

## Descrição das variabilidades nas anomalias de TSM de 1985 a 2005 para a porção noroeste do Atlântico Sul

Marcos Daniel de Almeida Leite <sup>1</sup>  
Gregório Luiz Galvão Teixeira<sup>1</sup>  
Julio Tomás Aquije Chacaltana <sup>1</sup>  
Mara Regina Labuto Fragoso da Silva <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Simulação de Escoamentos com Superfície Livre - LABESUL  
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES  
Av. Fernando Ferrari, 514, Campus Universitário, Goiabeiras  
CEP 29075-910, Vitória - ES, Brasil. Tel: 27-4009-2256  
{leite.mda, gregoriogalvao, juliotac}@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Informática. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES  
Avenida Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, CEP 29075-910, Vitória – ES, Brasil.  
Telefone: (55) 4009-2654/(55) 4009-2133.  
marar@npd.ufes.br / mrlfds@uol.com.br

**Abstract.** Global-scale phenomena like ENSO (El Niño-Southern Oscillation) can be studied from the variability of the anomaly of the sea surface temperature. For to try explain the impacts of ENSO on South Atlantic is proposed the Atlantic Dipole Model. The aim of this work is to study the SSTA (Sea Surface Temperature Anomaly) distribution in the South Atlantic between 10° and 28°S, using data from the Pathfinder Version 5 SST Project database. It used the SST data between 1985 and 2005 to build the climatology, the seasonal and monthly anomalies. The multitemporal analysis were made from the graphs and comparisons with Southern Oscillation Index of the same period. The seasonal mean results of sea surface temperature showed that the morphology of entrainment (as observed in the Brazil Current) with the solar radiation incident have a seasonal pattern. During the period of study, were observed three highest warm Sea Surface Temperature anomalies in 1987, 1998 and 2003. At the same period, were verified two highest cold Sea Surface Temperature anomalies in 1992 and 1997. Comparative analysis between the Southern Oscillation Index and multitemporal diagram exhibited a good correlation, but only between 10°S to 20°S. The south region anomalies of the studied area appear to be associated with the South Pacific anomalies due the same signals of anomalies presented.

**Palavras-chave:** climatology, multitemporal analysis, ENSO, SOI, climatologia, análise multitemporal, ENOS, IOS.

### 1. Introdução

A incidência da radiação solar sobre a superfície do oceano ocasiona um padrão meridional na distribuição da temperatura superficial do mar (TSM), a qual é modificada nas bordas continentais, pelas correntes de larga escala.

Os estudos, que se utilizam dos dados da TSM em larga escala espaço/temporal têm sido viabilizados graças ao desenvolvimento de sensores a bordo de plataformas orbitais, que permitem detectar, indiretamente, feições e fenômenos no ambiente oceânico, em escala global.

As variações inter e intranuais da TSM têm sido alvo de importantes estudos relacionado com o fenômeno ENOS (El Niño-Oscilação Sul). Esses fenômenos apresentam impactos de escala global e regional no regime de chuva e potencial pesqueiro (Saville, 1977; Tessler e Mahiques, 2000). Segundo Phinlander (1989) El Niño e La Niña estão relacionados com anomalias positivas e negativas de TSM, respectivamente, no oceano Pacífico Tropical

Segundo Wainer e Taschetto (2006) a TSM para o Atlântico Sul é caracterizada, climatologicamente, por um gradiente de temperatura meridional e pela diminuição de temperatura em direção às altas latitudes.

Trabalhos relacionados com TSM do Atlântico Sul em escalas inter e intranuais observam a ocorrência de variações de temperatura em relação à uma TSM climatológica, e vem-se discutindo estas variações como estando relacionadas aos fenômenos de El Niño (ou La Niña)(Münnich e Neelin, 2005; Nobre e Shukla, 1996; Sravanan e Chang, 2000). Existem ainda estudos, como o de McLean et al. (2009) que representam a variabilidade do ENOS através do Índice de Oscilação Sul (IOS). Este índice se baseia na diferença de pressão ao nível do mar entre Tahiti e Darwin, Figura 1. Na tentativa de relacionar o IOS e a temperatura média anual da superfície do globo, Jones (1989) quantificou que aproximadamente 30% das variações da temperatura podem ser explicadas pelo IOS.

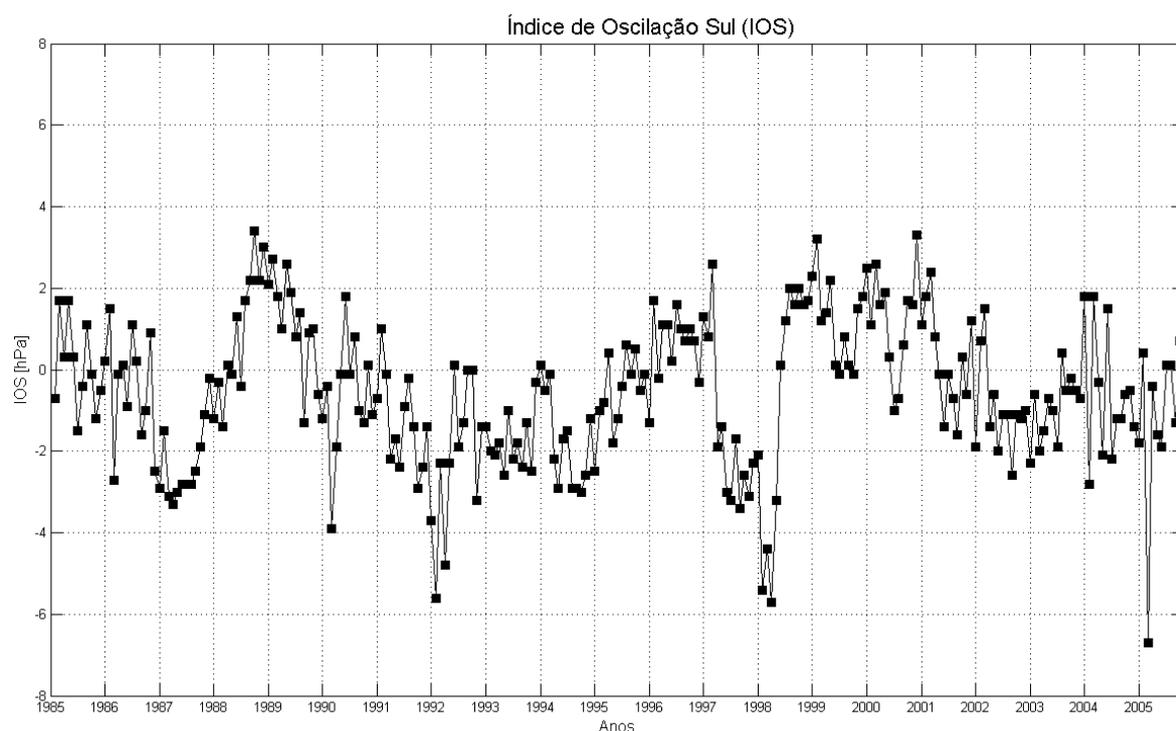


Figura 1: Índice de Oscilação Sul para os anos de 1985 a 2005. Dados com valores positivos representam eventos de La Niña e negativos eventos de El Niño.

Fonte: Climate and Global Dynamics (CGD)(2010).

Para tentar explicar o comportamento do Atlântico a essas variações é proposto o modelo Dipolo do Atlântico o qual apresenta uma relação de anomalias contrárias entre a TSM do Pacífico e do Atlântico Sul (Aragão, 1998; Venegas et al. 1997).

Verifica-se, portanto, a necessidade de se fazer uma revisão da variabilidade, sazonal e intranual da TSM em larga escala para a região noroeste do Atlântico Sul, de modo que permita uma análise para assim complementar de informação sobre fenômenos relacionados com as anomalias de TSM (ATSM).

## 2. Objetivos

Estudar a variabilidade espaço-temporal da temperatura da superfície do mar para a porção noroeste do Atlântico Sul, para o período entre 1985 e 2005. Para tanto, como objetivos específicos, quantificar as anomalias anuais e sazonais e calcular a ATSM ao longo de uma longitude para o período de estudo.

### 3. Metodologia de Trabalho

A metodologia deste trabalho consiste na criação de um banco de dados de imagens pré-processadas para a região de estudo e o pós-processamento deste banco de dados através de cálculo climatológico e a ferramenta AMI (Müller, 2007).

#### 3.1. Banco de Dados

O Banco de Dados é constituído de 252 imagens adquiridas do mês de janeiro de 1985 a dezembro de 2005. Estas imagens foram disponibilizadas na página do Programa Pathfinder V5.0, <http://data.nodc.noaa.gov/pathfinder/Version5.0/>. Essas imagens são fornecidas em formato Hierarchical Data Format Version 4 (HDF4), que continham a matriz de cálculo da TSM para a região de estudo (10/28 °S e 22/50 °O) de dimensões 411 por 637, latitudes e longitudes respectivamente.

O parâmetro BSST (Best Sea Surface Temperature), utilizado neste trabalho, é uma primeira aproximação do algoritmo NLSST (Non Linear Sea Surface Temperature) baseado na Interpolação Ótima de Reynolds e foi adotado neste trabalho devido à sua pequena margem de erro e boa coerência com dados *in situ* (Souza et al., 2007).

Estes dados contêm informações pré-processados, com seus pixels de dimensão de 4 km x 4 km. Além disso, estes dados de TSM são disponibilizados, em sua totalidade, com uma resolução radiométrica de 16 bits. Os dados representam médias mensais, oriundas de aquisições noturnas (NODC, 2010).

#### 3.2. Pós-processamento Digital das Imagens

A partir das imagens do banco de dados foi calculada a matriz de TSM para os dados de cada mês. De posse do campo de TSM foram confeccionadas as matrizes climatológicas, as anomalias e gráficos multitemporais. Esses dados discretos de temperatura foram utilizados como base para o cálculo das matrizes climatológicas, segundo o apresentado nas equações 1 e 2 abaixo. Esta Matriz Climatológica Total (MCT) foi calculada através da média aritmética simples de todas as matrizes de média mensal da TSM de 1985 a 2005.

$$MC = \frac{\sum_{i=1}^{anosmeses} \sum_{i=1} Mm_i}{anos \times meses} \quad (1)$$

$$MCT = \frac{\sum_{i=1}^{21} \sum_{i=1}^{12} Mm_i}{252} \quad (2)$$

Além da MCT, foram calculadas matrizes climatológicas para períodos sazonais (MCS). A partir do mês de janeiro, inclusive, adotou o período trimestral para representar cada estação e foi feita uma média climatológica para cada. (Equação 3).

$$MCS = \frac{\sum_{i=1}^{21} \sum_{i=1}^3 Mm_i}{63} \quad (3)$$

De posse das matrizes climatológicas foram geradas as matrizes de anomalia da temperatura da superfície do mar (ATSM). Estas foram calculadas a partir da diferença entre a média de um determinado período (sazonal e anual) e a climatologia do mesmo período da seguinte maneira:  $ATSM(i) = M(i) - Mc(i)$ , no qual “i” denota os períodos adotados (cada estação ou ano), “M” é a matriz média original do período e “Mc” é a matriz climatológica para o período.

Ao final do processamento das imagens foi feita a compilação dos dados das ATSM ao longo dos anos, a partir de gráficos multitemporais de uma seção transversal (10/26 °S em 33°O), graficada na Figura 2. Para tanto, foi utilizada a ferramenta AMI, que é um programa criado com base na técnica de análise multitemporal proposta por Silva (2002) e implementada utilizando algoritmo de Bresenham (Müller, 2007).



Figura 2: Seção utilizada para gerar o gráfico multitemporal das médias e anomalias sazonais.

#### 4. Resultados e Discussões

##### 4.1. Climatologia da TSM

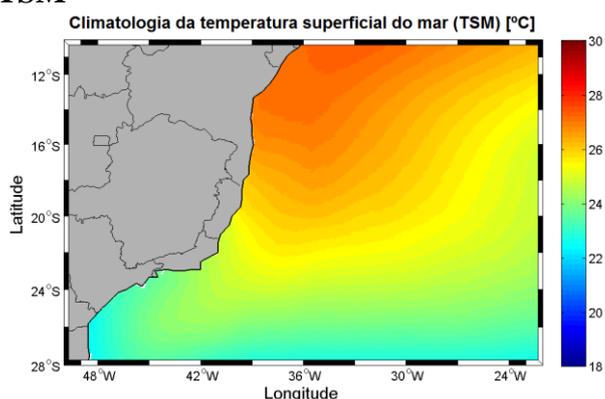


Figura 3: Climatologia da TSM para o período de 1985 a 2005.

Os resultados da climatologia da TSM para o período de estudo, são mostrados na Figura 3. Na análise dos resultados dessa figura, pode-se observar que a TSM meridionalmente está distribuída com valores máximos e mínimos de 27.36 e 22.4°C respectivamente. O comportamento das isotermas apresenta uma característica bem peculiar de uma água tropical, com valores maiores que 20°C.

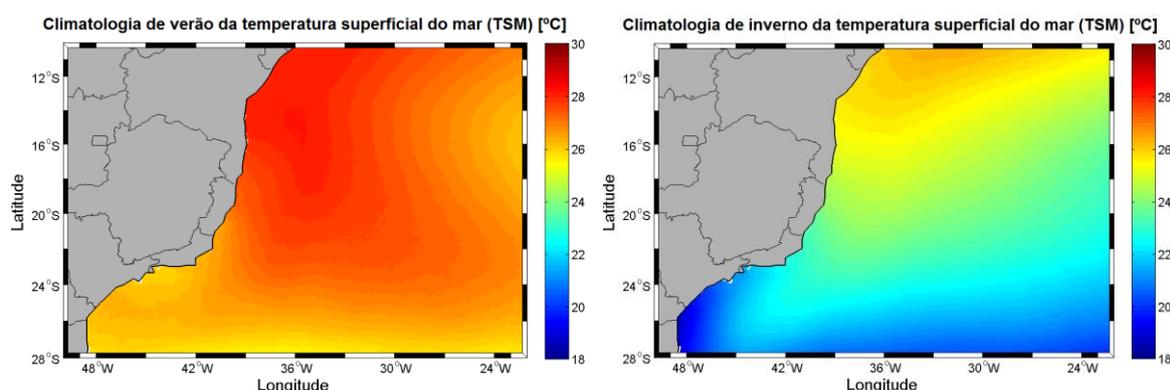


Figura 4: (a) Climatologia da TSM de verão e a (b) de inverno para o período de 1985 a 2005.

As temperaturas da superfície do mar obtidas da análise da climatologia da TSM de verão (Figura 4a) e inverno (Figura 4b) apresentam padrões contrastantes. Os maiores valores de temperatura estão relacionados ao período de verão (entre 28.1 e 25.25°C) e os menores ao período de inverno (entre 26.48 e 18.7°C). O comportamento das isotermas evidencia um entranhamento que no verão apresenta uma distribuição de temperaturas características das águas tropicais, enquanto que no inverno há um deslocamento mais ao norte dessas águas.

#### 4.2. Análise multitemporal da média sazonal da TSM e ATSM

Na Figura 5 é apresentado o resultado das médias sazonais da TSM podendo ser visto uma periodicidade bem demarcada pelas 4 estações entre os anos de 1985 a 2005, com valores de temperaturas maiores nos verão que no inverno. Essa variação representa o resultado da advecção da Corrente do Brasil junto a variação latitudinal da incidência da radiação de ondas curtas no oceano ao longo das estações.

Na Figura 6 é apresentado o resultado das anomalias sazonais da TSM. São encontradas para o período de 1985 à 1989 oscilações características entre -0.5 e +1.5 °C. O valor máximo encontrado está relacionado ao pico de anomalias positivas entre os outonos de 1987 e 1988. Valores negativos do IOS apresentados na Figura 1 caracterizam um período de El Niño para a região do Pacífico Sul e pelo modelo Dipolo do Atlântico, era esperado anomalias negativas no Atlântico Sul, as quais não foram encontradas. Na tentativa de explicar as anomalias positivas presentes, Campos et al. (1999) sugerem uma defasagem de resposta em torno de um ano, relativo a um fenômeno de La Niña ocorrido no Pacífico Sul.

A análise da Figura 1 indica um início de transição entre fenômenos a partir do verão de 1987, uma vez que a curva do IOS vai em direção a valores positivos. Entre o ano de 1989 e 1990 ocorre uma transição de La Niña para um El Niño forte. O fenômeno El Niño persistiu entre os anos de 1990 a 1993, com um pico no ano de 1992, representado pelo IOS (~-6 hPa) na Figura 1, e seguiu com intensidade moderada até o ano de 1995. Durante o outono a primavera de 1990, anomalias positivas entre +0.5 e +0.8°C persistem ao longo da seção de estudo. Nos anos seguintes, as ATSM apresentam valores negativos e permanecem em grande parte da seção de estudo entre o verão de 1991 ao outono de 1993, respondendo como o esperado pelo modelo Dipolo do Atlântico. Porém, a porção sul (entre as latitudes 22 a 28°S) apresenta anomalias positivas com valores entre +0.5 e +1°C entre o outono de 1991 ao outono de 1993, evidenciando que a porção norte e sul da área de estudo possivelmente responde de maneira distinta aos fenômenos ENOS.

Iniciou-se no final de 1994 a 1996 uma transição entre um El Niño moderado para uma La Niña fraca, persistindo durante um ano. Da mesma maneira que anos anteriores, o comportamento da área de estudo diante dos fenômenos ENOS apresenta valores contrastantes. O ano de 1996 apresenta anomalias positivas na porção norte da seção de estudo (entre as latitudes 10 a 18°S) com valores próximos a +0.5°C e anomalias negativas na porção sul com valores inferiores a -0.5°C.

Houve no ano de 1997 uma rápida mudança no IOS, caracterizando o ano de 1997 como um ano de El Niño forte, persistindo até início do ano de 1998, em que o IOS voltou a se inverter e caracterizar um novo momento de La Niña. Na Figura 6 podemos observar que o primeiro semestre de 1997 é caracterizado por fortes anomalias negativas (< -1.5°C), como esperado pela teoria do Dipolo do Atlântico. Porém, o semestre seguinte apresenta fortes anomalias positivas (> 1.5°C) para o mesmo período de El Niño. As ATSM positivas persistem durante o ano de 1998 com valores superiores a +1.4°C. O período de 1998 à 1999 é marcado com uma variação de quase 8 pontos no índice IOS, como pode ser visto na Figura 1, o mais forte analisado no mesmo espaço de tempo para todo o período, e a partir de 1999 observamos uma tendência de decréscimo na diferença de pressão média (de ~3.5 para ~-2.5

hPa), ou seja, uma condição de transição entre um período de La Niña para El Niño, porém o fenômeno La Niña persistiu até o ano de 2001.

Ambos os anos de 1999 e 2000 apresentam um comportamento distinto da distribuição das ATSM entre a porção norte e sul da seção. Anomalias positivas são encontradas entre as latitudes 10 e 20°S, como o esperado pelo modelo Dipolo do Atlântico, e as anomalias negativas entre 22 e 28°S. Essas características das anomalias sazonais negativas como observado, também foi encontrado no trabalho de Leão (2008), que associou estas anomalias, possivelmente, ao fenômeno de La Niña. Lentini et al. (2001), propõem que as anomalias para região ocidental do Atlântico Sul parecem estar ligadas aos eventos ENOS no Pacífico, podendo assim, justificar a presença das anomalias negativas presentes na porção sul da seção de estudo.

Os anos seguintes, marcados em sua totalidade pelo El Niño, apresentam em grande parte anomalias positivas associadas as suas estações. Apenas o período que abrange a primavera de 2001 a primavera de 2002, como também o verão de 2004 e 2005 apresentam anomalias negativas em pequenas partes da seção de estudo. Observamos que há uma concordância direta das anomalias com os fenômenos que ocorrem no Pacífico, diferenciando do esperado pelo modelo Dipolo do Atlântico. O ano de 2003 destacou-se neste período, com forte anomalia comparada com o evento de 1987. Além disso, o ano de 2003 foi o que apresentou as maiores anomalias positivas para o verão. Os anos de 2004 e 2005 se caracterizam por anomalias negativas pouco fortes e uma vez mais é observado uma resposta distinta da seção de estudo, entre a porção norte e sul aos fenômentos ENOS.

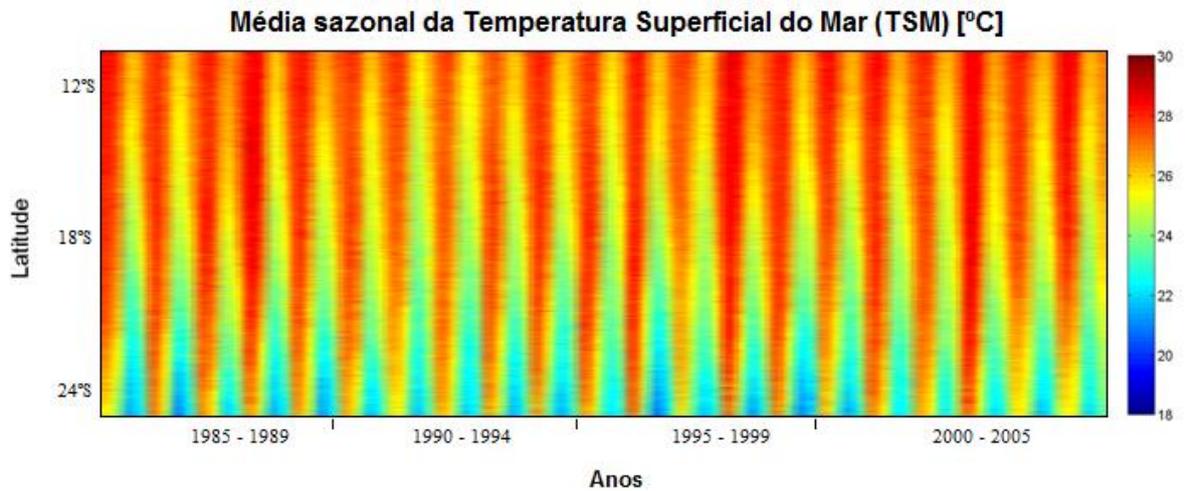


Figura 5: Gráfico Multitemporal AMI da TSM Média sazonalis.

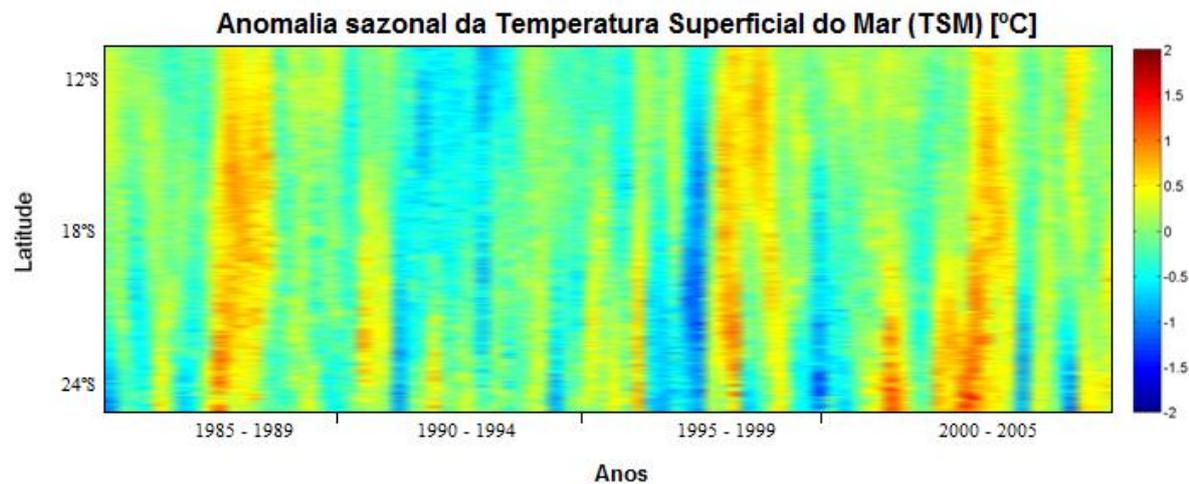


Figura 6: Gráfico Multitemporal AMI das ATSM sazonais.

## 5. Conclusões

A distribuição da média sazonal da TSM, Figura 5, através de uma análise qualitativa, mostrou um comportamento periódico característico da variação latitudinal da incidência de raios solares somado à advecção meridional da Corrente do Brasil, que também apresenta o deslocamento em direção ao sul durante os períodos de verão.

A análise conjunta dos gráficos multitemporal, Figura 6, e IOS, Figura 1, mostrou que os picos mais intensos de ATSM estavam coerentes com os picos descritos na literatura. O modelo Dipolo do Atlântico não é válido para toda a seção de estudo, uma vez que descreveu satisfatoriamente apenas as anomalias presentes na porção norte. A porção sul da área de estudo teve suas anomalias de temperatura concordantes principalmente com as anomalias esperadas para Pacífico Sul.

Vale ressaltar que alguns anos apresentaram anomalias contrárias às esperadas ao longo de toda seção de controle, como por exemplo, os anos de 1987 e 2003, em que ambos apresetaram anomalias positivas quando, se esperavam anomalias negativas devido ser período de El Niño.

## 6. Referências Bibliográficas

Aragão, J. O. R. O impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no nordeste do Brasil. **Bull. Inst. fr. études andines**. v.3, n.27, p. 839-844, 1998.

Campos, E.J.D; Lentini, C.A.D; Miller, J.L; Piola, A. R. Interannual variability of the sea surface temperature in the South Brazil Bight. **Geophysical Research Letters**, v. 26, n. 14, p. 2061-2064, 1999.

Climate and Global Dynamics (CGD). Climate indices: Southern Oscillation Index (SOI). Disponível em: <<http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/soi.html>>. Acesso em: 5 ago. 2010.

Jones, P. D. The influence of ENSO on global temperatures. **Climate Monitor**, v.17, p. 80-89, 1989.

Leão, C. Variabilidade Espaço-Temporal da Concentração de Clorofila-a e Temperatura da Superfície do Mar Estimadas por Satélite na Margem Continental Sudeste Brasileira. 2008. 136 p. (INPE-15299-TDI/1351). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008.

Lentini, C.A.D; Podestá, G.G; Campos, E.J.D; Olson, D.B; Sea surface temperature anomalies on the Western South Atlantic from 1982 to 1994. **Continental Shelf Research**. v. 21, p. 89-112, 2001.

Martin, S. **An Introduction To Ocean Remote Sensing**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 426 p.

McLean, J. D.; Freitas, C. R.; Carter, R. M. Influence of the Southern Oscillation on tropospheric temperature. **Journal of Geophysical Research**. v.114, 2009.

Müller, S.S. Uma Ferramenta de Análise Multitemporal de Imagens. 2007. 41 p. Monografia (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória. 2007.

Münnich, M.; Neelin, J. D. Seasonal influence of ENSO on the Atlantic ITCZ and equatorial South America. **Geophysical Research Letters**, v.20, 2005.

Nobre, P.; Shukla, J. Variations of Sea Temperature, Wind Stress, and Rainfall over the Tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v.9, p. 2464 – 2479, 1996.

National Oceanographic Data Center (NODC). 4 km Pathfinder Version 5 User Guide. Disponível em: <<http://www.nodc.noaa.gov/sog/pathfinder4km/userguide.html>> Acesso em: 1 jun. 2010.

Paula, A. C.; Calado, L.; Mattos, R. A. O Emprego de Feições Oceanográficas Detectadas por Plataformas Satelitais em Apoio a Operações Navais. In: Encontro de Usuários de Sensoriamento Remoto das Forças Armadas (SERFA), 3., 2008, São Paulo. **Anais...** São José dos Campos: ITA, 2008. Resumos, p. 20-21, On-line. Disponível em: <[http://www.ieav.cta.br/serfa08/arquivos/caderno\\_resumos\\_serfa08.pdf](http://www.ieav.cta.br/serfa08/arquivos/caderno_resumos_serfa08.pdf)> . Acesso em: 21 out. 2010.

Phinlander, S. G. H. **El Niño, La Niña, and the southern oscillation**. London: Academic Press, 1989. p.293

Saravanan, R.; Chang, P. Interaction between Tropical Atlantic Variability and El Niño–Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v.13, p. 2177-2194, 1999.

Saville, A. **Métodos de reconocimiento para la evaluación de los recursos pesqueros**. FAO Documentos Técnicos de Pesca, n 171, 1977. 78 p.

Silva M. R. L. F.. Aplicações de TSM Orbital em Engenharia Oceânica. 2002. 139 p. Tese (Doutoramento) – Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ, Rio de Janeiro. 2002.

Souza, R. B.; Gherardi, D. F. M.; Sato, O. T.; Polito, P. S.; Kampel, M.; Lentini, C. A. D. Climatologia e variabilidade ambiental marinha na região do Banco dos Abrolhos determinada por satélites: resultados preliminares do projeto Pro-Abrolhos. In : Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007. Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 4735 – 4742. On-line. ISBN 978851700031-7. Disponível em: < <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.22.12.49/doc/4735-4742.pdf>>. Acesso em 15 ago.

Tessler, M. G.; Mahiques, M. M. Processos oceânicos e a fisiografia dos fundos marinhos. In: Teixeira, W. et al. (Org.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000, p.261-304.

Venegas, S.A.; Mysak, L.A.; Straub, D. N. Atmosphere-Ocean Coupled Variability in the South Atlantic. **Journal of Climate**, v. 10, 1997.

Wainer, I. & Taschetto, A. S. Climatologia na região entre o cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). Diagnóstico para os períodos relativos aos levantamentos pesqueiros do Programa REVIZEE. p. 121-160. In: Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B. & Madureira, L. S-P. (Orgs.). **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região Sudeste-Sul do Brasil**. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. cap. 2, p.121-160.