

Correlação entre variáveis oceanográficas medidas por satélite e a produção pesqueira de *Sardinella janeiro* na costa sudeste-sul do Brasil

Eduardo da Silva Gigliotti¹
Olga Tiemi Sato²
Eduardo Tavares Paes^{3,4}

¹Universidade Estadual Paulista - UNESP/CLP
Caixa Postal 11.330-900 - São Vicente - SP, Brasil.
gigliotti@csv.unesp.br

²Universidade de São Paulo - USP/IO
Caixa Postal 05.508-120 - São Paulo - SP, Brasil.
olga@io.usp.br

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 12.227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil.

⁴Bolsista DPI -CNPq - Pesquisador Visitante
etpaes@dsr.inpe.br

Abstract. The objective of this project is to analyze and describe the statistical correlations between oceanographic variables measured by satellite and the catch of Brazilian sardine, *Sardinella janeiro*, in the southeast-south coast of Brazil for the period between 1990 and 2005. The analysis of the environmental variables obtained by satellite is based on time series of monthly averaged measurements of chlorophyll-*a* concentration, sea surface temperature (SST), surface wind, and Ekman pumping. As a result, this study shows that the variability of CPUE is correlated with the environmental parameters, although the coefficients are not generally high. Ekman pumping showed the best correlation with CPUE (0.39) followed by the wind (0.32), concentration of chlorophyll-*a* (0.30) and SST (-0.2). A significant difference occurred in the *lag* of maximum correlation between the wind related variables, Ekman pumping (1-3 months) and wind (6 months), and SST (20 months) and chlorophyll-*a* concentration (30 months). This should have definitely been taken into account in ocean monitoring program for fishery management.

Palavras-chaves: satellite oceanography, fishery, cross-covariance analysis, oceanografia por satélite, pesca, análise de covariância cruzada.

1. Introdução

Nas últimas duas décadas, dados provenientes de satélites têm sido incorporados aos programas de monitoramento dos recursos pesqueiros nos países mais desenvolvidos do mundo. Isto aumentou significativamente a eficiência das análises ambientais e promoveu uma melhoria no manejo das pescarias pelágicas em escala mundial. A combinação de dados de satélite com dados *in situ* permitem o acompanhamento da evolução espaço-temporal de alguns aspectos da biologia populacional e a distribuição de espécies de interesse comercial. No Brasil, apenas poucos trabalhos foram realizados para relacionar a distribuição do recurso pesqueiro às variáveis medidas por satélite (Andrade, 2003; Zagaglia, 2004; Oliveira, 2005).

A sardinha verdadeira, *Sardinella janeiro* (Eigenmann, 1894), (Clupeiformes: Clupeidae), sustenta uma importante pescaria comercial na costa sudeste-sul do Brasil,

entre Cabo Frio/RJ e Cabo de Santa Marta Grande/SC, sendo considerada como um estoque confinado na plataforma sudeste. Os primeiros registros estatísticos oficiais e totalizados de captura datam do ano 1964, sendo que a produção total anual aumentou até 1973, ano em que foi atingido o valor máximo de captura de 223 mil t. A partir de então, a tendência das capturas foi de declínio, até cair para apenas 17 mil t em 2000. No período de 1999 a 2005, ocorreu a menor produção desde o início dos acompanhamentos estatísticos em 1964, fato ainda não totalmente esclarecido, mas que provavelmente está relacionado à interação entre flutuações naturais e manejo inadequado, como por exemplo esforço de pesca excessivo.

Segundo Matsuura (1999), a dinâmica da estrutura oceânica está intimamente relacionada com o sucesso reprodutivo dessa espécie. Caso ocorra uma baixa intrusão da água Central do Atlântico Sul (ACAS), que ocorre regularmente com maior intensidade nos meses de verão, afeta negativamente a sobrevivência das larvas, resultando na falha do recrutamento. Logo, as mudanças ambientais podem controlar os movimentos sazonais que ocorrem nesta espécie. Pode-se dizer então, que tanto o sucesso do recrutamento quanto à taxa de mortalidade natural podem ser fortemente influenciadas por variações nas condições ambientais, meteorológicas e oceânicas, onde feições tais como ressurgências, frentes ou vórtices são fenômenos comuns (Jablonski e Legey 2005). Levantamentos do Grupo Permanente de Estudo sobre Sardinha (GPE) (IBAMA, 1994), recomendam desde 1994 o uso de imagens de satélite para o monitoramento das condições oceânicas da área de atuação da frota, além de observar as mudanças climáticas associando-as a produção pesqueira. Porém até o momento não foi implementada nenhuma forma sistemática de aquisição desses dados. As novas técnicas de sensoriamento remoto representam grande potencialidade no auxílio à exploração e podem apontar para um melhor manejo dos estoques pesqueiros.

2. Materiais e método

A área de estudo é o litoral sudeste-sul do Brasil, entre o Cabo de São Tomé, RJ (22°S 40°W) e o Cabo de Santa Marta Grande, SC (28°S, 50°W). Esta região constitui a Plataforma Continental Sudeste (PCSE) brasileira, **Figura 1**.

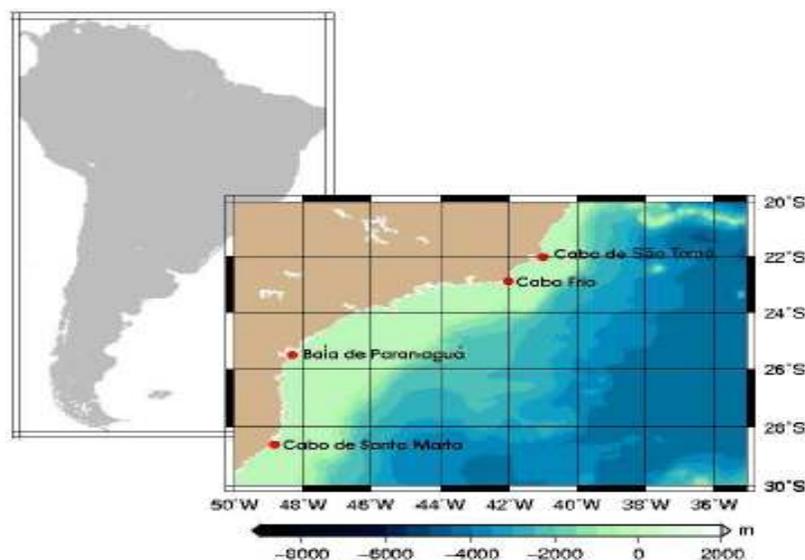


Figura 1. Área de estudo.

As análises dos variáveis oceanográficas foram baseadas na elaboração de séries temporais das médias mensais de concentração de clorofila-*a*, temperatura da superfície do mar, magnitude dos ventos e bombeamento de Ekman. O sensor SeaWiFS forneceu dados de concentração de clorofila-*a* coletados de janeiro de 1998 a dezembro de 2005, os sensores AVHRRs coletaram os dados da temperatura da superfície do mar de janeiro de 1990 a dezembro de 2005 e o escaterômetro QuikSCAT registrou a velocidade das componentes zonal e meridional dos ventos, de janeiro de 1999 a dezembro de 2005, para calcularmos a magnitude do vento e o bombeamento de Ekman. Todas as séries foram elaboradas para a área de estudo, que foi definida a partir da distribuição da pesca de sardinha verdadeira.

Os dados de produção pesqueira utilizados neste trabalho foram processados e disponibilizados pela Unidade Laboratorial de Referência em Controle Estatístico de Produção Pesqueira Marinha pertencente ao Instituto de Pesca (IP) do governo do Estado de São Paulo, para o período entre 1990 a 2005. A Captura por Unidade de Esforço (CPUE) foi utilizada como índice para a abundância dos estoques pesqueiros. A CPUE é definida como sendo a quantidade de recurso pesqueiro capturado por uma unidade de esforço empregada à pesca. Nesse trabalho, a unidade de esforço utilizada foi determinada depois de se considerar uma série de fatores como tempo de procura de cardumes, número de lances realizados e tempo de espera do cerco. Estes fatores foram todos parametrizados e transformados em horas, sendo que no final a CPUE é expressa em peso por hora.

A correlação entre as variáveis oceanográficas medidas por satélite e a produção pesqueira foi feita através da utilização de ferramentas estatísticas. Nesse trabalho, utilizamos a covariância cruzada, definida pela seguinte equação:

$$C_{xy} = \frac{1}{N - k} \sum_{i=1}^{N-k} [y_i - \bar{y}][x_{i+k} - \bar{x}] \quad (1)$$

onde C_{xy} é a covariância cruzada entre as variáveis x e y , no número de amostras, \bar{y} é a média e k é o *lag* (defasagem temporal). C_{xy} varia entre -1 e 1.

O método da covariância cruzada associa duas séries de n elementos cada medidos em intervalo de tempo iguais. Vamos supor que flutuações que ocorrem em uma série poderão influenciar variações na outra série. Assim poderemos visualizar em quais períodos amostrais da série temporal das variáveis oceanográficas estiveram mais fortemente correlacionados com a produção pesqueira que podem ocorrer simultaneamente ou não.

3. Resultados e discussão

Um dos principais aspectos ainda a ser compreendido a respeito da variabilidade das populações de peixes é as relações entre a abundância dos estoques e as condições ambientais propícias ao desenvolvimento das espécies. A sardinha verdadeira apresenta crescimento rápido, alcançando a primeira maturação com a idade de um ano e um comprimento total em torno de 170 mm (Rossi-Wongtschowski, 1977). A longevidade não ultrapassa 4 anos, sendo que os indivíduos de 1 ano de idade constituem cerca de 84% do total capturado (Matsuura, 1996), e quando consideramos ainda os indivíduos de 1 a 2 anos essa participação pode chegar a 96% da captura (Cergole, 1993). Mann (1993) afirma existirem fortes evidências de que processos oceânicos em grande escala têm influência sobre as oscilações dos estoques pesqueiros no âmbito mundial, enquanto Rossi-

Wongtschowski (1996) sugere que as flutuações do estoque da sardinha verdadeira poderiam estar relacionadas às mudanças climáticas globais. As análises de correlações elaboradas neste trabalho pretendem ponderar a relação entre as condições ambientais e o desenvolvimento desse estoque pesqueiro, a partir do método de análise de covariância cruzada, equação 1, entre séries temporais de dados medidos por satélite e a produção pesqueira da sardinha verdadeira.

3.1 Concentração de clorofila-*a* e produção pesqueira

As séries temporais das médias mensais de concentração de clorofila-*a* do SeaWiFS e a CPUE demonstram a variabilidade dessas variáveis sem defasagem temporal, **Figura 2**. Uma comparação entre a concentração de clorofila-*a* e a produção pesqueira mostra que a variação não apresentou relação direta.

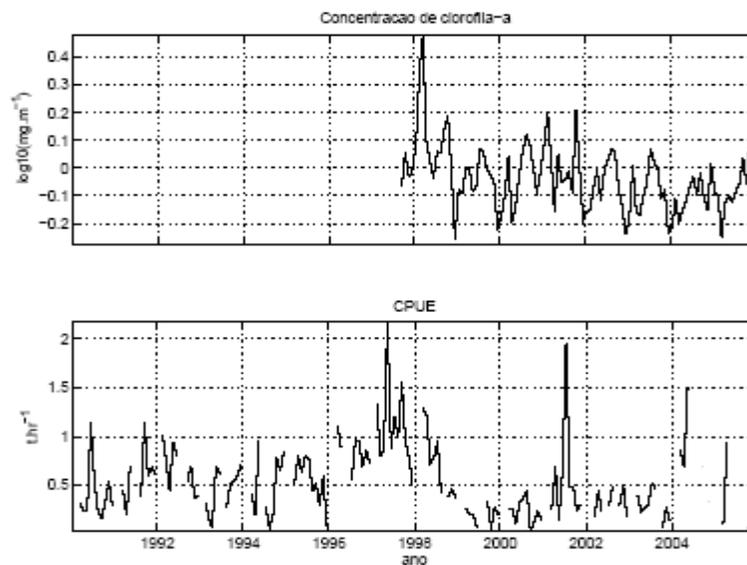


Figura 2. Séries temporais das médias mensais da concentração de clorofila-*a* e CPUE.

A função covariância é observada na **Figura 3**, a média mensal de cada ponto das duas séries temporais foi removida para analisarmos a influência das variações interanuais. A linha tracejada em vermelho marca a longevidade média dessa espécie que atingi cerca de 48 meses. Inicialmente no primeiro patamar de valores maiores há dois picos, em 0,25 e 0,24, nos *lags* = -4 e -7 meses, em seguida ocorrem consecutivos períodos ora com tendência a queda, ora em crescimento até que a curva atinge seu valor máximo em 0,3, também com *lag* = -30 meses.



Figura 3. Função covariância cruzada entre concentração de clorofila-*a* e CPUE.

3.2 TSM e produção pesqueira

As séries temporais das médias mensais de TSM e CPUE se destacam por evidenciar o domínio sazonal da TSM e a relação inversa entre essas variáveis, **Figura 4**. Constatamos que nos dois momentos de maior índice de CPUE, maio de 1997 e setembro de 2001, a temperatura está em valores baixos, 23° e 20°C, respectivamente. Contudo por se tratar de média não podemos afirmar que exista uma relação definida entre essa variável e a produção pesqueira.

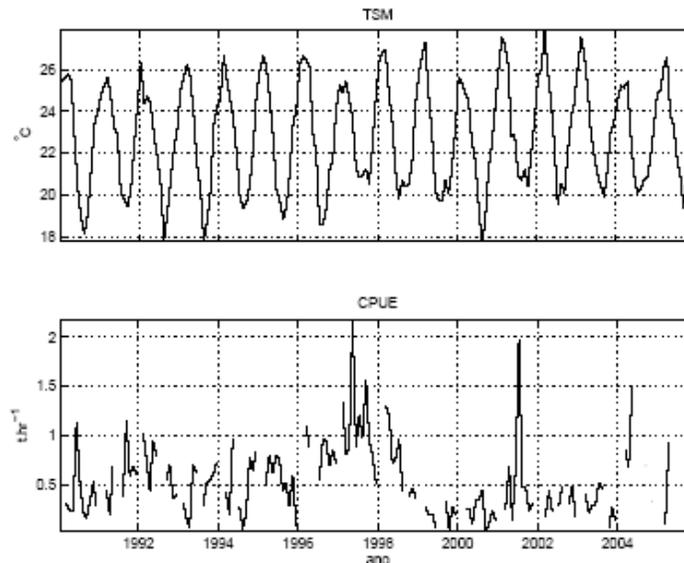


Figura 4. Séries temporais das médias mensais da TSM e CPUE.

A covariância entre a TSM e CPUE é mostrada na **Figura 5**. Constatamos que o coeficiente em $lag = 0$ meses é muito pouco expressivo, 0,09, porém há um aumento desse valor até atingir um máximo de 0,18 em $lag = -41$ meses. Existe uma tendência de queda observada do $lag = -6$ até -21 , enquanto após isto ocorre crescimento do $lag = -21$ até por volta do $lag = -48$. Essa variável, com a sazonalidade removida resultou em uma melhor correlação estabelecida com a produção pesqueira, já que evidencia mais claramente os momentos em que houve uma relação mais definida.

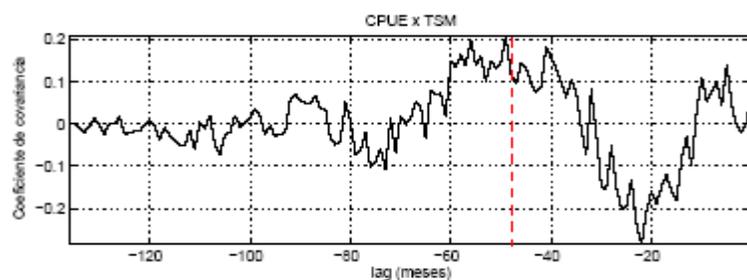


Figura 5. Função covariância cruzada entre TSM e CPUE.

3.3. Vento de superfície e produção pesqueira

A partir das séries temporais das médias mensais da magnitude dos ventos e CPUE, **Figura 6**, podemos especular que essa variável apresentou uma melhor relação com a produção

pesqueira, visto que em momentos com altas magnitudes de ventos, observados por exemplo em agosto de 2001, houve um consecutivamente um aumento no índice de CPUE. Contudo a série de dados foi relativamente curta, e essas evidências não puderem ser adequadamente comprovadas.

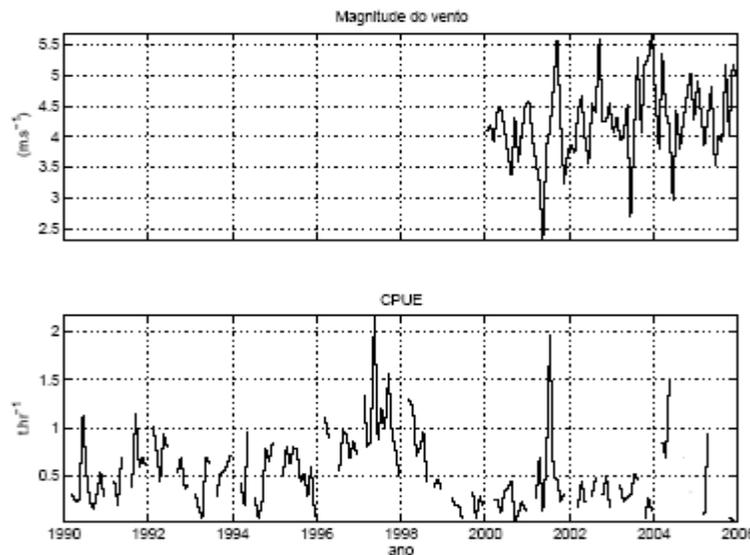


Figura 6. Séries temporais das médias mensais da magnitude dos ventos e CPUE.

A covariância cruzada obteve coeficientes maiores do que as relações até então estabelecidas entre CPUE com concentração de clorofila-*a* e TSM. Na análise da covariância, **Figura 7**, observamos que o período em que estaria ocorrendo recrutamento de sardinha verdadeira comercialmente explotadas, -18 a -36 meses, teve coeficientes de no máximo 0,15, apresentando valores baixos. O coeficiente máximo de 0.32 foi registrado fora dessa faixa em torno do *lag* = -6 meses. Isso demonstra uma baixa correlação entre magnitude do vento e CPUE no período de recrutamento da população, sendo evidente que a CPUE apresente uma resposta mais imediata a variável magnitude do vento.

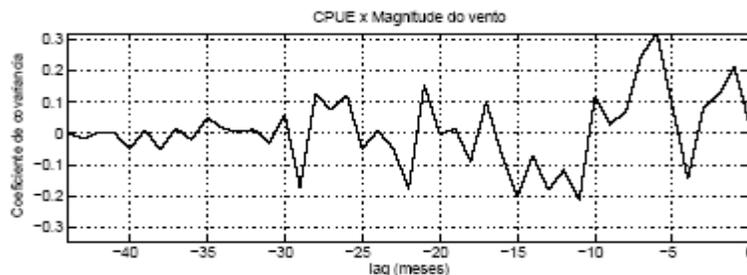


Figura 7. Função covariância cruzada entre magnitude dos ventos e CPUE.

3.4. Bombeamento de Ekman e produção pesqueira

As séries temporais que mais apresentaram interação foram o bombeamento de Ekman e a CPUE, **Figura 8**, onde podemos observar que os valores altos de bombeamento de Ekman, $6,8 \cdot 10^{-7}$, $2,5 \cdot 10^{-7}$ e $4,6 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$, registrados em setembro de 2001, setembro 2004 e agosto de 2005, antecederam eventos com ocorrência de uma boa CPUE.

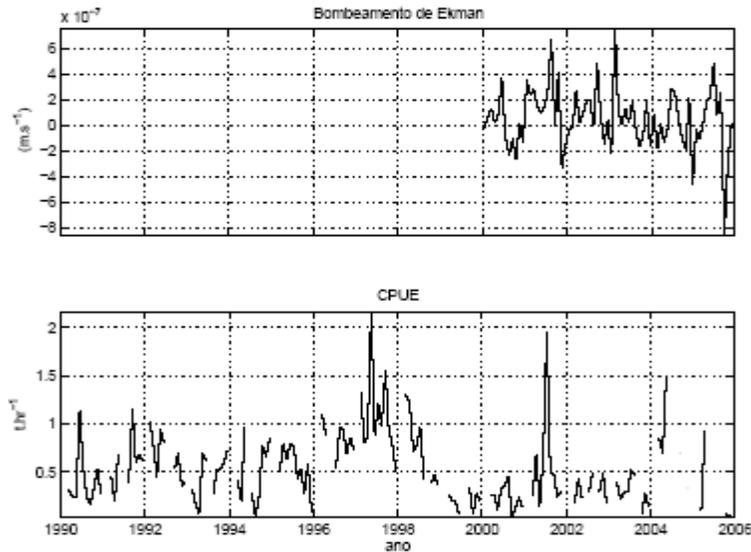


Figura 8. Séries temporais das médias mensais do bombeamento de Ekman e CPUE.

A variação dos coeficientes é mostrada na **Figura 9**. Em $lag = 0$ o coeficiente é de 0,07, o valor máximo alcançado é de 0,39 em $lag = -1$ a partir de $lag = -3$ ocorre uma queda na covariância. Observamos como na magnitude do vento que os maiores coeficiente estão registrados próximos ao $lag = 0$, no período de $lags = -1$ a -3 .

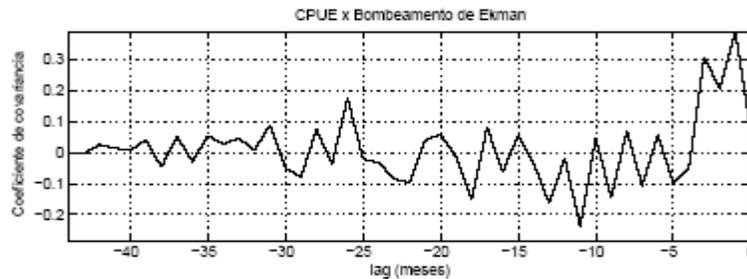


Figura 9. Função covariância cruzada entre bombeamento de Ekman e CPUE.

4. Conclusões

A utilização de variáveis obtidas por sensoriamento remoto em conjunto com métodos estatísticos demonstrou aplicabilidade na estimativa da covariância cruzada com a produção pesqueira de sardinha verdadeira. O bombeamento de Ekman foi a variável oceanográfica que apresentou melhor relação com a CPUE, apresentando o maior coeficiente de covariância, 0,39, com o lag de máxima correlação em 1 mês. A magnitude do vento também teve um bom resultado com o maior coeficiente de covariância sendo igual a 0,32, no $lag = -6$ meses, constatamos que a magnitude dos ventos apresenta uma forte relação com o bombeamento de Ekman, A covariância da concentração de clorofila-*a* e TSM apresentaram um resultado diferente quanto ao tempo de resposta na pesca de sardinha verdadeira. Apesar de os coeficientes serem relativamente pequenos, 0,30 e 0,21, registrados nos $lags$ de máxima correlação em 30 e 20 meses, respectivamente para a concentração de clorofila-*a* e TSM, a variação dos coeficientes parece apontar os momentos em que essas variáveis tiveram uma maior influência no desenvolvimento desse

estoque pesqueiro. É necessário um maior aprofundamento nas técnicas utilizadas nesse trabalho para um refinamento dos resultados. Tendo em vista a situação de colapso desse estoque pesqueiro recomenda-se que seja implementado o mais rápido possível um sistema de informações que acompanham as condições oceânicas. A identificação das oscilações ambientais e ordenamento de como a sardinha verdadeira responde a essa variabilidade é fundamental para estabelecimento de diretrizes que visam a regulamentação de sua pesca.

5. Referências Bibliográficas

- Andrade, H. A., 2003. The relationship between the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) fishery and seasonal temperature variability in the south-western Atlantic. *Fish. Oceanogr.*, **12(1)**, 10-18.
- Cergole, M. C., 1993. Avaliação do estoque da sardinha verdadeira, *Sardinella brasiliensis*, da costa sudeste do Brasil, período 1977 a 1990. Ph. D. thesis, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 245 pp.
- IBAMA, 1994. Relatório da reunião do grupo permanente de estudos sobre sardinha. IBAMA, Itajaí, Brasil, pp. 19.
- Jablonski, S. e L. F. L. Legey, 2005. Towards the development of an environmental rule-based model for predicting recruitment in brazilian sardine *Sardinella brasiliensis*. *African Journal of Marine Science*, **27(3)**, 539-547.
- Mann, K. H., 1993. Physical oceanography, food chains, and fish stocks: a review. *J. mar.Sci.*, **50**, 105-119.
- Matsuura, Y., 1996. A probable cause of recruitment failure of the Brazilian sardine *Sardinella aurita* population during the 1974/1975 spawning season. *S. Afr. J. Mar. Sci.*, **17**, 29-35.
- Matsuura, Y., 1999:. Large scale fluctuations of small pelagic fish populations and climate change. A review. *Bull. Tohoku nat.Fish. Res. Inst.*, **62**, 11 pp.
- Oliveira, F. S. C., 2005. Estimativa de captura do bonito-listrado (*Katsuwonus pelamis*) na costa sudeste do Brasil usando um modelo estatístico e dados de sensoriamento remoto. Master's thesis, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - São José dos Campos. 107pp.
- Rossi-Wongtschowski, C., 1977. Estudo das variações da relação de peso total/comprimento total em função do ciclo reprodutivo e comportamento, de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) da costa do Brasil entre 23°S a 28°S. *Bolm. Inst. Oceanogr. São Paulo*, **26**, 131-180.
- Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B., S. A. Saccardo, and M. C. Cergole, 1996. Are fluctuations in Brazilian sardine related to global-scale climatic changes? *An. Acad. Ci.*, **68 (Supl. 1)**, 239-250.
- Zagaglia, C. R., J. A. Lorenzetti, and J. L. Stech, 2004:. Remote sensing data and longline catches of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the equatorial Atlantic. *Remote Sensing of Environment*, **93**, 267-281.