

Estudo da frequência sazonal de isotermas na região oceânica central do Brasil (BA, ES, RJ) a partir de dados de diferentes resoluções espaciais: o impacto da alta resolução no campo de TSM

Kaio Calmon Lacerda¹
Mirela Karla Plaster Eggerth²
Gregório Luiz Galvão Teixeira^{1,3}
Julio Tomás Aquije Chacaltana^{1,2}

¹Universidade Federal do Espírito Santo – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Laboratório de Simulação de Escoamento com Superfície Livre - LABESUL
13416-000 - Goiabeiras - ES, Brasil
{kcalmonlacerda; juliotac}@gmail.com

²Universidade Federal do Espírito Santo – Graduação em Oceanografia
mirela.plaster@gmail.com

³Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN
gregoriogalvao@dhm.mar.mil.br

Abstract. The Sea Surface Temperature (SST) is highly influenced by the atmospheric and ocean dynamics, allowing studies of ocean currents, mesoscale ocean eddies and upwelling zones. It is also used for research on climate change, ocean-atmospheric interaction and biogeographic patterns of living marine resources, such as fishes. The present work compares the seasonal isotherm frequency (SIF), for the central region of Brazil (12°S – 26°S e 28°W – 44°W) from 2003 to 2006, obtained from two different SST sources, project Multi-scale Ultra-high Resolution SST (MUR, ~1km of spatial resolution) and the 4 km AVHRR Pathfinder v.5 project. The SIF calculus was achieved from summer and winter seasonal averages made for each year. For each data and season, SIF maps were generated and the results compared. From the MUR data it was possible to identify some mesoscale fronts, associated with local process, on the continental shelf adjacent to the states of Bahia (BA), Espírito Santo (ES) and Rio de Janeiro (RJ), and some of were not identified from Pathfinder results. The MUR data achieved more satisfactory results at mesoscale ocean features, which came to be more appropriate for studies that demanded a consistent TSM data and with high spatial resolution for mesoscale and large-scale studies.

Palavras-chave: oceanic mesoscale fronts, sea surface temperature, isotherm frequency, seasonal variability, feições oceanográfica de mesoescala, temperatura superficial do mar, frequência de isoterma, variabilidade sazonal.

1. Introdução

Conhecer a distribuição espacial da temperatura superficial do mar (TSM), de maneira precisa e detalhada, é importante para a comunidade científica que se dedica ao estudo dos oceanos e sua interação entre componentes naturais como a atmosfera e ecossistemas marinhos e costeiros.

Desde a década de 60 do século passado, a técnica do sensoriamento remoto vem sendo aplicada para estimar a TSM usando os dados registrados por radiômetros imageadores que captam a energia emitida pela superfície do mar nas bandas do infravermelho termal ou de microondas. As principais diferenças entre os dados obtidos é a resolução espacial, ~1 km e ~25-50 km, respectivamente, e a grande interferência por nuvem na aquisição do dado na faixa do infravermelho. Recentemente, vêm sendo utilizados métodos que permitem agregar informações provenientes de diversos sensores em uma mesma grade e com isso obter um dado com a menor quantidade de lacunas possível (Donlon *et al.*, 2012), sendo que a resolução espacial e temporal do produto obtido depende dos dados utilizados em seu processamento.

Projetos como o Pathfinder (Casey *et al.*, 2010), OSTIA (Stark *et al.*, 2007) e MURSST (Chin *et al.*, 2013), distribuídos pela agência americana NASA-PODAAC (*National Aeronautics and Space Administration-Physical Oceanography Distributed Active Archive Center*) e NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), fornecem produtos de TSM de maneira contínua e sem interferência de nuvens, o primeiro, com resolução espacial de ~4 km utiliza dados obtidos a partir do infra-vermelho e dados de campo, enquanto o OSTIA e MUR utilizam também dados de microodas, com resolução de ~6 km e ~1km, respectivamente. Sendo estes produtos de grande importância para estudos que utilizem os campos de TSM de maneira direta, como no estudo de feições oceanográficas identificáveis nas imagens, em estudos de processos meteo-ceanográficos, quanto indireta, como em estudos realizados a partir de modelagem numérica oceânica e atmosférica (Chelton e Xie, 2010). Assim, buscou-se identificar o impacto da elevada resolução (~1km) nos campos de TSM da região oceânica central do Brasil (12-26°S; 30-44°O) a partir do cálculo da frequência sazonal de isotermas de cada dado.

2. Metodologia de Trabalho

Foi formado um repositório de dados de TSM adquiridos do projeto MUR SST (*Multi-Scale Ultra-High Resolution Sea Surface Temperature*), disponibilizados pelo PO.DAAC no site <http://podaac.jpl.nasa.gov>, sendo os dados diários de cobertura global e com resolução espacial do pixel de até 1 km. E do projeto Pathfinder versão 5.0 (PV5), também disponibilizados no site do PO.DAAC os quais foram adquiridos como média mensais de cobertura global e resolução espacial do pixel de 4 km. A partir dos dados MURSST e PV5 foram obtidas as médias mensais e sazonais (verão e inverno), para cada ano estudado.

Em seguida foi implementado um programa para cálculo da frequência sazonal de isotermas por pixel da imagem (FSI, Equação 1) para os anos de 2003 a 2006, semelhante ao realizado por Lacerda *et al.* (2013a, 2013b), e em seguida serão geradas imagens para cada estação do ano evidenciando os posicionamentos das isolinhas de cada temperatura durante o período analisado. Os valores das isotermas (TSM, Equação 2) serão apresentados com intervalos de 1°C, e para melhor visualização dos valores de FSI, optou-se por trabalhar com o intervalo de valores em torno de cada TSM de +- 0,15°C (TSM' , Equação 1 e 2), de forma a manter-se dentro da precisão global do dado de menor resolução espacial utilizado, o PV5, que segundo Kilpatrick *et al.* (2001) é de 0,5°C, e também do valor de RMSE obtido por Lacerda *et al.* (2013c) para o dado MURSST, de ~0.2°C representativo para a região adjacente à plataforma continental brasileira.

A partir das imagens geradas foi realizada uma comparação dos resultados obtidos a partir de cada dado, com o intuito de identificar onde ocorrem as principais diferenças entre os campos de TSM na região de estudo e quais os processos meteo-ocenográficos associados.

$$FSI_{TSM} = \sum_{i=1}^{OBS} (TSM') \quad (1)$$

Sendo,

$$\begin{aligned} I(TSM) &= I(i,j), \\ TSM - 0.15 < TSM' < TSM + 0.15 \end{aligned} \quad (2)$$

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos para o dado PV5 e MUR (Figuras 1, 2, 3 e 4) apresentaram resultados condizentes com campos climatológicos de verão e inverno obtidos a partir de dados de reanálises presente nos trabalhos de Taschetto e Wainer (2002) e Pereira *et al.* (2005). Assim como observado nos trabalhos de ambos os autores, é possível observar que na região de Talude e Plataforma Continental (PC) as isotermas encontram-se deslocadas para norte e com

uma orientação mais meridional (NO-SE ou N-S) em relação ao posicionamento zonal das isotermas. O posicionamento zonal é basicamente ocasionado pela incidência da radiação solar, e sua modificação próximo à costa é ocasionado por processos locais, como o escoamento da Corrente do Brasil (CB), que na região é a principal causa do padrão descrito para a região de talude e plataforma continental, distribuição zonal essa observada também no trabalho de Taschetto e Wainer (2002).

Os campos médios obtidos a partir dos dados MUR apresentaram menos ruídos que os dados PV5, o que é esperado uma vez que o volume de dados utilizados na produção do dado MUR é superior ao utilizado para o dados PV5, além de serem utilizadas metodologias mais robustas de interpolação (Chin *et al.*, 2013; Casey *et al.*, 2010).

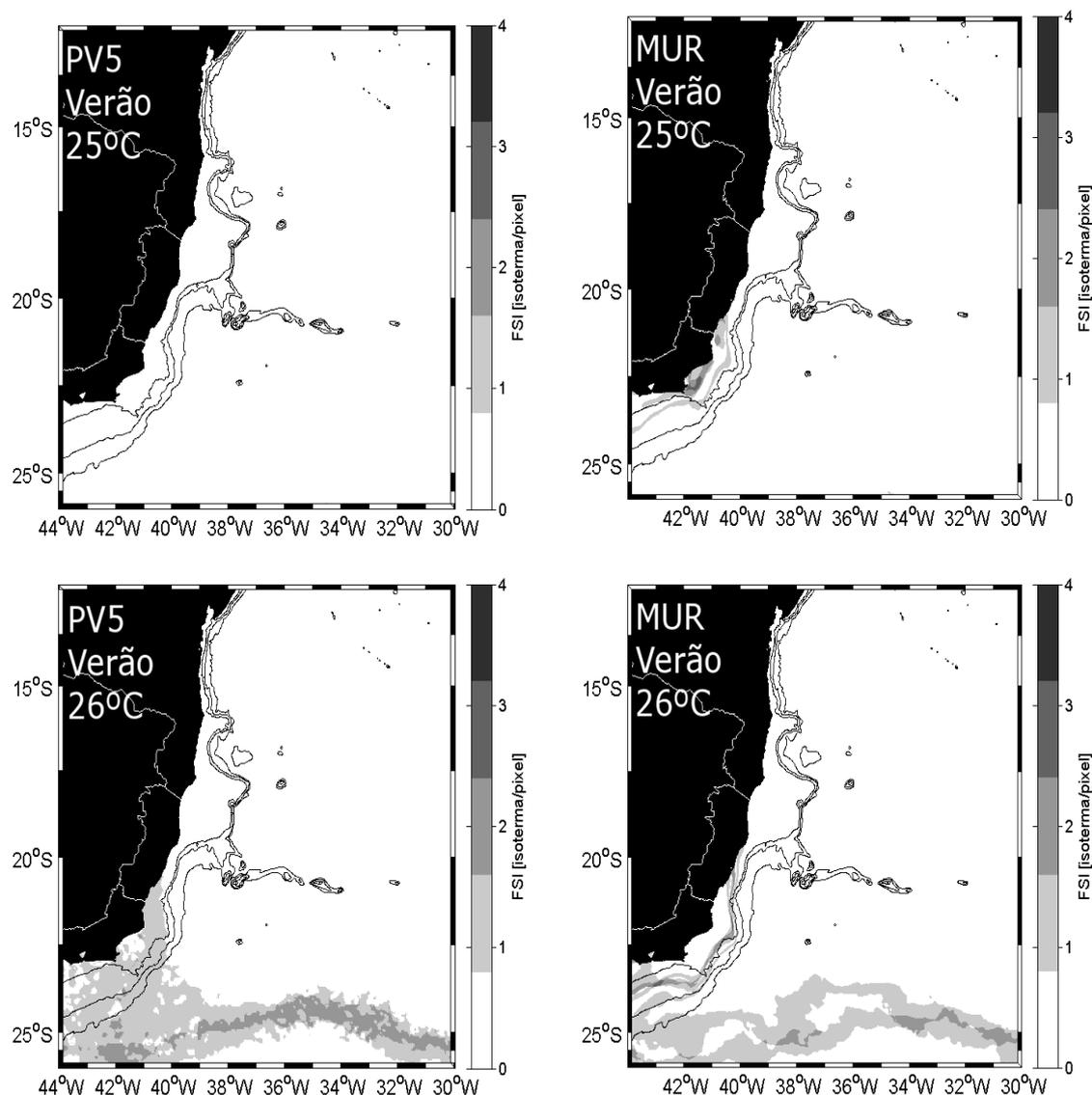


Figura 1. Mapas de FSI de verão (jan. fev. mar.), dado PV5 (coluna esquerda) e MUR (coluna direita) referentes às TSM de 25-26°C, as linhas contínuas representam as isóbatas de 100, 1000 e 2000m.

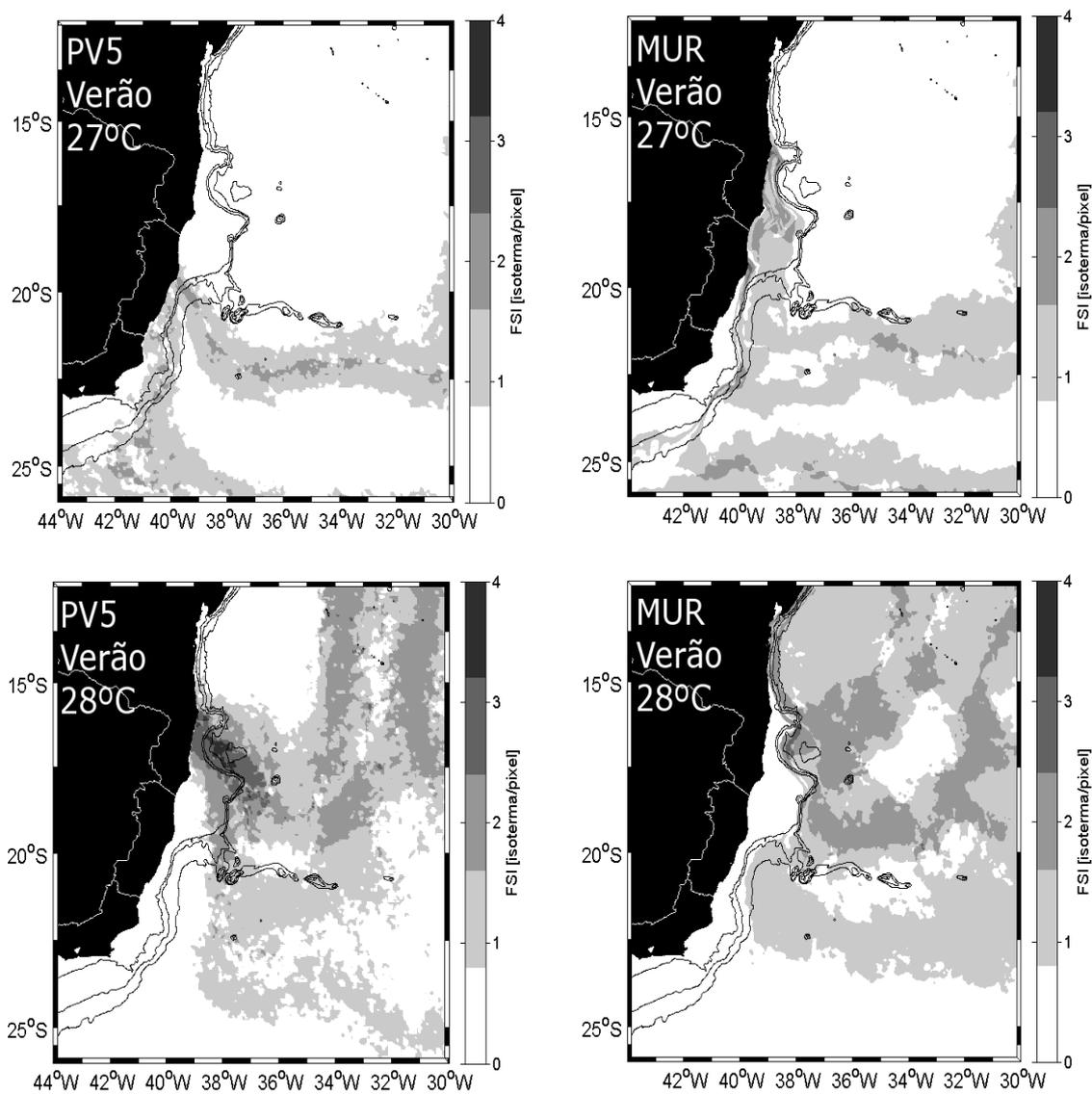


Figura 2. Mapas de FSI de verão (jan. fev. mar.), dado PV5 (coluna esquerda) e MUR (coluna direita) referentes às TSM de 27-28°C as linhas contínuas representam as isóbatas de 100, 1000 e 2000m.

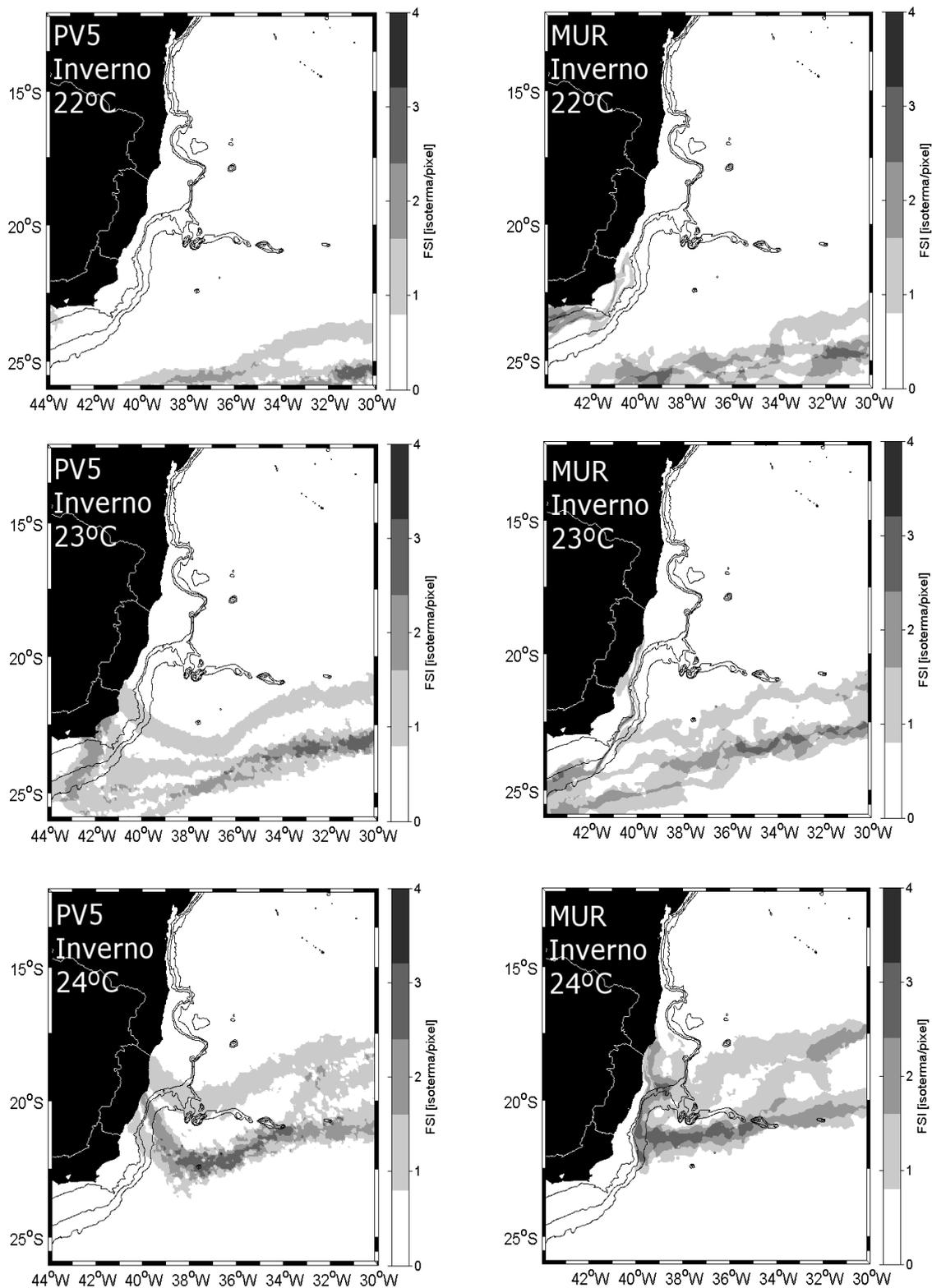


Figura 3. Mapas de FSI de inverno (jul. ago. set.), dado PV5 (coluna esquerda) e MUR (coluna direita) referentes às TSM de 22-24°C, as linhas contínuas representam as isóbatas de 100, 1000 e 2000m.

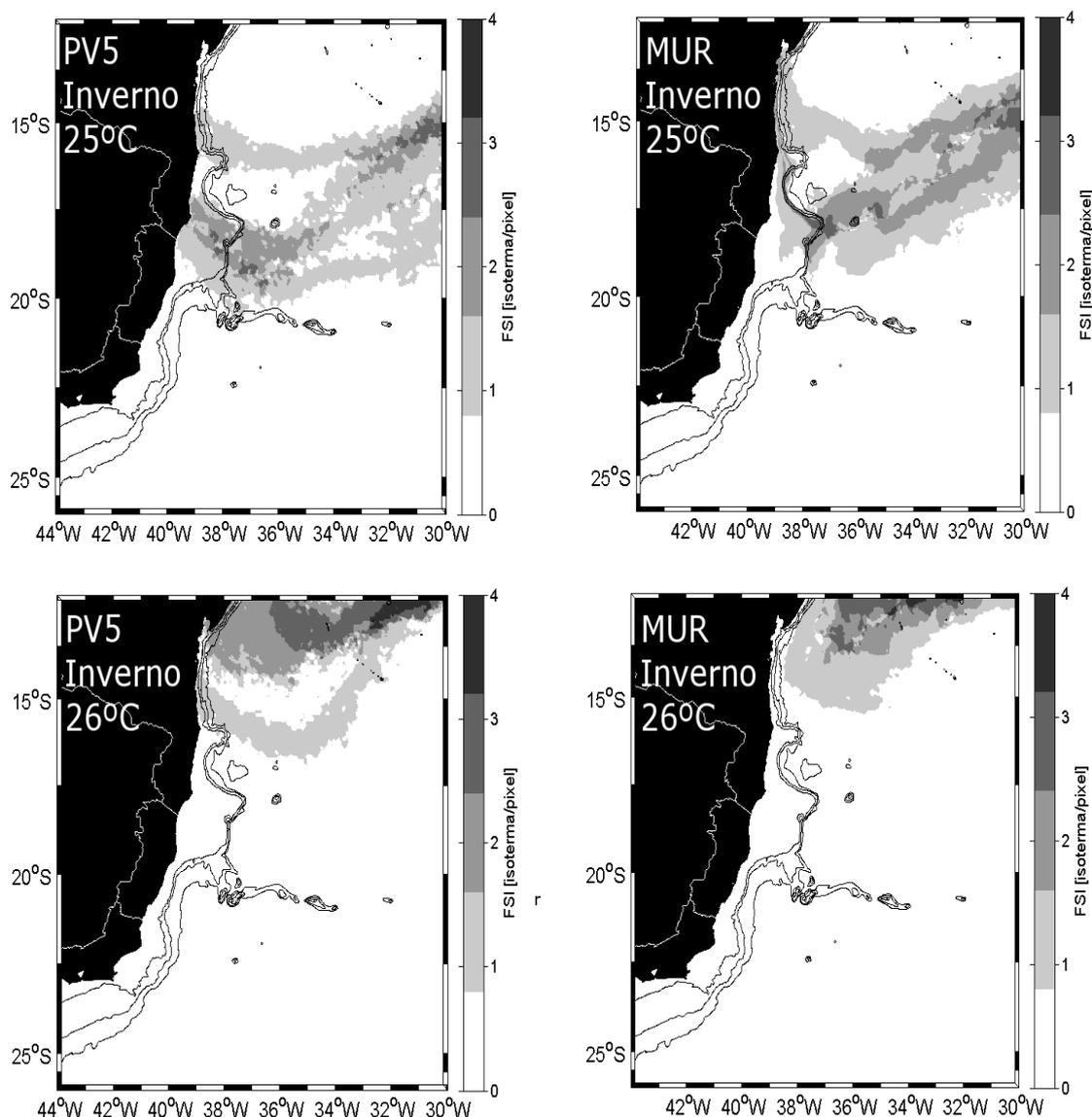


Figura 4. Mapas de FSI de inverno (jul. ago. set.), dado PV5 (coluna esquerda) e MUR (coluna direita) referentes às TSM de 25-26°C, as linhas contínuas representam as isóbatas de 100, 1000 e 2000m.

Os resultados obtidos para os dados MUR e PV5 apesar de apresentar um padrão geral similar, os padrões de distribuição das isotermas na região de PC e talude apresentam diferenças significativas nos padrões de variabilidades em mesoescala da TSM, estas diferenças são observadas na distribuição de todas as isotermas em ambas as estações analisadas (Figuras 1, 2, 3 e 4). Isso pode ser observado nos mapas de verão das isotermas de 27°C (Figura 1) onde só é possível observar a ocorrência da isoterma sobre a PC de Abrolhos (~18°S, 39°O) a partir do dado MUR, a qual ocorre com uma alta frequência (~2 isoterma pixel-1) sobre a região, indicando variabilidades de ~1°C entre a região de PC e oceano que não são possíveis de se observar nos dados PV5, nesta região diferenças semelhantes entre os dados PV5 e MUR são observadas para as TSM de 24 e 25 °C.

Para a estação de verão o menor valor de FSI (25°C, Figura 1), observado para a região de estudo, ocorre na região de PC nos campos referentes ao dado MUR, porém, não ocorrem para os dados PV5. No mapa de FSI de 25°C no verão (Figura 1) é possível observar a

ocorrência do valor como núcleos de água fria, com elevada frequência (até 3 isolinhas ano⁻¹), na região de PC adjacente ao sul do ES e entre Cabo de São Tomé e Cabo Frio (RJ). Estes núcleos de águas frias também estão presentes durante o inverno, indicados pelos mapas de FSI de 22°C (RJ e ES) e 23°C (ES) (Figura 3). Estes núcleos de água fria representam o sinal em superfície de ascensão de águas frias vindas de camadas mais profundas em relação a superfície, de forma que a temperatura é um sinal de massas de água que afloram na superfície do mar. Este processo é relatado por Lorenzetti e Gaeta (1996) na região do RJ no processo conhecido como ressurgência costeira de Cabo Frio no qual massas de água que ascendem às menores profundidades, seja devido às forçantes oceanográficas ou atmosféricas, resfriando as camadas mais superficiais do oceano e ocasionando um sinal deste processo em imagens termais da superfície do mar.

Ao longo da quebra da PC, indicada pelo elevado gradiente nos contornos batimétricos nos mapas de FSI (Figuras 1,2,3 e 4), o dado MUR se destacou em relação ao PV5 por permitir a identificação, a partir de campos médios sazonais anuais, de uma feição oceanográfica identificada na literatura como Frente Interna da Corrente do Brasil (Garfield, 1990; Stech *et al.*, 2007), identificada a partir dos mapas das FSI de 26°C e 27°C no verão e 23°C e 24°C no inverno, adjacente à costa do RJ na região da quebra da PC, onde se observa a disposição meridional das isotermas comentadas anteriormente, assim como observado por Garfield (1990).

A principal causa das diferenças entre os resultados obtidos para o dado MUR e PV5 parece ser em função da diferença de resolução espacial. O dado MUR permite a identificação de feições de mesoescala presentes na região de estudo, viabilizando estudos que visem a descrição e caracterização das feições tanto espacialmente, em função da elevada resolução espacial de ~1-2km, quanto temporalmente, devido à disponibilidade de dados diário de 2002-presente, com defasagem de 4 dias na distribuição do dado. Um outro fator que é favorável ao uso dos dados MUR para estudos de mesoescala ou larga escala é sua elevada consistência com dados de campo, com um erro médio quadrático para a costa brasileira, medido a partir de dados de duas boias do projeto PIRATA presentes na área de estudo, ~0,2°C e uma correlação de 98% (Lacerda *et al.*, 2013b). A menor quantidade de ruídos presente nos campos de TSM do dado MUR também é favorável aos melhores resultados obtido a partir do dado MUR em relação ao PV5.

4. Conclusões

A partir do dado de maior resolução espacial (~1km), o dado MUR, foi possível identificar algumas feições de mesoescala presentes na área de estudo, na região de PC adjacente ao ES, RJ e BA, que não são evidentes nos resultados dos dados de TSM PV5 (~4km), como a Frente Interna da Corrente do Brasil e a Ressurgência de Cabo Frio. Assim, o dado MUR mostrou-se mais adequado para estudos que demande um dado de TSM consistente e com elevada resolução espacial para estudos de mesoescala e larga-escala para a região de estudo.

Referências Bibliográficas

Casey, K.S.; Brandon, T.B.; Cornillon, P.; Evans, R. The Past, Present and Future of the AVHRR Pathfinder SST Program. In: BARALE, V.; GOWER, J. F. R.; ALBEROTANZA, L. (Org.), **Oceanography from Space**: Springer, 2010, p.323-341.

Chelton, D.B., and S. P. Xie. Coupled ocean-atmosphere interaction at oceanic mesoscales. **Oceanography**, v.23, n. 4, p.52-69, 2010.

Donlon, C. J.; Martin, M.; Stark, J.; Robert-Jones, J.; Fiedler, E.; Wimmer, W. The Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) System. **Remote Sensing of Environment**. v.116, p. 140-158, 2012.

Garfield, N. III. **The Brazil Current at subtropical latitudes**. 1990. Tese, (Doutorado em Oceanografia), Universidade de Rhode Island, EUA, 1990.

Kilpatrick, K.A.; Podestá, G.P.; Evans, R. Overview of the NOAA/NASA advanced very high resolution radiometer pathfinder algorithm for sea surface temperature and associated matchup database. **Journal Of Geophysical Research**, v. 106, n. C5, p. 9179-9197, 2001.

Lacerda, K.C., Teixeira, G.L.G., Freguete, L.M. Chacaltana, J.T.A. Distribuição espaço-temporal da temperatura superficial do mar na região oceânica central do Brasil: outono e primavera de 1982-2006. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16., 2013a, Foz do Iguaçu-PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. Artigos, p. 7819-7824. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1620.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2014.

Lacerda, K.C., Teixeira, G.L.G., Freguete, L.M. Chacaltana, J.T.A. Distribuição espaço-temporal da temperatura superficial do mar na região oceânica central do Brasil a partir de um estudo de frequência de isotermas. In: Simpósio Geotecnologias para a Gestão de Áreas Marinhas e Costeiras: Integração e Compartilhamento de Dados na Web (GEOTECMAR), 1., 2013b. São Paulo. **Anais...** Artigos. On-line. Disponível em: <<http://www.geotecmar.com/#!/publicacoes/cnec>>. Acesso em: 31 out. 2014.

Lacerda, K.C., Teixeira, G.L.G., Freguete, L.M. Chacaltana, J.T.A. Blends operacionais de altíssima resolução Para a costa brasileira. In: Simpósio Geotecnologias para a Gestão de Áreas Marinhas e Costeiras: Integração e Compartilhamento de Dados na Web (GEOTECMAR), 1., 2013c. São Paulo. **Anais...** Artigos. On-line. Disponível em: <<http://www.geotecmar.com/#!/publicacoes/cnec>>. Acesso em: 31 out. 2014.

Lorenzetti, J. A.; Gaeta, S. A. The Cape Frio Upwelling effect over the South Brazil Bight northern sector shelf waters: a study using AVHRR images. *Int. Arq. Phot. Rem. Sens.*, v. 31, 1996.

Pereira, C. S.; Santo, C. M.; Giarolla, E. An in situ-based climatology of the Sea Surface Temperature field for the Southwestern Atlantic Ocean and its anomalies in ENSO years. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.3, p. 333-346, 2005.

Stech, J. L., Lorenzetti, L. A.; Mello, W. L. Um estudo sobre a variabilidade espaço/temporal da frente interna da corrente do Brasil usando imagens AVHRR/NOAA. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto (SBSR), 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** p.4743-4750, 2007. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.01.18.03/doc/4743-4750.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2014.

Taschetto, A. S.; Wainer, I. Estudo climatológico dos parâmetros de superfície marinha no Atlântico Sudoeste. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17, n.2, p. 229-242, 2002.