil Bight: Summer of 1991. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. C9, p. 18537-18550, 1995.
- CAMPOS, E .J. D.; IKEDA, Y.; CASTRO, B. M.; GAETA, S. A.; LORENZETTI, J. A.; Stevenson, M. R. Experiment studies circulation in Western South Atlantic. EOS, **Transactions American Geophysical Union**, v. 77, n. 27, p. 253-259, 1996.
- CAMPOS, E. J. D.; VELHOTE, D.; SILVEIRA, I. C. A. Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. **Geophysics Research. Letters**, v. 27, n.6, p. 751-754, 2000.
- CAMPOS, P. C.; MÖLLER, O. O.; PIOLA, A. R.; PALMA, E. D. Seasonal variability and coastal upwelling near Cape Santa Marta (Brazil). **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 118, n. 3, p. 1420–1433, 2013.
- CARVALHO, F. & CASTELLO, J.P. Argentine anchovy (*Engraulis anchoita*) stock identification and incipient exploitation in southern Brazil. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 41, n. 5, p. 820-827, 2013.
- CASTELÃO, R. M., CAMPOS, E. J. D., MILLER, J. L. A modelling study of coastal upwelling driven by wind and meanders of the Brazil current. **Journal of Coastal Research**, v. 20, p. 662–671, 2004.
- CASTELÃO, R. & BARTH, J. Upwelling around Cabo Frio, Brazil: The importance of wind stress curl. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 3, p. 2-5, 2006.
- CASTELLO, J. P. & MÖLLER, O. O. On the oceanographic conditions off Rio

Grande do Sul. **Atlântica**, v. 2, p. 25–110, 1977.

CASTRO, C.G.; ALVAREZ-SALGADO, X. A., FIGUEIRAS F. G., PEREZ, F. F., FRAGA, F. Transient hydrographic and chemical conditions affecting microplankton populations in the coastal transition zone of the Iberian upwelling system (NW Spain) in September 1986. **Journal of Marine Research**, v. 55, n. 2, p. 321-352, 1997.

CASTRO, B. M. & MIRANDA, L. B. **The sea**, v.11, cap.8. John Wiley & Sons Inc., 1998.

CIOTTI, A. M., ODEBRECHT, C., FILLMANN, G., MÖLLER, O.O. Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. **Continental Shelf Research** v. 15, p. 1737–1756, 1995.

COLBERG, F., REASON C. J. C., RODGERS, K. South Atlantic response to El Niño–Southern Oscillation induced climate variability in an ocean general circulation model, *Journal of Geophysical Research*, v. 109, 2004.

DAUBECHIES, I. The wavelet transform time-frequency localization and signal analysis. **IEEE Trans. Inform. Theory**, v. 36, p. 961–1004, 1990.

DONEY, S. C.; GLOVER, D.; MCCUE, S. Mesoscale variability of Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) satellite ocean color: Global patterns and spatial scales. **Journal of Geophysical Research**, v. 108, n. C2, p. 3024-3039. 2003

.

DUDA, R.O. & Hart, P.E. **Pattern Classification and Scene Analysis**, New York: Wiley, 1973.

EKMAN, V. W. On the influence of the Earth's rotation on ocean currents. **Arkiv for Matematik Astronomy Ocho Fysic**, v. 2, n. 11, p. 1-55, 1905.

ELIAS, L. M. C. Variabilidade interanual da ressurgência de Cabo Frio - RJ Rio de Janeiro. **Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica** - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 119 p, 2009.

FARGE, M. Wavelet transforms and their applications to turbulence. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 24, p. 395–457, 1992.

FILLMANN, G. Caracterização química das massas de água da plataforma continental do sul do Brasil. **Tese de Mestrado**, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Brasil, 134pp, 1990.

GARÇON, V.C.; OSCHLIES, A.; DONEY, S.C.; MCGILLICUDDY D.; WANIEK, J. 2001. The role of mesoscale variability on plankton dynamics. **Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in oceanography**, v. 48, n. 10, p. 2199–2226, 2001..

GRIMM, A.; Barros, V. R.; DOYLE, M.E. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v.13, p. 35-58, 2000.

HAURY, L. R.; MCGOWAN, J. A.; WIEBE, P. H. Patterns and Processes in the Time-space Scales of Plankton Distributions. Em: **Spatial Patterns in Plankton Communities**, Plenum Press, New York, p. 277–327, 1978.

JACKSON, G. D., MEEKAN, M. G., WOTHERSPOON, S., JACKSON, C. H. Distributions of young cephalopods in the tropical waters of Western Australia over two consecutive summers. **ICES Journal of Marine Science**, v.. 65, p. 140–147, 2008. JENNINGS, S.; KAISER, M. J.; REYNOLDS, J. D. **Marine Fisheries Ecology**. Oxford, 2001.

LAURS, R.M.; FIELDER, P. C.; MONTGOMERY, D.R. Albacore tuna catch distributions relative to environmental features observed from satellites. **Deep-sea Research**, v. 31, p. 1085-1099, 1984.

LENTINI, C. A. D.; PODESTÁ, G. G.; CAMPOS, E. J. D. ; OLSONA D. B. SEA surface temperature anomalies on the Western South Atlantic from 1982 to 1994. **Continental Shelf Research**, v. 21, p. 89-112, 2001.

MACKAS, D. L.; DENMAN, K. L.; ABBOTT, M. R. Plankton patchiness: biology in the physical vernacular. **Bulletin of Marine Science**, v. 37, n. 2, p. 652-674, 1985

.

MASCARENHAS, Jr, A. S.; MIRANDA, L. B.; ROCK, N. J. A study of oceanographic conditions in the region of Cabo Frio. In: Costlow, J.D., **Ed. Fertility of the sea**, New York, Gordon and Breach, pp. 285-308, 1971.

MAZZINI, P.F.L. & BARTH, J.A. A comparison of mechanisms generating vertical transport in the Brazilian coastal upwelling regions. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v.118, p. 5977–5993, 2013.

MEYERS, S. D., KELLY, B.G., O'BRIEN, J.J. An introduction to wavelet analysis in oceanography and meteorology: With application to the dispersion of Yanai waves. **Monthly Weather Review**, 1993.

MÖLLER, O. O.; PIOLA, A. R.; FREITAS, A. C.; CAMPOS, E. J D. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. **Continental Shelf Research**, v. 28, n. 13, p. 1607–1624, 2008.

MYERS, R. A. & DRINKWATER ,K. F. Offshelf Ekman transport and larval fish survival in the northwest Atlantic. **Biological Oceanography**, v. 6, p. 45–64, 1989

.

ODEBRECHT, C. & DJURFELDT, L. The role of nearshore mixing on phytoplankton size structure off Cape Santa Marta Grande, southern Brazil (Spring 1989). **Archives in Fisheries and Marine Resources**, v.v43, n. 3, p. 217–230, 1996.

OTERO, J., SALGADO, X. A., GONZALEZ, A. F., GILCOTO, M., GUERRA, A. High-frequency coastal upwelling events influence *Octopus vulgaris* larval dynamics on the NW Iberian shelf. **Marine Ecology Progress Series**, v. 386, p.

123–132,  
2009.

PALMA, E. D., & R. P. MATANO. Disentangling the upwelling mechanisms of the South Brazil Bight. **Continental Shelf Research**, v. 29, p. 1525–1534, 2009

PÉREZ-BRUNIUS, P.; LÓPEZ, M.; PARÉS-SIERRA, A.; PINEDA, J. Comparison of upwelling indices off Baja California derived from three different Wind data sources. **California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports**, v. 48, p. 204-214, 2007.

PEREIRA, N.; RODRIGUES, J. P.; RIBEIRO, A. L.; D'INCAO, F. Influence of extratropical cyclones at Patos Lagoon estuary. **Atlântica**, v. 34, n. 2, p. 173-187, 2012.

PIOLA, A.R., CAMPOS, E.J.D., MÖLLER, O.O., CHARO, M., MARTINEZ, C.M. Subtropical shelf front off eastern South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, p. 6566–6578, 2000.

PIOLA, A. R. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 1, p. L01603, 2005.

QIU, L.J. & ER, M.H. Wavelet spectrogram of noisy signals. **International Journal of Electronics**, v. 79, p. 665–677, 1995.

RESGALLA, C. JR.; C. DE LA ROCHA; M. A. MONTÚ The influence of Ekman transport on zooplankton biomass variability off southern Brazil. **Journal of Plankton Research**, v.23, n.1, p. 1191-1216, 2001.

ROPELEWSKI, C. F. & HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, p. 1606-1626, 1987.

SATYAMURTY, P. Tropics - South America. In: KAROLY, D. J.; VINCENT, D. G. (Ed.). **Meteorology of the Southern Hemisphere**. Boston: American Meteorological Society, p. 119-139, 1998.

TORRANCE, C. & COMPO, G.P. A Practical Guide to Wavelet Analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 71, n. 1, p. 61-78, 1997.

VECCHIONE, M.. Juvenile ecology. In **Cephalopod Life Cycles. 2. Comparative Reviews**, pp. 61–84. Ed. by P. R. Boyle. Academic Press, London. 441 p., 1987.

VIDAL, E. A. G., HAIMOVICI, M., HACKBART, V. C. S., 2010. Distribution of paralarvae and small juvenile cephalopods in relation to primary production in an upwelling area off southern Brazil. **International Council for the Explorariion of the Sea**, p. 1346–1352.

WOLTER, K., & TIMLIN, M.S. Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index. **Procedures of the 17th Climate Diagnostics Workshop**,

Norman, OK, NOAA/NMC/CAC, NSSL, Oklahoma Clim. Survey, CIMMS and the School of Meteorology, University of Oklahoma, 52-57, 1993.

WOLTER, K., & TIMLIN, M. S.. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). **International Journal of Climatology**, 31, 14p., 2011.

YKEDA, M & EMERY, W. A continental shelf upwelling event off Vancouver Island as revealed by satellite infrared imagery. **Journal of Marine Research**, v. 42, n. 2, p. 303-317, 1984.