

DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E MODELOS ADITIVOS GENERALIZADOS APLICADOS À PESCA DE ATUNS NO ATLÂNTICO OESTE EQUATORIAL

CLÁUDIA RAMOS ZAGAGLIA¹
JOSÉ LUIZ STECH¹
JOÃO ANTONIO LORENZZETTI¹

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{zagaglia, stech, loren}@ltid.inpe.br

Abstract. The goal of this paper is to contribute to our knowledge on the relationships between various oceanographical factors and catch per unit effort of three tuna species for the longline Brazilian fleet operating at the W equatorial Atlantic. By the use of remote sensing data in the, so-called generalized additive statistical models, we indicate some tuna environmental preferences which seem to have important physical and biological effect on the tuna distribution.

Keywords: remote sensing, Western Equatorial Atlantic, tuna fishery.

1. Introdução

Sendo a maximização da eficiência do esforço de pesca um dos principais objetivos da indústria pesqueira, é fundamental que as relações entre o comportamento dos recursos aquáticos e as condições ambientais de suas áreas de ocorrência sejam bem compreendidas. Com base nestes conhecimentos, é possível minimizar os custos das operações de pesca, além de reduzir a captura acidental de outras espécies, evitando-se, assim, a prática do descarte.

Atualmente, as técnicas de sensoriamento remoto apresentam grande potencialidade no auxílio à exploração pesqueira de diversos recursos em todo o mundo, principalmente de espécies pelágicas (Yamanaka *et al.*, 1988; Santos, 2000; Andrade, 1999). Isso se deve à possibilidade de se obter informações sinópticas em meso e grande escalas, de forma repetitiva, imprescindíveis para o acompanhamento da evolução espaço-temporal de parâmetros oceanográficos que possam vir a influenciar a biologia populacional e a distribuição de espécies comercialmente capturadas.

Desta forma, a disponibilidade de informações biológicas e oceanográficas que subsidiem a pesca e que permitam, simultaneamente, uma melhor administração destes recursos poderia tornar a atividade mais rentável no Brasil.

O presente trabalho tem como objetivo principal contribuir para o entendimento das relações entre os índices de abundância relativa de três espécies de atuns mais capturadas pela frota espinheira atuante na região Nordeste do Brasil (*Thunnus albacares*, *T. alalunga* e *T. obesus*) e algumas variáveis ambientais obtidas a partir de sensores a bordo de satélites.

2. Materiais e Métodos

A área de estudo está compreendida entre as latitudes de 15°S e 15° N e longitudes de 10°W e 55° W (**Figura 1**). A principal característica desta área, em relação à topografia submarina, consiste na presença ilhas e rochedos, tais como o Atol das Rocas, Arquipélagos de Fernando de Noronha e São Pedro e São Paulo, bem como de bancos submersos em frente à costa nordeste brasileira. O fato da área ser considerada predominantemente oligotrófica, principalmente em virtude da presença permanente de uma termoclina profunda, faz com que os referidos acidentes topográficos constituam áreas ecologicamente importantes, visto que apresentam maior produtividade biológica. O regime permanente de ventos tropicais

apresenta uma componente sazonal bem marcada, em função da variabilidade dos centros de alta pressão localizados em torno de 30° em ambos os hemisférios. Assim, a fronteira entre os ventos de nordeste e de sudeste, denominada Zona de Convergência Intertropical, move-se em direção ao norte durante o inverno austral, quando há a intensificação do centro de alta pressão sul. Este cinturão de baixa pressão é caracterizado por intensa cobertura de nuvens e constantes precipitações. Em relação ao padrão de circulação superficial, são observadas correntes associadas ao padrão de circulação do vento de superfície (até 10 m de altura). Assim, correntes em direção ao oeste e contracorrentes em sentido contrário (Sistema Equatorial de Correntes) são características desta área de estudo. O campo de temperatura superficial, de maneira geral, apresenta pouca variação na porção oeste, apresentando alguns núcleos de águas mais frias na porção leste, resultantes de processos de ressurgências na costa da África.

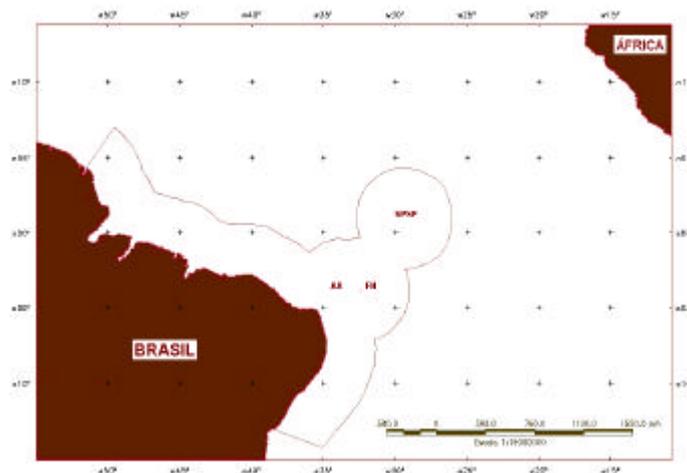


Figura 1- Área de estudo, com a delimitação da ZEE Norte/NE. SPSP – Arquipélago de São Pedro e São Paulo; FN – Arq. de Fernando de Noronha; AR – Atol das Rocas

Os dados de pesca da frota espinheleira, referentes à área de estudo no período entre 1995 e 2000, foram fornecidos pelo Departamento de Pesca e Aquicultura do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento na resolução espaço-temporal de 1° de latitude x 1° de longitude x mês. Dentre as informações fornecidas incluem-se: posição de lançamento do espinhel, número de anzóis utilizados em cada lançamento, nacionalidade da embarcação, total de indivíduos capturados, por espécie, em cada lance de pesca. É utilizada, como índice de abundância relativa, a CPUE (captura por unidade de esforço), definida como o número de indivíduos capturados por 100 anzóis. Apenas os dados de embarcações, cuja espécie alvo era constituída por alguma espécie de atum, são utilizados no presente trabalho, visto que a tecnologia de pesca utilizada para a captura de outras espécies, tais como o espadarte (*Xiphias gladius*), é bastante diferente da utilizada para a pesca exclusiva de atuns.

As informações ambientais obtidas por sensoriamento remoto são: temperatura da superfície do mar (sensor AVHRR / NOAA), concentração de clorofila- α (SeaWiFS / Orbview-2), anomalia da altura da superfície do mar (TOPEX) e intensidade e direção do vento (escatêmetro / ERS-1 e 2). Outras variáveis, tais como anomalia e amplitude da TSM e concentração de clorofila e a profundidade da camada de mistura (climatologia) também são utilizadas. Outras, relacionadas à dinâmica oceanográfica regida pelo sistema de ventos de superfície da região são derivadas das informações sobre a velocidade do vento (divergência, rotacional, velocidade vertical de Ekman e transporte de massa nas direções x e y). As diferentes escalas espaço-temporal dos dados ambientais são igualadas àquela apresentada pelos dados de pesca (1° de latitude x 1° de longitude x mês).

A identificação de possíveis relações significativas entre os índices de abundância relativa e os parâmetros ambientais é feita através de modelos aditivos generalizados (GAM's), implementados no pacote estatístico S-plus. Estes modelos constituem generalizações não-paramétricas das técnicas de regressões lineares múltiplas e são menos restritivos quanto à distribuição de probabilidade dos dados, além de possibilitarem uma análise multivariada das relações sem a prévia suposição de linearidade. No presente estudo, utiliza-se, como variável resposta, a função logarítmica da CPUE [$\ln(\text{CPUE}+1)$], a qual apresenta distribuição normal, facilitando a interpretação e a utilização dos referidos modelos. Assim, o valor esperado desta variável pode ser expresso como a soma de funções suavizadoras ("smoothers") das variáveis explicativas, representadas pelas informações ambientais.

Segundo Neter (1989), o gráfico do resíduo parcial apresenta a natureza da relação de uma variável explicativa no modelo de regressão, ou seja, como esta atua sobre a variável de interesse, dado que outras variáveis já estão inseridas no modelo. Desta forma, os efeitos das variáveis ambientais sobre a variável de interesse são apresentados na forma de gráficos de resíduo parcial normalizado, tendo em vista a análise da magnitude relativa de cada efeito.

Cerca de 40 modelos para cada espécie são testados, visando à identificação daquele que melhor explica as variabilidades das CPUE's específicas com base nas informações ambientais. O conjunto das variáveis ambientais incluídas nos modelos é escolhido, então, conforme o procedimento "forward stepwise", onde a significância de cada fator é testada por meio de uma análise de variância. Também é calculado, para cada modelo, o coeficiente de determinação *pseudo-R*², definido como a fração da variância total explicada pelo modelo.

Cerca de 100 pontos de dados são sorteados, aleatoriamente, e retirados do conjunto de observações utilizadas para a determinação dos modelos, a fim de se avaliar o potencial de previsão dos modelos desenvolvidos no presente trabalho.

3. Resultados e Discussão

Segundo Maury *et al.* (2001), tal como observado no presente trabalho, as relações entre a abundância dos atuns e os fatores ambientais não ocorrem de forma linear, apesar destes serem os principais responsáveis na determinação de seus movimentos.

Apesar do fator espaço-temporal ter-se apresentado como o de maior significância para as três espécies (*p-value* \cong 0), outros fatores também se mostraram significativamente relacionados com os índices de abundância relativa. Na **Tabela 1** são apresentados os parâmetros ambientais incluídos nos modelos referentes a cada espécie, juntamente com os valores de *p-value*, obtidos pela análise de variância, associados a cada variável.

Tabela 1- Termos significativos e respectivos p-values ($\alpha=0,05$) para a explicação da variabilidade de $\ln(\text{CPUE}+1)$. Os campos preenchidos com "-" indicam que a variável não foi significativa para o modelo referente à espécie.

Variáveis	<i>Thunnus albacares</i>	<i>T. alalunga</i>	<i>T. obesus</i>
Latitude, longitude, mês	0,000000	0,000000	0,000000
Ano	-	-	0,000000
Número de anzóis	-	0,000012	0,000000
Profundidade da camada de mistura	0,015051	0,015873	-
Concentração de clorofila	0,019358	0,000000	-
Temperatura da superfície	0,013013	0,000569	-
Anomalia da temperatura	-	-	0,000010
Componente meridional do vento	0,000048	0,000610	0,000041
Anomalia da altura da superfície	0,047565	0,037162	-

A fração da variância do índice de captura explicado pelos modelos desenvolvidos foi de 24%, 55% e 25% para as espécies *T. albacares*, *T. alalunga* e *T. obesus*, respectivamente. Os gráficos de resíduos parciais [lo(variável explicativa)] de algumas variáveis significativas, em relação aos três modelos, são apresentados nas **Figuras 2, 3 e 4**. Sobre o eixo x de cada gráfico, encontra-se a densidade de pontos em cada nível da variável ambiental em questão.

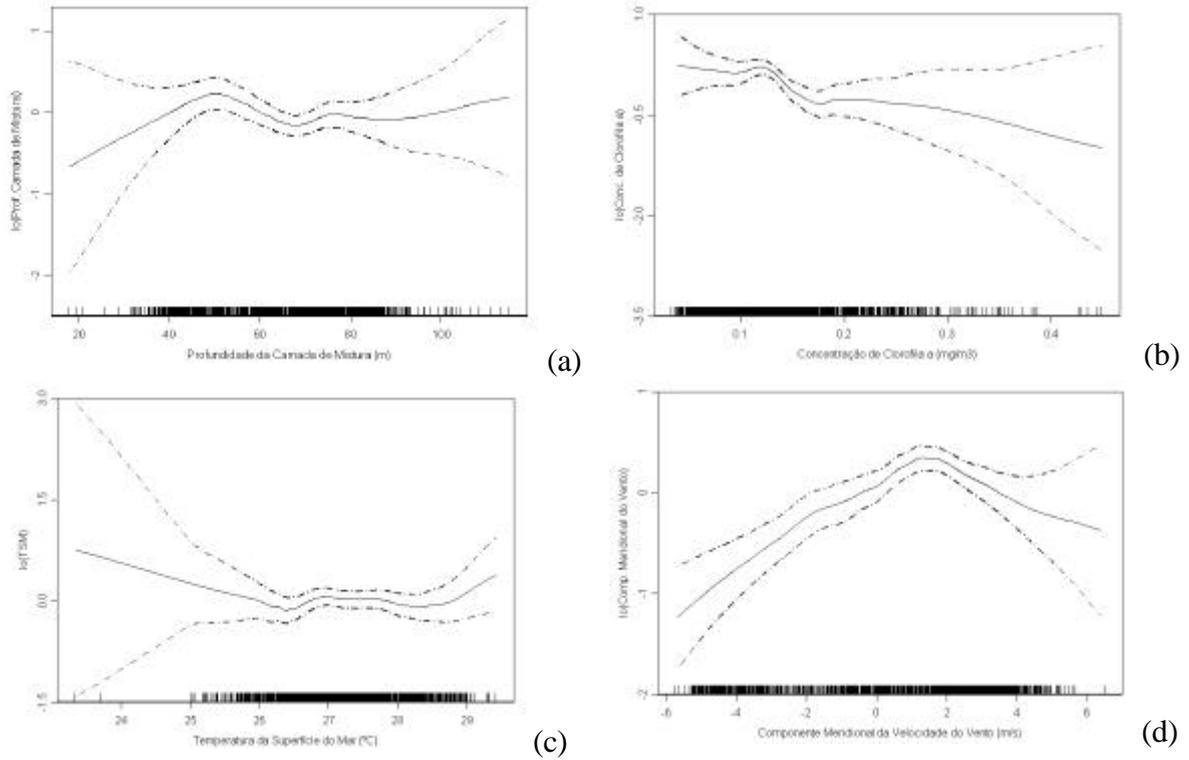


Figura 2- Efeito das variáveis explicativas sobre Ln(CPUE+1) da espécie *T. albacares*.

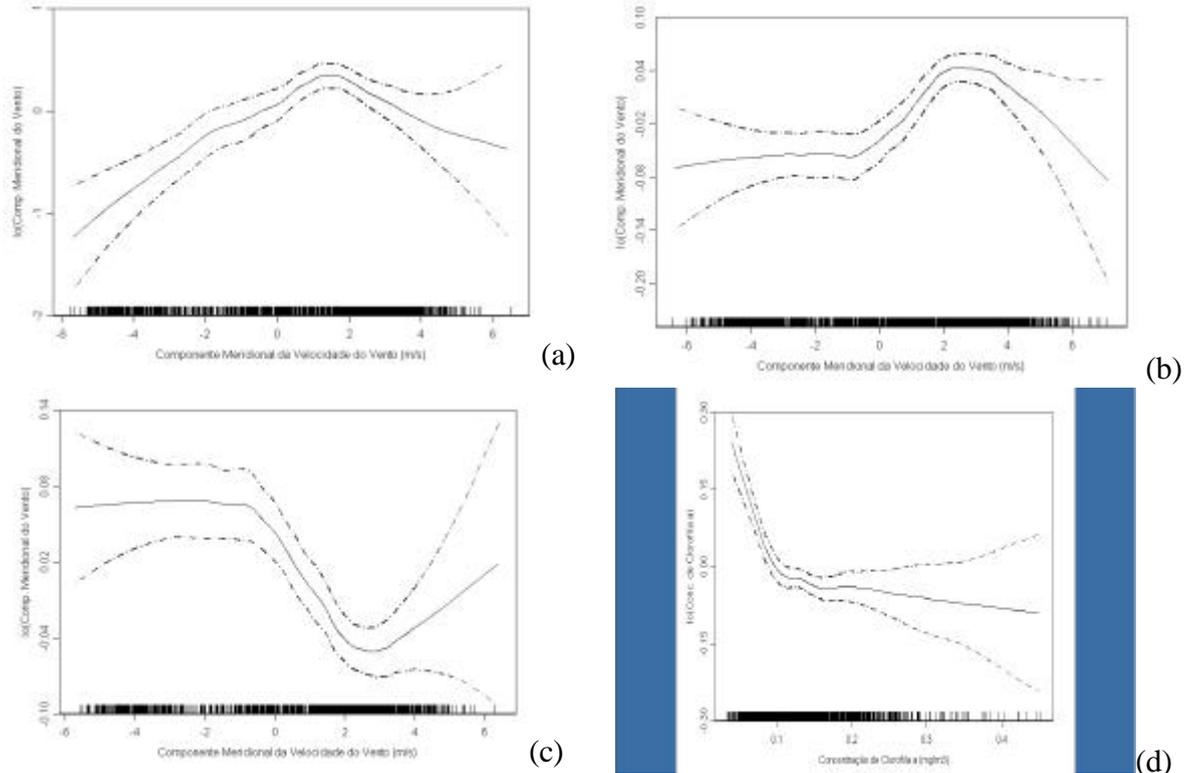


Figura 3- Efeito das variáveis explicativas sobre Ln(CPUE+1) da espécie *T. alalunga*.

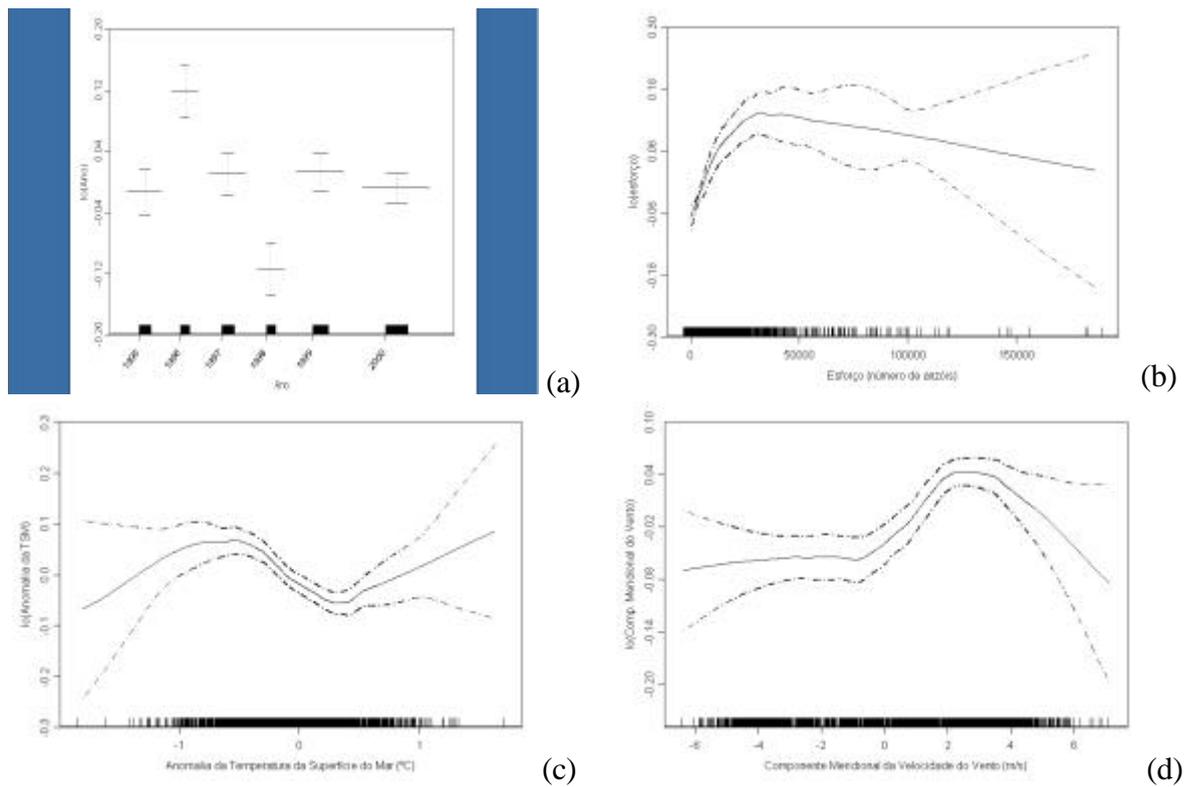


Figura 4- Efeito das variáveis explicativas sobre Ln(CPUE+1) da espécie *T. obesus*.

O efeito espaço-temporal pode ser, desta forma, analisado separadamente, por meio de uma análise de variância dois fatores, após a constatação de sua significância no processo de desenvolvimento dos modelos. Para tal propósito, a área de estudo é dividida em seis sub-áreas (Figura 5) e a escala temporal modificada para três meses, de forma que a distribuição do esforço de pesca ao longo do espaço e do tempo possa ser considerada constante. Assim, após o teste de significância do fator de interação entre as sub-áreas e os trimestres, a avaliação do padrão de distribuição espaço-temporal e abundância das três espécies é realizada com base em um teste do grupo “post-hoc”, considerando-se números de observações diferentes, implementados no pacote estatístico Statistica.

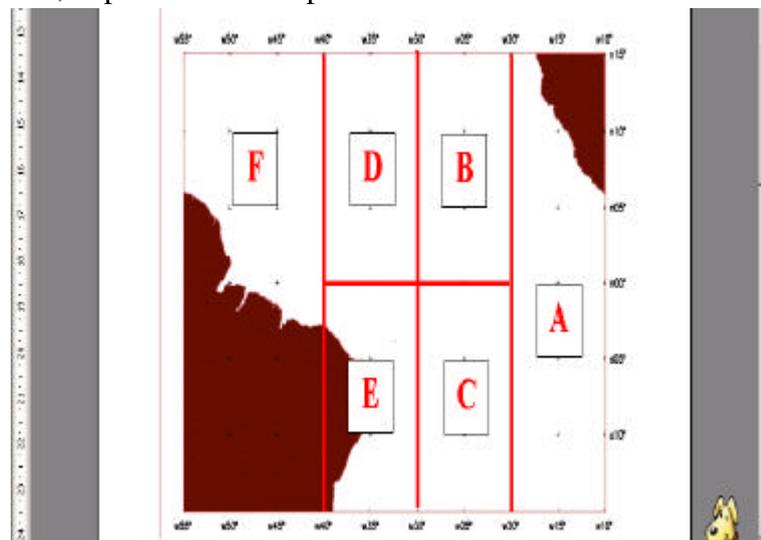


Figura 5- Divisão da área de estudo em seis sub-áreas.

Considerando a espécie *T. albacares*, a CPUE média referente às sub-áreas “E” e “C” durante o segundo trimestre, compreendido entre os meses de março e maio, apresentaram-se maiores e estatisticamente diferentes ($\alpha=0,05$) às outras combinações de sub-área e mesmo trimestre. O valor da CPUE média da sub-área “E”, ainda, mostrou-se igual ao das sub-área “A” e “B”, nos primeiro e quarto trimestres, e o da “D”, no terceiro.

O índice médio de abundância relativa da espécie *T. alalunga*, observado na sub-área “E” nos quarto e primeiro trimestre (de setembro a fevereiro), foi o maior estatisticamente. A CPUE observada em outras combinações entre diferentes sub-áreas e trimestres não apresentaram valor semelhante ao anterior.

Para a espécie *T. obesus*, apesar de muitas combinações apresentarem-se estatisticamente iguais, maiores valores de CPUE foram observados nos quarto e primeiro trimestre, nas sub-áreas mais ao norte (“B” e “D”).

O mapeamento dos valores dos parâmetros ambientais associados às maiores CPUEs das três espécies, detectados através dos modelos desenvolvidos no presente trabalho, indicam áreas e períodos semelhantes àqueles observados por outros autores como sendo relativos à reprodução das espécies (Travassos, 1999; Fonteneau e Soubrier, 1996), principalmente em relação à distribuição espacial e sazonal da componente meridional da velocidade do vento. Os resultados obtidos pela análise de variância dois fatores também corroboram com aqueles citados na bibliografia, onde as áreas e períodos reprodutivos são próximos aos trimestres e sub-áreas de maiores índices de abundância relativa das espécies.

Em relação à espécie *T. alalunga*, a influência apresentada pela variável concentração de clorofila α poderia ser explicada pelo fato dos atuns serem predadores basicamente visuais, preferindo, assim, águas com disponibilidade de forragem suficiente, mas que seja clara o bastante para não prejudicar sua visão (Brill e Lutcavage, 2001).

A correlação apresentada entre os valores observados de CPUE e aqueles previstos pelos modelos, com base em informações ambientais, mostra-se maior para a albacora branca, cujo valor do coeficiente de determinação de 0,91 indica o alto poder de previsão do modelo para esta espécie.

4. Conclusões

A partir dos resultados observados, podemos concluir que a utilização de GAM's, juntamente com dados obtidos por sensores a bordo de satélites, apresenta potencial para aplicações na atividade pesqueira, tendo em vista a possibilidade da análise de várias relações não-paramétricas simultaneamente, bem como em estudos de avaliação e monitoramento de estoques pesqueiros.

5. Agradecimentos

O primeiro autor agradece o suporte financeiro cedido pela CAPES. Os autores agradecem ainda às instituições fornecedoras dos dados utilizados no presente trabalho, dentre elas o Departamento de Pesca e Aqüicultura do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e o Goddard Space Flight Center / NASA.

Referências

Andrade, H. A. A possibilidade da melhoria da estratégia de distribuição do esforço pesqueiro e de aumento da rentabilidade em função do conhecimento das relações existentes entre o recurso explorado e as variações ambientais: o caso da pescaria superficial de atuns na costa sul-sudeste do Brasil. In: Prêmio Jovem Cientista. *Anais*. p. 13-52, 1999.

Brill, R. W.; M. E. Lutcavage. Understanding environmental influences on movements and depth distributions of tunas and billfishes can significantly improve population assessments. In: American Fisheries Society Symposium. *Anais*. n. 25, p. 179-198, 2001.

Fonteneau, A.; Soubrier, P., P. Interactions between tuna fisheries: A global review with specific examples from the Atlantic Ocean. *FAO Fisheries Technical Paper*, n. 365, 612 p., 1996.

Maury, O.; Gascuel, D.; Marsac, F.; Fonteneau, A.; De Rosa, A. Hierarchical interpretation of nonlinear relationships linking yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) distribution to the environment in the Atlantic Ocean. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, v. 58, p. 458-469, 2001.

Neter, J., Wasserman, W.; Kutner, M. H. *Applied Linear Regression Models*. Boston: IRWIN, 1989. 667 p.

Santos, A. M. P. Fisheries oceanography using satellite and airborne remote sensing methods: a review. *Fisheries Research*, n. 49, p. 1-20, 2000

Travassos, P. E. P. F. L'étude des relations thons-environnement dans l'océan Atlantique intertropical ouest: cas de l'albacore (*Thunnus albacares*, Bonnaterre 1788), du germon (*T. alalunga*, Bonnaterre 1788) et du thon obèse (*T. obesus*, Lowe 1839). D.Sc (Thesis) - Universidade de Paris, 1999. 253 p.

Yamanaka, I; Ito, S.; Niwa, K; Tanabe, R; Yabuta, Y; Chikuni, S. The fisheries forecasting system in Japan for coastal pelagic fish. *FAO Fisheries Technical Paper*, n. 301, 72 p. 1988.