



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE OCEANOGRAFIA

Hélio Paulo de Matos Júnior

**Estudo das anomalias da temperatura da
superfície do mar ocasionadas pela Zona de
Convergência do Atlântico Sul ao largo da costa
sudeste do Brasil**

Orientador:
Prof. Dr. Clemente Augusto Souza Tanajura

Trabalho Final de Graduação

Salvador 2013

À Odelisa, Júlia e Neto.

O valor das coisas não está no tempo que elas duram, mas na intensidade com que acontecem. Por isso, existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis.

Fernando Pessoa

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1.	Motivação	11
1.2.	Zona de Convergência do Atlântico Sul	12
1.3.	Temperatura na superfície do mar e fluxos de calor no Atlântico sudoeste....	16
2.	METODOLOGIA.....	21
2.1.	Área de Estudo.....	21
2.2.	Dados.....	21
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
3.1.	Comparação entre o ROMS e o HYCOM-NCODA.....	24
3.2.	Variação da TSM durante episódios de ZCAS.....	27
3.3.	Variação da espessura da camada de mistura oceânica durante episódios de ZCAS.....	36
3.4.	Transporte de massa durante os períodos de ZCAS.....	40
4.	CONCLUSÃO	42
5.	REFERÊNCIAS	44

Agradecimentos

A toda a minha família pelo incentivo e apoio durante todo o curso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Clemente Augusto Souza Tanajura por ter me conduzido ao fascinante mundo da Oceanografia Física, pela paciência, sugestões e principalmente pela generosidade na orientação sem a qual este trabalho não seria possível.

A Prof.^a Janini Pereira pelo apoio fornecido sempre que solicitada.

A Júlia Matos, minha filha, Leonardo Lima e Alessandro Aguiar pela ajuda imprescindível na formatação e tratamento dos dados.

Aos membros da banca, por terem aceitado o convite. Antecipadamente agradeço sugestões que irão contribuir para tornar este trabalho mais consistente.

Ao Laboratório de Modelagem Oceanográfica do Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia (CPGG) da Universidade Federal da Bahia e à Rede de Modelagem e Observação Oceanográficas - REMO e à toda sua equipe pela ajuda em diversos momentos.

Resumo

Em várias regiões do sudeste do Brasil são observadas intensas precipitações, principalmente durante o verão o que compromete a rotina e segurança da população e a economia do país. As chuvas que ocorrem durante os meses mais quentes do ano no sudeste, estão geralmente associadas à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a qual influencia diretamente diversas atividades econômicas e o manejo dos recursos hídricos, em razão do controle que exerce sobre a distribuição espacial e temporal da precipitação no sudeste do Brasil e oceano adjacente. Este trabalho tem como objetivo estudar as anomalias na camada de mistura oceânica (CMO) causadas em curto-prazo, na escala de horas a dias, causadas pela presença da ZCAS. Essas anomalias são provenientes da troca de calor e momentum entre o oceano e atmosfera, São estudadas especificamente anomalias da espessura da CMO e da temperatura da superfície do mar (TSM) durante os episódios de ZCAS ao largo da costa do sudeste do Brasil.

Para tanto, foram utilizadas saídas do sistema de assimilação de dados americano formado modelo de circulação global HYCOM e o NCODA (HYCOM-NCODA) e simulações e previsões do modelo de circulação regional, ROMS realizadas no escopo da Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica (REMO).

A presença da ZCAS reduziu a TSM do oceano subjacente. Essa redução é explicada na literatura principalmente como um efeito pela diminuição da incidência da radiação de ondas curtas como consequência do aumento da cobertura de nuvens durante os períodos de ZCAS.

Entretanto, o entranhamento de águas frias na base CMO e redução da espessura da CMO pode também contribuir para a redução da TSM. Os resultados do presente estudo mostraram de forma qualitativa que o entranhamento por bombeamento de Ekman participa do processo de variação da TSM.

O presente estudo mostrou ainda que o modelo ROMS tem sensibilidade em suas previsões de curto-prazo para capturar redução de 0.5°C da TSM ou mais e redução da espessura da CMO em 10 m ou mais associada à presença da ZCAS. Esse fato justifica a realização de previsão oceânica de curto-prazo para a região de interesse bem como o uso de modelos acoplados oceano-atmosfera para simulação e previsão.

Abstract

In several regions of southeast Brazil intense rainfall is observed, especially during the austral summer. This compromises the routine and safety of the population and the economy of the country. The precipitation that occurs during the warmer months of the year in southeast Brazil are usually associated with the South Atlantic Convergence Zone (SACZ), which directly influences various economic activities and management of water resources, due to the control it exerts on the spatial distribution and temporal rainfall in southeastern Brazil and adjacent ocean. This work aims to study short-term anomalies - in the scale of hours to days - in the ocean mixed layer (CMO) caused by the presence of the SACZ. These anomalies are produced by heat and momentum exchanges between the ocean and the atmosphere. Here, anomalies of sea surface temperature (SST) and CMO thickness are investigated during the SACZ episodes..

Outputs of the American data assimilation system formed by the global circulation model HYCOM and NCODA (HYCOM-NCODA) and simulations and predictions from the regional ocean circulation ROMS performed within the scope of the Oceanographic Modeling and Observation Network (REMO) were employed

The presence of the SACZ reduced SST of the underlying ocean. This reduction is explained in the literature mainly because the decrease of the incident surface short-wave radiation as a result of increased cloud coverage during SACZ periods. However, entrainment of cold waters through the CMO basis may also contribute to the SST cold anomalies. The results of the present study qualitatively showed that entrainment by Ekman pumping participates in SST process variation.

The present study also showed the ROMS forecasts have sensitivity in the short-term scale to capture reductions in SST of about 0.5°C or more, and reductions in CMO thickness of 10 m or more associated with the ZCAS.

This fact justifies the realization of short-term ocean forecasts for the region of interest as well as the use of coupled ocean-atmosphere models for simulation and forecasts.

Lista de Figuras

Figura 1: Circulação de altos níveis sobre a região do SMAS no verão do Hemisfério Sul. (Adaptação de REBOITA et al., 2010)	14
Figura 2: Circulação de baixos níveis sobre a região do SMAS no verão do Hemisfério Sul. (Adaptação de REBOITA et al., 2010)	15
Figura 3: Balanço de calor no oceano. (Adaptação de PALMEIRA, 2008).....	19
Figura 4: RMSE HYCOM - NCODA x OSTIA.	25
Figura 5: RMSE HYCOM - NCODA x OSTIA	25
Figura 6: Diferença das médias de TSM, HYCOM - NCODA x OSTIA.....	26
Figura 7: Diferença das médias de TSM, ROMS X OOSTIA.	27
Figura 8: Imagens do satélite GOES - 12 dada temperatura de brilho média. (a) 18 a 21/jan/2011, (b) 9 a 16/fev/ 2011, (c) 20 a 23/jan/2010, (d) 6 a 12/mar/ 2010, (e) 8 a 11/out/2009, e (f) 4 a 9/dez/2009. Fonte: Climanálise / CPTEC /INPE.....	28
Figura 9: Diferença das médias de TSM obtidas a partir do HYCOM – NCODA. (a) 18 a 21/jan/ 2011, (b) 9 a 16/fev/ 2011, (c) 20 a 23/jan/2010, (d) 6 a 12/mar/ 2010, (e) 8 a 11/out/2009, e (f) 4 a 9/dez/2009.....	30
Figura 10: Médias de TSM obtidas a partir do HYCOM – NCODA. (a) 7 a 8/ fev/ 2011, (b) 9 a 16/ fev/ 2011, (c) 2 a 3/dez/2009, (d)) 4 a 9/dez/2009.....	31
Figura 11: Médias de TSM obtidas a partir do ROMS. (a) 7 a 8/ fev/ 2011, (b) 9 a 16/ fev/ 2011, (c) 2 a 3/dez/2009, (d)) 4 a 9/dez/2009.....	32
Figura 12: Diferença das medias de TSM obtidas a partir do ROMS. (a) 18 a 21/ jan/ 2011, (b) 9 a 16/ fev/ 2011, (c) 20 a 23/ jan/2010, (d) 6 a 12/ mar/ 2010, (e) 8 a 11/10/2009, e (f) 4 a 9/12/2009.....	34
Figura 13: Diferença das médias da CM obtidas a partir do ROMS. (a) 18 a 21/ jan/ 2011, (b) 9 a 16/ fev/ 2011, (c) 20 a 23/ jan/2010, (d) 6 a 12/ mar/ 2010, (e) 8 a 11/10/2009, e (f) 4 a 9/12/2009.....	38
Figura 14: Delimitação dos limites para o cálculo do transporte, 6 a 12/ mar/ 2010.....	40

Lista de tabelas

Tabela 1 - Fonte e características dos dados utilizados pelo OSTIA (DONLON,2012).	22
Tabela 2 - Validação estatística global para cada fonte de dados utilizados pelo OSTIA calculado entre 1º de janeiro de 2007 e 31 de dezembro de 2010 (DONLON, 2012).	22
Tabela 3 - Ocorrências de ZCAS entre janeiro de 2009 e dezembro de 2011 (Climanálise)	24
Tabela 4 - Ocorrências de ZCAS selecionadas entre janeiro de 2009 e dezembro de 2011.....	27
Tabela 5 - Transporte de massa nos eventos de ZCAS selecionados entre janeiro de 2009 e dezembro de 2011.	41

Lista de abreviações e siglas

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCPS	Zona de Convergência do Pacífico Sul
SMAS	Sistema de Monções da América do Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
AB	Alta da Bolívia
CN	Cavado do Nordeste
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
JBN	Jato de Baixos Níveis
TSM	Temperatura da superfície do mar
CLA	Camada limite atmosférica
ROC	Radiação de onda curta
ROL	Radiação onda longa
CLAT	Fluxo de calor latente
CMO	Camada de mistura oceânica
HYCOM	Hybrid Coordinate Ocean Model - Navy Coupled
NCODA	Ocean Data Assimilation
ROMS	Regional Ocean Modeling System
REMO	Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica
OOF	Operacional Ocean Forecast
UFBA	Universidade Federal da Bahia
AGRIF	Adaptative Grid Refinement in Fortran
OCCAM	Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling Project
GFS	Global Forecast System
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
RMSE	Raiz quadrada de erro quadrático médio
sv	sverdrup

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

Em várias regiões brasileiras são observadas intensas precipitações, principalmente durante o verão.

A ocorrência dessas chuvas desencadeia situações que, em muitos casos, provocam vítimas fatais, congestionamentos de trânsito, interrupção do fornecimento de energia elétrica, áreas de alagamentos, inundações, deslizamento de encostas e fechamento de aeroportos entre outros, o que compromete a rotina e segurança da população e a economia do país.

Em especial, a região sudeste tem sido alvo de frequentes episódios de grande precipitação nos últimos anos, como o enfrentado pela região serrana do estado do Rio de Janeiro em janeiro de 2011, quando houve 918 mortos e 215 desaparecidos em consequência das fortes chuvas naquela região.

A ocorrência de chuvas extremas no sudeste do Brasil tem maior relevância quando se observa a concentração populacional na região. Segundos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para 2010, a população total do Brasil é de cerca de 186 milhões de habitantes, sendo que mais de 77 milhões está na Região Sudeste.

No aspecto econômico a região sudeste e em especial as bacias de Campos e Santos respondem com a maior parte da produção de petróleo e gás do Brasil. Nos seus 100 mil quilômetros quadrados, a Bacia de Campos tem cerca de 40 unidades de produção de petróleo onde operam 546 poços, com uma produção média diária de um milhão 265 mil barris.

Na região da Bacia de Campos também ocorrem com frequência sistemas meteorológicos que causam chuvas intensas, sobretudo nos meses de verão. O monitoramento destes sistemas é importante, não apenas para o aperfeiçoamento dos modelos de previsão de tempo e para a defesa civil, mas também, para os setores de exploração de petróleo situados na Bacia de Campos. Esses necessitam de contínua informação a respeito destes sistemas meteorológicos para a realização com segurança de suas diferentes atividades operacionais de produção, sustentação de plataformas e transportes marítimos.

Estas chuvas que ocorrem durante os meses mais quentes do ano, estão geralmente associadas à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a qual influencia diretamente diversas atividades econômicas (e.g. agricultura e indústria) e o manejo dos recursos hídricos (e.g. abastecimento de água e energia elétrica), em razão do

controle que exerce sobre a distribuição espacial e temporal da precipitação no sudeste do Brasil e oceano adjacente.

1.2. Zona de Convergência do Atlântico Sul

A partir da década de 1970 pesquisadores observaram a ocorrência de uma banda de nebulosidade convectiva em cartas de brilho médio de radiação de onda longa obtidas de imagens de satélite. Esta banda tem direção preferencial noroeste-sudeste e é mais atuante nos meses de maior convecção tropical (outubro a março) no Hemisfério Sul e recebeu a denominação de Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Em um estudo realizado por Krishnamurty et al. (1973) foi demonstrada a importância dessa banda no transporte de *momentum*, calor e umidade dos trópicos. Posteriormente, os estudos sobre ZCAS se dirigiram em três principais vertentes: 1) Caracterização física tentando entender e descrever a atmosfera adjacente (NOBRE, 1988; FIGUEROA e NOBRE, 1990; SILVA DIAS et al., 1991; KODAMA, 1992 e 1993; QUADRO, 1994, e TEIXEIRA e TANAJURA, 2002); 2) Possíveis influências remotas analisando-se fenômenos meteorológicos ou oceânicos (QUADRO, 1994; KALNAY, 1986; NOGUÉS-PAEGLE e MO, 1997; LIEBMANN et al., 1999; JONES e HOREL, 1990 e ROBERTSON e MECHOSO, 2000), e 3) Simulações físicas (SILVA DIAS et al., 1987, GRIMM e SILVA DIAS, 1995; FERREIRA et al., 2004; CHAVES e NOBRE, 2004; e TANAJURA e SHUKLA, 2005).

Kodama (1992) realizou um estudo descritivo pormenorizado comparando a Zona de Convergência do Pacífico Sul, a ZCAS e a Zona Frontal Baiu, esta última atuante na costa leste do continente asiático. A partir de uma técnica de composição de bandas em imagens de satélite, ele detectou várias características da ZCAS sobre o oceano. Dentre elas pode-se citar o transporte de umidade em baixos níveis, a manutenção da convecção pela convergência de umidade na baixa e na média troposfera, e o alto contraste de umidade. Ampliando esta caracterização inicial tem-se uma banda quase estacionária de precipitação e nebulosidade com duração de pelo menos quatro dias se estendendo desde a Amazônia até o sudeste do Brasil, em direção ao oceano, alcançando o Atlântico sudoeste. Ela se forma com a propagação de frentes frias provenientes do sul da América do Sul que adquirem caráter quase estacionário sobre o sudeste do Brasil e regiões oceânicas adjacentes. O trabalho de FIGUEROA et al. (1995) demonstra com modelos simplificados que a presença da intensa convecção na bacia sul da Amazônia provoca as condições dinâmicas básicas para a existência de um cavado de pressão exatamente onde a ZCAS é observada. A convecção Amazônia cria um estado no qual a frente fria

ancora ao se propagar do sul para norte e adquire um caráter semi-estacionário, tendo em vista que a convecção é intensificada com a evaporação oceânica e com a entrada de novos sistemas frontais. Por isso, a ZCAS é observada somente durante o verão austral.

Além da ZCAS, da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e da Zona Frontal Baisu estudadas por Kodama, existe também a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Ela é de escala global, circundando praticamente toda a terra, próxima ao equador, e é formada pela convergência dos ventos alísios, originários dos hemisférios norte e sul. A ZCIT é um dos mais importantes sistemas meteorológicos globais, braço ascendente da Célula de Hadley. Devido à sua estrutura física, a ZCIT tem se mostrado decisiva na caracterização das diferentes condições de tempo e de clima em diversas áreas da Região Tropical e na precipitação no continente americano. A ZCIT tem sido muito estudada por isso e importantes conhecimentos sobre ela podem ser também empregados para o entendimento da ZCAS e das outras zonas de convergência (e.g., HASTENRATH, 1991).

A ZCIT está inserida na região onde ocorre a zona de confluência dos ventos Alísios associada à zona do cavado de pressão equatorial, e movimento ascendente do ar, à banda de máxima cobertura de nuvens convectivas e à zona de máxima temperatura da superfície do mar (TSM). Ainda, nessa região é verificada ressurgência equatorial, que provoca uma região de anomalia negativa de TSM em relação a TSM de latitudes adjacentes. Apesar dessa forte interação oceano-atmosfera, esses fenômenos não se apresentam, necessariamente, ao mesmo tempo, sobre a mesma latitude.

Dinamicamente, os ventos alteram a circulação oceânica. O movimento horizontal de água gerado pelo vento pode induzir o movimento vertical na superfície da água. Os ventos Alísios atuando sobre o oceano geram a Corrente Sul Equatorial do Atlântico e Pacífico, que se movem em ambos os lados do equador que, sob o efeito de Coriolis, são defletidas em direção aos polos gerando uma divergência da água da superfície e conseqüentemente ressurgência de água profunda e fria e seu entranhamento na base da camada de mistura oceânica desta região.

Portanto, na ZCIT ocorre a convergência dos ventos Alísios e no oceano subjacente ocorre ressurgência de água profunda, denominada de ressurgência equatorial. O mesmo fenômeno, em menor escala, também pode ocorrer nos episódios de ZCAS, com a convergência atmosférica na superfície, provocando divergência na superfície do oceano e ressurgência de águas profundas durante os períodos das ZCAS.

A ZCAS faz parte do Sistema de Monções da América do Sul (SMAS), e desempenha papel fundamental na variabilidade da estação

chuvosa durante o verão sobre o sudeste do Brasil (CARVALHO et al. 2004). A grande variabilidade de escalas temporais e espaciais existentes é uma característica marcante do SMAS (JONES e CARVALHO, 2002).

A correlação entre ZCAS e SMAS foi descrita também por Figueroa et al.(1995), que demonstraram que a variabilidade da precipitação no SMAS está associada a circulações de grande escala que agem na América do Sul durante o verão no Hemisfério Sul. (NÓBILE TOMAZIELLO, 2010).

Na circulação de altos níveis sobre a região do SMAS, no verão do Hemisfério Sul, ocorre um anticiclone localizado sobre a Bolívia, denominado de Alta da Bolívia (AB), e um cavado próximo à costa nordeste do Brasil, Cavado do Nordeste (CN) (NINOMIYA, 2007). (figura 1). A alta da Bolívia é uma resposta á convecção centrada na parte sul da bacia do rio Amazonas, que impõe, juntamente com outros fatores de larga escala, o padrão de circulação em altos e baixos níveis em grande parte de América do Sul.

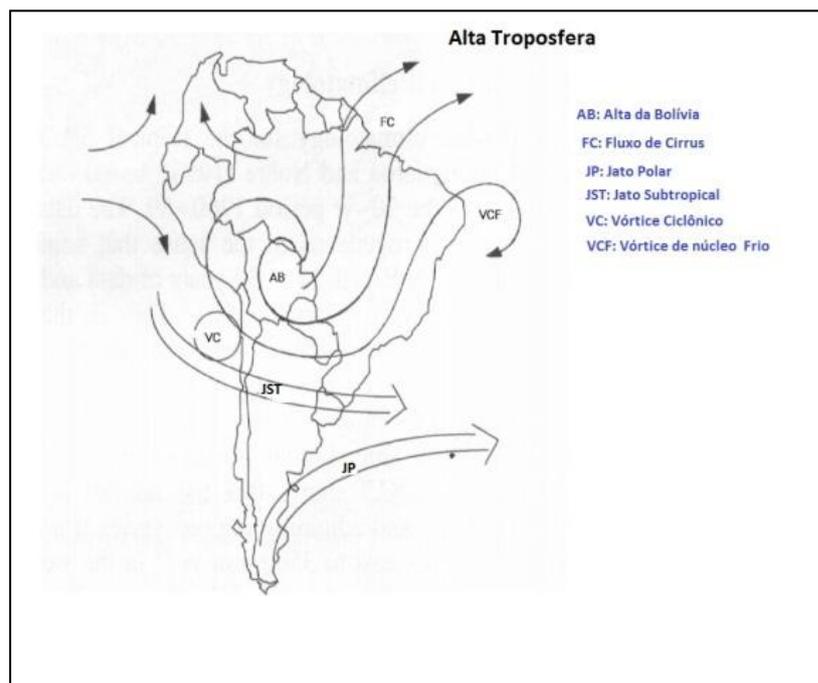


Figura 1: Circulação de altos níveis sobre a região do SMAS no verão do Hemisfério Sul. (Adaptação de REBOITA et al., 2010)

Nos baixos níveis há um anticiclone sobre o Oceano Atlântico Sul, a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), e o Jato de Baixos Níveis (JBN) da América do Sul situado a leste da Cordilheira dos Andes. (Figura 2).

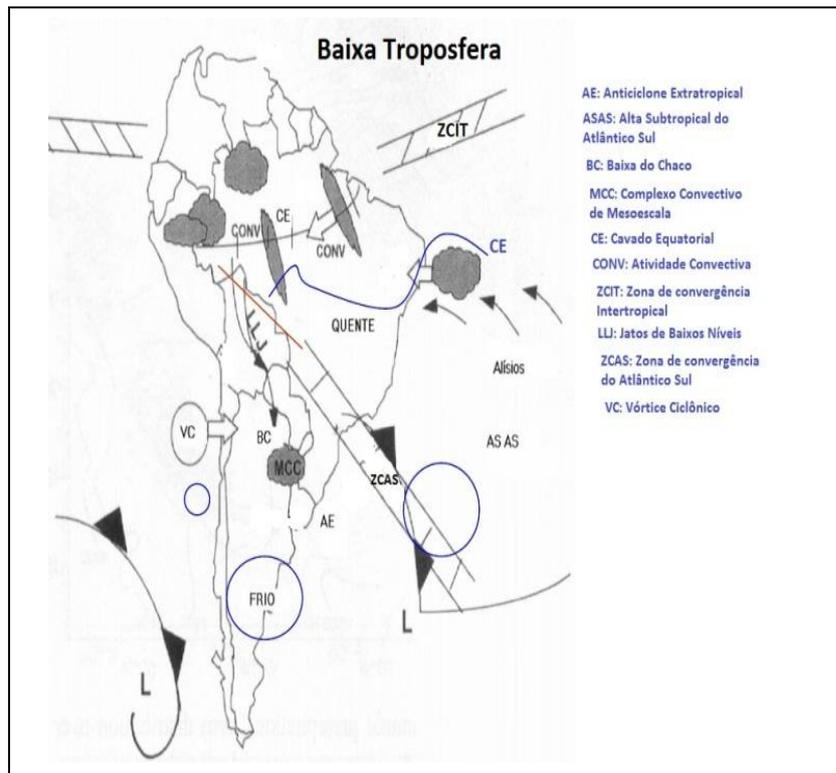


Figura 2: Circulação de baixos níveis sobre a região do SMAS no verão do Hemisfério Sul. (Adaptação de REBOITA et al., 2010)

A ZCAS é, portanto, um fenômeno da climatologia de verão da América do Sul e do Atlântico Sul.

A área de atuação das ZCAS envolve o centro sul da Amazônia, regiões Centro-Oeste e Sudeste, centro sul da Bahia, norte do Estado do Paraná, ainda à nordeste e a sudeste da ZCAS encontramos regiões de baixa nebulosidade e alta pressão, com uma gangorra. (NOGUÉS-PAEGLE e MO, 1997).

Liebmann (1999) relacionou episódios de intensificação da ZCAS com a presença de uma onda de Rossby transitória nas altas latitudes entre as latitudes 40° S e 50° S. Kalnay (1986) também identificou uma onda atmosférica similar, que estaria associada a ZCAS e seria a causa das anomalias negativas da temperatura na superfície do mar (TSM) observadas durante janeiro de 1979.

Robertson e Mechoso (2000) estudaram a variabilidade da ZCAS no período de 1958 a 1997 e encontraram que a intensificação da ZCAS em escala interanual coincide com anomalias negativas de TSM ao norte e positivas ao sul de 40°S. Os autores sugerem que estas anomalias negativas de TSM sobre o Atlântico sudoeste podem favorecer a persistência das anomalias de Radiação de Onda Longa (ROL) associadas à ZCAS, que por sua vez podem intensificar as anomalias de TSM. Assim, instalada a circulação da ZCAS, as regiões oceânicas adjacentes a este sistema tendem a se tornar mais frias, intensificando a circulação de monção sobre a América do Sul, por meio do aumento do

gradiente leste-oeste de temperatura entre oceano e a atmosfera e aumento da convecção continental. Isso provocaria uma intensificação da ZCAS e uma redução da TSM, promovendo portanto, um novo aumento do gradiente leste-oeste de temperatura e uma instabilidade positiva da interação oceano-atmosfera.

Sob outro aspecto, as anomalias positivas de TSM favorecem o aumento de evaporação, podendo favorecer a convecção da ZCAS pela maior disponibilidade de vapor d'água e instabilização das camadas inferiores da atmosfera (TEIXEIRA E TANAJURA 2002). Já Barreiro (2002) verificou que a porção da ZCAS sobre o continente não sofre influência da alteração da TSM.

Chaves e Nobre (2004) estudaram a interação entre a TSM no Atlântico Sul (40° S – equador) e a ZCAS utilizando modelos atmosférico e oceânico de circulação global. Os experimentos do modelo atmosférico mostraram que as anomalias positivas da TSM no Atlântico Sul tendem a intensificar e deslocar as ZCAS para norte. Já as anomalias negativas tendem a enfraquecê-la. Por outro lado, o modelo oceânico mostrou que a intensificação da ZCAS contribuiu para o resfriamento do oceano abaixo dela. Este resfriamento é explicado pela diminuição da incidência da radiação de ondas curtas (ROC) como consequência do aumento da cobertura de nuvens durante os períodos de ZCAS favorecendo o aparecimento de anomalias negativas ou enfraquecendo as anomalias quentes pré existentes da TSM.

Os autores constataram também o predomínio de uma retroalimentação negativa entre a cobertura de nuvens/ROC e a TSM do oceano subjacente e que esta relação possui magnitude maior que a retroalimentação dinâmica associada ao transporte de Ekman. Já que este fenômeno só foi observado em eventos fortes de ZCAS. Portanto, os resultados encontrados por esses autores sugerem que as anomalias negativas da TSM observadas representam uma resposta oceânica à forçante atmosférica.

1.3. Temperatura na superfície do mar e fluxos de calor no Atlântico sudoeste

O oceano é responsável pela redistribuição do calor em escalas globais desempenhando papel fundamental na determinação do clima e sua variabilidade. A distribuição da radiação solar por unidade de área é maior na região próxima ao equador e diminui na direção dos polos, contudo o gradiente equador-polos de temperatura observado é bem menor que o esperado se considerado apenas a radiação solar.

Uma das razões para essa discrepância é a presença das correntes marinhas que auxiliam no transporte de calor dos trópicos para regiões extratropicais. A taxa de variação temporal do calor armazenado

no oceano e o balanço de calor através da sua superfície também influenciam nesse transporte.

Os processos que ocorrem na interface oceano atmosfera estão relacionados com a variabilidade observada nas grandezas físicas dos oceanos e da atmosfera, pois, é através dela que ocorrem trocas de calor, massa e *momentum*. Esse acoplamento entre os dois fluidos se dá em escalas de tempo bastante variáveis que vai da sinótica até as baixas frequências decenais ou além (ENFIELD et al., 2001). Essa mesma afirmação também pode ser feita na escala espacial.

A interface ar-oceano é hidrostaticamente estável, isto é, a densidade do oceano é muito maior que a densidade do ar. Em consequência os dois fluidos não se misturam de forma significativa, exceto com a formação do spray marinho e da espuma branca, que são extremamente restritos à interface ar-água.

Acima dessa interface está a Camada Limite Atmosférica (CLA), que é a região da atmosfera imediatamente acima da superfície terrestre caracterizada como uma região turbulenta com forte gradiente vertical de velocidade e controlada pelo ciclo diurno da estabilidade estática na atmosfera. O gradiente de temperatura na superfície do mar aumenta a instabilidade termodinâmica do ar e a variação da altura da CLA.

Uma característica importante da CLA é que ela é influenciada pelos grandes sistemas de pressão (altas e baixas) e por fenômenos de mesoescala. A subsidência de ar nas altas pressões desloca-o da atmosfera livre para baixo, a qual estreita a CLA, causando também episódios de estagnação do ar. Por outro lado, quando há convergência horizontal do ar na CLA em torno dos centros de baixa pressão ocorrem movimentos ascendentes de forma intensa que permite uma grande mistura do ar da CLA em toda a extensão da troposfera por meio das tempestades e nuvens convectivas. (PALMEIRA, 2008).

Na CLA que se situa sobre o oceano se observa a relativa ausência do ciclo diurno, quando se compara com as superfícies continentais. As variações sobre o oceano estão mais intimamente relacionadas à presença de nuvens, ventos e passagens de ciclones e frentes frias que, que por sua vez também reduzem o ciclo diurno sobre o continente.

Os fluxos de *momentum* e calor (latente e sensível) entre o oceano e a atmosfera variam de direção e magnitude dependendo de várias grandezas inter-relacionadas, tais como radiação solar, velocidade e direção dos ventos, precipitação, cobertura de nuvens, entre outros. Nessas trocas estão envolvidos, além de calor e *momentum*, umidade, gases e aerossóis, bem como a geração e efeitos de quebra das ondas e suas interações com a atmosfera.

A atmosfera é fonte de *momentum* para o oceano, pois o ar, de uma maneira geral, desloca-se bem mais rápido que a água do mar. Por

outro lado, o oceano é fonte de calor sensível e latente para a atmosfera, dado que a água possui capacidade térmica 1000 vezes maior que a do ar.

Os processos turbulentos estão presentes tanto acima quanto abaixo da interface ar - água, no entanto em uma região muito próxima a ela, existe uma subcamada viscosa na qual os processos moleculares determinam as interações e limitam a intensidade dos fluxos.

A energia transferida da atmosfera para o oceano gera correntes de superfície e ondas. Com a quebra dessas ondas ocorre a mistura na camada de superfície oceânica aumentando o transporte de *momentum* para o interior do oceano.

Portanto, a transferência de *momentum* da atmosfera para o oceano produz uma camada oceânica com características próprias que se localiza imediatamente abaixo da interface ar-água, denominada de Camada de Mistura Oceânica (CMO).

O balanço de calor na superfície do oceano é a diferença entre a energia que chega, basicamente na forma de radiação solar, e a energia que se perde. A fonte principal de calor da terra é a radiação eletromagnética solar que chega na forma de ondas curtas, que ao atingir a atmosfera parte é refletida, parte é absorvida pela atmosfera e o restante é absorvida pela superfície ocasionando seu aquecimento.

Por sua vez, o oceano emite parte da energia absorvida na forma de radiação de ondas longas.

Para o melhor estudo do balanço de energia entre o oceano e a atmosfera, o mais apropriado é considerar este balanço em uma camada do oceano na qual se pode incluir algumas heterogeneidades de pequena escala, pois a superfície oceânica não é horizontalmente homogênea, plana, opaca à radiação em consequência da presença de ondas, *spray* marinho, variações de turbidez, entre outros fatores.

Essa camada deve possuir massa e capacidade térmica finita para permitir que, em um intervalo de tempo dado, a energia possa ser armazenada ou liberada. A espessura da camada oceânica que responde e é afetada pelas alterações de alta frequência dos fluxos de energia entre a atmosfera e o oceano alcança dezenas de metros.

Se a superfície oceânica é relativamente lisa e homogênea de modo que essa camada possa ser considerada limitada por dois planos horizontais (superior e inferior) pode-se assumir que o balanço de calor na camada de mistura do oceano é dado por:

$$R_L = G - \left(H + C_{lat} \right) \Delta H \quad (1.1)$$

onde ΔH é a mudança na energia liberada ou armazenada por unidade de tempo e de área da camada. R_L é o fluxo de radiação líquida, H , o

fluxo de calor sensível e C_{lat} , o fluxo de calor latente, que estão associados à interface superior, enquanto G é o fluxo de calor no oceano na interface inferior como mostra a figura 3.

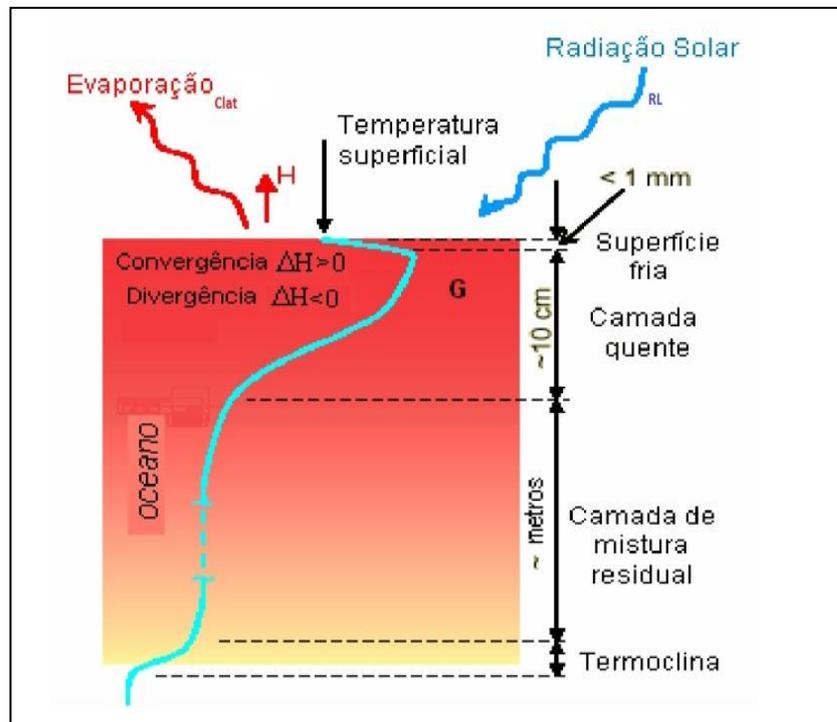


Figura 3: Balanço de calor no oceano. (Adaptação de PALMEIRA, 2008)

O fluxo de radiação líquida (R_L) é a resultante do somatório de todas as componentes do fluxo de radiação de onda curta e de onda longa provenientes da atmosfera (atm) e da superfície oceânica (sup).

$$R_L = ROC_{atm} + ROC_{sup} + ROL_{atm} + ROL_{sup} \quad (1.2)$$

Durante o período diurno, R_L é dominada pela radiação de onda curta. Ao longo do período noturno, R_L reflete o resfriamento noturno por emissão de radiação de onda longa. Em geral, a superfície se aquece durante o dia e se resfria durante a noite, principalmente sob o céu claro e condições atmosféricas estáveis.

A radiação líquida na superfície do oceano pode ser representada como:

$$R_{L(0)} = - \int_{-h}^0 \left(\rho_{\text{água}} \frac{d(p_{\text{água}} \times T)}{dt} \right) dz - H_{(0)} - C_{lat(0)} + G_{(-h)} + H_{(-h)} - R_{L(-h)} \quad (1.3)$$

Considerado: $\rho_{\text{água}}$ a densidade da água do mar, $C_{p_{\text{água}}}$ é o calor específico da água do mar, T é a temperatura da água do mar e, h é a

profundidade da camada na superfície do oceano, $H_{(0)}$ é o calor sensível na superfície do mar, $C_{lat(0)}$ é o calor latente na superfície do mar, $G_{(-h)}$ é o fluxo de calor na base da camada do oceano, $H_{(-h)}$ é o calor sensível na base do oceano e $R_{L(-h)}$ é a radiação líquida na base da camada do oceano.

A associação entre a intensidade e localização da ZCAS e as anomalias subjacentes de TSM ainda não está completamente compreendida. Barreiro et al. (2002) avaliaram por meio de modelagem numérica que cerca de 60% da variância total da precipitação média na região sudeste está associada à variabilidade interna da atmosfera. Este estudo também sugere que uma parcela considerável da variabilidade restante pode ser explicada como uma resposta à forçante oceânica, representando um ajuste da atmosfera às anomalias de TSM na região sudeste do Atlântico Sul. Portanto, é importante compreender melhor os mecanismos físicos associados à ZCAS para que, entre outras aplicações, ela possa ser melhor prevista em escalas intrasazonais e mais longas.

Os aspectos e mecanismos atmosféricos e de interação oceano-atmosfera das ZCAS têm sido estudados por vários autores (NOBRE, 1988; FIGUEROA e NOBRE, 1990; JONES e HOREL, 1990; Silva Dias et al., 1991; KODAMA, 1992 e 1993; QUADRO, 1994; NOGLES-PEAGLE e MO, 1997; LIEBMANN et al., 1999; ROBERTSON e MECHOSO, 2000; TEIXEIRA E TANAJURA, 2002 e TANAJURA E SHUKLA, 2005). Entretanto, aspectos oceanográficos especificamente não tem recebido tanta atenção.

O presente trabalho vem então no intuito de contribuir para o entendimento dos processos de interação oceano-atmosfera e focar mecanismos oceânicos que ocorrem ao largo da costa da região Sudeste do Brasil associados à ZCAS, envolvendo as trocas de calor e momentum entre o oceano e atmosfera. Para tanto foram utilizadas principalmente análises objetivas do sistema HYCOM – NCODA (Hybrid Coordinate. Ocean Model - Navy Coupled Ocean Data Assimilation) e simulações e previsões do modelo ROMS (Regional Ocean Modeling System) enfocando os períodos de ocorrência das ZCAS.

Aqui foram analisadas as anomalias na camada de mistura causadas em curto-prazo (escala de horas a dias) causadas pela presença da ZCAS. Um dos principais mecanismos físicos estudados foi a ressurgência por bombeamento de Ekman de águas mais frias de subsuperfície através da camada de mistura. Foi investigada a importância da ZCAS nas variações no oceano subjacente da TSM, da salinidade e da espessura da camada de mistura.

De forma itemizada, os objetivos específicos desse trabalho são:

- Analisar a importância da ZCAS nas variações da TSM na costa sudeste do Brasil;
- Avaliar os impactos da presença da ZCAS na circulação e no estado físico da camada de mistura ao largo da costa sudeste do Brasil;
- Estudar a sensibilidade da previsão de curto-prazo do ROMS, na escala de horas a dias, aos efeitos da ZCAS na camada de mistura.

Este trabalho está dividido em quatro Capítulos. A área de estudo, os dados utilizados e a metodologia aplicada na análise desses dados são apresentados no Capítulo 2. Os resultados e a discussão da comparação entre o modelo ROMS e o sistema de assimilação HYCOM - NCODA, da variação da temperatura na superfície do mar, da espessura da camada de mistura oceânica (TSM) e o transporte de massa durante os episódios de ZCAS encontram-se no Capítulo 3. As conclusões finais estão no Capítulo 4.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo

A área de estudo compreende a região Sudeste e Sul do Brasil, especificamente entre as latitudes 15°S - 28°S, longitudes 36°W - 50°W na faixa oceânica de 900 Km ao longo da costa do Brasil.

2.2. Dados

A temperatura da superfície do mar é um dado de entrada essencial para a previsão atmosférica e oceânica e para os sistemas de assimilação de dados.

No presente trabalho foram utilizados dados de TSM diários obtidos do Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) System. O OSTIA é alimentado com dados de satélites e por dados in situ a partir de navios e boias (tabela 1). Existem entre 20 e 30 mil boias de observações de TSM que são acessadas em tempo real através de um Sistema de Telecomunicações Global (GTS) para a criação da análise de TSM do OSTIA.

Tabela 1 - Fonte e características dos dados utilizados pelo OSTIA (DONLON,2012).

Sensor (platform)	Sensor type	Resolution	Data source	Coverage ^a	Sub sampling
ENVISAT AATSR	Infra-red	-1.1 km (swath)	European Space Agency (L2P format)	Global (~1.5 million/day)	3×3
AVHRR – LAC European North Atlantic Area (NAR) (NOAA 17 & 18)	Infra-red	-0.1° (Gridded)	EUMETSAT OSI-SAF (L2P format)	North-East Atlantic and Mediterranean. (~0.5 million/day)	3×3
AVHRR – LAC (NOAA 17 and 18)	Infra-red	-1.1 km (swath)	NAVOCEANO (L2P format)	Various regions depending on the data availability at the time (~2 million per day)	None
AVHRR – GAC (NOAA 17 and 18)	Infra-red	-8.8 km (Swath)	NAVOCEANO JPL PO-DAAC (L2P format)	Global (~2 million/day)	None
MetOP AVHRR	Infra-red	-1.1 km (swath)	EUMETSAT OSI-SAF (L2P format)	Global (~2.5 million/day)	6×6
MSG SEVIRI	Infra-red	0.1° (Gridded)	EUMETSAT OSI-SAF (L2P format)	Atlantic sector (~2 million per day)	None
Aqua AMSR-E	Microwave	-25 km (swath)	Remote Sensing Systems (L2P format)	Global (~1 million/day)	2×2
TRMM TMI	Microwave	-25 km (swath)	Remote Sensing Systems	Tropics (~0.5 million per day)	2×2
In-situ temperature and salinity	Ships, drifting and moored buoys.	In-situ point sample	Global Telecommunications System (GTS)	Global (~25,000/day)	None
Sea ice concentration	Passive microwave	10 km (polar-stereographic grid)	EUMETSAT OSI-SAF	Global (as north and south hemisphere maps)	None

^a Figures in parenthesis represent the average daily number of data after sub-sampling and quality control.

A resolução horizontal da grade do OSTIA é de 1/20° e a validação estatística foi feita com o cálculo do valor da raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) e a média. (tabela 2).

Tabela 2 - Validação estatística global para cada fonte de dados utilizados pelo OSTIA calculado entre 1º de janeiro de 2007 e 31 de dezembro de 2010 (DONLON, 2012).

Satellite	No. of Obs per day	Obs-Bg RMS (Mean), K	Obs-Anal RMS (Mean), K
Surface	39056	0.57 (0.00)	0.51 (0.00)
AATSR	1481536	0.48 (0.03)	0.35 (0.00)
AMSRE	869045	0.56 (0.15)	0.48 (0.14)
AVHRR	801728	0.43 (0.05)	0.38 (0.02)
METOP	1266063	0.56 (0.10)	0.49 (0.05)
NAR	103142	0.62 (0.08)	0.54 (0.03)
SEVIRI	554417	0.52 (0.00)	0.53 (-0.03)
TMI	317320	0.63 (0.05)	0.57 (0.05)

Como critério para definir a camada de mistura foi utilizada a variação vertical de temperatura de 0,5°C e da densidade de 0,125 Kg/m³, mesmo critério utilizado por Cirano et al., (2006), que obtiveram bons resultados no estudo da região oeste do Atlântico Sul.

Para investigação dos processos físicos foram utilizadas saídas do sistema de assimilação de dados americano formado modelo de circulação global HYCOM e o NCODA (HYCOM-NCODA) e simulações e previsões do modelo de circulação regional, ROMS realizadas no escopo da Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica (REMO) (www.rederemo.org).

Para o HYCOM-NCODA a resolução foi de 1/24°, com 32 camadas verticais e forçantes de superfície do Navy Operational Global

Atmospheric Prediction (NOGAPS), que incluía a tensão e velocidade do vento, os fluxos de calor e precipitação. A batimetria adotada no HYCOM-NCODA é derivada do NRL DBDB, um conjunto de dados com controle de qualidade. O HYCOM-NCODA é um sistema de assimilação de dados multivariável que emprega o método de interpolação ótima para assimilar observações superficiais derivadas de satélites, incluindo altímetros e dados de TSM, e dados de perfilagens de XBTs, de CTDs e dos flutuadores ARGO (Wallcraft & Metzger, 2009).

Para o ROMS, foram utilizados dados diários da fase operacional da REMO operada na Universidade Federal da Bahia (UFBA) com permissão de acoplamento baseado no ROMS-AGRIF (Adaptative Grid Refinement in Fortran). A configuração do modelo apresenta uma grade curvilínea com inclinação que se aproxima a da costa do Brasil e o domínio se estende de cerca de 900 km além da costa entre as latitudes 13°S e 31°S. A resolução ao longo da costa foi de 9 km, A resolução vertical foi de 32 níveis sigma e a batimetria foi obtida do ETOPO1 Global Topography Database, com resolução horizontal de 1 km.

Na primeira fase operacional, que se iniciou em primeiro de julho de 2009 e teve duração de três meses, foram utilizadas as condições climatológicas iniciais e laterais do Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling Project (OCCAM) com resolução de 1/4°. Para a forçante atmosférica do ROMS foram utilizados os dados do Global Forecast System (GFS) do NCEP (National Centers for Environmental Prediction). Na segunda fase foram utilizados dados OCCAM com resolução de 1/12° e também dados do GFS. (MARTA-ALMEIDA et al., 2011).

Os eventos de ZCAS foram selecionados a partir do Climanálise, boletim de monitoramento e análise climática do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação do Brasil, para o período de 2009 a 2011. Os períodos selecionados estão na tabela 3.

Tabela 3 - Ocorrências de ZCAS entre janeiro de 2009 e dezembro de 2011 (Climanálise).

Mês	2009		2010		2011	
	Período	Duração (dias)	Período	Duração (dias)	Período	Duração (dias)
janeiro	04 a 08	5	20 a 23	4	01 a 07	7
	20 a 24	5			11 a 16	6
					18 a 21	4
fevereiro	12 á 16	5	24 a 26	5	09 a 16	8
			28 a 04	5		
março	13 a 16	4	06 a 12	7	10 a 18	9
	23 a 31	9			28 a 09	10
outubro	8 a 11	4	19 a 22	4	17 a 21	5
	21 a 24	4	26 a 28	3		
	27 a 03	8				
novembro			31 a 04	5	31 a 04	4
			06 a 12	4	22 a 29	8
			24 a 28	5		
dezembro	04 a 09	6	30 a 06	7	01 à 05	5
	12 a 15	4	13 a 17	5	14a 21	8
			27 a 31	5	25 a 30	6

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Comparação entre o ROMS e o HYCOM-NCODA

Foi calculada a raiz quadrada de erro quadrático médio da TSM utilizando a formula de Penman e Monteith, para a área de estudo para avaliar a qualidade dos resultados do sistema HYCOM-NCODA em relação aos dados do OSTIA.

Como mostra a figura 4, não se observou diferença significativa entre os dois. Isto era esperado uma vez que o HYCOM-NCODA assimila campos de TSM observados e dados *in situ*.

Em parte do domínio os erros foram menores 0.5°C . A região que mostrou maior erro foi à zona próxima à costa onde fenômenos próprios

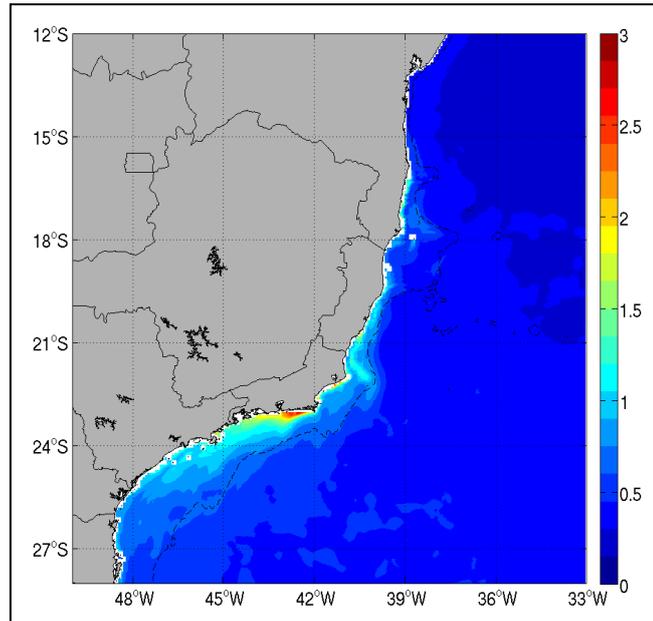


Figura 4: RMSE HYCOM - NCODA x OSTIA.

dessa região podem não ser percebidos pelo modelo de circulação global ou não são observados com precisão pelo sensoriamento remoto tendo em vista a influência continental.

A figura 5 mostra o resultado da comparação entre a simulação do ROMS com o OSTIA, e se observa que o ROMS apresentou resposta semelhante a do HYCOM-NCODA na região entre 38°W e 33°W .

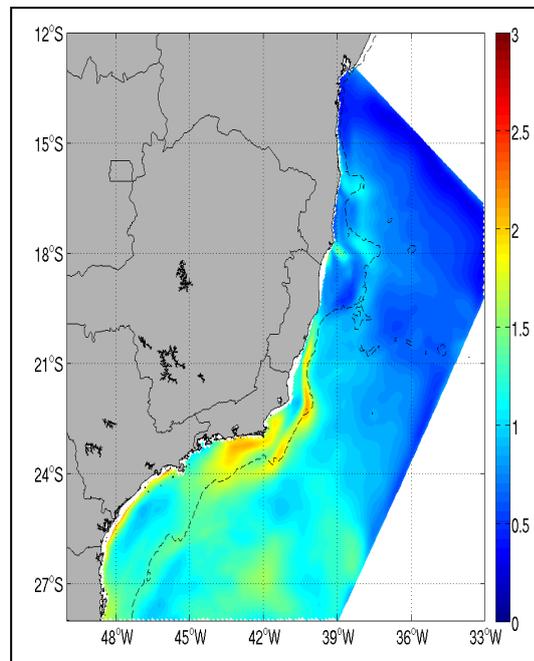


Figura 5: RMSE HYCOM - NCODA x OSTIA

Quando se observa a região entre 38° W e 48° W, a discrepância foi maior chegando a 1,7 °C. Como o observado nos resultados obtidos com o HYCOM-NCODA, a zona próxima da costa foi a que apresentou maior discrepância dos resultados evidenciando uma potencial dificuldade tanto o modelo de circulação global quanto o de circulação regional tem dificuldades na representação dessa região ou erros nos próprios dados observados.

Também foi calculada a diferença das médias de TSM obtidas na região de estudo no período de ocorrência de ZCAS, outubro a março, no período de estudo, 2009 á 2011. Para o HYCOM-NCODA, como o encontrado com o erro quadrático médio, a diferença foi pequena atingindo o máximo de 0,2°C com exceção para a região próxima da costa onde a discrepância atingiu 1,0 C (figura 6).

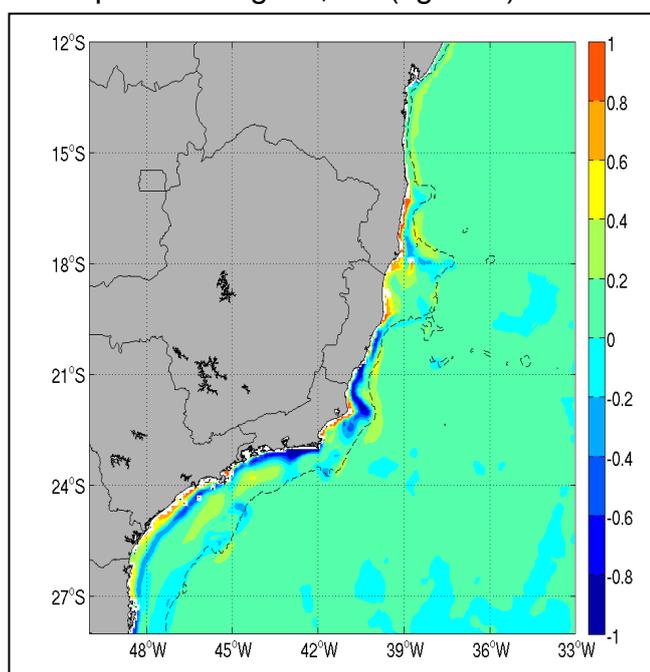


Figura 6: Diferença das médias de TSM, HYCOM - NCODA x OSTIA.

Para o ROMS, também aqui os resultados foram semelhantes ao erro quadrático médio. A diferença apresentou resposta semelhante a do HYCOM-NCODA na região entre 38° W e 33° W. Quando se observa a região entre 38° W e 48° W a discrepância foi maior (figura 7).

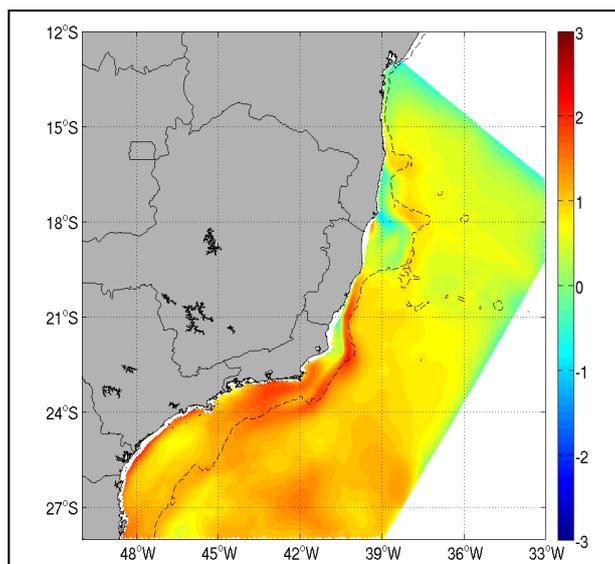


Figura 7: Diferença das médias de TSM, ROMS X OOSTIA.

Esses resultados demonstram a capacidade do HYCOM-NCODA e do ROMS em representar as variações diárias da TSM durante o período no qual a ZCAS se manifesta. A qualidade do HYCOM-NCODA é superior a do ROMS, tendo em vista que os campos do HYCOM-NCODA são análises objetivas e as saídas do ROMS são simulações sem assimilação de dados.

3.2. Variação da TSM durante episódios de ZCAS

Foram selecionados eventos de ZCAS no período de estudo, 2009 a 2011, dois por ano, sendo um de menor duração 4 dias, e outro de maior duração, 6 a 8 dias, conforme a tabela 4.

Tabela 4 - Ocorrências de ZCAS selecionadas entre janeiro de 2009 e dezembro de 2011.

Mês	2009		2010		2011	
	Período	Duração (dias)	Período	Duração (dias)	Período	Duração (dias)
janeiro			20 a 23	4		
					18 a 21	4
fevereiro					09 a 16	8
março			06 a 12	7		
outubro	8 a 11	4				
dezembro	04 a 09	6				

A análise geral dos campos ilustrativos da temperatura de brilho média obtida pelo satélite GOES-12 sobre a América do Sul e oceano adjacente mostrou as bandas de nebulosidades características da ZCAS

como faixas oblíquas na direção noroeste-sudeste se estendendo do centro-sul do Brasil até aproximadamente 20° W no Atlântico Sul. A figura 8 mostra as imagens dos seis eventos de ZCAS estudados.

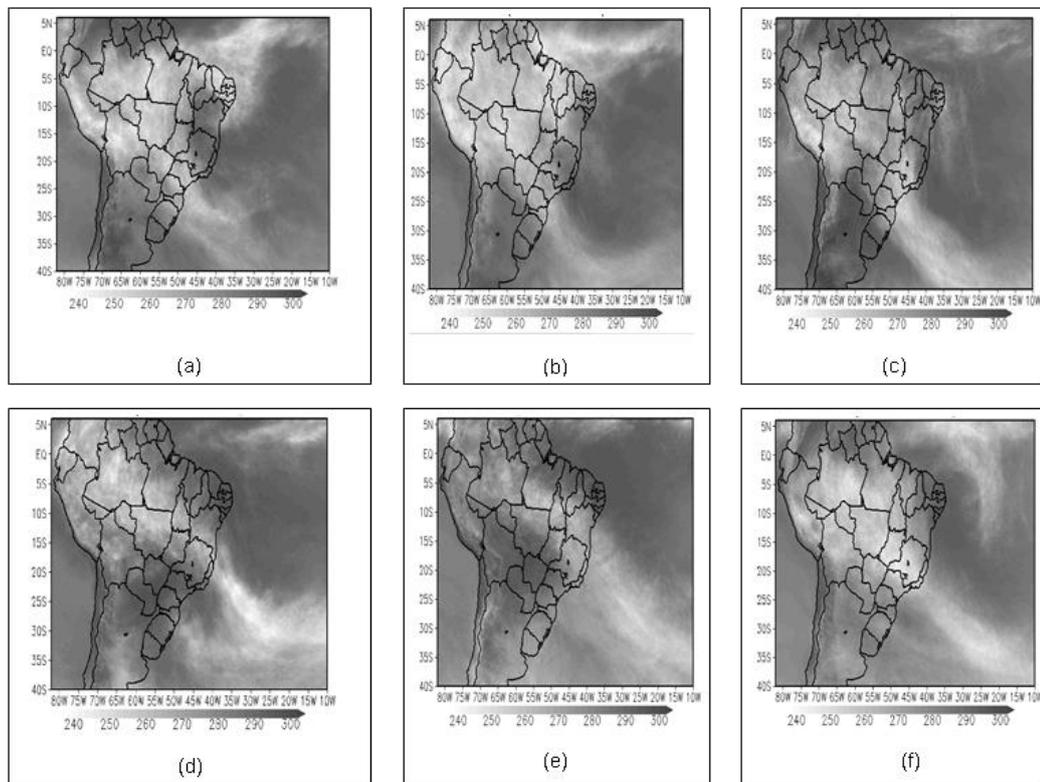


Figura 8: Imagens do satélite GOES - 12 dada temperatura de brilho média. (a) 18 a 21/jan/2011, (b) 9 a 16/fev/ 2011, (c) 20 a 23/jan/2010, (d) 6 a 12/mar/ 2010, (e) 8 a 11/out/2009, e (f) 4 a 9/dez/2009. Fonte: Climanálise / CPTEC /INPE.

Na figura 8(a) observa-se a área oceânica de atuação da ZCAS no litoral de Santa Catarina até o litoral de São Paulo (26° S a 30° S), período 18 a 21 de janeiro de 2011 (evento 1).

No período de 09 a 16 de fevereiro de 2011 (evento 2) a ZCAS esteve localizada na região entre 25° S e 31° S e se estendeu no Atlântico Sul até 20° W (figura 8(b)).

A banda de nebulosidade período de 20 a 23 de janeiro de 2010 mostra a ZCAS estacionada entre 23° S a 32° S próximo da costa e se estendendo até 25° W no Atlântico Sul (figura 8(c)).

No quarto evento estudado (6 a 12 de março de 2010) a ZCAS esteve localizada no litoral do Espírito Santos e pequena parte do extremo sul da Bahia. Neste mesmo período se formou outra banda de nebulosidade mais ao sul, próximo ao litoral de Santa Catarina e do Paraná (figura 8(d)).

A banda de nebulosidade correspondente a ZCAS do período 8 a 11 de outubro de 2009 (evento 5) se localizou no litoral do Rio de Janeiro, pequena extensão do litoral norte de São Paulo e sul da Bahia (figura 8(e)).

No período de 4 a 9 de dezembro de 2009 (evento 6) a banda de nebulosidade correspondente a ZCAS se concentrou no litoral do estado do Rio de Janeiro e pequena extensão do norte do estado de São Paulo (figura 8(e)).

Para a análise da TSM foi calculada sua média dos dois dias anteriores e a média durante os eventos das ZCAS com os dados do sistema HYCOM-NCODA e do modelo ROMS, assim como a diferença dessas duas médias. O resultado foi cotejado com os campos ilustrativos da temperatura de brilho média obtida pelo satélite GOES-12 dos episódios de ZCAS, divulgados na revista Climanálise.

A figura 9 ilustra os resultados obtidos da diferença das médias durante e dois dias antes dos períodos de atuação das ZCAS com o sistema HYCOM-NCODA nos seis eventos de ZCAS estudados. Comparando-se esses resultados com as imagens de satélites (figura 8) se observa coincidência nas áreas onde ocorreu a redução da TSM e as regiões de ocorrência das ZCAS.

A correspondência entre a ocorrência da ZCAS e a redução da TSM identificada pelo HYCOM-NCODA estão mais evidentes no evento 2, onde a ZCAS esteve localizada na região entre 25°S e 31°S e se estendeu no Atlântico Sul até 20° W, e no evento 6 onde a banda de nebulosidade se concentrou no litoral do estado do Rio de Janeiro e pequena extensão do norte do estado de São Paulo.

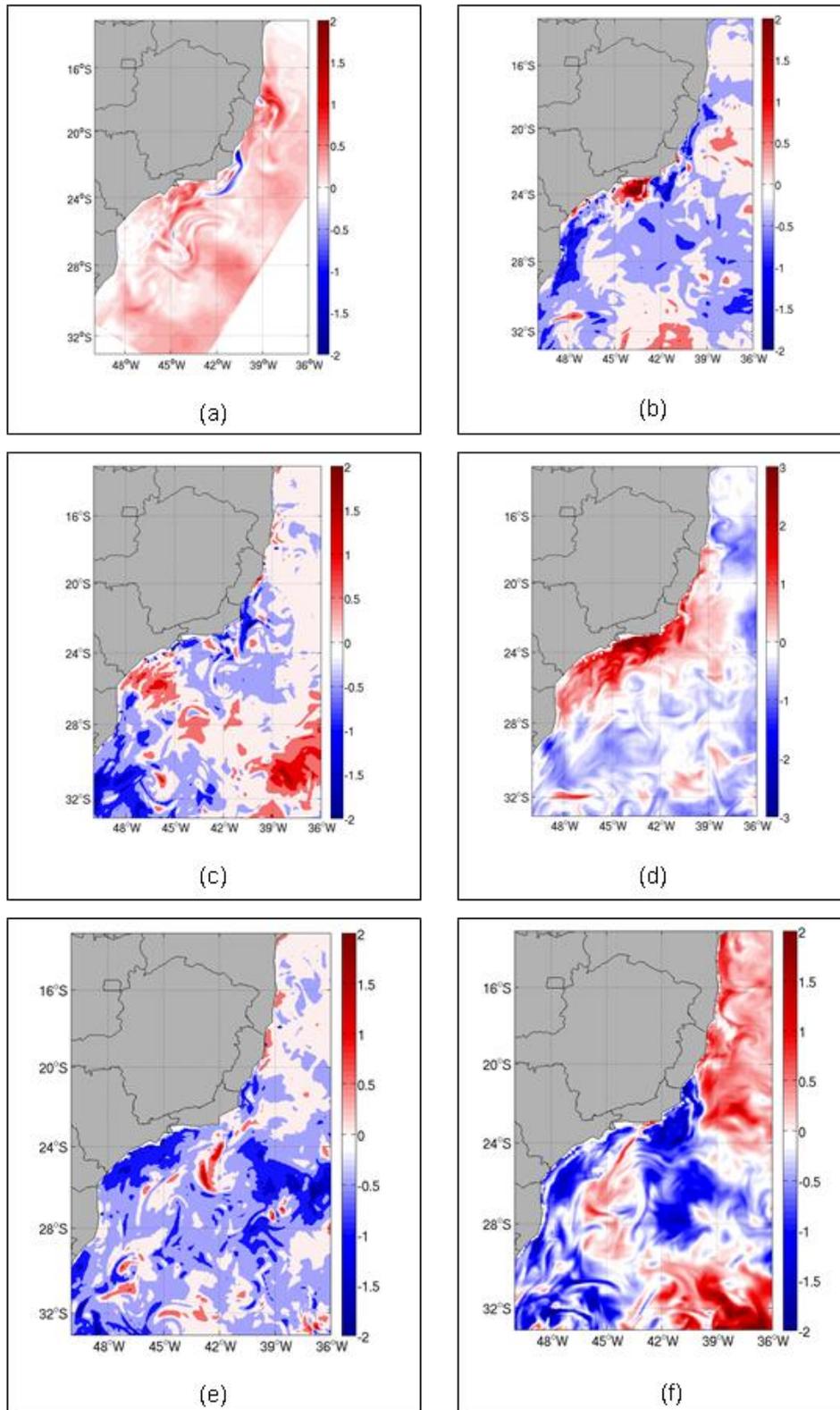


Figura 9: Diferença das médias de TSM obtidas a partir do HYCOM – NCODA. (a) 18 a 21/jan/ 2011, (b) 9 a 16/fev/ 2011, (c) 20 a 23/jan/2010, (d) 6 a 12/mar/ 2010, (e) 8 a 11/out/2009, e (f) 4 a 9/dez/2009.

A figura 10 mostra as médias de dois dias antes e do período desses dois períodos mencionados, confirmando a redução da TSM nas áreas de influência da ZCAS, litoral de São Paulo até Santa Catarina (figuras 10(a) e 10(b)) e litoral do Rio de Janeiro (figura 10(c) e (d)).

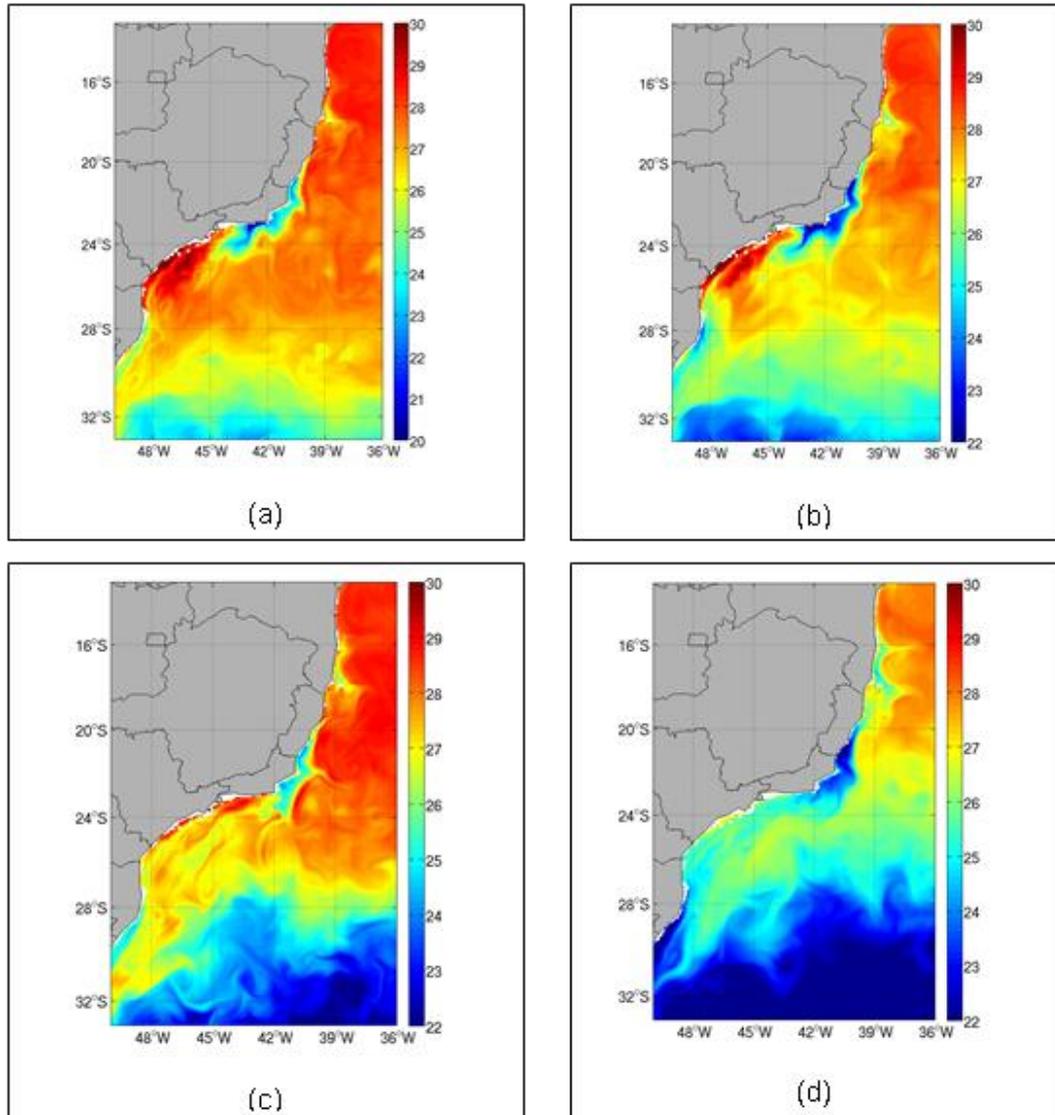


Figura 10: Médias de TSM obtidas a partir do HYCOM – NCODA. (a) 7 a 8/ fev/ 2011, (b) 9 a 16/ fev/ 2011, (c) 2 a 3/dez/2009, (d) 4 a 9/dez/2009.

Conforme observarmos nos resultados anteriormente descritos, o sistema HYCOM-NCODA identificou redução da TSM na área de influência das ZCAS durante a sua atuação. Esta variação da TSM foi utilizada no presente trabalho como padrão para comparação com os resultados encontrados com o modelo ROMS de previsão.

Passamos agora a analisar os resultados obtidos com o modelo ROMS. Inicialmente analisaremos os mesmo dois eventos (2 e 6) que

mostraram de forma mais evidente no HYCOM-NCODA redução no TSM na área de atuação da ZCAS.

Os resultados obtidos com o modelo ROMS para o evento 2 são mostrados nas figuras 11(a) e 11(b). Nestas imagens observa-se redução da TSM no litoral dos estados de São Paulo, Santa Catarina e Paraná, região onde também ocorreu redução semelhante com o HYCOM-NCODA.

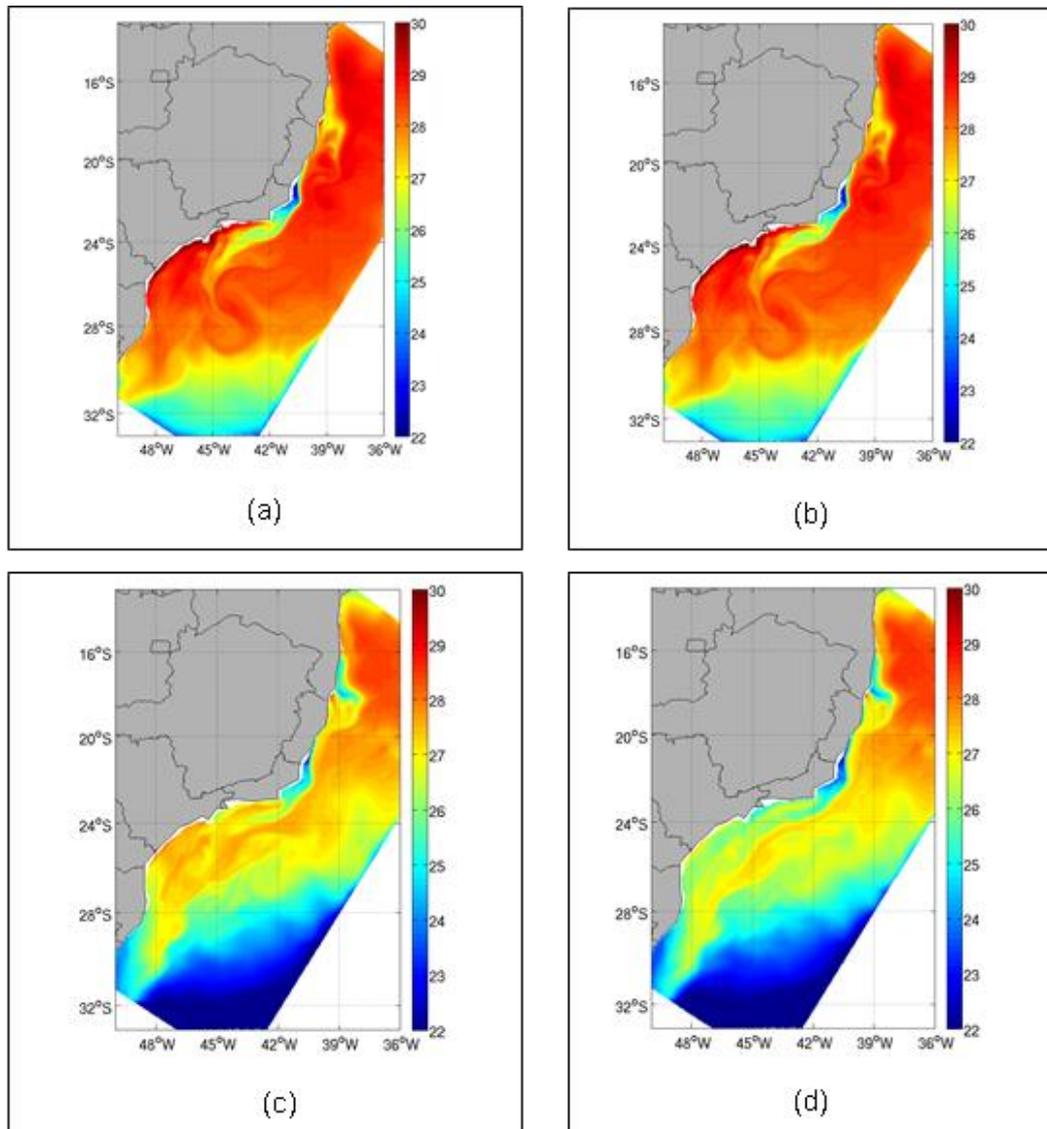


Figura 11: Médias de TSM obtidas a partir do ROMS. (a) 7 a 8/ fev/ 2011, (b) 9 a 16/ fev/ 2011, (c) 2 a 3/dez/2009, (d) 4 a 9/dez/2009.

As figuras 11(c) e 11(d) ilustram os resultados do ROMS para o evento 6 e como o que ocorreu com os resultados do sistema HYCOM-NCODA na região de ocorrência da ZCAS, litoral do estado do Rio de Janeiro, ocorreu redução da TSM durante a permanência da ZCAS.

As áreas onde houve a redução da TSM como resultado das diferenças das médias durante e dois dias antes dos períodos de atuação das ZCAS com o modelo ROMS nos seis eventos estudados

(figura 12), corresponde com as áreas onde também houve essa redução com o sistema HYCOM-NCODA.

A figura 12(a) ilustra as áreas onde ocorreu redução da TSM, litoral dos estados de Santa Catarina e São Paulo, no primeiro evento de ZCAS analisado. No segundo evento observamos redução da temperatura (na figura 12(b)) na área de atuação da ZCAS. A magnitude da diferença é de cerca de -0.3°C , chegando a -0.5°C em pequenas regiões. Observa-se que a região de temperaturas mais baixas no evento 3 se localiza entre 26°S e 31°S (figura 12(c)), dentro da área de atuação da ZCAS.

No período de 6 a 12 de março de 2010 (evento 4) a ZCAS se localizou no litoral do estado do Espírito Santo e no extremo sul do estado da Bahia. Neste período também se formou outra banda de nebulosidade mais ao sul, no litoral de Santa Catarina e do Paraná. A figura 12(d) mostra a diferença das médias e é possível também se observar duas regiões em que há redução da TSM a primeira correspondendo a ZCAS no litoral do Espírito Santo e sul da Bahia e a segunda correspondendo a nebulosidade localizada no litoral de Santa Catarina. Na área de influência da ZCAS a redução no litoral do Espírito Santo e sul da Bahia foi mais intensa. A redução na região da ZCAS será investigada mais abaixo, e está associada ao bombeamento de Ekman e entranhamento de água abaixo da camada de mistura. Ainda, há influência da redução do fluxo de radiação de onda longa devido à cobertura de nuvens. Na região mais ao Sul, resfriamento pode ser explicado por advecção de águas mais frias do sul para norte. Nota-se um substancial aumento de temperatura ao largo do Estado do Rio de Janeiro no período durante a ZCAS em relação aos dois dias anteriores a ele. Esse aumento pode ser explicado pela mudança de ventos e interrupção ou redução da ressurgência costeira. Antes da ZCAS, os ventos preponderantes eram de Nordeste, altamente favoráveis a ressurgência costeira na costa do Rio de Janeiro. TSMs substancialmente mais baixas, ao redor de 2 a 3°C , que na vizinhança são observadas na costa do Rio de Janeiro no período anterior a ZCAS. Durante a ZCAS, os ventos na região são modificados para de sudeste, e com isso a ressurgência é interrompida. As diferenças de TSM entre a região costeira do Rio e o oceano mais profundo caem para cerca de 1°C .

Observando-se a banda de nebulosidade presente no evento 5 esta se localiza pequena extensão do litoral norte de São Paulo, litoral do Rio de Janeiro e litoral do sul da Bahia (figura 8(e)). Nesta mesma região se observa redução da TSM com os resultados do ROMS (figura 12(e)). No sexto evento de ZCAS analisado com o modelo ROMS mostrou redução da TSM no litoral do estado do Rio de Janeiro e pequena extensão do norte do estado de São Paulo (figura 12(f)), região

semelhante onde também se observou a redução da TSM com o HYCOM-NCODA (figura 9(f)).

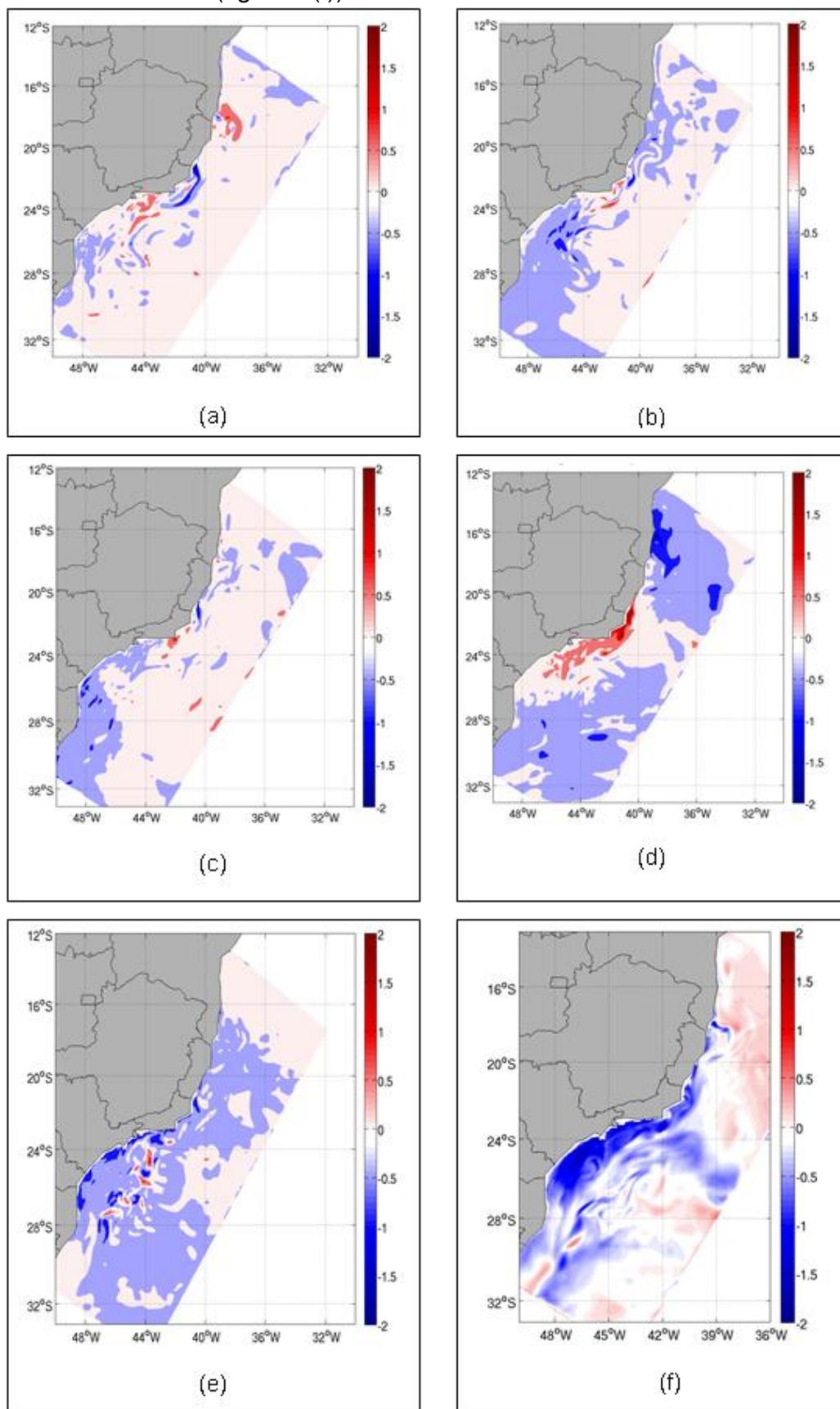


Figura 12: Diferença das médias de TSM obtidas a partir do ROMS. (a) 18 a 21/ jan/ 2011, (b) 9 a 16/ fev/ 2011, (c) 20 a 23/ jan/2010, (d) 6 a 12/ mar/ 2010, (e) 8 a 11/10/2009, e (f) 4 a 9/12/2009.

Seis processos podem afetar a temperatura do oceano: a radiação, o resfriamento por precipitação, a advecção horizontal de calor, o entranhamento na base da camada de mistura, o fluxo de calor sensível para a atmosfera e o fluxo de calor latente para a atmosfera. Estes processos interagem e produzem situações locais que irão, em última instância, alterar a temperatura da superfície e de toda a camada de mistura. A presença de um ciclone e a passagem de uma frente fria são exemplos dessas situações. No caso específico deste trabalho, a presença da ZCAS foi fator local gerador da variação temperatura oceânica. A presença de uma camada espessa de nuvens reflete grande parte da ROC no topo da camada de nuvens de volta para o espaço, reduzindo substancialmente a ROC na superfície e ainda bloqueia a perda de calor de ROL para a alta atmosfera e o espaço.

O que se observou da análise geral dos eventos previstos pelo ROMS é que ocorreu redução TSM durante os episódios de ZCAS, que ficaram mais evidentes nos episódios 2 e 6. Uma curiosidade no evento 4 foi a formação de uma outra banda de nebulosidade mais ao sul da formação da ZCAS. Essa outra banda indica a entrada de uma frente fria, que poderia promover um reforço do sinal climatológico da ZCAS nesse verão.

Os resultados das previsões do ROMS apontando redução de TSM durante eventos de ZCAS estão de acordo com os resultados encontrados por Chaves e Nobre (2004). Eles atribuíam este resfriamento principalmente à diminuição da incidência da radiação de ondas curtas (ROC) como consequência do aumento da cobertura de nuvens durante os períodos de ZCAS. Isso favorece o aparecimento de anomalias negativas de TSM ou o enfraquecendo as anomalias positivas pré-existentes. Os autores constataram também o predomínio de *feedback* negativo (cobertura de nuvens/ROC - TSM) entre a atmosfera e o oceano subjacente. Esta relação possui magnitude maior que o *feedback* dinâmico associado com o transporte de Ekman, que só foi observado em eventos fortes de ZCAS. Portanto, os resultados encontrados por esses autores sugerem que as anomalias negativas da TSM observadas representam uma resposta oceânica para a forçante atmosférica.

Entretanto, CHAVES e NOBRE (2004) usaram modelo oceânico de baixa resolução espacial para obter seus resultados. No presente trabalho, o modelo ROMS possui resolução horizontal de $1/24^\circ$, o que permite um diagnóstico mais preciso sobre o processo de mesoescala do bombeamento de Ekman e sua contribuição na produção da anomalia de TSM causada pela ZCAS.

Para investigar os processos que levam à variação da TSM deve-se também examinar a contribuição de calor na camada de mistura oceânica, pois, há um equilíbrio de ganhos e perdas térmicas na

superfície (oceânica ou não), onde estão envolvidas a radiação solar, a radiação de onda longa, a transferência direta de calor (calor sensível), a transferência de calor evaporativo e também a transferência de calor advectivo, ou seja, transporte de propriedades pela corrente, e ainda por convecção vertical ou turbulência,.. Tendo em vista a convergência de ventos de superfície imposta pela ZCAS, espera-se uma contribuição do bombeamento de Ekman às anomalias de TSM, principalmente em ZCAS com forte convergência. Nesse trabalho é investigada a variação da espessura da camada de mistura como um primeiro passo para a investigação quantitativa da contribuição do entranhamento em relação a redução de ROC na superfície na geração da anomalias negativa de TSM.

3.3. Variação da espessura da camada de mistura oceânica durante episódios de ZCAS.

Para o cálculo da espessura da camada de mistura oceânica primeiro definimos a CMO e para isto utilizamos o critério da variação de temperatura de $0,5^{\circ}\text{C}$ e densidade de $0,125 \text{ Kg/m}^3$, mesmo critério utilizado por Cirano et al., (2006). A partir desta etapa foi calculada a média da espessura da CMO do período e de dois dias antes da ocorrência das ZCAS.

As determinações da variação da espessura da CMO foram feitas no modelo ROMS nos mesmos períodos de eventos de ZCAS selecionados para a determinação variação da TSM.

Observando-se a diferença das médias da TSM para o período de 18 a 21 de janeiro de 2011, figura 12(a), nota-se que a área na qual ocorreu redução da TSM corresponde à área de atuação da ZCAS, ao largo do litoral de Santa Catarina até o litoral de São Paulo (26° S a 30° S).

A diferença das médias da espessura da CMO tomadas entre período da ZCAS e o período anterior à ZCAS mostra na figura 13(a) numa região próxima ao litoral do estado de São Paulo uma faixa oblíqua, na direção noroeste-sudeste que avança no Atlântico Sul, em que houve redução da espessura da CMO. Portanto, se observa uma clara correspondência entre a região de atuação da ZCAS, a e as áreas de diminuição da TSM e a redução da espessura da CMO.

Observando-se agora a figura 12(b) que mostra a diferença das médias da TSM nota-se que a área em que ocorreu redução da TSM corresponde a área de atuação da ZCAS, do litoral de Santa Catarina até o litoral de São Paulo (26° S a 30° S), é possível se observar também que na região próxima ao litoral do estado de São Paulo uma faixa oblíqua de redução da espessura da CMO, na direção noroeste-sudeste que avança no Atlântico Sul (figura13(b)). Portanto, se observa

correspondência entre a região de atuação da ZCAS, a e as áreas de diminuição da TSM e de redução da espessura da CMO.

A figura 13(c) mostra a diferença das médias da espessura da CMO e nota-se no litoral de São Paulo área com redução da espessura da CMO com correspondência com a região de atuação da ZCAS e a área onde ocorreu queda dos valores da TSM.

No período 6 a 12 de março de 2010 a ZCAS esteve localizada no litoral do Espírito Santos e no extremo sul da Bahia. Neste mesmo período se formou outra banda de nebulosidade mais ao sul, próximo ao litoral de Santa Catarina e do Paraná.

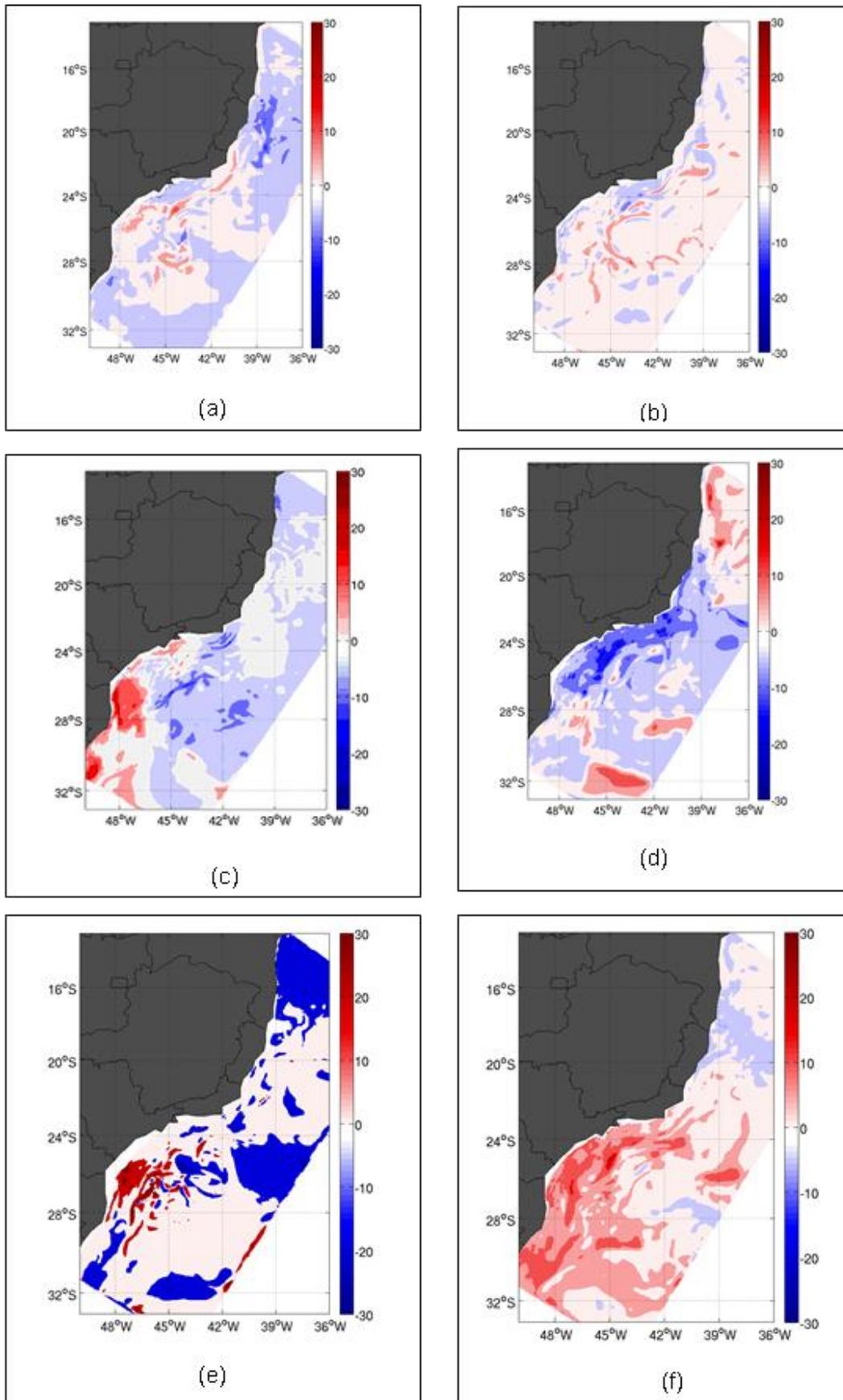


Figura 13: Diferença das médias da CM obtidas a partir do ROMS. (a) 18 a 21/ jan/ 2011, (b) 9 a 16/ fev/ 2011, (c) 20 a 23/ jan/2010, (d) 6 a 12/ mar/ 2010, (e) 8 a 11/10/2009, e (f) 4 a 9/12/2009.

Na figura 13(d), que mostra a diferença das médias, é possível também se observar duas regiões em que há redução da TSM a primeira correspondendo a ZCAS no litoral do Espírito Santo e sul da Bahia e a segunda correspondendo a nebulosidade localizada no litoral de Santa Catarina, Na região correspondente a área de influencia da ZCAS (litoral do estado do Espírito Santo) é possível observar redução da espessura da CMO.

No evento 5 a banda de nebulosidade correspondente a ZCAS se localizou no litoral do Rio de Janeiro, pequena extensão do litoral norte de São Paulo e sul da Bahia, e nesta região também ocorreu redução da CMO (figura 13e)) que também foi percebido pelo HYCOM-NCODA (figura 9(e)).

Comparando-se a figura 12(f), que mostra a diferença das médias da TSM onde se observa redução da TSM na região do litoral do estado do Rio de Janeiro e pequena extensão do norte do estado de São Paulo, com a figura 13(f), que mostra a diferença das médias da espessura da CMO neste mesmo período, é possível se observar que a diminuição da espessura da CMO está desviada mais ao norte em relação a redução da TSM.

O fluxo de calor líquido da superfície da atmosfera para dentro da camada de mistura é composto pela radiação de onda curta, onda longa, latente, e sensível e a radiação que penetra na base da camada de mistura. Os processos oceânicos que contribuem para variações na temperatura da CMO são advecção zonal e meridional, entranhamento de água fria pela base da CMO, e fluxo de calor turbulento vertical e meridional. O fluxo de calor turbulento zonal costuma ser desprezado após análise de escala.

A resposta oceânica observada nos eventos das ZCAS foi uma anomalia fria de TSM, com redução na espessura da CMO. Portanto, a área de atuação das ZCAS foi marcada por uma região de CMO menos espessa no sentido Nordeste-Sudeste.

Um dos fatores que pode explicar essa redução da CMO é a ressurgência, que também interfere na TSM.

A ressurgência é processo de ascensão de águas mais frias subsuperficiais (mais profundas) para cima por conservação de massa, causando esfriamento da camada superficial oceânica e aumentando a concentração de nutrientes.

Durante os episódios de ZCAS ocorre a convergência atmosférica na superfície. Essa variabilidade horizontal do vento sobre o oceano leva a uma variabilidade horizontal dos transportes de Ekman. Como a massa precisa ser conservada, a variabilidade dos transportes horizontais é balanceada pelo movimento vertical no topo da camada de Ekman e ressurgência de águas profundas durante os períodos das

ZCAS. Palmeira (2008) encontrou resultados semelhantes com o HYCOM no estudo de outros sistemas transientes no atlântico sudoeste.

3.4. Transporte de massa durante os períodos de ZCAS

Para o cálculo do transporte de massa durante os períodos de ZCAS na região de sua influência foram cumpridas as seguintes etapas:

Primeiro foram determinadas às regiões onde as ZCAS's estavam localizadas a partir dos campos ilustrativos da temperatura de brilho média obtida pelo satélite GOES-12, divulgados na revista Climanálise, nos mesmos períodos de eventos de ZCAS selecionados para a determinação da variação da TSM.

Uma vez estabelecida à região de influência da ZCAS, essa região foi delimitada no mapa de batimetria da área de estudo do presente trabalho, determinando-se as latitudes e longitudes dos limites norte e sul. Para o limite oeste foi admitido a costa continental. O limite leste foi assumido o mesmo estabelecido para o modelo ROMS.

A figura 14 exemplifica o resultado desse processo para período de 4 a 9 de dezembro de 2009. Na figura nota-se duas linhas paralelas azuis representando os limites norte e sul para esse período.

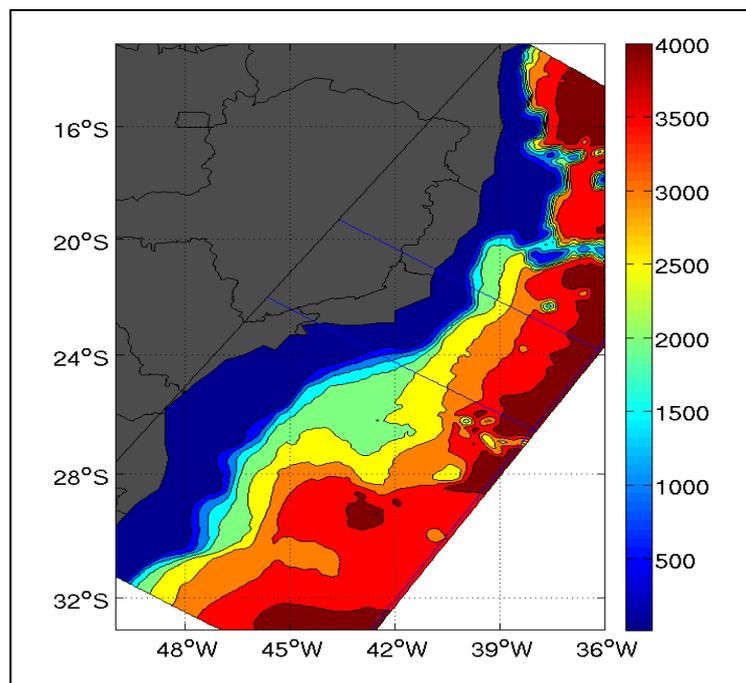


Figura 14: Delimitação dos limites para o cálculo do transporte, 6 a 12/ mar/ 2010.

Estabelecido os limites e configurada a área de estudo foi calculado o transporte de massa zonal e meridional de superfície consequente do rotacional dos ventos na região.

Assim foi determinado o transporte zonal de superfície calculando-se no modelo ROMS o fluxo de massa no limite norte (T_NORTE) e no limite sul (T_SUL). O transporte meridional foi determinado calculando-se o fluxo de massa no limite leste (T_MERI). Foi estabelecido também o fluxo para sul e para leste com valores positivos.

O movimento horizontal de água gerado pelo vento pode induzir o movimento vertical na superfície da água, isto é, a circulação vertical induzida pelo vento. Quando ocorre o movimento ascendente de água este é denominado de ressurgência. Para este estudo o transporte vertical de massa (Mz) foi estabelecido pela soma algébrica dos transportes de superfície ($-T_{\text{NORTE}} - T_{\text{MERI}} + T_{\text{SUL}}$). Se esta soma apresentar valor negativo (-Mz), isto implica em predomínio de saída de massa da região delimitada e conseqüentemente movimento vertical ascendente de água (ressurgência). Caso contrario (+Mz) o movimento horizontal predominante foi de entrada de massa, logo o movimento vertical foi descendente, subsidência.

Para este estudo o transporte vertical de massa (Mz) foi estabelecido pela soma algébrica dos transportes de superfície ($-T_{\text{NORTE}} - T_{\text{MERI}} + T_{\text{SUL}}$). Se esta soma apresentar valor negativo (-Mz), isto implica em predomínio de saída de massa da região delimitada e conseqüentemente movimento vertical ascendente de água levando à ressurgência. Caso contrario (+Mz) o movimento horizontal predominante foi de entrada de massa, logo o movimento vertical foi descendente, levando à subsidência.

A tabela 5 mostra os resultados obtidos do calculo de transporte de massa. Os valores estão representados em sverdrup (sv).

É possível observar que em todos os eventos estudados houve movimento vertical ascendente que variou de 0,0154 sv no evento 6 a 0,1362 sv no evento 2. A média da ressurgência foi de 0,0831sv para todos os eventos.

Tabela 5 - Transporte de massa nos eventos de ZCAS selecionados entre janeiro de 2009 e dezembro de 2011.

Fluxo	Evento 1	Evento 2	Evento 3	Evento 4	Evento 5	Evento 6
Mz	-0,0815 sv	-0,1362 sv	-0,1042 sv	-0,0688 sv	-0,0925 sv	-0,0154 sv
T_NORTE	-0,0609 sv	-0,0244 sv	0,0069 sv	0,0517 sv	0,7300 sv	-0,0158 sv
T_SUL	-0,1218 sv	-0,1129 sv	-0,1268 sv	-0,0214 sv	-0,0867 sv	-0,0011 sv
T_MERI	0,0205 sv	0,0478 sv	-0,0295 sv	-0,0043 sv	0,0048 sv	0,0301 sv

4. CONCLUSÃO

O motivo que nos levaram a analisar os fenômenos que ocorrem durante as ZCAS no presente trabalho é contribuir para o entendimento dos processos de interação oceano-atmosfera e estudar alguns mecanismos oceânicos que ocorrem ao largo da costa da região Sudeste do Brasil associados à ZCAS, envolvendo as trocas de calor e momentum entre o oceano e atmosfera.

Buscou-se responder, neste trabalho, à seguinte questão: Qual a importância da ZCAS nas variações no oceano subjacente da TSM, da salinidade e da espessura da camada de mistura? Para isto foi realizado o estudo da variação da TSM, da variação da CMO e do transporte de massa vertical durante e imediatamente antes da ocorrência de seis eventos de ZCAS ao largo da costa sudeste do Brasil. Os resultados encontrados foram apresentados e analisados no Capítulo 3.

A partir dos dados obtidos com o sistema HYCOM-NCODA e com o modelo ROMS constatamos que a presença da ZCAS levou à redução da TSM do oceano subjacente. Esta variação pode ser explicada pela diminuição da incidência da radiação de ondas curtas como consequência do aumento da cobertura de nuvens durante os períodos de ZCAS como mostrado por CHAVES E NOBRE (2004) e BARREIRO.

Contudo, este não é o único fator envolvido nesse resfriamento. A resposta oceânica ao fenômeno da ZCAS tem papel importante durante o processo de resfriamento. O entranhamento de águas frias na base CMO com consequente transporte vertical ascendente de massa reduz a espessura dessa camada com também contribui com a queda da TSM. Tendo em vista que os trabalhos que enfocaram as anomalias de TSM provocadas pela ZCAS foram muito poucos e que os autores empregaram modelos com relativamente baixa resolução há espaço para se investigar a contribuição de outros processos oceânicos de meso-escala com modelos de alta resolução espacial.

Acreditamos que uma das principais contribuições desse estudo foi demonstrar de forma qualitativa que o mecanismo oceânico de entranhamento por bombeamento de Ekman participa do processo de variação da TSM. Cabe agora em trabalho futuro quantificar essa contribuição e compará-la à contribuição da redução a ROC e às alterações de ROL na superfície. Ainda, cabe investigar a contribuição de todos os processos oceânicos na produção de anomalia de TSM durante eventos de ZCAS, incluindo a advecção horizontal de calor.

Outra contribuição desse estudo foi mostrar que o modelo ROMS é sensível na previsão de curto-prazo dos efeitos da ZCAS na camada de mistura, permitindo o estudo do fatores oceânicos envolvidos. Isso demonstra que a previsão oceânica de curto-prazo tem importância e ainda que ela pode contribuir para a melhoria da previsão de tempo. Na

verdade, aqui se apresenta uma justificativa para que um modelo acoplado oceano-atmosfera seja implantado para a previsão operacional ao largo do sudeste do Brasil.

5. REFERÊNCIAS

1. BARREIRO, M., CHANG, P., AND SARAVANAN, R. Variability of the South Atlantic Convergence Zone simulated by an atmospheric general circulation model, *J.Clim.*, 15, 745-763. 2002.
2. CHAVES, R.R.; NOBRE, P. Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. *Geophys. Res. Lett.*, 31: doi: 10.1029/2003GL018647. 2004.
3. CIRANO, M.; MATA, M. M.; CAMPOS, E. J. D.; DEIRÓ, N. F. R. A circulação oceânica de larga-escala na região oeste do Atlântico Sul com base no modelo de circulação Global OCCAM. *Revista Brasileira de Geofísica*, Vol. 24, pp. 209-230. 2006.
4. DONLON et al. / *Remote Sensing of Environment* 116, 140–158, 2012.
5. ENFIELD, D. B.; MESTA-NUÑEZ, A. M.; TIMPLE, P. J. The Atlantic multidecadal oscillations and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophysical Research Letters*, v. 28, n. 10, p. 2077–2080, 2001.
6. FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. Precipitation distribution over central and western tropical South America. *Climanálise*, v. 5, p. 36-45, jun. 1990.
7. FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M. A. F. Composição da zona de convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 19, n. 1, p. 89-98, 2004.
8. FIGUEROA, S. N.; SATYAMURTY, P.; SILVA DIAS, P. L. Simulations of the summer circulation over the South American region with an ETA coordinate model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 52, p. 1573-1584, 1994.
9. GRIMM, A. M.; SILVA DIAS, P. L. Analysis of tropical – extratropical interactions with influence functions of a barotropic model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 52, n. 20, p. 3538-3555, Oct. 1995.
10. HASTENRATH, S., 1991: *Climate Dynamics of the Tropics*. Kluwer, 486 p.
11. JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. Active and break phases in the South American Monsoon System. *Journal of Climate*, v. 15, p. 905-914, abr. 2002.
12. JONES, C.; HOREL, J. D. A circulação da Alta da Bolívia e a atividade convectiva sobre a América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 5, p. 379-387, jun. 1990.
13. KALNAY, E. et al. NCEP/NCAR 40-year Reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 77, p. 437-471, 1986.

14. KODAMA, Y. Large-scale common features of Sub-tropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: characteristics of Subtropical Frontal Zones. *Journal of Meteorological Society of Japan*, v. 70, n. 4, p. 813-835, Aug. 1992.
15. KODAMA, Y. Large-scale common features of Sub-tropical Convergence Zones (The Baiu Frontal Zone, The SPCZ, and the SACZ). Part II: conditions of the circulation for generating the STCZs. *Journal of Meteorological Society of Japan*, v. 71, n. 5, p. 581-610, Oct. 1993.
16. KRISHNAMURTI, T. N.; KANAMITSU, M.; KOSS, W. J.; LEE, J. D. Tropical east-west circulation during the Northern Winter. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 30, p. 780-787. 1973.
17. LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; GLICK, J. D. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, v. 12, p. 1877-1891, July 1999.
18. MARTA-ALMEIDA, M; PEREIRA J; CIRANO M. Development of a pilot Brazilian operational ocean forecast system, REMO-OOF. *J Oper Ocean* v.4, p. 3–15. 2011.
19. NINOMIYA, K. Similarity and difference between the South Atlantic Convergence Zone and the Baiu Frontal Zone simulated by an AGCM. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, v.85, n. 3, p. 277-299, jun. 2007.
20. NÓBILE TOMAZIELLO, A. C. Influências da temperatura da superfície do mar e da umidade do solo na precipitação associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul. 2010. 166 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.
21. NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K. C. Alternating wet and dry conditions over South America during Summer. *Monthly Weather Review*, v. 125, p. 279-291, Feb. 1997.
22. NOBRE, P.; MALAGUTTI, M.; CHAVES, R. R. Modulações da ZCAS pelas temperaturas da superfície do mar no Atlântico Sudoeste. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002, Foz do Iguaçu, PR. Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. São José dos Campos, SP: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002.
23. PALMEIRA, A. C. P. A. Modelagem Numérica de Eventos Extremos de Altura Significativa de Ondas na Região Oeste do Atlântico Sul. Dissertação de M.Sc., IAG-USP, São Paulo, SP. 2008.
24. QUADRO, M. F. L. Estudo de episódios de zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. 124 p. (INPE-6341-TDI/593).

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1994.

25. REBOITA, M. S.; GAN, M.A.; R.; DA ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, p. 185-204, jun. 2010.
26. ROBERTSON, A. W.; C. R. MECHOSO. Interannual and interdecadal variability of the South Atlantic Convergence Zone. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 2947-2957. 2000.
27. TANAJURA, C.A.S.; SHUKLA, J. Modeling the effect of the Andes on the South American Summer climate. *Rev. Bras. Meteor.*, v. 20, n. 3, 315-332, 2005.
28. TEIXEIRA, F. V. B. , TANAJURA, C.A.S., Toledo, E. M. An investigation of the SACZ with extended simulations of the atmospheric model RAMS, *Revista Brasileira de Meteorologia*, Vol: 17; n. 1; 83-92, 2002