

OBSERVAÇÃO DA PENETRAÇÃO DO RAMO COSTEIRO DA CORRENTE DAS MALVINAS NA COSTA SUL-SUDESTE DO BRASIL A PARTIR DE IMAGENS AVHRR

CARLOS LEANDRO DA SILVA JR.¹
MILTON KAMPEL¹
CARLOS EDUARDO SALLES DE ARAUJO¹
JOSE LUIS STECH¹

¹INPE--Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12201 Sao Jose dos Campos, SP, Brasil
{leandro,milton}@ltid.inpe.br

Abstract. This paper describes the penetration of a cold water tongue over the southeast Brazilian continental shelf. The analysis of a set of AVHRR images (1993, 1994 e 1995) indicates that during wintertime, the Malvinas Current penetrates more intensively over the southeast Brazilian continental shelf, shifting the Brazil Current eastwards. The cold water intrusion presents temperatures of 14°C from about 30°S-49.5°W, until 27°S-48°W. Due to mixing processes over the continental shelf region, the temperatures of this tongue reach 20° C at its northern boundary (23.5° S, 43.5° W). From these observations, we suggest that this feature is part of the wintertime circulation over south-southeast Brazilian continental shelf.

Keywords: SST fields, AVHRR images, Malvinas and Brazil Currents .

1- Introdução

No final da última década e no decorrer dos anos 90, devido às mudanças climáticas ocorridas a nível global, tem aumentado o interesse da comunidade oceanográfica, tanto nacional quanto internacional, em estudar sistematicamente o oceano global na tentativa de compreender os sinais climatológicos por ele indicado. Uma das regiões que vem sendo foco desses estudos é a região sudoeste do Oceano Atlântico. A criação do Projeto Circulação Oceânica na Região Oeste do Atlântico Sul (COROAS), é um exemplo da afirmação ora feita, visto que o mesmo, representa a contribuição brasileira ao programa internacional de estudos de circulação oceânica: World Ocean Circulation Experiment (WOCE). No entanto, os resultados apresentados até a presente data sobre a região, ainda não foram suficientes para esclarecer certos aspectos do comportamento oceanográfico das correntes e massas d'água que transitam ou se formam nesta região do Oceano Atlântico.

Um dos principais processos oceanográficos que influenciam na dinâmica da plataforma nas regiões costeira e oceânica sul-sudeste do Brasil, durante o período de inverno, é a penetração das águas de origem sub-antártica transportadas para norte por uma ramificação costeira da Corrente das Malvinas (CM).

Estas águas frias e de baixa salinidade, dividem a dinâmica da região, com as águas quentes e salinas de origem tropical transportadas pela Corrente do Brasil (CB). Somadas a estas duas águas, podemos ainda encontrar a contribuição de águas de origem continental provenientes da Lagoa dos Patos e do próprio estuário do Rio da Prata.

O conhecimento da dinâmica do oceano nesta região é importante não só para estudos climatológicos, mas principalmente para a biologia das espécies que aí residem e consequentemente para toda a pesca da região. Sabe-se que a nível nacional, esta região é a mais piscosa devido, em grande parte, ao enriquecimento ocasionado pela concentração de nutrientes trazidos das latitudes sub-antárticas que propiciam uma grande produtividade biológica. Consequentemente, aumenta o aparecimento dos recursos pesqueiros na região.

Devido à diferença de temperatura entre as águas frias presentes, predominantemente sobre a plataforma continental, e as águas tropicais quentes, sobre o talude, pode-se identificar um forte contraste térmico nesta região, o que facilita a visualização de feições termais aí existentes. Assim, o método ideal para estudar a variabilidade espaço-temporal da região em questão é através dos canais termais do sensor

Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo dos satélites da série National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA).

O objetivo deste trabalho é utilizar um conjunto de imagens AVHRR para observar a intrusão de uma ramificação da CM sobre a plataforma continental da costa sul-sudeste brasileira no decorrer de 3 anos consecutivos (1993, 1994 e 1995).

2 Processamento das Imagens

Uma série de dados AVHRR de alta resolução (1.1 km) foi gravada pela estação High Resolution Picture Transmission (HRPT) do INPE de Cachoeira Paulista - SP no formato 1-B da NOAA. Neste formato, os dados brutos foram armazenados com as informações necessárias à sua calibração e georeferenciamento.

A área de cobertura da antena permite uma visão de toda a área oceânica e costeira das regiões sul-sudeste do Brasil. Foi selecionado um conjunto de imagens do período de inverno dos anos de 1993, 1994 e 1995, a fim de se observar a variabilidade meridional da frente termal Brasil-Malvinas durante o período analisado. Os meses de inverno foram escolhidos, pois nesta estação ocorre uma penetração mais acentuada das águas frias de origem sub-antárticas provenientes da CM sobre a plataforma continental sul-sudeste brasileira.

A precisão dos valores de TSM obtidos a partir do satélite, está sujeita a influência de vários fatores atmosféricos que degradam a exatidão do valor final do sinal. A reflexão especular (canal 3 - 3.55-3.93 μm), absorção pelo vapor d'água na baixa atmosfera (canais 4 e 5 - 10.3-11.3 μm e 11.5-12.5 μm), e absorção por aerossóis (todos os canais), são as maiores fontes de erro na determinação precisa da TSM.

Um avanço significativo na correção dos efeitos atmosféricos sobre o valor de TSM foi obtido a partir das observações em diferentes canais do sensor AVHRR, combinados à utilização do algoritmo de correção Multi-Channel Sea Surface Temperature (MCSST) apresentado em McClain et al. (1981). Segundo os autores, existe uma relação linear entre a atenuação do vapor d'água na atmosfera e as temperaturas de brilho, medidas nas diferentes bandas espectrais do sensor AVHRR.

As imagens utilizadas neste trabalho foram corrigidas dos efeitos atmosféricos utilizando-se o algoritmo apresentado em Kidwell (1991), para o período diurno. Estas imagens foram posteriormente submetidas a um contraste por rescalonamento dos níveis digitais ("stretch"), permitindo assim, um realce entre as feições térmicas de superfície. Posteriormente, as imagens

foram retificadas na projeção Mercator utilizando-se pontos de controle localizados sobre a linha de costa e colocadas. As diferentes etapas do processamento das imagens podem ser vistas em (Silva Jr. e Maluf, 1993). Convém lembrar, que os valores de TSM aqui apresentados, não foram comparados a nenhuma outra base de dados in-situ. Desta forma desvios da ordem de ($\pm 1^\circ\text{C}$) podem ser esperados nos valores apresentados nas tabelas de cores das respectivas imagens.

Com as imagens colocadas em uma mesma projeção foi possível a realização de uma análise comparativa multi-temporal entre as imagens.

3 Análise das imagens

Durante 3 invernos consecutivos (1993, 1994 e 1995) os campos de TSM foram observados a partir de um conjunto de imagens AVHRR. Foi possível monitorar o comportamento da dinâmica do oceano sobre a região sul-sudeste brasileira. As imagens correspondentes ao período de inverno foram escolhidas para este trabalho, pois além de coincidir com a penetração deste ramo da CM sobre a plataforma continental brasileira, esta é a época do ano em que a nebulosidade sobre a região de interesse é menor, em relação a outras épocas do ano. A nebulosidade sobre a área de interesse, durante os períodos de inverno, está associada com a passagem de sistemas frontais atmosféricos. Uma análise do vento medido sobre a costa durante o período de inverno feita por Stech e Lorenzetti (1992), mostra que a frequência de passagens de frentes frias sobre a região é de 6 a 11 dias. Logo, espera-se encontrar entre estes períodos boa visibilidade para as imagens termais. As figuras 3.1, 3.2 e 3.3 apresentam as imagens dos dias 20-07-93, 27-07-94 e 30-07-95, respectivamente.

3.1 Análise da imagem do dia 20-07-93

Esta imagem do satélite NOAA-11 obtida às 19:20 GMT, apresenta um caso raro de condição de nebulosidade sobre a costa sul-sudeste brasileira, onde podemos observar uma baixa quantidade de nuvens, o que representa uma boa condição para a gravação de imagens AVHRR e conseqüentemente, observação de feições termais de superfície. Em particular nesta imagem, podemos notar que a área sem cobertura de nuvens estende-se desde (20°S , 39°W) até (32°S , 51°W).

A imagem mostra a CB fluindo para sudoeste com temperaturas variando em torno de 23.5°C em 20°S e 20°C em 32°S . Nesta imagem podemos observar sobre a -plataforma continental, a penetração de uma água fria (14.5°C -tons azuis escuros na imagem) vinda

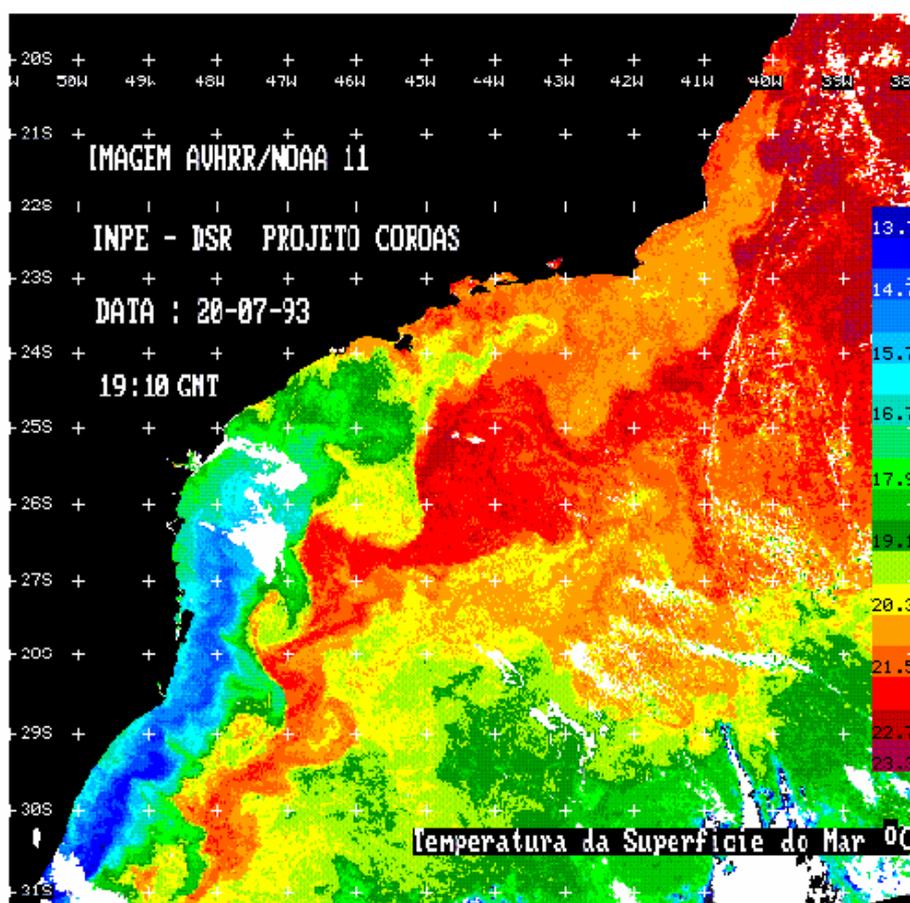


Figura 3.1 - Imagem AVHRR de 20-07-93.

desde o sul do Brasil, até atingir o seu máximo valor (19.8°C) próximo ao sul da Baía de Guanabara (23°S e 43°W).

A imagem mostra acentuados gradientes térmicos entre 30°S e 25°S , originados na interface entre a água fria oriunda de sul, aprisionada entre a costa e as águas quentes da CB. Nesta parte da imagem é vista uma série de instabilidades no fluxo médio da CB, representados na forma de meandramentos e principalmente vórtices. Pode-se observar pelo menos 3 vórtices nesta parte da imagem: sendo o primeiro ciclônico (sentido horário no hemisfério sul) centrado em 26°S e 45.8°W , cujo núcleo apresenta valores de TSM em torno de 20°C . O segundo e o terceiro vórtices, na realidade, representam um dipolo em forma de cogumelo. O primeiro vórtice, centrado em 27.5°S e 47.3°W está sob efeito de uma circulação ciclônica, com valores de TSM em seu núcleo em torno de 19.5°C . O terceiro vórtice, centrado em 29°S e 46.5°W , com sentido anticiclônico (anti-horário no hemisfério sul) apresenta valores de TSM da ordem de 20.5°C e está localizado na CB.

No período de 17 a 29 de julho de 1993 foi possível obter uma série de dados hidrogáficos coletados pelo Navio Oceanográfico Prof. Besnard, durante uma comissão de inverno do Projeto COROAS, em frente ao litoral do Estado de São Paulo. Segundo Stech et al. (1994), os dados hidrográficos obtidos neste período mostraram uma pequena interação entre as águas de plataforma e as águas de fundo durante o inverno de 1993. As análises dos diagramas T-S revelaram águas de origem costeira sobre a plataforma com salinidades entre ($33 < S < 34$ UPS), ou seja menores pelo menos 3 UPS que aquelas apresentadas no período de verão. A fria água observada nas imagens termais está também presente nas seções verticais e horizontais como uma rasa língua relativamente fria ($T < 19^{\circ}\text{C}$) e de baixa salinidade ($S < 34$ UPS) fluindo para nordeste entre a costa e a CB.

Esta imagem revela ainda que, esta língua de água relativamente fria atinge a região sudoeste da Ilha de São Sebastião (24°S). A partir deste ponto, apenas um filamento de água de 20°C é observado se propagando para nordeste, mas já em processo de dissipação. Na

mesma imagem nas regiões dos Cabos de São Tomé e Cabo Frio, conhecidas pelo fenômeno de ressurgência costeira que ocorre durante boa parte do ano, não se percebe a ocorrência de tal evento, sendo a região dominada tão somente pelas águas da CB.

3.2 Análise da Imagem do dia 27-07-94

A imagem do dia 27-07-94 do satélite NOAA-12, obtida às 9:16 GMT, assim como no ano anterior, apresenta uma baixa nebulosidade sobre a área de interesse e, portanto, foi escolhida para representar a condição de inverno para o ano de 1994.

A CB nesta imagem ocupa toda a área oceânica desde 20°S, com a temperatura máxima superficial da ordem de 23°C e temperatura mínima de 20° C, em grande parte da região oceânica localizada ao sul da imagem e sobre a plataforma continental ao sul da Ilha de São Sebastião. Um outro aspecto da circulação oceânica típica da região, porém não observado na imagem, foi o não aparecimento do fenômeno da ressurgência na região dos Cabos Frio e São Tomé.

Assim como na imagem do inverno de 1993, é possível notar a penetração do ramo costeiro e frio da

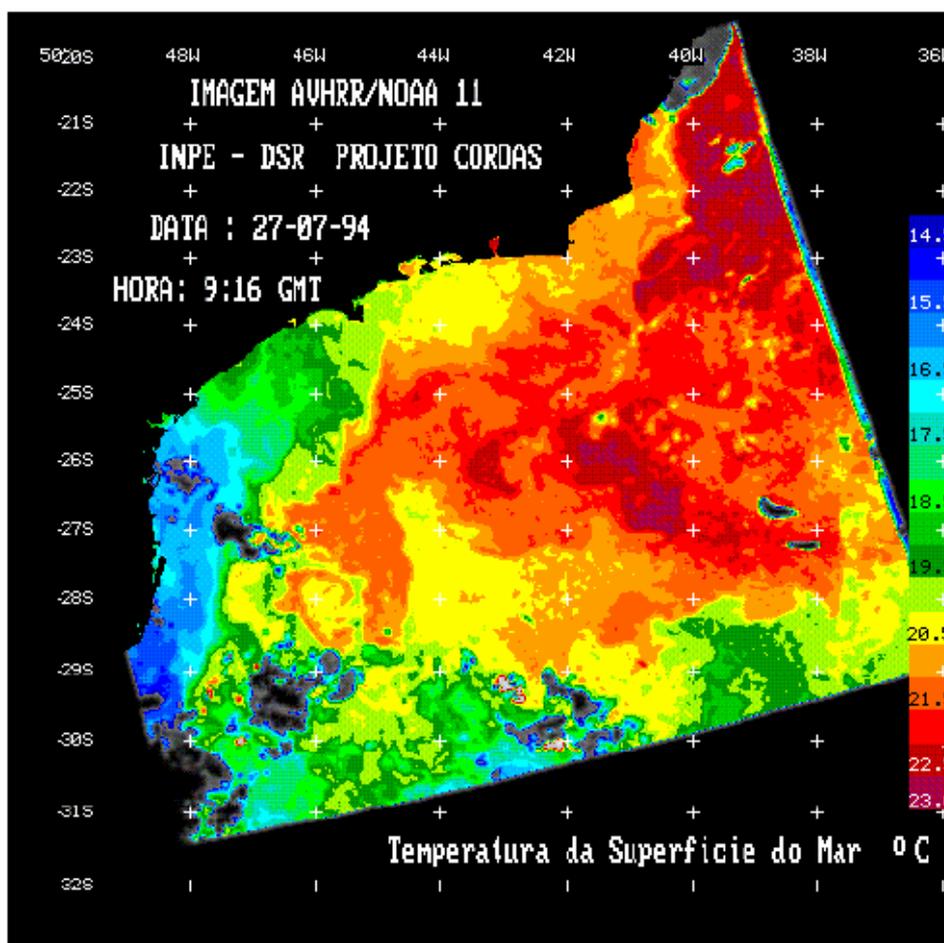


Figura 3.2 - Imagem AVHRR de 27-07-94

CM ocupando boa parte da plataforma continental. Apesar da imagem apresentar uma certa nebulosidade ao sul de 29° S, as temperaturas em seu limite sul são da mesma ordem das encontradas na imagem do ano anterior (15.5° C em 29° S). O limite norte desta língua fria (19.5° C) sobre a plataforma, está nas proximidades

de 24° S, ou seja, um pouco ao sul do ano anterior. Quando comparamos a situação de inverno de 1993 com a de 1994, na região de interface (frente oceânica) desta água fria, localizada sobre a plataforma, com as águas quentes da CB entre 25° S e 30° S, notamos que o número de meandros e vórtices diminuíram

consideravelmente em relação a 1993. O gradiente térmico entre estas águas diminuiu nesta última imagem, em relação aos valores apresentados no ano anterior. Logo, as instabilidades também diminuíram. No entanto, ainda foi possível notar na imagem um grande vórtice de núcleo frio centrado em 28° S e 46° W.

3.3 Análise da imagem do dia 30-07-95

Esta imagem foi obtida pelo satélite NOAA-12 às 9:49 GMT e apresenta, em relação às imagens anteriores, uma certa nebulosidade ao sul de 27° S decorrente uma certa nebulosidade ao sul de 27°C decorrente da chegada de uma frente fria sobre a região de interesse.

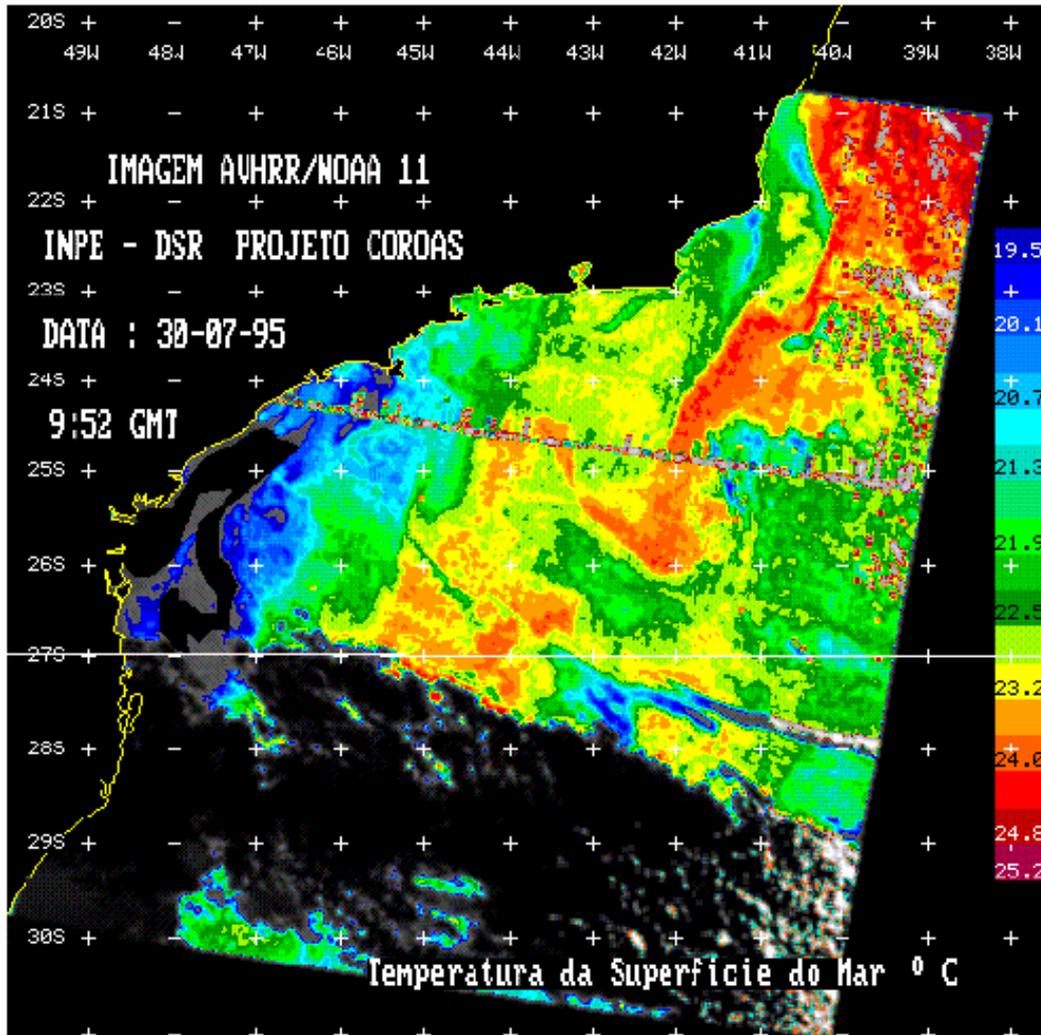


Figura 3.3 - Imagem AVHRR de 30-07-95

Em relação a CB, a imagem mostra valores de temperatura superiores a 2° C em relação à imagem do ano anterior. O valor máximo de temperatura (25° C) é observado na região ao norte de 22° S, e valores mínimos (20° C) são observados sobre a plataforma próxima ao Estado de São Paulo. Uma característica marcante da imagem de inverno de 1995 é o aparecimento de ressurgências relativamente fortes nas proximidades de Vitória - ES e Cabo de São Tomé - RJ, e uma fraca ressurgência em Cabo Frio.

Quanto a observação da extensão da língua fria sobre a plataforma, esta ficou prejudicada pela nebulosidade que praticamente cobriu toda área de interesse, limitando nossa análise em relação ao evento. No entanto, é possível visualizar na imagem águas frias de 18° C em 27° S sobre a plataforma. Todavia, esta água não conseguiu atingir as mesmas latitudes dos dois anos anteriores.

4 Discussão

As imagens aqui apresentadas, indicam que a penetração deste ramo de água fria sobre a plataforma, oriunda de latitudes mais altas, é um fenômeno sazonal intensificado no período de inverno. A subida desta língua de água fria até 24° S, em determinados anos, ainda não foi estudada pelos especialistas em dinâmica de correntes de contorno oeste.

Apesar de um número significativo de trabalhos discutirem a Confluência Brasil-Malvinas sobre o enfoque da utilização do sensoriamento remoto como ferramenta de análise (Tseng, 1974; Tseng et al., 1977; Inostroza e Almeida, 1978; Inostroza e Stevenson, 1981; Godoi, 1983; Olson et al., 1988), os autores não tiveram a oportunidade de mostrar ou mesmo discutir, a penetração deste ramo costeiro das CM sobre a plataforma continental brasileira.

Em Lino e Mascarenhas Junior (1985) foi possível, a partir da utilização de um conjunto de imagens termais obtidas pelo satélite NOAA-7, mostrar a propagação desta água fria sobre a plataforma continental da costa sudeste do Brasil. Naquele trabalho, os autores apresentam duas imagens com características semelhantes: uma imagem de 24-08-82, onde ao sul de 26° S é mostrada uma massa de água fria entre a costa e a CB, que os autores consideram como um vertígulo de Água Subantártica transportada pela CM; e uma segunda imagem de 17-07-83, onde a mesma intrusão de água ocorrida no ano anterior se apresenta bem mais acentuada chegando a 24° S nas imediações da Ilha de São Sebastião - SP. Os autores sugerem que tal penetração estaria relacionada ao fenômeno de El-Niño ocorrido no Oceano Pacífico nos anos de 1982/83. Especulações também foram feitas com relação aos efeitos que esta propagação anômala da CM possa ter sobre a pesca comercial na região.

Kampel (1993) e Vianna e Kampel (1995), mostraram através de análises estatísticas de cinco anos de dados derivados do sensor AVHRR (MCSST), que a área sob influência da CM no Atlântico Sudoeste apresenta um máximo de variabilidade interanual dos campos de TSM na bacia atlântica entre 45° N e 45° S.

Kampel (1993) apresentou uma imagem AVHRR de 20 de julho de 1993 que mostra a penetração de águas subantárticas (16°C), características da CM, fluindo de sul, até 25.6° S. O posicionamento relativo da isóbata de 500m na imagem, permitiu inferir que esta penetração ocorre sobre a plataforma continental sul americana. Foram observados também, a formação de meandros e vórtices quentes (horários) e frios (anti-horários), principalmente na região do talude continental.

Vianna (comunicação pessoal) afirma que em 1995 ocorreu a maior anomalia positiva do século dos campos de TSM do Atlântico, responsável pelas grandes perturbações climáticas observadas (furacões no Caribe, fracasso na pesca do atum na África Ocidental e aumento da precipitação no nordeste do Brasil).

O presente trabalho mostra, a partir da observação de imagens AVHRR de anos consecutivos, que a penetração do ramo frio da CM faz parte da dinâmica de inverno da plataforma continental da região sul-sudeste brasileira. A questão que precisa ser abordada, futuramente, é saber se este evento está relacionado a algum tipo de oscilação climatológica global.

Segundo o Climanálise de julho de 1993, naquele ano ocorreu um rápido enfraquecimento do presente episódio El-Niño, muito semelhante ao que ocorreu em 1992, na mesma época do ano. No entanto, os decréscimos observados nos índices oceânicos e atmosféricos associados ao episódio do El Niño, não foram suficientes para caracterizar o final da fase quente do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENSO).

O episódio quente do fenômeno ENSO, observado no Pacífico Tropical desde meados de 1991, continuou ativo até 1994. É possível que a intensidade desta penetração de água fria sobre a plataforma brasileira esteja realmente relacionada ao episódio de El Niño, pois esta condição de forte intrusão ocorreu em dois anos consecutivos (1993/94), fato semelhante ao ocorrido nos anos de (1982/83), ambos períodos de El-Niño. No ano de 1995, a mesma intrusão ocorreu, só que em menor intensidade. Durante este ano, o fenômeno de El-Niño não estava ativo.

A partir da presente data, esta intrusão de águas frias será observada de maneira sistemática, no sentido de aumentar nosso conhecimento sobre sua variabilidade, tanto sazonal quanto interanual. Tal evento é considerado de grande relevância para a dinâmica do Atlântico Sul.

Agradecimentos: Os autores agradecem a FAPESP pelo suporte financeiro dado ao Projeto COROAS, assim como aos operadores da estação HRPT do INPE de Cachoeira Paulista e a colega Sydnea Maluf Rosa pela seleção das imagens.

Referências

Godoi, S.S. *Estudo das variações sazonais da frente oceânica sub-tropical entre a Corrente do Brasil e a Corrente das Malvinas, Utilizando dados oceanográficos e do satélite SMS-2.* (Dissertação de mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto

Nacional de Pesquisas Espaciais, 1983, 325 p. (INPE-278-TDL/137).

Inostroza, V.H.M & Almeida, E.G. O extremo oeste da convergência sub-tropical do Oceano Atlântico Sul segundo os satélites NIMBUS-V e NOAA-5 e dados oceanográficos, nos anos de 1973 e 1978. (I Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, 27-29 de novembro de 1978).

Inostroza, V.H.M. & Stevenson, M.R. Aspectos do sistema Corrente do Brasil segundo os satélites SMS-2, NOAA-6 e Tiros-N, nos anos de 1978-1980. (INPE, jul., Ed: INPE- 1981), 29 (INPE 2975-RPE/450).

Kampel, M. *Caracterização dos modos principais de variabilidade dos campos de TSM no Atlântico utilizando dados AVHRR* (Dissertação de mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1993, 111p. (INPE-5535-TDI/523).

Kidwell, K.B., 1991, NOAA polar orbiter data user's guide (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA-9, NOAA-10, NOAA-11 and NOAA-12). Washington, D.C., NOAA/NESDIS/NCDC/SDSD, 260pp.

Lino, G. J. e Mascarenhas Júnior, A.S. Sobre a propagação da Corrente das Malvinas ao longo da Costa Sul do Brasil no período de 1980-1983. Anais: IV Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca - Curitiba-PR, 29 de jul. a 2 de agos. de 1985.

McClain, E.P. Multiple atmospheric-window techniques for satellite derived sea surface temperatures, in *Oceanography From Space*, edited by J.F.R. Gower, 13, 73-85, Plenum, New York, 1981.

Silva Jr., C.L. e Maluf, S.R., Possibilidades de aplicação do sensor AVHRR/NOAA na pesca brasileira. Anais: VII Simpósio de Sensoriamento Remoto - Curitiba-PR, 10 a 14 de maio de 1993. Vol. IV - 278-289.

Stech, J.L., J.A. Lorenzetti, C.L. Silva Jr. and Campos, E.J.D. Some Wintertime Brazil Current and Shelf Circulation Features as Observed from AVHRR/NOAA images. The South Atlantic: Present and Past Circulation, 15-19 August, 1994. Bremen, Germany

Tseng, Y. C. Study of surface boundary of Brazil and Falkland Currents. Proceedings of the Seminar on Space Applications of Direct Interest to Developing Countries, Vol. 2, São José dos Campos, Brazil, 1974 pp. 160-173.

Tseng, T. C. , H.M. Inostroza and R. Kumar. Study of the Brazil and Falkland Currents using THIR images of NIMBUS V and oceanographic data 1972, In Proceedings of the Eleventh International Symposium

on Remote Sensing of Environment 25-29 April, 1977, Vol. 1, Ann Arbor, USA., pp.859-871.

Vianna, M.L.; Kampel, M. A high resolution study of the dynamics of Atlantic SST fields. In: International Scientific Conference on tropical Oceans Global Atmosphere, Melbourne, Australia, April 2-7, 1995. *Proceedings*, in press.