

Covariações entre os desembarques da sardinha-verdadeira - *Sardinella janeiro* (Eigenmann, 1894) em seus extremos de ocorrência na plataforma sudeste brasileira e anomalias de temperatura da superfície do mar estimadas por satélite.

Eduardo Tavares Paes
Mariana Altenburg Soppa
Ronald Buss de Souza

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{etpaes, mariana, ronald}@dsr.inpe.br

Abstract. The main goal of this paper is to investigate the covariance between monthly landings of the Brazilian sardine, *Sardinella janeiro*, and sea surface temperature (SST) and SST anomalies (ASST) estimated by satellites between 1984 and 1993. Two areas were selected for this study: one at the north (Rio de Janeiro) and another at the south (Santa Catarina) of the sardine geographical distribution region off the Brazilian Southeastern continental shelf. Data were analyzed by means of non-parametric correlations, cluster analysis, redundancy analysis and *wavelet* spectral transform. 63 % of the landings variance was explained by a set of non-redundant SST and ASST variables. High landings found in both Rio de Janeiro and Santa Catarina for the period between 1984 and 1986 occurred mainly in October. During this three-year period, Santa Catarina landings present significant periodicities at the 3 to 12 months periods. Data from 1991 to 1993 showed high landings occurring in fall and winter. During 1991 to 1993, only the Rio de Janeiro landings presented peaks centered at the 3 to 12 months period. The oscillation patterns found for the sardine landings are coincident to the ASST oscillations. Wavelet analysis revealed a marginally significant oscillation at the 36 months period on both Rio de Janeiro and Santa Catarina landings. This oscillation was not found on the ASST series.

Palavras-chave: *Sardinella janeiro*, fishery oceanography, wavelet analysis, *Pathfinder*, temperatura da superfície do mar, análises multivariadas, sardinha, ecologia pesqueira.

1. Introdução

A sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) é uma espécie pelágica de pequeno porte (90 a 270 mm de comprimento), subtropical (19 °C – 24 °C - Cergole e Valentini, 1994), de hábitos costeiros (15 a 100 m de profundidade – Saccardo e Rossi-Wongtschowski, 1991), e encontrada quase que exclusivamente ao longo da plataforma continental entre o Cabo de Santo Tomé (Rio de Janeiro, RJ - 22 °S) e um pouco ao sul do Cabo de Santa Marta (Santa Catarina, SC - 28 ° S). Nessa extensa região, conhecida como Plataforma Continental Sudeste Brasileira (PCSB), observa-se uma complexa estrutura oceanográfica descrita de forma geral por Matsuura (1986). Um dos aspectos mais relevantes é a penetração regular, durante finais da primavera e verão, da Água Central do Atlântico Sul – ACAS sobre o fundo da plataforma continental atuando como mecanismo de fertilização e estabilização da coluna d'água. Além de Cabo Frio, outras ressurgências costeiras, de grande intensidade, têm sido observadas em outros locais e épocas do ano na PCSB (De Melo Filho, 2006). Outro fenômeno oceanográfico importante é a intrusão freqüente próximo à costa de águas frias, também produtivas, oriundas das regiões costeiras mais ao sul sob influência do Rio da Prata, que ocorrem entre o final do outono e início da primavera. (Souza e Robinson, 2004).

A pesca da sardinha-verdadeira no Brasil teve início em escala industrial no final dos anos 1960 e se desenvolveu rapidamente até 1973, quando atingiu um montante recorde de 223 mil ton

anuais. Na década de 1980, sua captura baixou para um patamar de 100-155 mil ton e, no final dos anos 1990, atingiu o menor valor da história desta pescaria (~17 mil ton anuais). Atualmente, o monitoramento dos desembarques de sardinha em Santa Catarina revela uma expectativa de aumento, estimando-se que possa atingir em torno de 60 mil ton em 2006 em toda a PCSB (GEP, 2006).

A PCSB pode ser considerada como um ecossistema semi-fechado de mesoescala, e um dos mais produtivos da costa brasileira (Paes e Rossi-Wongtshowski, 1997). A sardinha-verdadeira é a espécie de maior biomassa desse ecossistema, sendo que sua única população é confinada em seus domínios (Matsuura, 1996), e suas flutuações naturais estão intimamente relacionadas à dinâmica da interação entre os componentes biológicos e oceanográficos, bem como as formas de manejo dessa pescaria.

Recentemente, durante o I SSRP (Primeiro Seminário de Sensoriamento Remoto Aplicado à Pesca – ver <www.inpe.br/ISSRP>), um grupo de especialistas recomendou uma série de ações que poderão ser implementadas para um manejo mais adequado das pescarias brasileiras. Uma dessas ações se refere à análise mais aprofundada dos dados de desembarque e suas relações com algumas variáveis ambientais medidas por satélite. Essa recomendação é baseada no fato de que, nas últimas duas décadas, dados de satélites têm sido incorporados aos programas de monitoramento dos recursos pesqueiros nos países mais desenvolvidos do mundo (Santos, 2000), sendo que, ações nessa direção ainda são escassas no Brasil.

Neste sentido, o propósito desta contribuição é analisar séries históricas de desembarque da sardinha-verdadeira na região da PCSB no período considerado como o início do colapso de sua pescaria (1980-1990) e relacionar os desembarques com a temperatura da superfície do mar (TSM) e suas anomalias (ATSM) estimadas por satélite.

2. Dados de satélite e capturas

As séries de dados de captura analisadas neste trabalho são provenientes do programa de estatística de desembarque da gerência do IBAMA do estado do Rio de Janeiro. As séries têm periodicidade mensal de janeiro de 1984 a dezembro de 1992 para os desembarques de sardinha ocorridos em Itajaí (SC), e de janeiro de 1984 a dezembro de 1993 no município do Rio de Janeiro (RJ). É importante considerar que, as frotas que desembarcam em cada um dos municípios têm áreas de atuação próxima aos seus locais de desembarque, sendo pouco provável que embarcações do norte atuem numa mesma temporada no sul e vice-versa (Sunyé e Servain, 1998). Os dados de TSM foram obtidos de imagens de satélite do sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) da série NOAA. Foram utilizados os dados referentes à versão mais atual (versão 5) do banco de dados global NODC/RSMAS AVHRR *Pathfinder*. Este banco consiste em uma base de dados globais na resolução de 4 km disponível desde 1984 até o presente. Foram calculadas TSMs mensais médias em duas áreas específicas ao sul e norte da PCSB para o período entre janeiro de 1985 e dezembro de 2004. (**Figura 1**). A Partir de dados climatológicos para as mesmas áreas, calculou-se as anomalias mensais de TSM (ATSM) para as duas áreas: ao norte e ao sul da região de estudo. Mais informações sobre o algoritmo usado para o cálculo da TSM do programa *Pathfinder* podem ser obtidas em Vazquez (2004) e Souza et al. (2005).

3. Métodos

Os valores de desembarque ausentes, principalmente nos meses de defeso (janeiro), foram estimados por interpolação linear (desembarques de [Nov + Dez + Fev]/3). Uma vez dispondo

dos conjuntos completos para o litoral dos estados do RJ SC, os dados foram submetidos a uma série de análises estatísticas. Primeiramente, foi elaborada uma matriz de dados de trabalho com os valores de desembarque arranjados em 19 observações - anos (10 + 9 para os desembarques do RJ e SC, respectivamente) e 12 variáveis (meses). Em seguida foram calculados os coeficientes de correlação não-paramétricos de Spearman (Siegel, 1975) entre conjuntos anuais dos dois locais de desembarque. As correlações com valores superiores a 0.56 foram consideradas significativas (95 % e 11 gl). Os valores de correlação foram interpolados e dispostos em diagramas bidimensionais para facilitar sua interpretação como um todo. A mesma matriz de correlações não-paramétricas foi submetida a uma análise de classificação utilizando o algoritmo aglomerativo hierárquico das Variâncias Mínimas – Método de Ward (Legendre e Legendre, 1998), para a detecção de grupos de desembarques anuais semelhantes. Por outro lado, com o propósito de se verificar o quanto da variação nas capturas poderia ser estatisticamente explicado pela variação dos valores de temperatura (TSM e ATSM), aplicou-se uma Análise de Redundância (= Análise de Componentes Principais Canônico) (Legendre e Legendre, 1998) utilizando-se duas matrizes, uma de capturas (19 x 12), já mencionada anteriormente, e outra de temperaturas e anomalias mensais (19 x 24). Apenas as variáveis que apresentaram correlação canônica condicional significativa (Leps e Smilauer, 2005) foram incluídas no modelo. A significância (95 %) foi avaliada por mais de cinco mil permutações ao acaso para cada variável, incorporadas passo a passo. O traço canônico (somatório dos autovalores canônicos), que representa a porcentagem de variância explicada, por sua vez, também foi testado com cinco mil permutações. (Legendre et al., 2005).

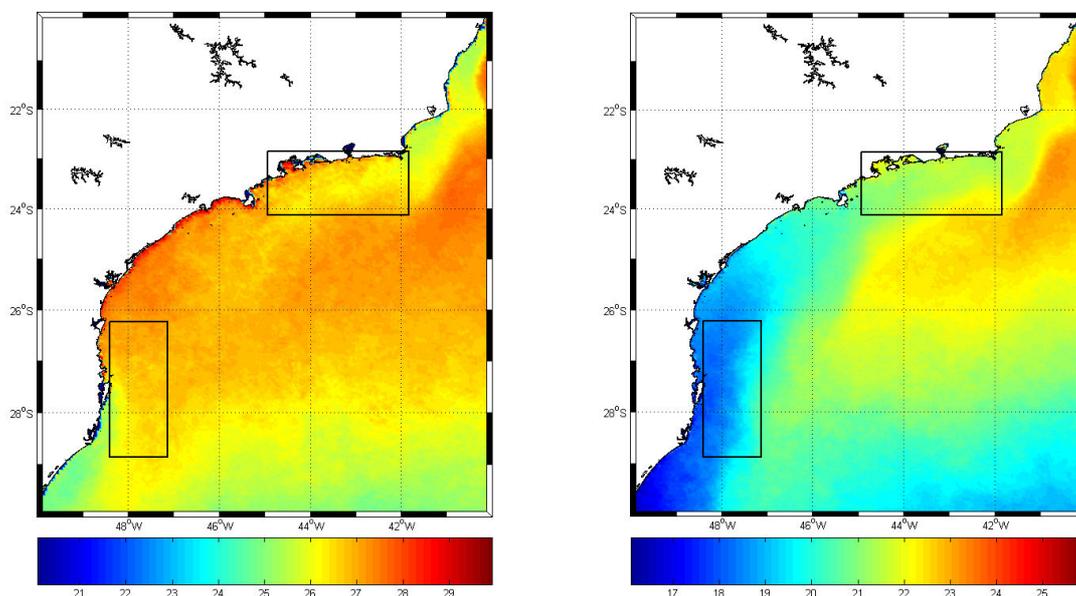


Figura 1. Áreas de estudo no litoral do RJ (caixa ao norte) e de SC (caixa ao sul). As imagens indicam a média climatológica de TSM (°C) para fevereiro (esq.) e agosto (dir.) do programa *Pathfinder* calculadas entre 1985 e 2004 para a região da PCSB.

As séries completas de valores de ATSM e de desembarques foram analisadas por meio da técnica conhecida por *wavelet* (Torrence e Compo, 1998; Grinsted et al., 2004), que verifica as

variações localizadas da potência (variância) em uma série temporal determinando seus modos (frequências) dominantes de variabilidade e como estes variam no tempo. Dessa maneira, a série de frequência temporal unidimensional (ou espectro de frequências) é transformada em uma imagem bidirecional tempo-frequência. Foi utilizada a função de *wavelet* Morlet com os dados normalizados por $1/\sigma^2$ (variância de cada série) para um processo de ruído vermelho e intervalo de confiança de 90 %.

4. Resultados

Os desembarques de sardinha em SC e no RJ apresentaram grandes variações mensais e interanuais. Fica evidente que a produção da frota que desembarca em SC é bem superior àquela do RJ. Na primeira localidade, a produção atingiu valores máximos no verão de 1991-1992 em torno de 12 mil ton, sendo que no RJ a produção atingiu um máximo de 5 mil toneladas em junho de 1985 e, a partir desse ano apresentou uma suave tendência decrescente, ao contrario da de SC que apresentou alta produção também em 1984-1985, logo após um período entre 1987 e 1991 de menor produção, alcançando novamente valores elevados em dezembro de 1991 (**Figura 2**).

As anomalias de TSM medidas no litoral do RJ apresentaram menores amplitudes que as de SC entre 1985 a 1989, além de baixa correlação entre si ($r = 0,4$) por outro lado, de 1990 a 1993, as anomalias em ambas localidades apresentaram amplitudes elevadas e um valor de correlação maior ($r = 0,7$). O diagrama correlações interpoladas entre as séries corrigidas de desembarque (**Figura 3**) revelou um padrão de aparente alternância entre correlações positivas e negativas entre RJ e SC.

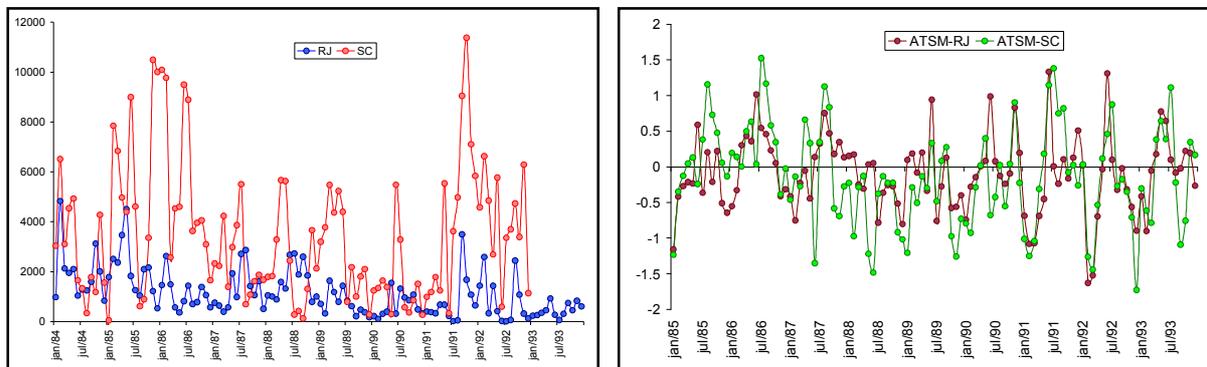


Figura 2. (esq.) Séries mensais dos desembarques de sardinha em toneladas no Rio de Janeiro e Santa Catarina. **(dir.)** Séries mensais de ATSM entre 1985 a 1993 para o litoral do RJ e SC.

De 1984 a 1986, as séries de desembarque do RJ apresentaram correlações positivas com quase todas as séries de SC. Já entre 1987 e 1988 as correlações foram negativas, voltando a positivas em 1989 e de novo negativas em 1990-1991. As alternâncias entre correlações negativas e positivas revelam um comportamento distinto no padrão de abundâncias sazonais da sardinha, principalmente nos períodos de correlação negativa. Esse padrão é um indicador de que as condições oceanográficas entre o norte o sul da PCSB eram distintas, e que nos anos de correlações positivas a plataforma estaria apresentando características oceanográficas similares pelo menos no que se refere às anomalias de TSM conforme pode ser verificado na **Figura 4**. De uma maneira geral, a maioria dos desembarques no RJ se correlacionaram pouco com os desembarques de SC. Esse padrão pode ser observado no dendrograma apresentado na **Figura 3**,

onde se verifica a ocorrência de dois grandes grupos de desembarques constituídos, cada um, quase que exclusivamente por anos da mesma localidade.

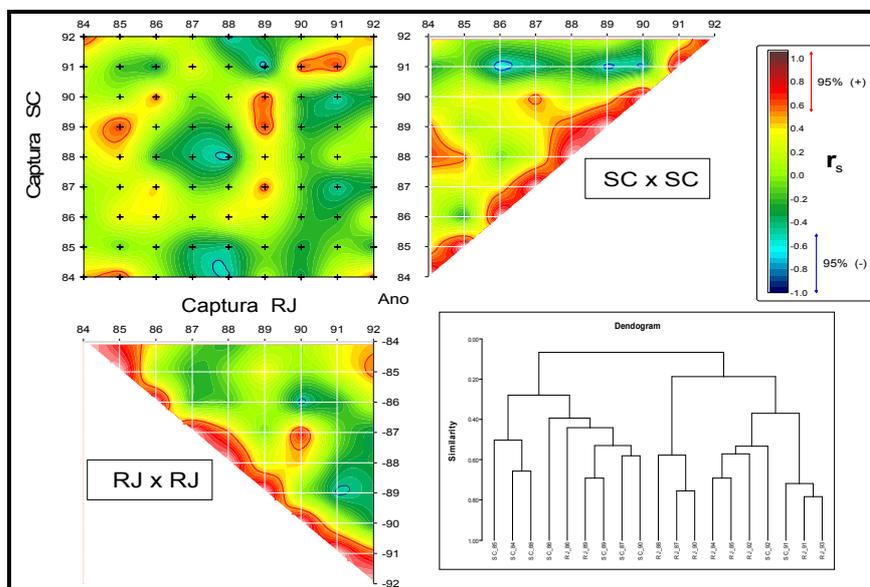


Figura 3. Diagrama resultante da interpolação dos valores de correlação de Spearman ente as séries anuais de desembarque de sardinha no RJ e SC. A caixa colorida apresenta as correlações entre as duas localidades. Os triângulos coloridos mostram as correlações entre anos numa mesma localidade. A escala mostra o intervalo de valores significativos. No canto inferior direito é apresentado o dendrograma baseado nas correlações de Spearman entre as séries de desembarques.

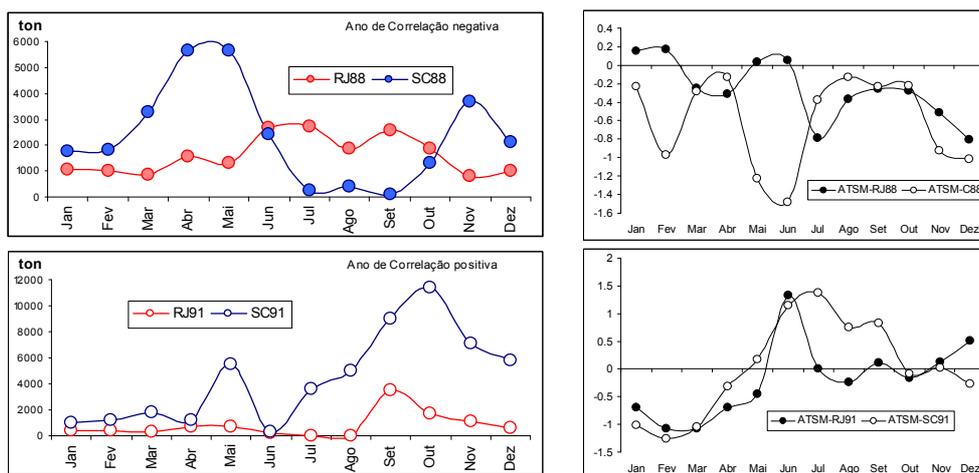


Figura 4. Exemplos de correlações positivas e negativas entre séries do RJ e SC de desembarque de sardinha e anomalias de TSM, para os anos de 1988 e 1991.

A análise de redundância demonstrou objetivamente (traço canônico = 0.63, $p = 0.02$) que cerca de 63% da variância dos desembarques de sardinha foram explicados pelos valores de temperatura e suas anomalias. Na **Figura 5**, é apresentado o primeiro plano canônico que resume 55% da variância explicada (os 8 % restantes são expressos no terceiro e quarto eixos canônicos não apresentados). O primeiro modo de variação (Eixo I) se refere aos maiores valores de captura em SC, que se dá em condições de temperatura menores nos meses de novembro (Nov-T, **Figura 5**) e de anomalias maiores nos meses de outubro (Out-A, **Figura 5**). O segundo modo de variação está relacionado aos picos de captura em setembro e outubro nos anos de 1991 e 1992 (projeções positivas no segundo eixo), e os anos em que os picos de capturas ocorreram em abril-junho, em 1988 e 1989 (projeções negativas no segundo eixo). No primeiro caso, relacionados aos maiores valores de anomalias em julho (Jul-A), e no segundo a maiores valores de anomalias em abril (Abr-A) – ver **Figura 4**.

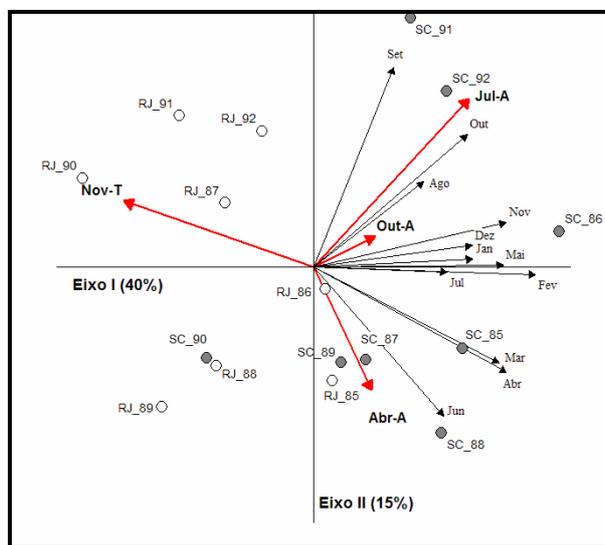


Figura 5. Diagrama do primeiro plano fatorial canônico resultante da análise de redundância. Em vermelho são apresentadas as variáveis não redundantes (A: anomalias; T: TSM). Pontos cinza (brancos) representam os desembarques em SC (RJ).

Na **Figura 6** são apresentados os periodogramas de *wavelet* para as séries completas de desembarque e de anomalias de TSM para as localidades do RJ e SC. Verifica-se que as principais periodicidades significativas (de 4 a 12 meses) dos desembarques de sardinha ocorreram de forma complementar no período analisado (de 1984 a 1993). No caso dos desembarques no RJ essas periodicidades se expressaram de 1990 a 1993, ao passo que em SC se expressaram de 1984 a 1986. O mesmo padrão de expressão pode ser verificado para as periodicidades das anomalias de TSM. De 1986 a 1990, os desembarques de sardinha do RJ apresentaram somente uma periodicidade significativa de 36 meses, enquanto que em SC os desembarques revelaram variações com periodicidade anual além da tri-anual ocorrida no RJ. Com relação às anomalias, apenas no RJ a variação anual esteve presente por todo o período, sendo que em SC essa variação se expressou significativamente somente a partir de dezembro de 1989. Por outro lado, não foram verificadas variações tri-anuais nas séries de anomalias de TSM para os blocos analisados em SC e no RJ.

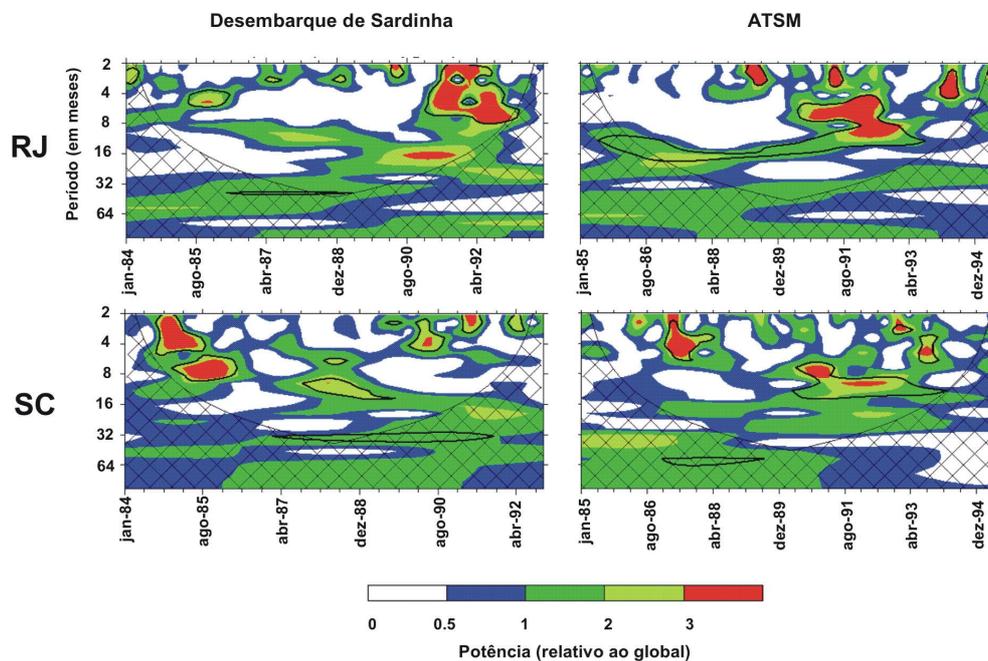


Figura 6. Periodogramas dos espectros de potencia de *Wavelet*. Valores de potencia contornados em preto são significativos a 90 %. Áreas quadriculadas estão fora do cone de influência e não podem ser interpretadas com relação à significância.

5. Conclusões

Foi possível concluir que: (i) uma grande parcela (63 %) das variações intra e interanual dos desembarques de sardinha puderam ser explicadas pelas variações de TSM e ATSM, uma vez que, foram verificadas correlações significativas entre as séries mensais de dados de desembarque de sardinha e as séries de anomalias e temperaturas superficiais do mar, referentes às regiões ao norte (RJ) e ao sul (SC) da PCSB. No início do período estudado (1984 a 1986), os picos de capturas ocorreram principalmente outono, e nos anos 1991 a 1993 ocorreram na primavera. (ii) Análises mais detalhadas de séries pretéritas de dados de desembarque utilizando dados de TSM estimados por satélite, podem trazer a luz novas hipóteses sobre a ecologia da sardinha, como por exemplo: as altas ATSMs ocorridas no final de outono entre os anos de 1987 a 1989 podem ter interferido negativamente no recrutamento da sardinha, principalmente na parte do estoque distribuída ao sul da PCSB que, por sua vez, é responsável por 55 % da produção brasileira. Paes et al. (1999) mencionam que em períodos de *El Niño* de baixa intensidade (como em 1987) a produção de sardinha tende a ser consideravelmente menor.

Agradecimentos. Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq ao primeiro autor (No. 384.461/2006-9) e ao projeto INTERCONF (No. 557284/05-8). Os dados de desembarque foram gentilmente cedidos pelo IBAMA/RJ. Dados de TSM foram obtidos do programa NOAA Pathfinder. Agradecemos o apoio do pesquisador Joaquim Bento no tratamento dos dados de TSM usados aqui.

Referências

- Cergole, M. C. e H. Valentini. Growth and mortality estimates of *Sardinella brasiliensis* in the southeasten Brazilian Bight. **Bolm Inst. oceanogr., São Paulo**, v. 47, n. 1/2, p. 113 – 127, 1994.
- De Melo Filho, W.L. Observação de processos oceanográficos de superfície na costa sudeste brasileira através de imagens termais do sensor AVHRR/NOAA. 2006. 90 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006.
- GEP. Grupo de Estudos Pesqueiros – CTTMar. **Estimativas da produção de sardinha-verdadeira em Santa Catarina e no Brasil para o ano de 2006**. Atualizado em 31/10/2006. Disponível em http://siaiacad04.univali.br/index_not.php. Acesso em: 10/11/2006.
- Grinsted, A., S. Jevrejeva, J. Moore. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v. 11, p. 561–566, 2004.
- Legendre, P; Borcard, D. e P.R. Peres-Neto. Analysing beta diversity: partitioning the spatial variation of community composition data. **Ecological Monographs**, 75(4), 435–450, 2005
- Legendre, P. e L. Legendre. **Numerical ecology**. Elsevier Science BV, 1998. 853 p.
- Leps, J. e P. Smilauer. **Multivariate Analysis of Ecological data using CANOCO**. Cambridge University Press, 2005. p. 269.
- Matsuura, Y. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo Santa Marta Grande (SC). **Ciênc. Cult, São Paulo**, v. 38, n. 8, p. 1439 – 1450, 1986.
- Matsuura, Y. A probable cause of recruitment failure of the brazilian sardine *Sardinella aurita* populations during the 1974/75 spawning season. **South African Journal of Marine Science**, v. 17, p. 29-35, 1996.
- Paes, E.T. e C. Rossi-Wongtshowski,. A plataforma continental sudeste brasileira como um ecossistema semi-fechado: um estudo baseado nos efeitos locais, regionais e históricos sobre a estrutura das comunidades de peixes demersais. In: **VII Colacmar. Congresso Latino-americano sobre Ciências do Mar**. Santos SP Setembro/97. Anais, Vol. II, p. 254-255, 1997.
- Paes, E.T.; Moraes, L. E.; Fernandes, F.C.; Fagundes Netto, E. e L. Galezer. Influência do fenômeno “El Niño” sobre as comunidades de peixes demersais da região de ressurgência de Arraial do Cabo. Rio de Janeiro. Brasil.BRASIL. In: VIII Colacmar. Trujillo, Peru. 1999. Vol. I, p. 145-146.
- Saccardo, S. A.; Rossi-Wongtshowski, C. L. D. B.; Cergole, M. C. e M.M. Bittencout, Age and growth of the Southeastern Braziliansardine, *Sardinella brasiliensis*, 1981 – 83. **Bolm. Inst. oceanogr. São Paulo**, v. 36, n. 1, p. 17 – 35, 1988.
- Santos, A.M.P., Fisheries oceanography using satellite and airborne remote sensing methods: a review. **Fisheries Research**, v. 49, p. 1-20, 2000.
- Siegel, S. **Estatística Não-Paramétrica**. MacGraw-Hill do Brasil, 1975. 350 p.
- Souza, R.B.; Lorenzetti, J.A.; Lucca, E.V.D. Estimativas da temperatura da superfície do mar através do sensoriamento remoto no infravermelho. In: Ronald Buss de Souza. (Org.). **Oceanografia por Satélites**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005, v. 1, p. 102-116.
- Souza, R.B. e I.S. Robinson. Satellite and Langrangian observation of the Brazilian Coastal Current. **Contonental Shelf Resarch [S.I.]**, 24, 241-262, 2004.
- Sunyé, P.S. e J. Servain. Effects of seasonal variations in meteorology and oceanography on the Brazilian sardine fishery. **Fisheries Oceanography**. 7: 2, 89-100, 1998
- Torrence, C. e G.P. Compo. A Practical Guide to Wavelet Analysis. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, 79, 61-78, 1998.
- Vazquez, J. **AVHRR Oceans Pathfinder Sea Surface Temperature Data Sets**. Disponível em: <http://podaac.jpl.nasa.gov:2031/DATASET_DOCS/avhrr_pathfinder_sst.html>. Acesso em: Nov. 2006.