

VARIABILIDADE DAS ANOMALIAS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR NO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE E SUA RELAÇÃO COM O FENOMENO EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL

MARIANA ALTENBURG SOPPA¹, RONALD BUSS DE SOUZA² E LUCIANO PONZI PEZZI³

¹Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI), Climate Sciences, Observational Oceanography, Bremerhaven, Germany

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (INPE/CRS), Santa Maria, RS, Brasil

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Coordenação Geral de Observação da Terra (INPE/OBT), São José dos Campos, SP, Brasil

msoppa@awi.de, ronald@dsr.inpe.br, luciano@dsr.inpe.br

Recebido Novembro 2008 – Aceito Fevereiro 2011

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a variabilidade dos campos de anomalia da temperatura da superfície do mar (ATSM), obtidos através imagens de satélites em regiões sob a influência dos diferentes regimes oceanográficos e/ou biofísicos no Oceano Atlântico Sudoeste (ATS). Para tanto, séries temporais de ATSM de 1985 a 2006 foram investigadas em nove sub-áreas no ATS, divididas nos domínios subtropical, intermediário e subantártico. Análise espectral aplicada às séries de ATSM revelou ciclos no período interanual entre 1,6 e 3,7 anos. Análise de correlação cruzada foi usada para estabelecer a relação entre os ciclos presentes na ATSM e os eventos do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), representados aqui a partir do Índice Multivariado do ENOS (MEI). Os resultados evidenciam uma correlação estatisticamente significativa, defasada no tempo, entre o ENOS e anomalias termais no ATS, porém sem uma associação direta entre os episódios quentes (frios) de El Niño (La Niña) e ATSMs positivas (negativas). Dentre as diversas áreas de estudo, a correlação é máxima sobre a região da Confluência Brasil-Malvinas (-0,78), com defasagem de tempo de 9 meses após a La Niña de maio de 1988 a maio de 1989.

Palavras-Chave: anomalia da temperatura da superfície do mar, El Niño - Oscilação Sul, Oceano Atlântico Sudoeste, províncias biofísicas

ABSTRACT: SEA SURFACE TEMPERATURE ANOMALY VARIABILITY IN THE SOUTHWESTERN ATLANTIC OCEAN AND ITS RELATIONSHIP WITH THE EL NIÑO - SOUTHERN OSCILLATION

This work presents a study on the variability of satellite-derived sea surface temperature anomaly (SSTA) fields in regions under the influence of different oceanographic and/or biophysical patterns in the South-western Atlantic Ocean (SWA). In order to accomplish that, time series of SSTA from 1985 to 2006 were investigated over nine sub-areas in the SWA, divided into the subtropical, intermediate and sub Antarctic domains. Spectral analysis applied to the SSTA time series revealed cycles in the interannual period between 1.6 and 3.7 years. Cross correlation analysis was used aiming to establish the relation between the cycles present in the SSTA and the El Niño - Southern Oscillation (ENSO) events, represented here by the Multivariate ENSO Index (MEI). The results show a statistically significant, lagged in time, correlation between the ENSO and thermal anomalies in the SWA, however there is no direct association between the warm (cold) El Niño (La Niña) episodes with positive (negative) SSTAs. Among all distinct study areas, the maximum correlation occurs in the Brazil-Malvinas Confluence region (-0,78), with a time lag of 9 months after the La Niña of May 1988 to May 1989.

Keywords: sea surface temperature anomalies, El Niño-Southern Oscillation, Southwestern Atlantic Ocean, biophysical provinces

1. INTRODUÇÃO

O Oceano Atlântico Sudoeste (ATS) é uma das regiões mais dinâmicas do oceano global (Chelton et al., 1990; Fu, 1996), representando um grande papel no clima do planeta. Além das regiões costeiras onde ocorrem processos de mescla de águas de origem continental (oriundas principalmente dos estuários do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos) com águas oceânicas, o ATS compreende a região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM) e os ambientes subtropical e subantártico do oceano profundo. A região da CBM é caracterizada pelo encontro da Corrente do Brasil (CB), quente e salina, com a Corrente das Malvinas (CM), fria e menos salina, gerando grandes instabilidades de mesoescala que dominam a variabilidade do ATS. A CBM é também a região de formação da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) que, após a mistura da Água Tropical (transportada pela CB) e da Água Subantártica (transportada pela CM), se espalha em subsuperfície pelo ATS.

No ATS, os valores mínimos de temperatura da superfície do mar (TSM) aproximam-se de 8 °C durante o inverno austral (junho), ao passo que os valores máximos podem chegar a 25 °C no núcleo da CB durante os meses de verão austral (Goni et al., 1996). As amplitudes do ciclo anual da TSM aumentam na direção da plataforma continental (Podestá et al., 1991). Sobre a plataforma, entre as mais baixas e mais altas latitudes, as amplitudes anuais de TSM podem variar entre 6 °C e 11 °C, respectivamente (Lentini et al., 2000). Esses últimos autores descrevem que a maior parte dessa variação seria causada pelo aumento do transporte da CB (CM) durante o verão (inverno), e isso contribuiria também para as grandes amplitudes de TSM encontradas na região adjacente ao estuário do Rio da Prata.

Diaz et al. (1998) observaram a presença periódica de anomalias superficiais de temperatura da superfície do mar (ATSM) no ATS, tanto quentes quanto frias, descrevendo que essas anomalias poderiam ser, em parte, explicadas pelos fenômenos atmosféricos que ocorrem sobre esse oceano. O estudo de Haarsma et. al. (2005) sugere que a mistura da camada limite oceânica induzida pelo vento, o transporte de Ekman que ocorre nesta mesma camada e os fluxos turbulentos de calor trocado na interface oceano-atmosfera contribuiriam para a geração dos modos dominantes da variabilidade acoplada da TSM. Estes autores sugerem ainda que uma parcela da variabilidade de TSM, observada no ATS, seria causada pela advecção de intensos gradientes de TSM através da CB.

Evidências da relação da TSM do Oceano ATS, com a precipitação no estado do Rio Grande do Sul e Uruguai, foram também descritas em Diaz et al. (1998), por exemplo. Esses autores ressaltam que, independente dos efeitos remotos de outras regiões oceânicas (por exemplo, o efeito do El Niño -

Oscilação Sul, ENOS), as maiores correlações entre a TSM e a precipitação na América do Sul são encontradas nos meses de abril a julho, quando é encontrado o sinal mais forte de modulação da precipitação no ATS. Segundo Diaz et al. (1998), anomalias positivas (negativas) de TSM no ATS estão associadas a anomalias positivas (negativas) de precipitação no extremo sul do Brasil e Uruguai. Mais recentemente, porém, Haylock et al. (2006) sugeriram que a TSM do ATS não apresenta uma relação direta com os eventos extremos de precipitação ocorridos sobre a América do Sul e o Brasil.

O clima do Sul do Brasil apresenta também uma forte conexão com o fenômeno ENOS, como já foi amplamente divulgado pela comunidade científica (por exemplo, Ropelewski e Halpert, 1987, 1989; Rao e Hada, 1990; Grimm et al., 1998, 2000; Pezzi e Cavalcanti, 2001 entre outros). O fenômeno ENOS pode ser descrito como um modo oscilatório fundamental do sistema acoplado oceano-atmosfera, que ocorre na região do Pacífico Equatorial. Associado à fonte de calor que gera esta oscilação, surge outro importante mecanismo de origem remota que influencia o clima no Sul do Brasil. Este fenômeno é o modo Pacífico-América do Sul (do inglês, Pacific-South American, PSA), caracterizado como um trem de ondas de Rossby que se propaga em direção a América do Sul via Pacífico Sul (Mo, 2000), atingindo também a região do ATS.

A literatura tem mostrado que o fenômeno ENOS tem uma grande contribuição na modulação da circulação atmosférica e nas anomalias de precipitação no Sul do Brasil. O papel do ENOS na precipitação, de um modo geral, é de poder causar um excesso de precipitação no Sul do Brasil durante sua fase quente, ao mesmo tempo em que uma diminuição da precipitação pode ocorrer no Nordeste do Brasil. Durante a fase fria do ENOS, uma situação oposta é esperada. Grimm et al. (1998, 2000) mostraram que os episódios El Niño e La Niña influenciam significativamente a precipitação sazonal nas regiões sudeste e sul do Brasil, especialmente durante os meses de primavera e outono. Grimm e Tedeschi (2009) mostraram que o impacto sobre eventos extremos de precipitação é ainda maior.

Os efeitos do ENOS sobre os ambientes costeiros em latitudes acima do Rio da Prata foram investigados por vários autores e sumarizados recentemente em Campos et al. (2008). Os autores descrevem que as variações interanuais da extensão da pluma do Rio da Prata, transportando águas com baixa salinidade para norte a partir do estuário, são altamente relacionadas à ocorrência do ENOS e tem implicações diretas sobre os ecossistemas locais. Durante os anos de El Niño (La Niña), a precipitação e as descargas do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos aumentam (diminuem). Os autores, no entanto, chamam a atenção para o fato de que incursões, mais para o norte das águas do Rio da Prata, ocorrem paradoxalmente durante anos de La Niña. Os autores atribuem este fato à predominância dos

ventos de quadrante sul, os quais impelem as águas mais para norte ainda que as descargas do Rio da Prata sejam menores.

Outros autores sugerem que, além da salinidade, os campos de TSM do ATS também podem responder à variabilidade climática associada ao fenômeno ENOS. Campos et al. (1999), por exemplo, encontraram um pico de alta coerência entre a ATSM e o índice de Oscilação Sul (Southern Oscillation Index - SOI) no período de 1,5 anos, com o SOI antecedendo a ATSM em alguns meses. Lentini et al. (2001) também buscaram relacionar o ENOS com anomalias de TSM, propagando-se na região da plataforma continental e talude (profundidades menores que 1000 m) da América do Sul sobre o ATS. Os autores usaram dados de satélite entre 1982 e 1994 entre as latitudes de 22° S e 42° S, reportando para o período a presença de 20 anomalias de TSM (13 frias e 7 quentes) ocorrendo imediatamente após eventos ENOS. Isso parece dar suporte à hipótese de que águas anormalmente frias (quentes) sobre a plataforma continental e talude, se deslocariam para norte desde a Argentina até o Brasil em períodos de até um ano após os eventos de El Niño (La Niña).

A relação entre TSM no ATS e eventos ENOS foi também analisada por Severov et al. (2004). Com base em 13 anos de dados de TSM, os autores relacionaram os eventos de El Niño (La Niña) a uma diminuição (aumento) da TSM sobre a CM simultaneamente a um aumento (diminuição) da TSM sobre a CB. Embora não reportado no trabalho de Severov et al. (2004), os resultados desses autores sugerem uma relação entre o gradiente meridional de TSM na região da CBM e os episódios ENOS.

Devido à importância da TSM para a dinâmica do ATS, imagens de satélite são muito utilizadas para descrever a variabilidade espacial e temporal dessa região (Reid et al., 1977; Legeckis e Gordon, 1982; Olson et al., 1988; Gordon, 1989; Podestá et al., 1991; Souza e Robinson, 2004; Saraceno et al., 2004, 2005, 2006; Lentini et al., 2006; Lentini e Souza, 2009; Souza et al., 2006; Souza et al. 2007). Da mesma forma, campos de concentração de clorofila e dados de altimetria têm sido amplamente empregados por diversos autores para caracterizar a região da CBM (Fu, 1996; Lentini et al. 2006; Garcia e Garcia, 2008 entre outros). Associados as águas quentes (frias) da CB (CM), estão campos de baixa (alta) concentração de clorofila e maiores (menores) anomalias da altura do nível do mar.

Longhurst (2007) utilizou dados de clorofila obtidos através de satélites, entre outros como concentração de nutrientes e profundidade da camada de mistura, para estudar a resposta sazonal do fitoplâncton a processos físicos nos oceanos. Com base nos seus resultados, o autor dividiu o oceano global em diferentes áreas, denominando-as de províncias biofísicas. Para a região desse estudo no ATS, as províncias biofísicas descritas em Longhurst (2007) são quatro: Província Costeira da Corrente do Brasil (BRAZ), Província das Plataformas

Atlânticas Sudoestes (FKLD), Província do Giro do Atlântico Sul (SATL) e Província da Convergência Subtropical Sul (SSTC) (Figura 1). Com base em imagens de TSM e clorofila, Saraceno et al. (2005) identificaram também outras três outras regiões importantes sob o ponto de vista dos distintos processos oceanográficos ocorrendo no ATS: a Região da Quebra de Plataforma Patagônica, a Região do Fluxo de Retorno (ou retroflexão) da Corrente do Brasil e a região do Elevado de Zapiola (localizado próximo a 45°W, 45°S).

Este trabalho tem por objetivo estudar a variabilidade dos campos de ATSM obtidos através de satélites em regiões sob a influência dos diferentes regimes oceanográficos e/ou biofísicos no ATS. O estudo foi realizado investigando-se as séries de tempo de ATSM médias em regiões específicas e independentes no ATS. Como objetivo específico, busca-se estabelecer a relação entre as oscilações (ciclos) presentes nas séries de tempo dos dados de ATSM e eventos relacionados ao fenômeno ENOS, medidos a partir de um índice representativo conhecido como Índice Multivariado do ENOS (MEI).

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

Para esse estudo, foram definidas nove áreas no ATS, cobrindo as diferentes províncias biofísicas e outras regiões descritas por Longhurst (2007) e Saraceno et al. (2005). Dados médios sobre cada uma dessas áreas foram extraídos das séries temporais de imagens de satélite para que se avaliassem os sinais predominantes dos campos de ATSM. Incluem-se nessas áreas a região da CBM e nessa, mais especificamente, a região do fluxo de retorno (retroflexão) da CB.

As áreas, uma vez selecionadas, foram usadas para delimitar os pixels (elementos da imagem) usados para gerar médias espaciais a partir das imagens originais de TSM. Das áreas consideradas aqui, 7 se distribuem ao longo da plataforma e quebra de plataforma continental sul-americana, desde o estado do Rio de Janeiro (Brasil) até a Argentina, e 2 em regiões de oceano profundo contidas nas províncias SATL e SSTC. As áreas 1, 2, 3 e 4 localizam-se sobre o que chamamos aqui de “domínio subtropical”, as áreas 5 e 6 sobre o “domínio intermediário” e as demais (áreas 7, 8 e 9) sobre o “domínio subantártico”. A localização e identificação das áreas são apresentadas na Figura 1 e Tabela 1.

2.2. Materiais

2.2.1 Dados de temperatura da superfície do mar

Neste estudo, foram utilizadas imagens de TSM obtidas a partir do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution

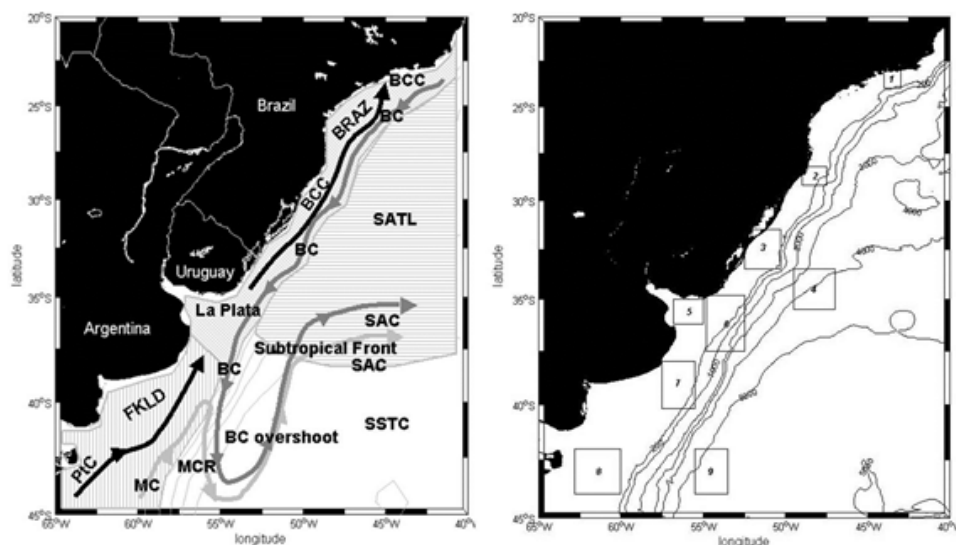


Figura 1 – Área de estudo. O painel à esquerda apresenta as correntes costeiras e oceânicas, em preto e cinza respectivamente, e as províncias biofísicas e regiões oceanográficas definidas por Longhurst (2007) e Saraceno et al. (2005). BBC: Corrente Costeira do Brasil; BC: Corrente do Brasil; MC: Corrente das Malvinas; PtC: Corrente da Patagônia; SAC: Corrente Sul Atlântica. A Frente Subtropical é formada depois da retroflexão da CB (“BC overshoot”) próxima a 45° S, 55° W. A retroflexão da CM é representada na figura como MCR. As províncias biofísicas são denominadas como BRAZ (Província Costeira da Corrente do Brasil), FKLD (Província das Plataformas Atlânticas Sudoestes), SATL (Província do Giro do Atlântico Sul) e SSTC (Província da Convergência Subtropical Sul). As linhas cinza claras representam a batimetria de 1000 a 5000 m. Fonte: Adaptado de Longhurst (2007) e Saraceno et al. (2005). O painel à direita mostra a localização das nove áreas desse estudo. O tamanho das caixas representa a dimensão de cada área. As linhas pretas representam a batimetria de 200 a 5000 m.

Tabela 1 - Áreas de estudo de norte para sul incluindo seus limites meridionais e zonais.

Área	Nome	Latitudes	Longitudes
1	Costa do Rio de Janeiro (RJ)	23° S - 24° S	43° W - 44° W
2	Costa de Santa Marta (SM)	28° 12' S - 29° 12' S	47° 30' W - 49° W
3	Costa do Rio Grande do Sul (RS)	31° 30' S - 33° 30' S	50° 18' W - 52° 30' W
4	Corrente do Brasil (CB)	33° 30' S - 35° 30' S	47° W - 49° 30' W
5	Rio da Prata (LP)	35° S - 36° 12' S	55° W - 56° 48' W
6	Confluência Brasil-Malvinas (CBM)	34° 48' S - 37° 30' S	52° 30' W - 54° 48' W
7	Corrente da Patagônia 1 (CP1)	38° S - 40° 12' S	55° 30' W - 57° 30' W
8	Corrente da Patagônia 2 (CP2)	42° S - 44° S	60° W - 62° 48' W
9	Retroflexão da CB (RCB)	42° S - 44° S	53° 30' W - 55° 30' W

Radiometer) a bordo dos satélites da série NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Os dados são referentes à versão mais atual (versão 5) do banco de dados global desenvolvido pelo National Oceanographic Data Center (NODC) e pela University of Miami’s Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science (RSMAS) e distribuído em parceria com o Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PODAAC). Este banco faz parte do projeto Pathfinder, o qual representa um reprocessamento das séries de dados do AVHRR usando algoritmos mais consistentes para a determinação da TSM. Esta base possui dados desde 1985 até 2009, totalizando 25 anos com resolução espacial de 4 km.

O algoritmo empregado no reprocessamento dos dados AVHRR é o Non Linear Sea Surface Temperature (NLSST).

O NLSST utiliza as temperaturas de brilho dos canais 4 e 5 do AVHRR, em três diferentes regimes de vapor da água (Walton, 1988), gerando estimativas coerentes e comparáveis com os dados de TSM coletados in situ (Souza et al., 2009). Para este trabalho foram utilizadas imagens de médias mensais para o período compreendido entre janeiro de 1985 e dezembro de 2006 (22 anos, 264 imagens), referentes à passagem diurna dos satélites. Na região desse estudo, a passagem diurna dos satélites ocorre aproximadamente no início da manhã, período em que geralmente espera-se menos vento e vapor d’água na atmosfera da região de estudo.

Em particular para o trabalho realizado aqui, foram utilizados os dados de TSM denominados Optimum Interpolation Sea Surface Temperature Version 2 - first guess SST field. Para

o melhor emprego desses dados, o algoritmo do Pathfinder utiliza também o conjunto de dados de TSM interpolados de Reynolds (Reynolds Optimally Interpolated SST). A vantagem é que, desta forma, as imagens não apresentam pixels espúrios, na maioria das vezes resultantes da contaminação por nuvens entre outras fontes de erro. As imagens foram obtidas a partir do portal do projeto NOAA Pathfinder em: <<http://www.nodc.noaa.gov/SatelliteData/pathfinder4km/available.html>>.

2.2.2 Índice MEI

Para relacionar as variabilidades encontradas nas séries temporais de TSM com aquelas típicas de eventos ENOS, foi utilizada a série de um índice representativo do fenômeno ENOS conhecido como o Índice Multivariado do ENOS (Multivariate ENSO Index - MEI). O MEI (Wolter e Timlin, 1998) é um índice produzido com base em seis variáveis observadas sobre a região do Pacífico Tropical: TSM, pressão ao nível do mar, componente zonal e meridional do vento na superfície do mar, temperatura do ar na superfície e cobertura de nuvens. As variáveis são combinadas por meio da análise de Funções Ortogonais Empíricas. A série foi escolhida aqui pela sua vantagem em representar o ENOS de acordo com um amplo espectro de variáveis oceanográficas e meteorológicas associadas ao fenômeno, e não apenas em relação a diferenças de TSM ou pressão ao nível do mar como a maior parte dos índices ENOS disponíveis (Wolter e Timlin, 1998). A série MEI está disponível mensalmente para o período de 1950 até o presente, e cada valor corresponde a valores bi-mensais ao longo do ano (janeiro/fevereiro, fevereiro/março e assim por diante). Os valores positivos do MEI estão associados ao fenômeno El Niño, ao passo que os negativos estão associados ao fenômeno La Niña (Figura 2).

2.3 Métodos

Médias espaciais de TSM foram extraídas para cada área desse estudo nos meses entre janeiro de 1985 e dezembro de 2006, a partir das imagens originais (de médias mensais) de TSM do Pathfinder. Com esse procedimento foram compostas 9 séries de tempo de 22 anos (de médias mensais) de TSM para o período do estudo, totalizando 264 valores de TSM para cada área. Após a extração da série temporal de TSM, médias históricas mensais foram calculadas, sendo essas doravante chamadas de médias climatológicas. Em seguida, calcularam-se as anomalias de TSM a partir da diferença entre o valor mensal e a média climatológica do mês correspondente.

Para que as diferentes áreas e variáveis pudessem ser comparadas, as anomalias foram normalizadas dividindo-se a anomalia anteriormente calculada pelo desvio-padrão

mensal de cada série, conforme sugerido por Wilks (2006). Como resultado, as unidades destes dados finais, doravante denominados aqui simplesmente de “anomalias de TSM” (ATSM), são adimensionais. Eventuais tendências lineares foram removidas, sendo também as séries de ATSM de cada área posteriormente filtradas com um filtro de média móvel de 2 pontos. O procedimento visou à remoção de variações bruscas (de alta frequência) nas séries e uma futura correspondência com os valores bi-mensais do índice MEI. Por fim, as séries foram plotadas junto ao índice MEI possibilitando, assim, comparações diretas entre todas as séries.

Para analisar as principais periodicidades presentes nas séries de ATSM foi realizada a Transformada Rápida de Fourier (TRF). Especificamente utilizou-se o algoritmo da TRF de Cooley-Tukey, o qual divide recursivamente uma Transformada Discreta Fourier (TDF) de tamanho P , em que P é o número de pontos da série, em outras TDF de tamanhos menores P_1 e P_2 . A grande vantagem é a redução do custo computacional (Morettin, 1999). Muitas vezes, o espectro de potência resultante apresenta um sinal muito forte nas altas frequências. Para evitar esse problema empregou-se a janela Hamming de comprimento variável para a suavização dos espectros. A escolha da janela com o comprimento variável permite ter tamanhos menores para baixas frequências e um aumento progressivo do tamanho da janela para frequências mais altas.

Para um melhor desempenho do método, empregou-se uma segunda filtragem usando o filtro Hanning. Quando se submetem séries finitas à análise de TRF, o sinal não possui um número inteiro de ciclos no interior da janela a ser submetida para análise. Neste caso, pode ocorrer um erro denominado de “fuga” (ou leakage, em inglês), de modo que podem surgir frequências virtuais em torno das frequências dominantes do sinal. Os espectros foram gerados ao nível de 95% de confiança. Uma descrição detalhada da TRF pode ser encontrada em Morettin (1999). Em grande parte das variáveis e das áreas desse estudo, detectaram-se picos com períodos de aproximadamente um ano, indicando que o cálculo das anomalias pode ser insuficiente na remoção total dos sinais relacionados ao ciclo anual, conforme descrito em Wang et al. (2009). Entretanto, como o interesse do presente estudo está na variabilidade interanual, apenas as periodicidades acima de 18 meses são apresentadas.

A correlação das séries de ATSM nas áreas foi também analisada através do método de correlação cruzada. O procedimento utilizado aqui para comparar diferentes áreas, por convenção, fez com que as séries de tempo de áreas com numeração menor fossem fixadas, ao passo que as demais fossem deslocadas no tempo (lag): por exemplo, fixamos a série da área 1 e deslocamos no tempo a série da área 3. Um valor de lag negativo indica que o sinal observado na série deslocada no tempo, ocorreu n meses após ter ocorrido na série fixada. O

oposto também é válido: um valor de lag positivo indica que o sinal observado na série deslocada no tempo, ocorreu n meses antes de ter ocorrido na série fixada. A defasagem temporal analisada entre as áreas de estudo foi de até 24 meses.

Posteriormente, as séries de tempo de ATSM de cada uma das 9 áreas de estudo foram correlacionadas com a série do índice MEI. Durante o período desse estudo, cinco episódios fortes do ENOS foram registrados no Oceano Pacífico Equatorial. Os episódios foram determinados pelo índice Ocean Niño Index, que é o índice padrão utilizado pela NOAA para determinar o ENOS e suas escalas temporais. Desses eventos, três representam episódios de El Niño: entre agosto de 1986 e fevereiro de 1988 (ago/86-fev/88), entre maio de 1991 e julho de 1992 (mai/91-jul/92) e entre maio de 1997 e abril de 1998 (mai/97-abr/98). Dois episódios representam a La Niña: entre maio de 1988 e maio de 1989 (mai/88-mai/89), e entre junho de 1998 e julho de 2000 (jun/98-jul/00). As correlações foram realizadas entre as séries inteiras de ATSM em cada região e a série inteira de MEI, bem como, tratando as séries em intervalos separados no entorno dos períodos de ENOS acima citados.

Para estudar a correlação entre as séries de ATSM e o índice MEI sobre os eventos ENOS escolhidos aqui, foram incluídos 12 meses de dados antes do início dos eventos e 12 meses após o término dos eventos. O índice MEI foi fixado e as séries temporais defasadas em até 18 meses. Essa defasagem temporal máxima foi escolhida com base nos resultados prévios obtidos por Campos et al. (1999) e Lentini et al. (2001). Para os propósitos desse estudo, apenas valores de lag negativos foram analisados. Esses lags indicam que um determinado sinal de ATSM, observado nas diferentes áreas do ATS, ocorreu n meses após um pico máximo (mínimo) do índice MEI, que representa um episódio forte de El Niño (La Niña). As análises

de correlação cruzada, apresentadas aqui, seriam significativas ao nível de 95% de confiança, se os membros das séries fossem independentes. Como não são, devido à suavização das séries por um filtro móvel de dois pontos, a significância estatística real é menor do que a calculada. Também é importante salientar, que um coeficiente de correlação cruzada significativo não implica necessariamente na influência de um fenômeno sobre o outro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As séries de tempo de ATSM são apresentadas na Figura 3. As séries refletem a alta variabilidade espacial e temporal da TSM no ATS, em conformidade com o apresentado por Souza et al. (2007) em suas análises de Componentes Principais da ATSM no ATS. Em termos gerais, os maiores valores de anomalia positiva são observados em julho de 1998 (Tabela 2). As anomalias positivas mostram-se especialmente altas do verão de 1985 ao verão de 1988, para as áreas 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Um segundo período de anomalias positivas foi também observado nas áreas 1, 2, 3 e 4 (localizadas sobre o domínio subtropical) desde o verão de 2001 até o verão de 2003. Para as demais áreas, esse período de anomalias positivas ocorreu entre o verão de 2004 e o inverno de 2005. Em relação às anomalias negativas, destaca-se o período compreendido entre o verão de 1988 e o verão de 1989, quando foram registrados os maiores valores de anomalia negativa das áreas 4 e 6, e o período entre o verão de 2002 e 2004, especialmente nas áreas 5 a 9.

Como ilustração da variabilidade espacial da ATSM, a Figura 4 apresenta uma porção do ATS nos meses em que ocorreram os valores mais extremos de anomalia negativa (-2,8 em fevereiro de 1988) e positiva (3,6 em julho de 1998). No mês de fevereiro de 1988, as áreas sobre a região de domínio

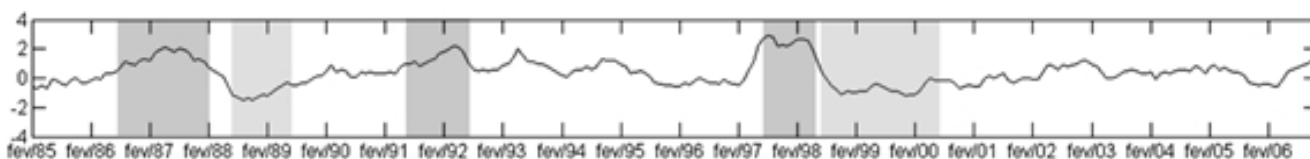


Figura 2 - Série de tempo do índice MEI para o período entre fevereiro de 1985 e dezembro de 2006. Os eventos ENOS analisados neste estudo são ilustrados sobrepostos à série de tempo na forma de faixas em azul (La Niña) e em rosa (El Niño).

Tabela 2 - Valores mínimos e máximos da anomalia normalizada da TSM (ATSM), sem unidade, entre 1985 e 2006 e o período de sua ocorrência nas diferentes áreas para o Oceano Atlântico Sudoeste.

Áreas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mínimo	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,8	-2,8	-2,3	-2,6	-2,2
Período	fev/97	dez/92	ago/00	jun/88	dez/93	fev/88	mai/87	out/92	mai/85
Máximo	2,2	2,6	2,7	2,5	2,8	2,7	2,7	3,6	2,5
Período	mai/02	fev/01	mar/01	out/02	abr/04	abr/04	jul/98	jul/98	dez/01

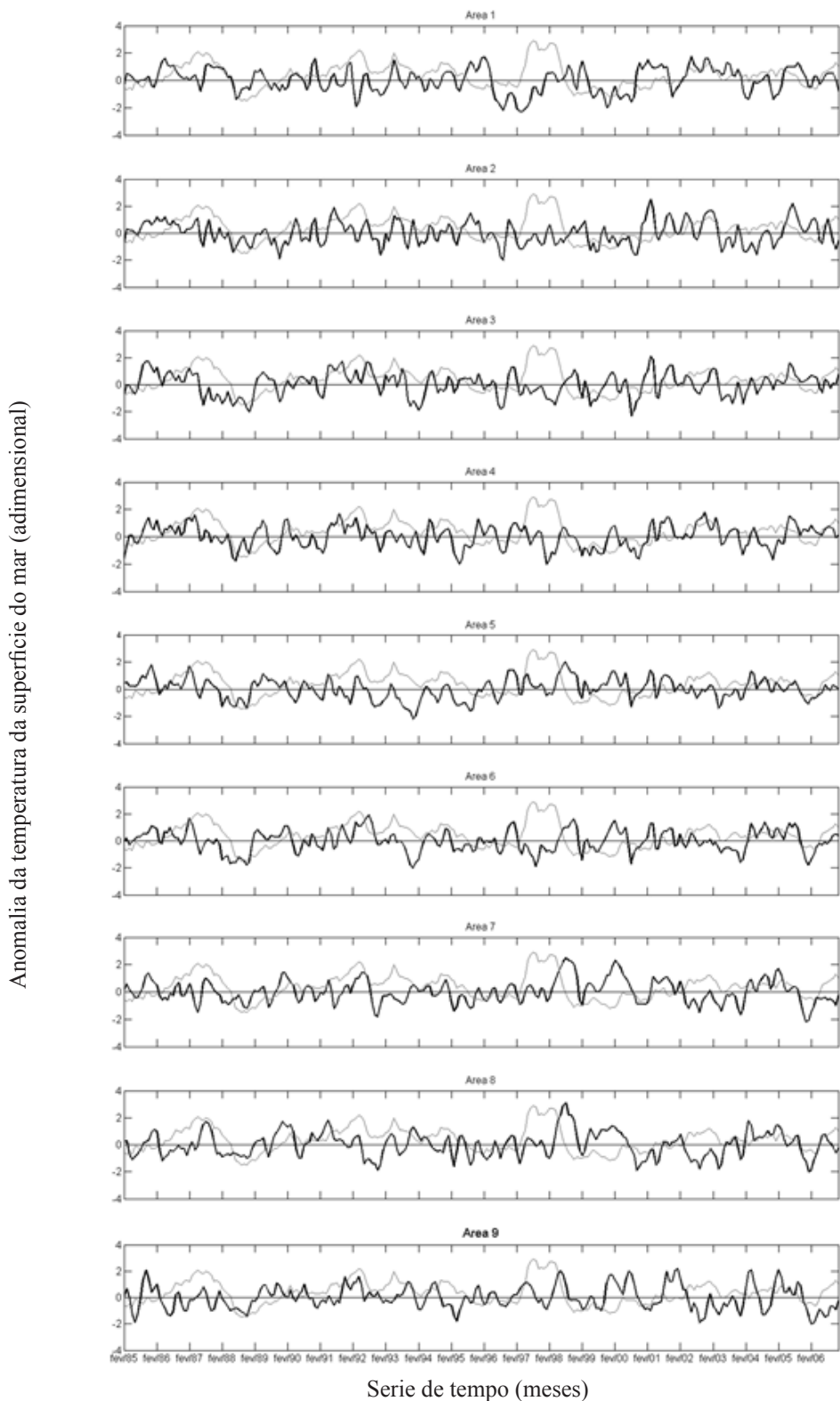


Figura 3 - Séries de tempo de ATSM (adimensional) para o período entre fevereiro de 1985 e dezembro de 2006. Ver Figura 1 e Tabela 1 para referência da localização e dos nomes das áreas. A linha mais clara representa a série de tempo do índice MEI.

intermediário, em geral apresentaram valores elevados e negativos de ATSM, ao passo que as áreas mais ao norte e em oceano aberto apresentaram baixas anomalias. Como exemplo de ATSM máxima e positiva, a Figura 4 mostra o mapa para o mês de julho de 1998. Durante esse mês, de forte episódio de La Niña, o campo de ATSM no ATS apresentou-se mais intenso sobre as áreas do domínio subantártico.

A análise de TRF mostrou que em grande parte das áreas de estudo estiveram presentes picos de energia com períodos de aproximadamente um ano. Esses picos estão associados ao forte sinal anual dominante na variabilidade do ATS (Olson et al., 1988; Podestá et al., 1991; Saraceno et al., 2005; Castro et al., 2006; Souza et al., 2007). Em relação ao ciclo interanual, a análise revelou períodos entre 1,6 e 3,7 anos aproximadamente (Tabela 3). Esses períodos são coincidentes com aqueles descritos por Lentini et al. (2001) e Souza et al. (2007), por exemplo.

Castro et al. (2006), no entanto, descrevendo os padrões de variabilidade presentes em campos de TSM médios mensais no ATS através de análise de Funções Ortogonais Empíricas (EOFs), indicaram que a primeira EOF (38% da variância total da série) apresentou variabilidade interanual típica em ciclos de 6 anos e 2,4 anos. O mesmo ciclo de 2,4 anos esteve presente na segunda EOF (9% da variância).

As correlações obtidas entre as 9 áreas desse estudo mostram que, como esperado, áreas adjacentes apresentam um maior coeficiente de correlação, normalmente sem defasagem de tempo (Tabelas 4 e 5) quando comparadas duas a duas entre si. A correlação diminui com o aumento da distância entre as áreas. Entre as áreas 1 a 6, as correlações são positivas e em geral revelam uma ausência de defasagem temporal. Exceção a isso é notada entre a área 1 (Rio de Janeiro) e as áreas 5 e 6, onde a defasagem no tempo foi positiva e de 14 meses. Isso indica que o sinal de ATSM nas duas áreas de domínio intermediário, durante o período desse estudo, antecedeu em 14 meses a ATSM na área 1 (domínio subtropical).

Conforme sugerido por Souza e Robinson (2004) e Campos et al. (2008), a comunicação possível entre os processos físicos que ocorrem nas imediações do Rio da Prata e na região 1, acontece de sul para norte através da advecção de uma corrente costeira nos meses de inverno. As primeiras observações sobre esse fenômeno estão descritas em Campos et al. (1996 a, b). Por meio de dados de satélites e de derivadores de superfície, Souza e Robinson (2004) descrevem que a velocidade média dessa corrente costeira seria da ordem de 11 cm/s. Imaginando uma distância próxima a 1.500 km entre as áreas 5 e 1 e considerando a corrente média esperada, no entanto, espera-se

Tabela 3 - Períodos (anos) dos maiores picos de energia da série de ATSM.

Período	NORTE → SUL								
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9
	2,7	3,7	*	*	*	2,0	1,6	1,7	2,0

* principal pico de energia relacionado ao ciclo anual.

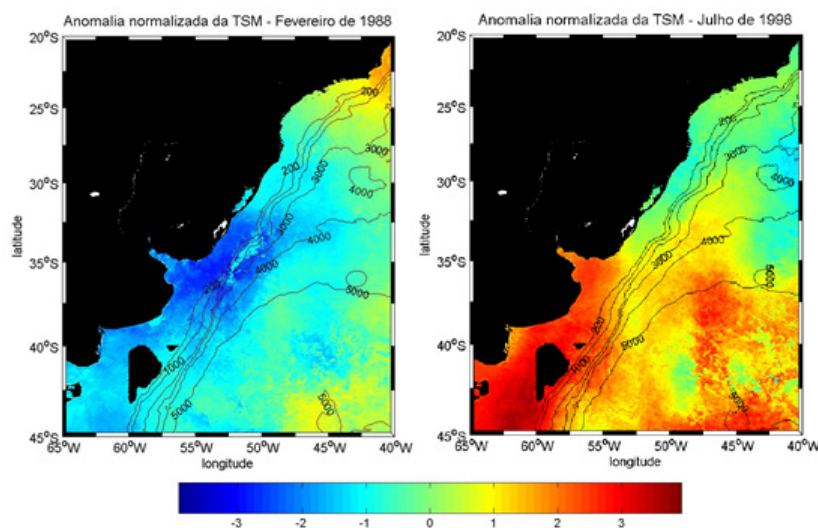


Figura 4 - Mapas de ATSM (adimensional) para os meses de fevereiro de 1988 e julho de 1998 no Oceano Atlântico Sudoeste. Em preto, centradas ao sul de 40° S e a oeste de 55° W estão duas regiões onde há falta de dados do banco Pathfinder utilizado aqui. Essas regiões são conhecidas como falsas ilhas. As imagens mostram que no mês de fevereiro de 1988 as anomalias de TSM foram, em geral, elevadas e negativas. O contrário ocorreu no mês de julho de 1998, especialmente nas latitudes abaixo de 35° S.

que a advecção de anomalias do sul para norte entre essas áreas, se ocorresse exclusivamente por meio do transporte via corrente, levasse apenas um tempo próximo a 5 ou 6 meses. Esse tempo é compatível com a escala sazonal da corrente, porém bem menor do que a defasagem de tempo de 14 meses obtida por meio da correlação cruzada realizada nesse trabalho.

Lentini et al. (2001), analisando a propagação de sinais anômalos de TSM sobre a plataforma continental sul-americana, descreveram escalas de velocidades entre 14 cm/s e 18 cm/s para anomalias quentes e frias, respectivamente, sendo advectadas para o norte. Os autores, porém, não descreveram os processos físicos que seriam responsáveis por tal advecção. De qualquer forma, as maiores velocidades, descritas por Lentini et al. (2001), sugerem que um tempo de aproximadamente 3 meses seria compatível com a escala temporal de um transporte para norte de uma anomalia de TSM, desde o estuário do rio da Prata até a costa do Rio de Janeiro.

A área 2 (Santa Marta) apresentou correlações geralmente positivas com as demais áreas ao sul, indicando que o seu sinal de ATSM sucede o das demais áreas em questão. O raciocínio para a interpretação desse fato é o mesmo apresentado para a defasagem de tempo entre a área 1 e as áreas 5 e 6.

O máximo coeficiente de correlação entre todas as áreas desse estudo foi de 0,74, obtido entre as áreas 7 e 8, sem defasagem de tempo. Isso leva a crer que o método de correlação cruzada utilizado aqui é eficiente para corroborar o fato de que as áreas 7 e 8 encontram-se sob o mesmo regime de variabilidade imposto pela presença da Corrente da Patagônia sobre a plataforma continental argentina. O mesmo se aplica à correlação de 0,72 entre as áreas 5 e 6 (também sem defasagem de tempo) sobre áreas de influência do estuário do Rio da Prata no domínio intermediário do ATS.

Observa-se também que os resultados dos coeficientes de correlação e lags separam as áreas de acordo com os domínios pré-estabelecidos nesse trabalho. As áreas compreendidas em cada um dos domínios separadamente apresentam em geral lags nulos, indicando sincronismo de eventos anômalos em seu sinal de TSM. As defasagens de tempo de cerca de um ano a 14 meses indicada entre as áreas de domínio subtropical (ao

norte) e subantártico (ao sul) é consistente com o resultados indicados por Lentini et al. (2001). Seguindo os autores, ainda espera-se uma propagação mais rápida dos sinais no sentido de sul para norte, que é aqui indicada pelos lags positivos. Os lags negativos, apesar de indicarem propagações costeiras de norte para sul que, segundo Lentini et al. (2001) são mais lentas do que as propagações em sentido oposto, parecem indicar aqui apenas um resultado interpretável sob o ponto de vista estatístico, sem significado físico mensurável no momento.

Conforme descrito anteriormente, o índice de monitoramento do ENOS utilizado pela NOAA foi usado aqui para identificar episódios de El Niño e La Niña no decorrer do período desse estudo. Três eventos de El Niño (ago/86-fev/88, mai/91-jul/92, maio/97-abr/98) e dois eventos de La Niña (mai/88-mai/89, jun/98-jul/00) foram identificados. Valores elevados de ATSM no Oceano ATS foram observados antes, durante e após os cinco eventos ENOS em questão aqui (ver Figura 3). Por exemplo, ATSMs positivas antecederam o El Niño de 1987-1988. Essas ATSMs positivas são também observadas após o El Niño de 1997-1998, tendo maior intensidade nas áreas sobre os domínios intermediário e subantártico. Para que se estabelecessem as correlações e a defasagem temporal entre as séries temporais de ATSM e os episódios ENOS medidos pelo índice MEI, utilizou-se o procedimento da correlação cruzada com resultados descritos na Tabela 6.

De um modo geral, há uma alta correlação entre os episódios de El Niño e La Niña e as ATSMs nas nove áreas estudadas do ATS, embora não se possam associar diretamente os episódios de El Niño (La Niña) a ATSMs positivas (negativas). Tal fato pode estar associado à influência de outros modos de variabilidade climática, não estudados nesse trabalho. Por exemplo, Haarsma et al. (2005) descrevem que uma parcela da variabilidade de TSM observada no ATS é causada pela advecção de seus intensos gradientes por fortes correntes de contorno oeste como a CB. Entretanto o exato mecanismo físico que controla essa advecção é ainda desconhecido.

Sabe-se também que o clima do ATS não é exclusivamente dependente das oscilações climáticas verificadas no Oceano Pacífico Equatorial ou do efeito global do ENOS. Seu clima é

Tabela 4 - Maior coeficiente de correlação cruzada entre as séries de ATSM das áreas de estudo.

	NORTE →								SUL
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9
Área 1									
Área 2	0,56								
Área 3	0,17	0,68							
Área 4	0,24	0,49	0,61						
Área 5	0,24	0,20	0,47	0,36					
Área 6	0,26	0,27	0,68	0,46	0,72				
Área 7	-0,21	0,26	-0,22	-0,27	0,62	0,58			
Área 8	-0,25	-0,28	0,22	-0,22	0,47	0,36	0,74		
Área 9	-0,31	0,29	0,22	-0,29	0,29	0,31	0,51	0,43	

Tabela 5 - Defasagem de tempo (lag, em meses) referente ao maior coeficiente de correlação cruzada entre as séries de ATSM das áreas de estudo.

	NORTE								SUL
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9
Área 1									
Área 2	0								
Área 3	0	0							
Área 4	0	0	0						
Área 5	14	1	0	0					
Área 6	14	0	0	0	0				
Área 7	-1	12	-13	-8	0	0			
Área 8	-1	-2	18	-3	0	0	0		
Área 9	-1	14	14	-10	0	-1	0	0	

Tabela 6 - Maiores coeficientes de correlação entre o índice MEI e as séries de ATSM nas 9 áreas desse estudo, com respectivas defasagens de tempo (lag, em meses).

Lag	Negativo	<i>El Niño</i>	<i>La Niña</i>	<i>El Niño</i>	<i>El Niño</i>	<i>La Niña</i>	Série completa
		ago/86- fev/88	mai/88- mai/89	mai/91- jul/92	mai/97- abr/98	jun/98- jul/00	
Norte ↓ Sul	Área 1	0,49	0,55	*	0,53	0,38	0,20
	lag	0	-2	*	-9	-7	-7, -8, -9
	Área 2	-0,45	0,39	-0,48	*	*	*
	lag	-14	0	-9	*	*	*
	Área 3	-0,49	-0,63	0,38	-0,42	-0,33	-0,15
	lag	-10, -13	-9	-3	0	0	-10
	Área 4	-0,52	0,36	0,49	*	*	-0,19
	lag	-14	0	0	*	*	-17, -18
	Área 5	-0,47	-0,75	-0,36	*	0,37	-0,25
	lag	-13	-9	-7	*	-10	-9
	Área 6	-0,52	-0,78	0,63	-0,56	-0,50	-0,17
	lag	-10, -13	-9	-3	0	0	-10, -16, -17
	Área 7	*	-0,49	0,44	0,49	0,31	-0,16
	lag	*	-14, -15, -16	-1	-8	-9	-16, -17
	Área 8	0,42	-0,60	-0,76	0,47	0,45	*
	lag	0	-14	-6	-11	-11	*
	Área 9	*	-0,74	0,40	*	*	-0,16
	lag	*	-10	-4	*	*	-14, -15, -16, -17, -18

*valores não-significativos ao nível de 95%.

marcado por uma forte sazonalidade relacionada ao ciclo anual (Wainer e Taschetto, 2006; Castro et al., 2006; Pezzi e Souza, 2009). Uma grande parcela da sazonalidade da CB é regida pela Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que é um sistema permanente de altas pressões atmosféricas com posição média anual próxima a 30° S e 25° W. Por outro lado, a ASAS oscila meridionalmente em função da época do ano seguindo a marcha anual da radiação solar (Pezzi e Souza, 2009). Nos meses de verão (inverno) este sistema encontra-se mais ao sul (norte) e deslocado zonalmente mais para leste (oeste), menos (mais) intenso e com valor médio máximo de 1019 hPa. Nesta estação do ano, a CB e a CM estão nas latitudes mais altas (baixas). Talvez outra parte da explicação desta variabilidade esteja

relacionada a conexões climáticas com regiões de latitudes mais altas, ou latitudes polares, através da modulação do transporte da CM pelos ventos soprando no setor Atlântico da Corrente Circumpolar Antártica, o que, infelizmente, não pode ser comprovado aqui.

Outro ponto interessante que pode ser observado nas Figuras 5 a 9, foi que as áreas de estudo apresentaram comportamento similar, com exceção do *El Niño* de mai/91-jul/92, no entanto sem padrão de agrupamento claro em relação aos domínios subtropical, intermediário e subantártico. A máxima correlação obtida entre as séries de ATSM e o índice MEI deu-se durante o episódio de *La Niña* de mai/88-mai/89 (Tabela 6 e Figura 5). Neste período, a região da CBM (área

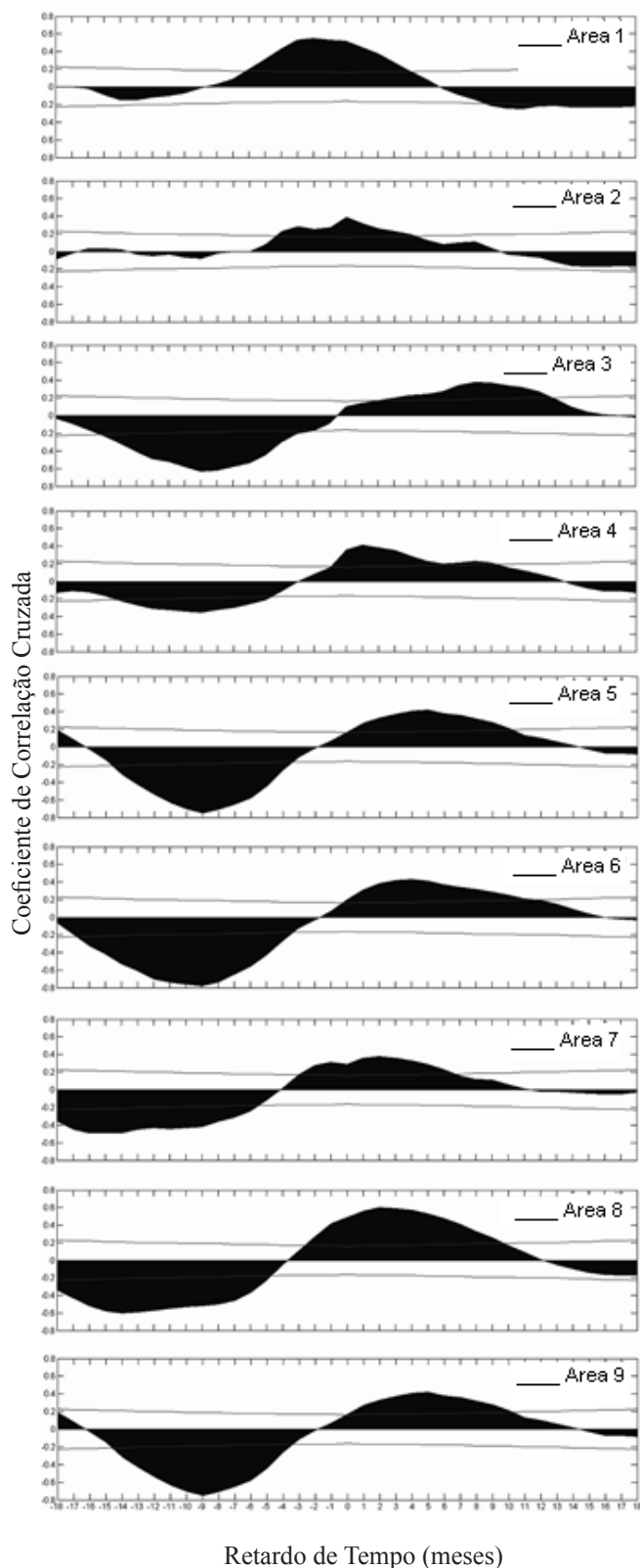


Figura 5 - Correlação cruzada entre o índice MEI e as séries de ATSM no período entre mai/88-mai/89 (La Niña).

6) apresentou a máxima correlação (-0,78) dentre todas as áreas e episódios ENOS investigados, com uma defasagem de tempo de 9 meses. Isto significa que 9 meses após a ocorrência de um máximo do evento de La Niña, com altas anomalias negativas de TSM no Oceano Pacífico Tropical, ocorreu um máximo de ATSMs positivas sobre a região da CBM no ATS.

Após o evento La Niña de mai/88-mai/89, as ATSMs das áreas mais ao norte do domínio subtropical (áreas 1 e 2) e da área 4, apresentaram correlações positivas com o MEI. Isso indica que as anomalias negativas de TSM típicas da La Niña foram seguidas nessas áreas com ATSMs também negativas. Nas demais áreas o comportamento foi similar ao já reportado para a CBM. Em relação ao La Niña de jun/98-jul/00, o ATS seguiu o evento apresentando ATSMs com máxima correlação (-0,50) na região da CBM (área 6) sem defasagem temporal. Nos meses seguintes esse comportamento se inverteu, e as ATSMs tornaram-se negativas e máximas na área 8 (correlação de 0,45) após 11 meses (Figura 6).

No evento de El Niño de ago/86-fev/88 a ATSM teve efeitos similares aos da La Niña de jun/98-jul/00. Após uma defasagem de tempo de 7 a 11 meses, as correlações são positivas. Após esse tempo, os coeficientes de correlação passam a ser negativos (Figura 7). Para o caso do El Niño de ago/86-fev/88, a máxima correlação foi encontrada nas áreas 4 e 6 (-0,52) após cerca de 10 a 14 meses de defasagem em relação ao evento no Pacífico Tropical (Tabela 6). Em relação ao El Niño de mai/91-jul/92, observa-se os mais altos coeficientes de correlação (0,63 e -0,76) quando analisadas as séries de ATSM das áreas 6 e 8, respectivamente (Figura 8). Novamente, a inversão dos sinais de máxima correlação é um forte indício de que o ENOS não produz efeitos diretos de correlação positiva com o El Niño (negativa, La Niña). O comportamento visto na Figura 8 mostra ATSMs positivas em seguida ao El Niño de mai/91-jul/92, mudando para negativas com o passar dos meses. Uma questão interessante observada foi que a mudança de ATSM positiva para negativa ocorreu antes nas áreas 8 e 9 do que nas demais áreas.

Já no El Niño de mai/97-abr/98 (Figura 9), o comportamento foi contrário ao observado no El Niño de mai/91-jul/92. Inicialmente as áreas apresentaram coeficientes negativos, indicando anomalias negativas de TSM, ao passo que após cerca de 8 meses as anomalias positivas já são máximas (0,53, área 1). Nota-se ainda correlações mais altas nas áreas sobre o domínio intermediário e subantártico.

Quando realizada a análise considerando as séries completas de ATSM, de jan/85 a dez/06, os valores de correlação foram mais baixos do que os anteriormente citados (Figura 10 e Tabela 6). Ao tratamos as séries inteiras, sinais de períodos distantes de eventos ENOS associado à outros modos de variabilidade climática são também analisados, influenciando o resultado.

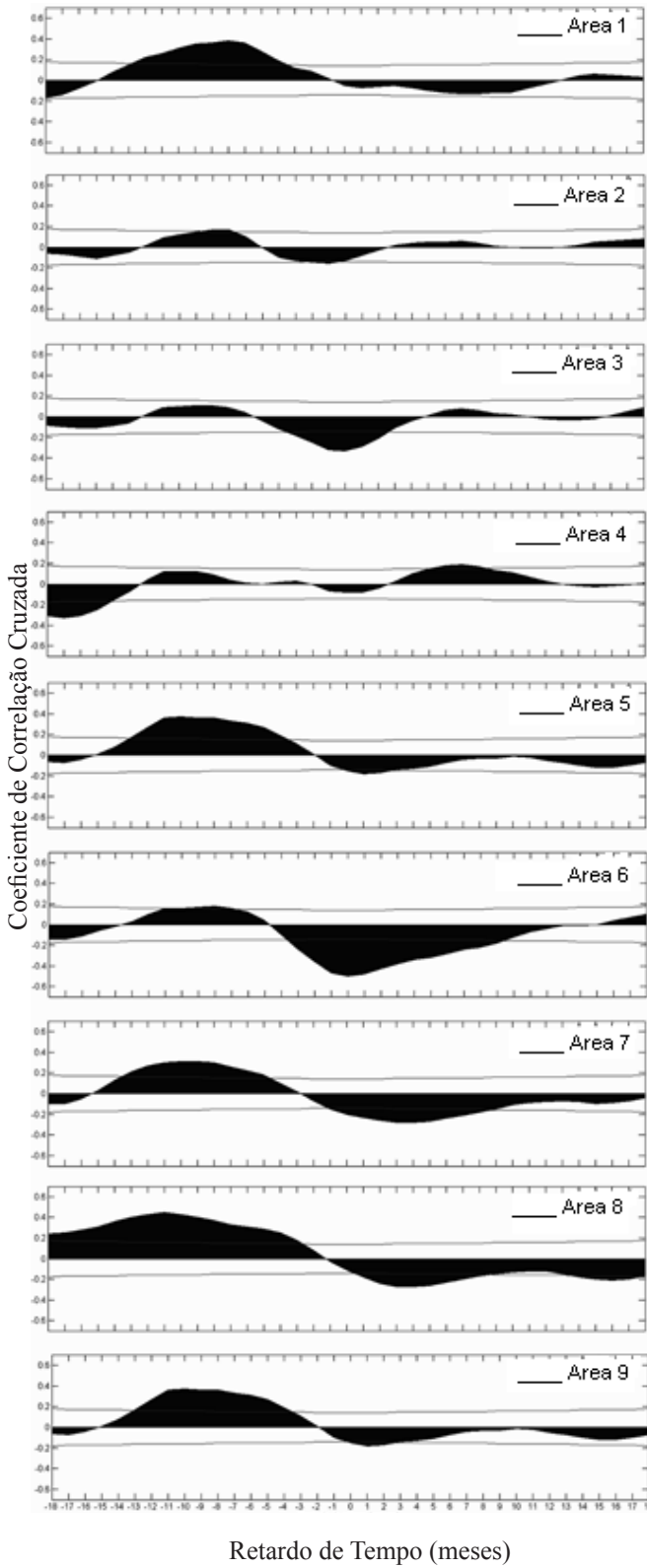


Figura 6 - Correlação cruzada entre o índice MEI e as séries de ATSM no período entre jun/98-jul/00 (La Niña).

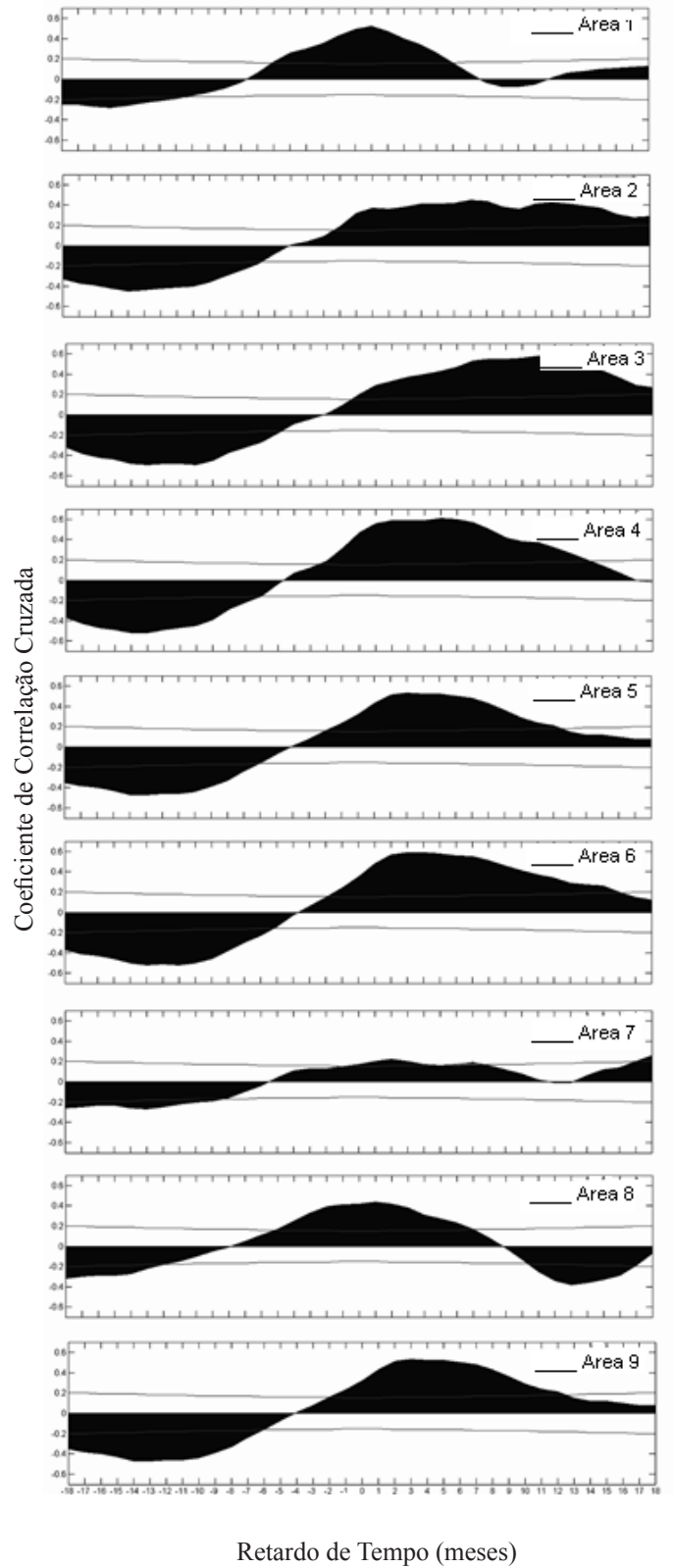


Figura 7 - Correlação cruzada entre o índice MEI e as séries de ATSM no período entre ago/86-fev/88 (El Niño).

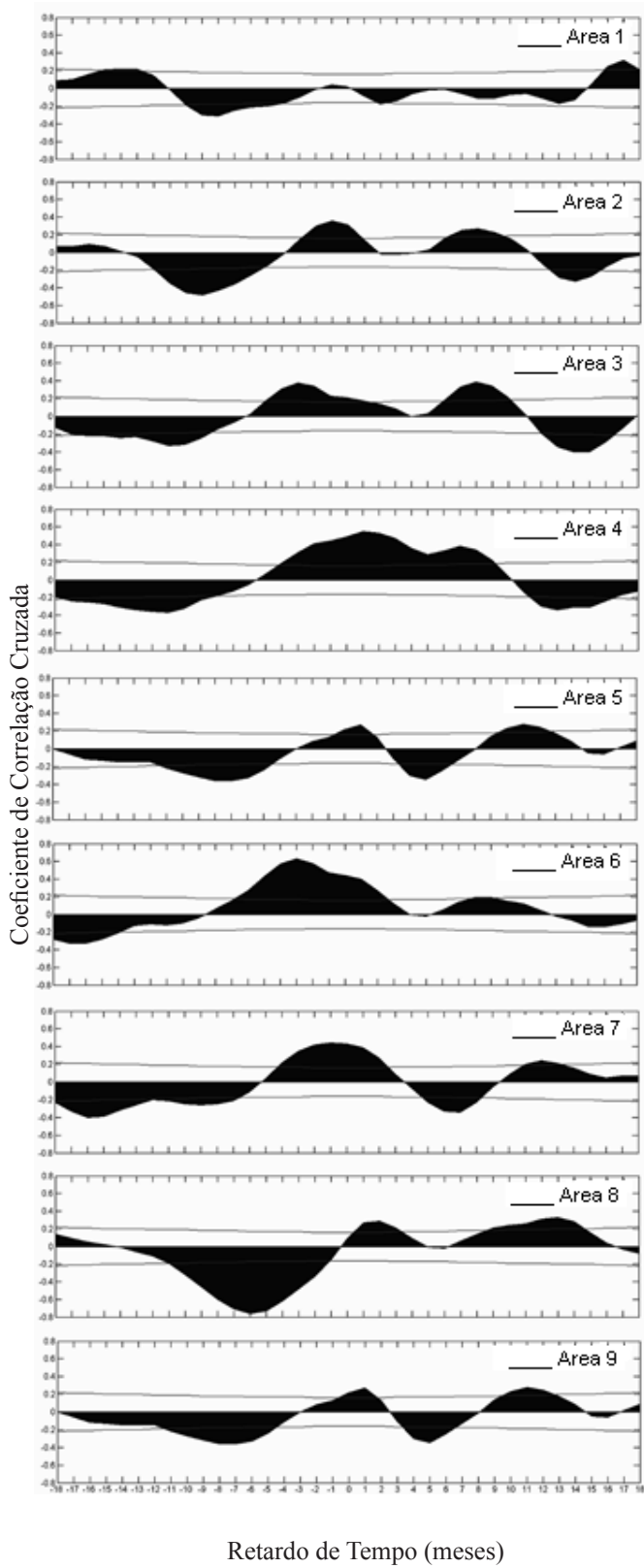


Figura 8 - Correlação cruzada entre o índice MEI e as séries de ATSM no período entre mai/91-jul/92 (El Niño).

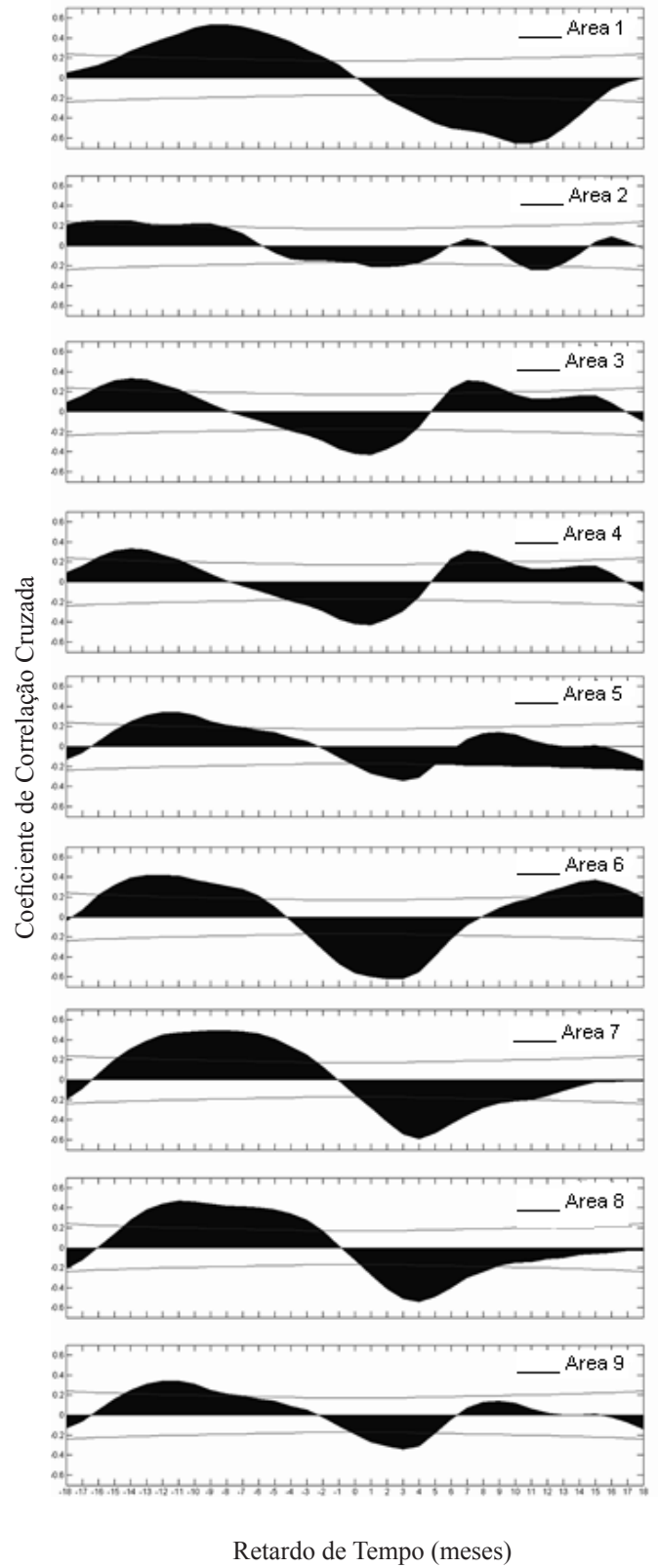


Figura 9 - Correlação cruzada entre o índice MEI e as séries de ATSM no período entre mai/97-abr/98 (El Niño).

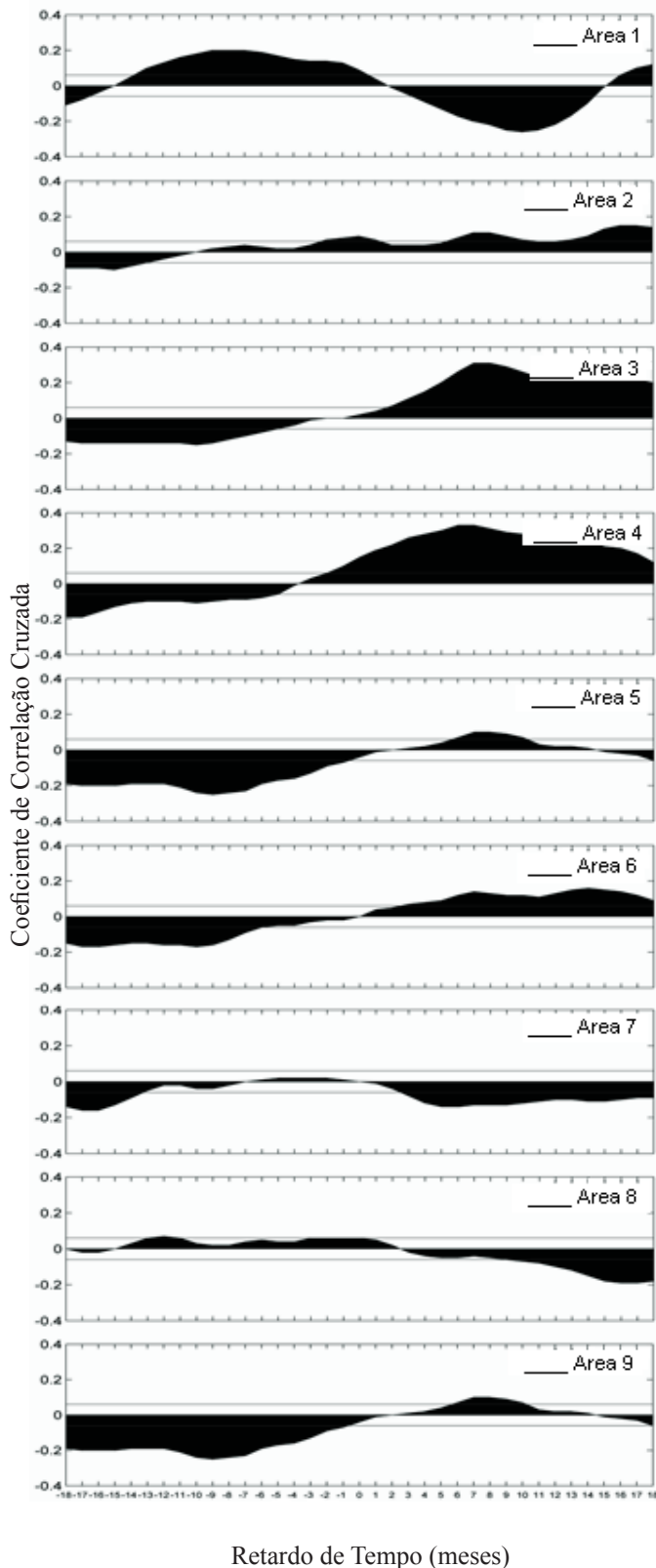


Figura 10 - Correlação cruzada entre o índice MEI e as séries completas de ATSM (jan/85-dez/06)

4. CONCLUSÕES

Para esse estudo, séries de tempo de 22 anos de imagens mensais de TSM obtidas a partir de satélites foram analisadas no Oceano Atlântico Sudoeste (ATS). As séries de tempo, que correspondem ao período entre os anos de 1985 e 2006 foram recortadas sobre nove áreas de interesse no ATS, que incluíram as diferentes províncias biofísicas e regiões costeiras no ATS. As séries foram analisadas com o principal objetivo de estudar a variabilidade dos campos de anomalia normalizada de TSM (ATSM) e estabelecer estatisticamente possíveis correlações entre anomalias de TSM presentes no ATS durante o período de estudo com a forçante remota ENOS. Através de análise de TRF, a variabilidade dos campos de ATSM no ATS foi também estudada aqui. Os principais picos de energia obtidos correspondem aos ciclos entre 1,6 e 3,7 anos em concordância com aqueles da escala interanual descritos por Lentini et al. (2001) e Souza et al. (2007).

Correlações cruzadas realizadas entre as séries de tempo de ATSM das 9 áreas de estudo, mostraram que essas agrupam-se em concordância com sua localização em domínios pré-estabelecidos no início desse trabalho: o domínio subtropical (áreas 1, 2, 3 e 4), o domínio intermediário (áreas 5 e 6) e o domínio subantártico (áreas 7, 8 e 9). As análises estatísticas apresentadas aqui mostraram que o fenômeno ENOS tem uma correlação, direta e defasada no tempo, com as ATSMs do ATS. As correlações são distintas para as diversas áreas de estudo. Notou-se uma tendência dos valores extremos de ATSM ocorrerem próximos ou durante anos de El Niño e La Niña, conforme observado por Grimm et al. (1998, 2000), quando analisando extremos de precipitação na região sul do Brasil e da América do Sul.

Analisando-se as diferentes áreas de estudo no ATS, as maiores correlações de ATSM com a série de tempo do índice MEI, que representa o fenômeno ENOS, foram obtidas sobre a região de máxima variabilidade desse oceano, que é a região da CBM (Chelton et al., 1990). Em relação aos três domínios desse estudo (subtropical, intermediário e subantártico), no entanto, o presente trabalho não obteve resultados que os diferenciem com respeito a uma maior ou menor correlação com o ENOS. Da mesma forma que o índice MEI é definido, considerando seis variáveis diferentes, provavelmente os efeitos do ENOS sentidos no ATS possam ser melhor expressos a partir da correlação com outra série de variáveis oceanográficas e meteorológicas, como a pressão ao nível do mar, vento na superfície do mar, temperatura do ar na superfície e cobertura de nuvens. Essas variáveis também poderiam ser combinadas por meio de EOFs para as áreas desse estudo num futuro próximo. Chaves e Nobre (2004) sugerem ainda uma resposta oceânica local no Oceano Atlântico Sul, não relativa ao ENOS, aos forçantes atmosféricos regionais. Os autores estudaram a interação oceano-atmosfera sobre o Oceano Atlântico Sul e a Zona de Convergência do Atlântico Sul

(ZCAS), por meio de modelos de circulação geral atmosférica e oceânica. Dentre os seus principais resultados, os autores demonstraram que uma diminuição da incidência de radiação de ondas curtas, associada à cobertura de nuvens causada pela intensificação da ZCAS sobre o oceano, poderia ser um dos fatores responsáveis para a diminuição da TSM sobre a região do ATS.

Os resultados referentes às correlações entre as séries de ATSM e o fenômeno ENOS são complementares aos trabalhos pioneiros de Campos et al. (1999) e Lentini et al. (2001). Com a metodologia de subdividir o ATS em 9 áreas separadas, o presente trabalho ofereceu a vantagem de discriminar os efeitos do ENOS sobre os diferentes regimes oceanográficos refletidos nas diferentes séries de ATSM usadas aqui. Campos et al. (1999), por exemplo, trabalharam com dados do ATS como um todo, enquanto Lentini et al. (2001) analisaram transectos paralelos à linha de costa, sobre a região da plataforma continental e talude. Diferentemente do método que usamos aqui, os trabalhos de Campos et al. (1999) e Lentini et al. (2001), quando estudando a correlação temporal entre a ATSM e o ENOS, consideraram todo o período como uma única série temporal.

Por fim, podemos concluir com base nos resultados mostrados neste trabalho, que há uma correlação entre a variabilidade dos campos de ATSM nas áreas estudadas e o fenômeno ENOS. Entretanto, essa correlação comporta-se de maneira instável, pois como apresentado, obteve-se tanto correlação positiva, quanto negativa em uma mesma área em diferentes eventos de El Niño. Essa correlação pode ocorrer a partir dos efeitos do ENOS sobre os campos de TSM transportados pela CB, pela CM ou ainda através da corrente costeira que se desloca ao longo da plataforma continental sul-americana nos meses de inverno. Cabe salientar, no entanto, que os efeitos do ENOS no ATS provavelmente são sentidos através de conexões atmosféricas. A provável conexão via modulação da descarga do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos é ainda discutível (Campos et al., 2008). Nas áreas onde não foram observadas correlações significativas ou picos de oscilações no entorno dos períodos dos eventos ENOS, há a possibilidade de predomínio de outros modos de variabilidade agindo predominantemente como forçantes locais ou remotas. Estudos como o desenvolvido aqui, em adição a esforços observacionais na região da CBM, como aqueles realizados por Souza et al. (2006) e Pezzi et al. (2005, 2009), são altamente relevantes para uma melhor compreensão da variabilidade climática do ATS e sua importância para o clima e tempo das regiões sul e sudeste do Brasil.

5. AGRADECIMENTOS

Essa é uma contribuição do INPE ao INCT Criosfera (CNPq 573720/2008-8). Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

e ao Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) pelo apoio financeiro aos projetos SOS-Climate (520189/2006-0) e Variabilidade climática oceânica e atmosférica no Atlântico Sudoeste (476971/2007-1). Os autores agradecem ainda aos revisores pelas críticas e sugestões, que permitiram o aprimoramento deste estudo. Os dados utilizados no trabalho foram fornecidos pelo programa NOAA Pathfinder e pelo NCEP/DOE.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, E. J. D.; IKEDA, Y.; CASTRO, B. M.; GAETA, S. A.; LORENZZETTI, J. A.; STEVENSON, M. R. Experiment studies circulation in the Western South Atlantic. *EOS Transactions Am. Geophys. Union*, v. 77, n. 27, p. 253-259, 1996a.
- CAMPOS, E. J. D.; LORENZZETTI, J. A.; STEVENSON, M. R.; STECH, J. L.; SOUZA, R. B. Penetration of waters from the Brazil-Malvinas Confluence region along the South American Continental Shelf up to 23° S. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 68, p. 49-58, 1996b.
- CAMPOS, E. J. D.; LENTINI, C. D.; MILLER, J. L.; PIOLA, A. R. Interannual variability of the sea surface temperature in the South Brazil Bight. *Geophys. Res. Lett.*, v. 26, p. 2061-2064, 1999.
- CAMPOS, E. J. D.; PIOLA, A. R.; MATANO, R. P.; MILLER, J. L. PLATA: A synoptic characterization of the southwest Atlantic shelf under influence of the Plata River and Patos Lagoon outflows. *Cont. Shelf Res.*, v. 28, p. 1551-1555, 2008.
- CASTRO, B. M.; LORENZZETTI, J. A.; SILVEIRA, I. C. A.; MIRANDA, L. B. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chui (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. B., MADUREIRA, L. S-P. (Eds.). *O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil*. 1. ed. São Paulo: EDUSP, 2006.
- CHAVES, R. R.; P. NOBRE. Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. *Geophys. Res. Lett.*, v. 31, L03204, 2004.
- CHELTON, D. B.; SCHLAX, M. G.; WITTER, D. L.; RICHMANN, J. G. GEOSAT altimeter observations of the surface circulation of the Southern Ocean. *J. Geophys. Res.*, v. 95, p. 877-903, 1990.
- DIAZ, A. F.; STUDZINSKI, C. A.; MECHOSO, C. R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *J. Climate*, v. 11, n. 2, p. 251-271, 1998.
- FU, L. L. The circulation and its variability of the South Atlantic

- Ocean: first results from the TOPEX/POSEIDON mission. In: WEFER, G., BERGER, W. H., SIEDLER, G., WEBB, D. J. (Eds.). *The South Atlantic: Present and past circulation*. 1. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1996.
- GARCIA, C. A. E.; GARCIA, V. M. T. Variability of chlorophyll-a from ocean color images in the La Plata Continental Shelf Region. *Cont. Shelf Res.*, v. 28, p. 1568-1578, 2008.
- GONI, G.; SCOTT, K.; GARZOLI, S.; OLSON, D. Dynamics of the Brazil-Malvinas Confluence based on inverted echo sounders and altimetry. *J. Geophys. Res.*, v. 101, p. 16273-16290, 1996.
- GORDON, A. L. Brazil - Malvinas Confluence - 1984. *Deep-Sea Res.*, v. 36, p. 359-384, 1989.
- GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate*, v. 11, n. 11, p. 2863-2880, 1998.
- GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate*, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000.
- GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and extreme rainfall events in South America. *J. Climate*, v. 22, n. 7, p. 1589-1609, 2009.
- HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIAÇÃO, Y. M. T.; BAEZ, J.; BARROS, V. R.; BERLATO, M. A.; BIDEgain, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, V. J.; GRIMM, A. M.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M. B.; MONCUNILL, D. F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; TREBEJO, I.; VINCENT, L. A. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. *J. Climate*, v. 19, n. 8, p. 1490-1512, 2006.
- HAARSMA, R. J.; CAMPOS, E. J.; HAZELEGER, W.; SEVERIJNS, C.; PIOLA, A. R.; MOLTENI, F. Dominant modes of variability in the South Atlantic: A study with a hierarchy of ocean-atmosphere models. *J. Climate*, v. 18, n. 11, p. 1719-1735, 2005.
- HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIAÇÃO, Y. M. T.; BAEZ, J.; BARROS, V. R.; BERLATO, M. A.; BIDEgain, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, V. J.; GRIMM, A. M.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M. B.; MONCUNILL, D. F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; TREBEJO, I.; VINCENT, L. A. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. *J. Climate*, v. 19, n. 8, p. 1490-1512, 2006.
- LEGECKIS, R.; GORDON, A. L. Satellite observations of the Brazil and Falkland currents - 1975 to 1976 and 1978. *Deep-Sea Res.*, v. 29, p. 375-401, 1982.
- LENTINI, C. A. D.; CAMPOS, E. J. D.; PODESTÁ, G. P. The annual cycle of satellite-derived sea surface temperature on the Western South Atlantic Shelf. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 48, p. 93-105, 2000.
- LENTINI, C. A. D.; PODESTÁ, G. P.; CAMPOS, E. J. D.; OLSON, D. B. Sea surface temperature anomalies on the Western South Atlantic from 1982 to 1994. *Cont. Shelf Res.*, v. 21, p. 89-112, 2001.
- LENTINI, C. A. D.; GONI, A. J.; OLSON, D. B. Investigation of Brazil Current rings in the confluence region. *J. Geophys. Res.*, v. 111, C06013, 2006.
- LENTINI, C. A. D.; SOUZA, R. B. Eddies e vórtices de mesoescala no Oceano ATS medidos através de satélites. In: SOUZA R. B. (Org.). *Oceanografia por Satélites*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- LONGHURST, A. R. *Ecological Geography of the Sea*. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2007. 542 p.
- MO, K. C. Relationships between low-frequency variability in the Southern Hemisphere and sea surface temperature anomalies. *J. Climate*, v. 13, n. 20, p. 3599-3610, 2000.
- MORETTIN, P. A. Ondas e ondaletas: da análise de Fourier à análise de ondaletas. 1. ed. São Paulo: EDUSP, 1999. 276 p.
- OLSON, D. B.; PODESTÁ, G. P.; EVANS, R. H.; BROWN, O. B. Temporal variations in the separation of Brazil and Malvinas currents. *Deep-Sea Res.*, v. 35, p. 1971-1990, 1988.
- PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. *Climate Dynamics*, v. 17, p. 205-212, 2001.
- PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; DOURADO, M. S.; GARCIA, C. A. E.; MATA, M. M.; SILVA-DIAS, M. A. F. Ocean-atmosphere in situ observations at the Brazil-Malvinas Confluence region. *Geophys. Res. Lett.*, v. 32, L22603, 2005.
- PEZZI, L.P.; SOUZA, R.B. Variabilidade de mesoescala e interação oceano-atmosfera no Atlântico Sudoeste. In: IRACEMA, F.A.C.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J.; ASSUNÇÃO, M.F.S.D. (Org.). *Tempo e Clima no Brasil*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; ACEVEDO, O.; WAINER, I.; MATA, M.; GARCIA, C. A. E.; CAMARGO, R.; Multi-year measurements of the Oceanic and Atmospheric Boundary Layers at the Brazil-Malvinas Confluence Region. *J. Geophys. Res.*, v. 114, D19103, 2009.
- PODESTÁ, G. P.; BROWN, O. B.; EVANS, R. H. The annual cycle of satellite-derived sea surface temperature in the southwestern Atlantic Ocean. *J. Climate*, v. 4, n. 4, p. 457-467, 1991.
- RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. *Theor. Appl. Climatol.*, v. 42, p. 81-90, 1990.

- REID, J. L.; NOWLIN, W. D.; PATZERT W. C. Characteristics and circulation of Southwestern Atlantic Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, v. 7, p. 62-91, 1977.
- ROPELEWSKI, C. H.; HALPERT, S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, v. 115, 1606-1626, 1987.
- ROPELEWSKI, C. H.; HALPERT, S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *J. Climate*, v. 2, n. 3, p. 268-284, 1989.
- SARACENO, M.; PROVOST, C.; PIOLA, A. R.; BAVA, J.; GAGLIARDIN, A. Brazil Malvinas Frontal System as seen from 9 years of advanced very high resolution radiometer data. *J. Geophys. Res.*, v. 109, C05027, 2004.
- SARACENO, M.; PROVOST, C.; PIOLA A. R. On the relationship between satellite-retrieved surface temperature fronts and chlorophyll a in the western South Atlantic. *J. Geophys. Res.*, v. 110, C11016, 2005.
- SARACENO, M.; PROVOST, C.; LEBBAH, M. Biophysical regions identification using an artificial neuronal network: A case study in the South Western Atlantic. *Adv. Space Res.*, v. 37, p. 793-805, 2006.
- SEVEREOV, D. N.; MORDECKI, E.; PSHENNIKOV, V. A. SST anomaly variability in Southwestern Atlantic and El Niño/Southern Oscillation. *Adv. Space Res.*, v. 3, p. 343-347, 2004.
- SOUZA, R. B.; ROBINSON, I. S. Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. *Cont. Shelf Res.*, v. 24, p. 241-262, 2004.
- SOUZA, R.B.; MATA, M. M.; GARCIA, C. A. E.; KAMPEL, M.; OLIVEIRA, E. N.; LORENZZETTI, J. A. Multi-sensor satellite and in situ measurements of a warm core ocean eddy south of the Brazil-Malvinas Confluence region. *Remote Sens. Environ.*, v. 100, p. 52-66, 2006.
- SOUZA, R. B.; CROMWELL, D.; LENTINI, C. A. D. Complex EOF and wavelet analysis of sea surface temperature anomaly images in the Southwestern Atlantic Ocean from 1985 to 2004. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIII, 2007, Florianópolis. Anais eletrônicos... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4727-4734. Disponível em: <http://mar.te.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.11.56/doc/4727-4734.pdf>. Acesso em: 8 set. 2008.
- SOUZA, R. B.; LORENZZETTI, J. A.; LUCCA, E. V. D. Estimativas da temperatura da superfície do mar através do sensoriamento remoto no infravermelho. In: SOUZA, R. B. (Org.). *Oceanografia por Satélites*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- WAINER, I.; TASCHETTO, A. S. Climatologia na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chui (RS). Diagnóstico para os períodos relativos aos levantamentos pesqueiros do Programa REVIZEE. In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. B., MADUREIRA, L. S-P. (Eds). *O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil*. 1. ed. São Paulo, EDUSP, 2006.
- WALTON, C. Nonlinear multichannel algorithms for estimating sea surface temperature with AVHRR satellite data. *J. Appl. Meteorol.*, v. 7, p. 115-198, 1988.
- WANG, C.; SONG, Z.; QIAO, F.; DONG, S. What signals are removed and retained by using an anomaly field in climatic research? *International Journal of Oceanography*, v. 2009, ID 329754, 2009.
- WILKS, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2nd ed. London: Academic Press, 2006. 627 p. (International Geophysics Series).
- WOLTER K.; TIMLIN M. S. Measuring the strength of ENSO - how does 1997/98 rank? *Weather*, v. 53, p. 315-324, 1998.