

UMA AVALIAÇÃO DO MÉTODO DA MÁXIMA CORRELAÇÃO CRUZADA PARA
ESTIMATIVA DE CORRENTES OCEÂNICAS.

Paula Lamosa Nunes

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada por:

Prof. Luiz Landau, D.Sc.

Prof. Audalio Rebelo Torres Jr., D.Sc.

Prof. Affonso da Silveira Mascarenhas Junior, Ph.D.

Prof. José Luis Drummond Alves., D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
OUTUBRO DE 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

NUNES, PAULA LAMOSA NUNES

Uma Avaliação do Método da Máxima
Correlação Cruzada para Estimativa de
Correntes Oceânicas [Rio de Janeiro] 2008

XI, 93 p. 29,7 cm (COPPE / UFRJ, M.Sc.,
Engenharia Civil, 2008)

Dissertação - Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE

1. Correntes Oceânicas, 2. Máxima Correlação
Cruzada, 3. Campos de TSM

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE / UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

UMA AVALIAÇÃO DO MÉTODO DA MÁXIMA CORRELAÇÃO CRUZADA PARA ESTIMATIVA DE CORRENTES OCEÂNICAS.

Paula Lamosa Nunes

Outubro / 2008

Orientador: Luiz Landau

Programa: Engenharia Civil

Este estudo realizou uma avaliação preliminar da aplicação do Método da Máxima Correlação Cruzada (MCC) para a estimativa de campos de corrente superficial, utilizando campos de Temperatura Superficial do Mar (TSM), derivados de imagens do radiômetro SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager*) e campos de TSM sintéticos.

A região de estudo está compreendida entre as latitudes de 18°S e 30°S e longitudes de 49°W e 32°W, concentrando a estimativa de correntes na costa sudeste brasileira.

Os vetores estimados com a aplicação do método sobre os campos de TSM, derivados das imagens do SEVIRI, foram comparados com as estimativas de velocidade de derivadores.

Nos campos de corrente estimados com a aplicação do método da MCC sobre os campos de TSM, derivados das imagens SEVIRI, não houve coerência de vetores com as feições termais, já nos campos de corrente estimados com os campos de TSM sintéticos, a disposição dos vetores está de acordo com a advecção das feições termais

Abstract of Dissertation presented to COPPE / UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

AN EVALUATION OF THE APPLICATION OF THE MAXIMUM CROSS CORRELATION
METHOD ON ESTIMATION OF OCEAN CURRENTS.

Paula Lamosa Nunes

October / 2008

Advisor: Luiz Landau

Department: Civil Engineering

This study achieved a preliminary evaluation of the Maximum Cross Correlation (MCC) method application in the estimate of superficial current fields, that used Sea Surface Temperature (SST) fields, derived from SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager*) images and synthetic TSM fields.

The study area is within the latitudes 18°S and 30°S, and longitudes 49°W and 32°W; concentrating in the estimation of currents on the southeast coast of Brazil.

The estimated vectors over the SST fields, derived from SEVIRI images, were further compared with velocity estimates from drift buoys.

On the current fields estimated with the application of the MCC method over Sea Surface Temperature (SST) fields, derived from SEVIRI, there was an inconsistency of the vectors with the thermal features, already in the fields of estimated current, with the application of the MCC method over the synthetic TSM fields, the vectors are coherent with the advection of thermal features.

Índice

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | Introdução..... | 1 |
| 2. | Área de estudo | 4 |
| 2.1. | Caracterização meteorológica e oceanográfica | 5 |
| 2.1.1. | A Corrente do Brasil (CB) | 6 |
| 2.1.2. | Caracterização regional | 11 |
| 3. | Metodologia | 12 |
| 3.1. | Campos de Temperatura da Superfície do Mar (TSM)..... | 12 |
| 3.1.1. | Imagens SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager)..... | 12 |
| 3.1.2. | Campos de TSM Sintéticos | 26 |
| 3.2. | Método da Máxima Correlação Cruzada (MCC) | 28 |
| 3.3. | Filtros..... | 35 |
| 3.3.1. | Teste de Significância..... | 35 |
| 3.3.2. | Filtro da Coerência Espacial | 37 |
| 3.3.3. | Filtro de Média | 39 |
| 3.4. | Experimentos..... | 40 |
| 3.4.1. | Experimentos – Imagens SEVIRI..... | 43 |
| 3.4.2. | Experimentos – Campos de TSM Sintéticos | 51 |
| 3.4.3. | Significância dos Campos de Vetores..... | 53 |
| 4. | Campos de Velocidade Estimados | 58 |
| 4.1. | Experimentos com Imagens de Sensoriamento Remoto..... | 58 |
| 4.1.1. | Derivadores | 65 |
| 4.2. | Experimentos com Campos de TSM Sintéticos | 74 |
| 5. | Discussão | 78 |
| 6. | Conclusões..... | 82 |
| 7. | Referências Bibliográficas | 83 |
| 8. | Anexos | 89 |

1. Introdução

O movimento da água nos oceanos responde a uma gama de forçantes em dimensões distintas; a difusão molecular, a advecção, as tensões laterais das massas de água, os gradientes de densidade, temperatura e pressão, ou os que agem na interface, como as transferências de energia pelos ventos, os gradientes atmosféricos e trocas de calor, chegando até o movimento planetário e a atração gravitacional de corpos celestes próximos. Portanto, a dinâmica dos oceanos responde ao somatório destas forçantes e, frente a estas diversas contribuições, são geralmente denominadas escalas de interesse, ou seja, uma magnitude na qual se pretenda enxergar as variações físicas.

O conhecimento das correntes nos oceanos é atualizado por dados de medições *in situ*, atualmente através da instrumentação oceanográfica, ou da medição remota por radares e satélites, e das estimativas dos campos de correntes, por técnicas de modelagem numérica e de acompanhamento de feições superficiais.

A instrumentação oceanográfica, em se tratando das correntes, mede a deriva de marcadores, derivadores e bóias, que pela localização monitorada remotamente, possibilitam o cálculo da velocidade da corrente, em função dos deslocamentos. O uso de correntógrafos também é bem difundido e possuem técnicas de medição diferenciadas; como a estimativa da velocidade de corrente em função da rotação de um rotor ou através da análise de impulsos, eletromagnéticos ou acústicos, enviados à coluna de água. Quando possível, os derivadores são lançados em grupos, para aumentar a abrangência dos dados, no caso dos correntógrafos, as medições acontecem em locais de fundeio planejados e em campanhas de navios, onde são demarcados pontos seqüências de coleta, formando uma rede de informação.

A estimativa de campos de correntes pelo acompanhamento de feições superficiais, como por exemplo, de temperatura, concentração de clorofila ou sedimento, começou com a observação visual de imagens de sensoriamento remoto, que caracterizada pela subjetividade, logo foi substituída por técnicas com maior capacidade de automação; como o método dos modelos inversos da Equação de Calor, idealizado por KELLY, em 1988, ou técnicas estatísticas, como o Método da Máxima Correlação Cruzada (MCC), *Ordered Statistical Edge Detection* (HOLLAND e YAN, 1992), *Maximum Similarity in Shape-Matching Method* (KUO e YAN, 1994), dentre outros. WAHL e SIMPSON (1990) comparam algumas destas técnicas de acompanhamento de feições em função dos processos físicos que afetam a estimativa dos campos de correntes.

A geração dos campos de correntes oceânicas, tanto na modelagem numérica quanto nas técnicas de acompanhamento de feições, é de campos sinóticos, o que acarreta na vantagem da regularidade da informação. Os dados coletados pela instrumentação oceanográfica representam informação para localidades e períodos reduzidos, até porque envolvem um custo maior de execução.

Neste trabalho procurou-se investigar o método da Máxima Correlação Cruzada (MCC) na estimativa de campos de corrente oceânica superficial, aplicando-o sobre campos de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), derivados de medições de sensoriamento remoto e campos de TSM sintéticos. A escolha deste método, dentre as demais técnicas de acompanhamento de feições superficiais conhecidas, se deu pela grande disseminação de trabalhos que o utilizaram na literatura científica. É uma técnica estatística comparativa, que procura similaridade de uma variável escalar em campos consecutivos. Na oceanografia a MCC mede a relação linear de certas propriedades físicas da água do mar (WU *et al.*, 1992) e através do acompanhamento de suas feições, infere a respeito das correntes na região.

Tratando-se de dados meteorológicos e oceanográficos, LEESE *et al.* (1971) *apud* OLIVEIRA (2003), foram os primeiros a utilizar a técnica da MCC na estimativa de campos de vento, através do acompanhamento das nuvens em imagens consecutivas. EMERY *et al.* (1986) foram pioneiros na aplicação da técnica da MCC para estimativa de correntes oceânicas superficiais, utilizando campos do gradiente de TSM. Desde então a técnica vem sendo aperfeiçoada por vertentes distintas, KAMACHI, em 1989 foi capaz de reproduzir o movimento rotacional, KELLY e STRUB (1992) assimilaram dados de altimetria e MULLEN, 2000 realizou composições vetoriais de campos resultantes.

A técnica da MCC pode ser aplicada sobre o imageamento da superfície oceânica, em feições do termal e do visível. As feições do termal podem ser acompanhadas diretamente nas imagens da temperatura de brilho (WU *et al.* (1992), KELLY e STRUB (1992), DOMINGUES *et al.* (2000), EMERY (1991) e ZODIATIS *et al.* (1996)) e nos campos de TSM derivados das imagens (GAO e LYTHER (1995), OLIVEIRA (2003)). As feições do visível podem ser acompanhadas em campos de clorofila ou em imagens da cor dos oceanos (GARCIA e ROBINSON (1989), POPE e EMERY (1994), MULLEN (2000) e SVEJKOVSKY (1988)).

O propósito neste trabalho foi realizar uma avaliação preliminar do método da MCC para a estimativa de campos de corrente superficial utilizando campos de Temperatura

Superficial do Mar (TSM), derivados de imagens do radiômetro SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager*), e sobre campos de TSM sintéticos.

Este trabalho está ordenado nesta Introdução (Capítulo 1), seguida pela caracterização da área de estudo escolhida para os experimentos (Capítulo 2) e metodologia detalhada, incluindo a descrição dos experimentos realizados com a metodologia da MCC, no Capítulo 3. No Capítulo 4 estão os campos de vetores estimados e a discussão a respeito dos resultados do trabalho está no Capítulo 5 e é finalmente concluído no Capítulo 6.

2. Área de estudo

A área de estudo está compreendida entre as latitudes de 18°S e 30°S e as longitudes de 49°W e 32°W e inclui as bacias do Espírito Santo, de Campos e a de Santos. Na Figura 1 está ilustrada a batimetria da área de estudo, extraída do banco de dados ETOPO, resolução de 2 minutos (*National Geophysical Data Center/NOAA*). Ao norte destaca-se a Cordilheira Trindade-Vitória, a partir de onde a plataforma continental, que fica geralmente encerrada até a isóbata de 200m, começa a estreitar. A plataforma continental segue a mudança na orientação da costa, que a partir de Cabo Frio, deixa de ser nordeste-sudoeste e passa a ser leste-oeste. Na bacia de Santos a orientação da costa volta a ser nordeste-sudoeste e a plataforma continental fica mais larga, até aproximadamente a latitude de 25°S, onde começa a orientação norte-sul.

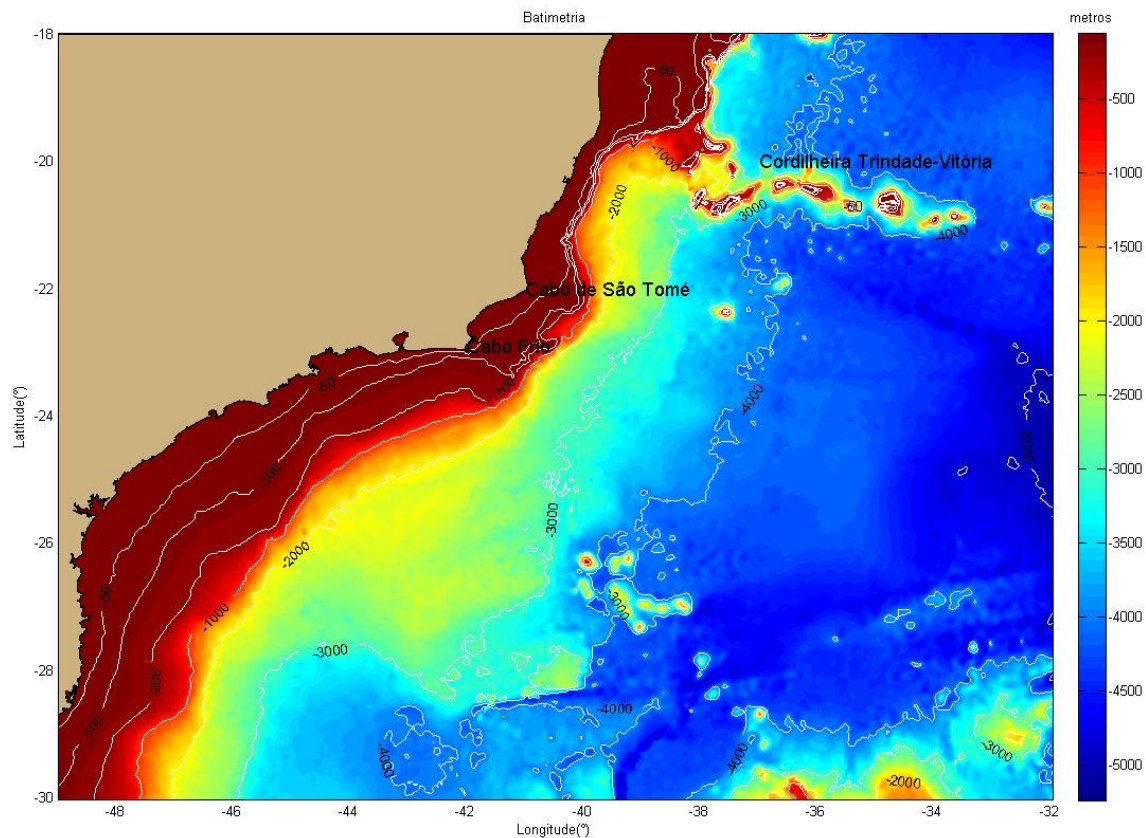


Figura 1 : Batimetria da área de estudo.

2.1. Caracterização meteorológica e oceanográfica

No globo, a distribuição da pressão atmosférica se dá de forma intercalada; com um centro de baixa na região Equatorial (0°), um centro de alta ao redor das latitudes de 30° , um centro de baixa nas proximidades das latitudes de 60° e os centros de alta nos pólos (90°). No hemisfério sul, o vento superficial que sai do centro de alta, próximo a 30°S , em direção ao Equador, sofre deflexão para a esquerda, caracterizando um vento sudeste nas latitudes mais altas desta faixa (de 0° a 30°S) e que ganha orientação leste sobre as latitudes menores, os chamados ventos alísios. Já o vento superficial, que sai da latitude de 30°S para a latitude de 60°S , ao sofrer deflexão para esquerda, caracteriza ventos de noroeste nas latitudes mais altas desta faixa (de 30°S a 60°S) e que ganha orientação oeste nas latitudes maiores POND e PICKARD (1983).

A radiação solar é responsável pela dinâmica atmosférica no globo, a qual, por sua vez, é responsável pela dinâmica em macro escala da superfície oceânica, perpetuando a transferência de energia e calor, na interface com os ventos.

Na faixa latitudinal entre 0° e 30°S , aonde sopram ventos de sudeste a leste, são geradas correntes superficiais de macro escala nas proximidades do Equador, com orientação leste-oeste e transporte médio do Espiral de Ekman conseqüentemente, orientado para sudoeste. Na faixa latitudinal vizinha, entre 30° e 60°S , os ventos de noroeste a oeste geram correntes superficiais de macro escala, na altura de 40°S , com orientação oeste-leste e transporte médio do Espiral de Ekman orientado para nordeste (STRAMMA, 1989).

Sendo assim, entre 0° e 30°S , as correntes trazem águas da borda leste do oceano Atlântico e acumulam na borda oeste, enquanto que, ao sul de 30°S , o oposto acontece, com as correntes retirando água da borda oeste e acumulando na borda leste. Por continuidade, estabeleceram-se as correntes de contorno, para norte na costa africana e para sul na costa brasileira, fechando o Giro Subtropical do Atlântico Sul.

Os ventos alísios direcionam a Corrente Sul Equatorial (CSE), e ao se encontrar com o continente sul-americano, é bifurcada na altura do cabo de São Roque ($5^\circ 30' \text{S}$), em um ramo que continua para oeste, a Corrente Norte do Brasil (CNB) e um ramo bordeando a costa para sul, a Corrente do Brasil (CB). Os ventos de oeste direcionam a Corrente do Atlântico Sul (CAS) em sua porção setentrional, e a Corrente de Benguela (CBE) fecha o giro anticiclônico, fluindo para norte na costa africana (Figura 2) (PETERSON e STRAMMA, 1991).

No Atlântico Sul há ainda a Corrente das Malvinas (CM), a qual é direcionada para norte, sobre a plataforma continental do continente sul-americano e ao se defrontar com a CB, determina a zona da Confluência Brasil Malvinas. A Corrente das Agulhas (CA), que contribui com o fluxo da CBE e a Corrente Circumpolar Antártica (CCA), impulsionada pelos ventos de oeste, circunda o globo livremente ao redor do centro de baixa de 60°S.

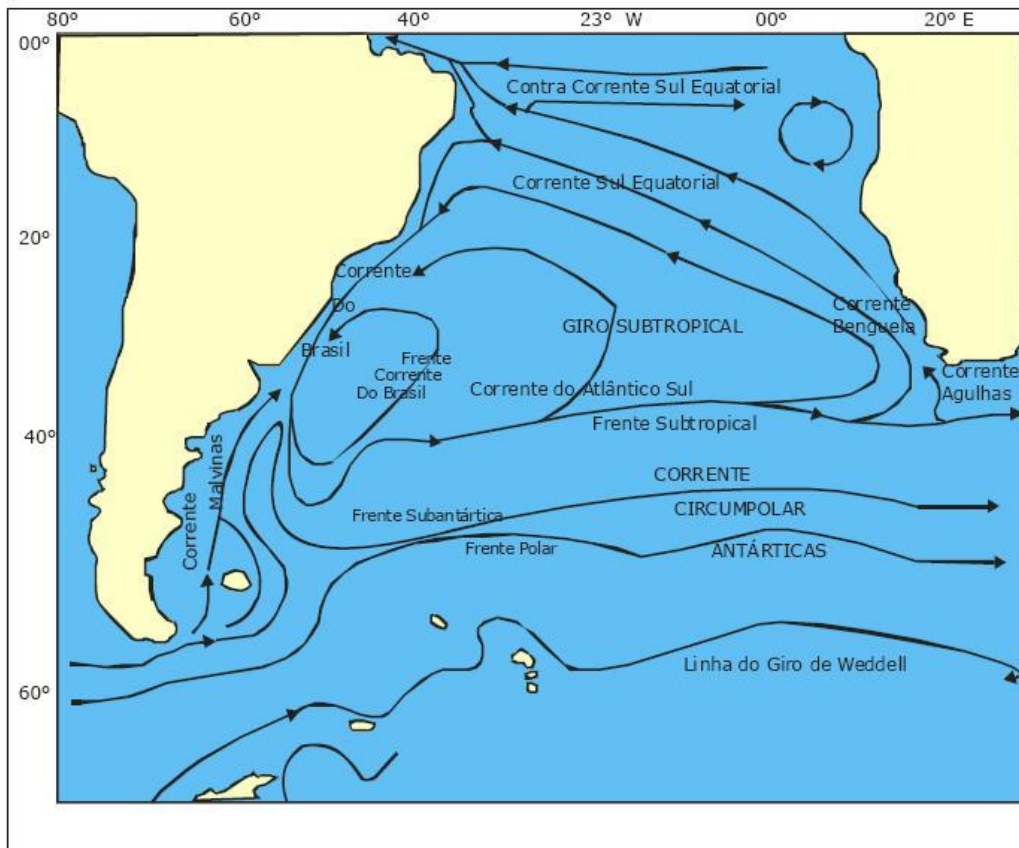


Figura 2: Esquema das correntes superficiais de macro escala no oceano Atlântico Sul. Fonte: MANO, 2007 (adaptado PETERSON e STRAMMA, 1991).

2.1.1. A Corrente do Brasil (CB)

A CB é a corrente de macro escala que traz águas do Equador, mais salinas e quentes, para as latitudes maiores. De acordo com as análises da CB em imagens de sensoriamento remoto, SARTORI (2004) afirmou que a corrente fica alinhada sobre a isóbata de 200 m, chegando a extensão máxima de até 2000 m, no limite inferior do talude continental (GARFIELD, 1988 *apud* PETERSON e STRAMMA, 1991) e possui raio de deformação de aproximadamente 22 Km (CALADO *et al.*, 2006).

A CB possui mais de uma de massa d'água constituinte, que se organizam em suas respectivas profundidades de equilíbrio, aonde a densidade de cada uma se ajusta a do meio. Segue a descrição das massas d'água que foram consideradas constituintes da CB, por somarem em um fluxo contínuo para sul, levando-se em conta o argumento cinemático de ZEMBA,1991 *apud* SILVEIRA *et al.*, 2000.

Na superfície fica a massa d'água de menor densidade, a Água Tropical (AT), sua menor densidade é devido ao aumento de temperatura, pela radiação solar, que também determina evaporação e lhe caracteriza uma salinidade alta.

No decorrer do percurso, as águas superficiais da CB ganham contribuição da Água Costeira (AC), com influência de águas continentais e da mistura local dos ventos, logo com temperatura e salinidade menores.

Na camada subsequente é encontrada a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), esta massa d'água é originada na Convergência Subtropical (WUST (1936) *apud* SILVEIRA, 2006) e ao procurar a profundidade de equilíbrio, inicialmente segue para norte, integrando o fluxo interno da Corrente de Contorno Intermediária (CCI) (MANO, 2007). Neste percurso parte é orientada para leste, entra no Giro Subtropical e finalmente acaba por somar na CB (SILVEIRA *et al.*, 2000). A interface entre a ACAS e a massa d'água superficial é marcada por um grande gradiente de densidade, caracterizando a região de pycnoclina.

A massa de água subjacente a ACAS é a Água Intermediária Antártica (AIA), originada na Convergência Subantártica (MULLER *et al.*,1998 *apud* SILVEIRA *et al.*, 2000), sobe para norte com a CCI e acaba entrando na CB pela circulação profunda do Giro Subtropical, de forma igual a ACAS (STRAMMA e ENGLAND (1999) *apud* Assad, 2006).

A Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) é encontrada nas maiores profundidades da CB, por ser a mais densa de todas, flui para o sul até as proximidades da zona da Confluência Brasil Malvinas, aonde se direciona para leste, integrando a CCA (ASSAD, 2006).

No diagrama T-S das massas d'água presentes na costa leste e sudeste brasileira (Figura 3), retirado de FRAGOSO (2004), estão especificadas as faixas de temperatura (°C) e salinidade para a Água Tropical (AT), a Água Costeira (AC), a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), a Água Intermediária Antártica (AIA) e a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), relacionadas a profundidades em que ocorrem, indicadas em metro, na legenda de cores.

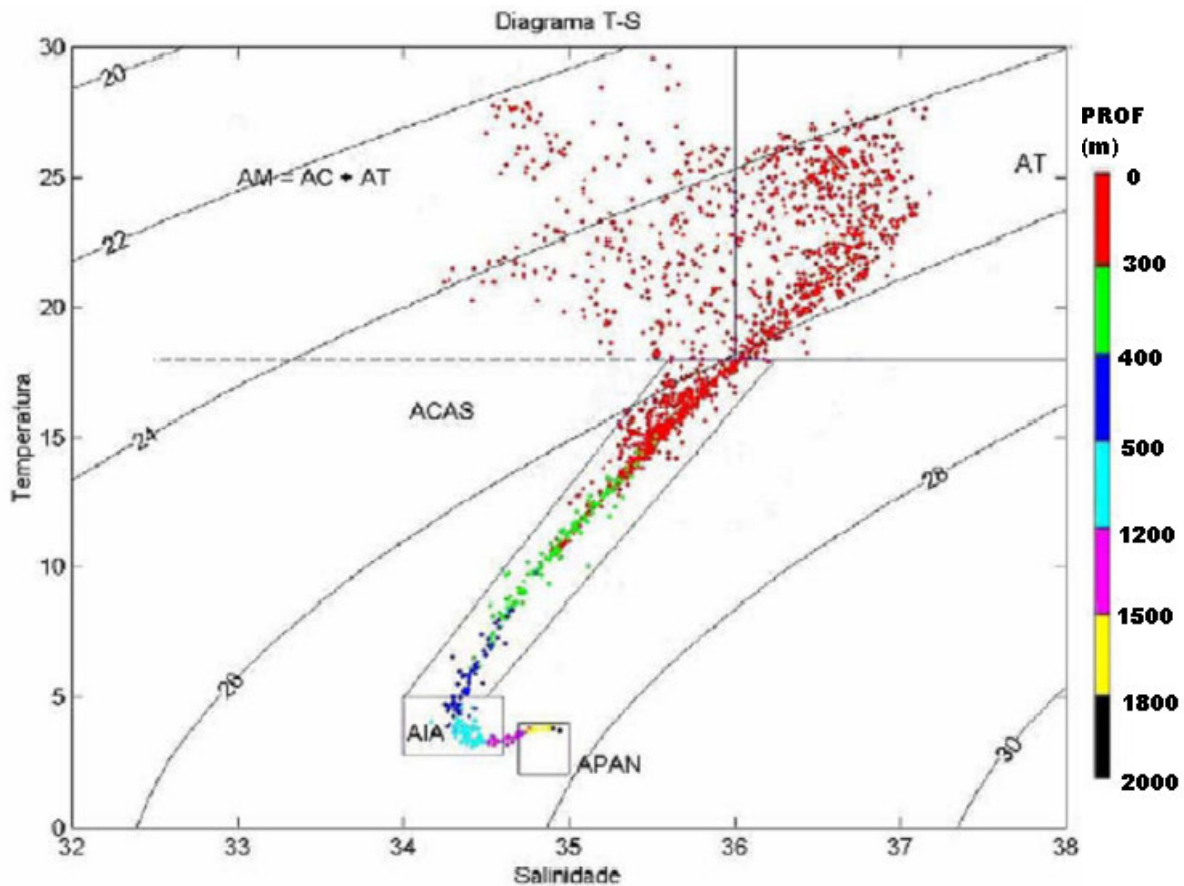


Figura 3: Diagrama TS das massas d'água presentes na costa leste e sudeste brasileira, a legenda de cores indica a profundidade (m) em que ocorrem. Fonte: Fragoso, 2004.

A linha de costa e a batimetria no decorrer do trajeto influenciam em características da CB; como a espessura, as massas de água constituintes, a largura, as velocidades e o transporte de água. O fato de que o Giro Subtropical abrange uma área cada vez menor ao longo da coluna d'água, faz com que a bifurcação da CSE, também em função da profundidade, seja cada vez mais ao sul. Logo, o transporte da CB aumenta no decorrer de seu percurso, assim como sua espessura, pois vai somando a contribuição das bifurcações de profundidades maiores (MANO, 2007).

No início, a CB então é rasa, conta com a água superficial AT, o transporte é pequeno e flui sobre a plataforma continental, até no máximo a quebra do talude. Ao sul 20°S, se torna mais profunda e com maior transporte, pela contribuição da ACAS (SILVEIRA, 2006). Na Cordilheira Trindade-Vitória a CB fica confinada na passagem mais próxima ao continente e depois volta a se orientar sobre o talude (EVANS e SIGNORINI (1985) *apud* STRAMMA, 1989).

Na altura de Cabo Frio, a mudança de orientação da costa interfere na CB, fazendo com que seu fluxo, por inércia, passe a ser sobre a parte mais profunda do talude (SILVEIRA *et al.*, 2000). Apesar do aumento de espessura da CB, a maior parte de seu transporte ocorre nos primeiros 200 m, conclusão que SIGNORINI (1978) *apud* SILVEIRA, 2006 chegou através de dados hidrográficos, para uma profundidade de até 600 m.

STRAMMA (1989), também a partir de cálculos hidrográficos, considerou que o aumento expressivo do transporte da CB, a sul da latitude de 30°S, é devido a uma célula de recirculação, que começa abaixo da latitude de 40°S e retorna volume d'água para a própria CB, nas proximidades de 30°S, na Figura 2 identificada como Frente Corrente do Brasil.

A sul de 36°S a CB se desprende da plataforma continental, por volta da isóbata de 1000 m (PETERSON e STRAMMA, 1991) e continua a fluir para o sul, até a faixa latitudinal de 38° e 46°S, de onde ganha orientação para leste, de acordo com a análise de imagens de satélite de LEGECKIS e GORDON (1982) *apud* PETERSON e STRAMMA, 1991.

O transporte calculado ao longo da CB, para médias de espessuras distintas, variou de 4 Sv, em 10°S (STRAMMA *et al.*, 1990 *apud* SILVEIRA *et al.*, 2000), 14 Sv em 24°S (SIGNORINI, 1978 *apud* STRAMMA, 1989) até 18 Sv em 31°S (GARFIELD, 1990 *apud* SILVEIRA *et al.*, 2000) e com velocidades máximas respectivamente iguais a 0,31 m/s, 0,62 m/s e 0,8 m/s.

A CB conta ainda com intensa atividade de mesoescala (SILVEIRA *et al.*, 2004), descrita inicialmente por MASCARENHAS *et al.*, 1971 *apud* SILVEIRA, 2006, que citaram vórtices nas proximidades de Cabo Frio, analisados em mapas de topografia dinâmica, e propuseram um padrão, com vórtices anticiclônicos antecedendo vórtices ciclônicos, como uma onda. SCHMID *et al.*, 1995 *apud* SILVEIRA, 2006 também propuseram o padrão de onda às estruturas de vórtices observadas em imagens de sensoriamento remoto, destacando que a assinatura digital dos anticiclones seria menos distinta, por causa do menor contraste do núcleo quente. De acordo com MANO (2007), estes vórtices possuem escalas da ordem do raio interno de deformação de Rossby e chegam a atingir regiões internas da plataforma continental, podendo ocasionar mudanças nos padrões de velocidade e direção na região da CB, em uma escala temporal que varia de dias à semanas.

O fato da CB frequentemente se deparar com águas mais frias em seu percurso, determina frentes térmicas ao longo das fronteiras, onde aumentam as possibilidades do

desenvolvimento de meandramento, seguido da formação de vórtices, acarretando por fim, no destaque e isolamento da CB (SARTORI, 2004).

Na análise de imagens de sensoriamento remoto, a recorrência destas feições de mesoescala próximos à Vitória, Cabo de São Tomé e Cabo Frio, indicam também a influência conjunta da mudança da linha de costa e da batimetria, na geração dos vórtices (SILVEIRA (2006), LORENZZETTI *et al.*, 1994 *apud* MANO 2007, CAMPOS *et al.* (1996)). SILVEIRA (2006) afirma que tais fenômenos são mais vigorosos na Bacia de Campos, apesar de também surgirem na Bacia de Santos, LORENZZETTI *et al.*, 1994 *apud* MANO 2007 acharam vórtices ciclônicos, com diâmetros variando de 70 a 275 Km., com derivadores.

CAMPOS *et al.* (1996) afirmaram que a CB acompanha a costa e por inércia, passa a fluir em águas mais profundas nas localidades aonde há mudança na orientação da costa, como na altura de Cabo Frio. A CB experimenta um estiramento na coluna d'água e adquire vorticidade relativa ciclônica, desviando seu fluxo no sentido da plataforma continental. Já o oposto acontece quando a CB, vindo de águas mais profundas, se depara com uma coluna d'água menor e adquire vorticidade relativa anticiclônica, desviando seu fluxo para águas mais profundas.

A geração de meandros e vórtices é possível pela transferência de energia da própria CB, aliando energia cinética e energia potencial disponível. A energia cinética surge com os gradientes de velocidade do fluxo médio da CB, que transferem energia pelo cisalhamento horizontal, no processo de instabilidade barotrópica. A energia potencial disponível surge nos gradientes de massa específica da água do mar, e a transferência de energia acontece através do cisalhamento vertical, no processo de instabilidade baroclínica (FERNADES (2001) *apud* MANO, 2007).

SIGNORINI (1978) *apud* STRAMMA (1989) relatou um vórtice anticiclônico com cerca de 100 Km de raio e extensão vertical de aproximadamente 500 m, localizado em águas com mais de 1000 m de profundidade. As interações entre o limite inferior da CB com a CCI também cedem energia e influem na formação dos vórtices (SILVEIRA *et al.*, 2004).

Nos cálculos de SIGNORINI (1978) *apud* STRAMMA (1989), para CB meandrande nas proximidades de Cabo Frio, foram obtidos picos de velocidade geostrófica igual a 0,55 m/s e nos cálculos de MIRANDA e CASTRO, 1979 *apud* STRAMMA, 1989) de 0,49 m/s.

2.1.2. Caracterização regional

A circulação de mesoescala força um giro anticiclônico nas latitudes médias do hemisfério sul, chamado de Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), e um giro ciclônico nas latitudes mais altas (REID, 1989 *apud* ASSAD, 2006).

Na região de interesse, a região da plataforma continental brasileira é influenciada pelos ventos dos quadrantes norte e leste, quando sob a ASAS, e dos quadrantes sudoeste, sul e sudeste com a entrada de sistemas frontais, seguidos de anticiclones polares (FRAGOSO, 2004).

A ASAS é semi-estacionária e muda sua posição de acordo com o gradiente térmico entre o oceano e o continente. Geralmente no inverno, com o continente não tão aquecido quanto o oceano, o centro de alta desloca-se em sua direção, mais para oeste. No verão, o continente aquece mais que as águas do oceano e logo o centro de alta se desloca mais para leste (ODA, 1997).

Os sistemas frontais são freqüentes nas regiões sul e sudeste do nosso continente e expressam a invasão de massas de ar de origem Antártica. O encontro dessas massas de ar com outras de características diferentes formam os sistemas frontais. Como se trata de uma zona de transição, apresenta grandes mudanças em pouco tempo e em pequenas distâncias; de pressão, temperatura, umidade, direção do vento, nuvens e precipitação. Os anticiclones frios acompanham as frentes na sua evolução, se propagando ao longo da costa oriental da América do Sul (CARVALHO, 1998).

A corrente fluindo ao longo da plataforma continental obedece a orientação dos ventos vigentes, no verão as correntes superficiais são para sudoeste, pela maior influência da ASAS e no inverno são para nordeste, em decorrência das freqüentes frentes frias (MATSSURA, 1975 *apud* MANO, 2007).

A ocorrência da ASAS e o vento de nordeste associado, sobre a costa brasileira, ocasiona ainda o fenômeno da ressurgência. Os ventos carregam a água superficial, ao largo de Cabo Frio, para sul e por continuidade, ela é suprida por águas mais profundas (ACAS), caracterizando águas na superfície com faixas de temperaturas menores.

CALADO *et al.*, 2006 alegam que as estruturas ciclônicas da CB auxiliam a ressurgência induzida pelo vento, pois em seu mecanismo, induzem uma ressurgência da ACAS na quebra de plataforma, direcionando-a para a plataforma.

3. Metodologia

3.1. Campos de Temperatura da Superfície do Mar (TSM)

Neste trabalho foi aplicada a metodologia da MCC em campos de TSM derivados das medições remotas de satélites, cedidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de Cachoeira Paulista – SP e campos de TSM sintéticos, derivados de funções teóricas, gerados no Laboratório de Modelagem de Processos Marinhos e Atmosféricos (LAMMA) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

3.1.1. Imagens SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager)

As imagens de TSM utilizadas foram derivadas das medições do radiômetro SEVIRI, a bordo do satélite MSG-8 (*Meteosat Second Generation*), da EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*).

A área de cobertura do imageamento do MSG-8 está ilustrada na Figura 4, neste esquema da EUMETSAT, o círculo em preto representa a cobertura máxima possível ao radiômetro imagear, o círculo em azul claro representa a cobertura do imageamento disseminada para o público e o círculo laranja pontilhado representa a cobertura do imageamento qualificada, com dados não comprometidos pelo efeito de borda.

O satélite é geoestacionário e está localizado a 42.164,00 Km de altitude, neste ponto sub-nadir a resolução de suas imagens é de aproximadamente de 3 Km. A área de estudo deste trabalho (18°S a 30°S e 49°W a 32°W), localizada a sudoeste do imageamento do satélite, está ilustrada na Figura 5, com as resoluções dos *pixels* das imagens SEVIRI em quilômetros, a resolução média foi considerada igual a 6 Km.

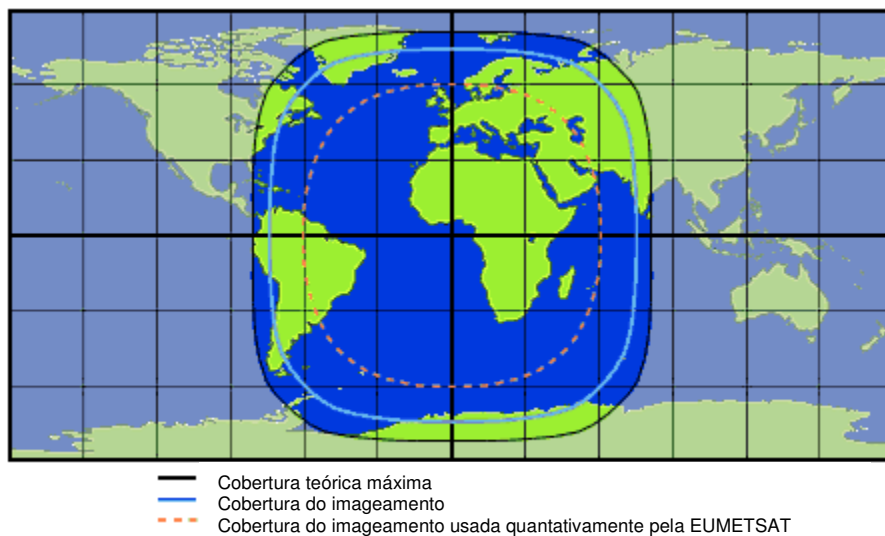


Figura 4: Área de cobertura do imageamento do satélite geostacionário MSG-8. (EUMETSAT, 2008).

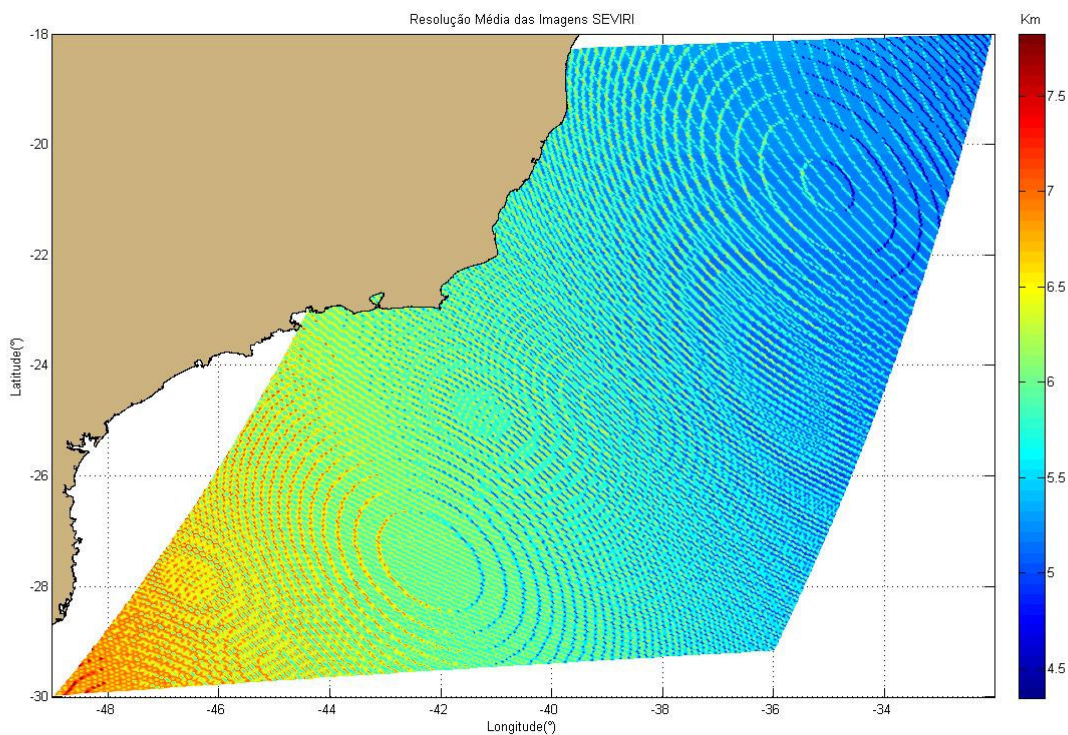


Figura 5: Resolução das imagens SEVIRI (Km), na área de estudo.

A Divisão de Satélites Ambientais (DSA), no INPE de Cachoeira Paulista, recebe as imagens de temperatura de brilho dos canais 9 e 10, centrados respectivamente em 10,8 μm e 12 μm do SEVIRI. A estimativa de TSM na DSA é realizada através do

algoritmo *split-window*, utilizado nas imagens SEVIRI por SOBRINO e RAISSOUNI, 2000 e coeficientes desenvolvidos por PERES, em 2004. As informações das coordenadas geográficas do imageamento e dos ângulos azimutais do satélite, assim como o mascaramento de nuvens e continente (DERRIEN e LEGLEAU, 2005), são disseminados pela própria EUMETSAT.

Os campos de TSM do período de janeiro a abril de 2007 foram analisados visualmente, na procura de imagens com a menor contaminação possível por nuvens e com a presença de feições termais, para então selecionar os dias mais expressivos a serem submetidas à técnica da MCC. Os campos de TSM dos dias 25/04/2007 e 26/04/2007, ambos às 00:00 hora, respectivamente Figura 6 e Figura 7, foram selecionados, pela presença destacada da CB e, ao longo de seu percurso, o meandramento associado.

No campo de TSM, do dia 25/04/2007 (Figura 6), a CB esta destacada entre as latitudes de 18°S e 25°S, com uma fronteira oeste repleta de meandros formados no encontro com as águas costeiras mais frias. Próximo a costa fluminense, os valores de temperatura indicam águas de ressurgência, em volta da região de Cabo Frio a temperatura chegou ao mínimo de 16° C. O meandramento é intenso entre a latitude de 21°S a 24°S, ao redor das feições batimétricas, do Cabo de São e Cabo Frio, envolvem águas costeiras mais frias e tendem a uma orientação ciclônica. A sudoeste de Cabo Frio, nas proximidades de 23°S e 42° W, há um núcleo de águas mais quentes, podendo caracterizar uma feição anticiclônica destacada da CB.

No campo de TSM do dia 26/04/2007 (Figura 7) as temperaturas da CB estão maiores que no dia anterior, na altura da latitude de 23°S destaca-se a feição térmica de um meandro ciclônico. Na altura de 24°S e 42°W alguns *pixels* contaminados indicam a presença de nuvens.

A ausência de valores nestas imagens de TSM é freqüentemente relacionada a presença de nuvens, principalmente a sul da região de estudo, onde há maior influência das frentes frias. Ao redor destas localidades com nuvens são perceptíveis valores baixos de TSM, devido a mistura da informação de temperatura das próprias nuvens, que por possuírem temperaturas mais baixas, acabam induzindo erroneamente o cálculo da TSM.

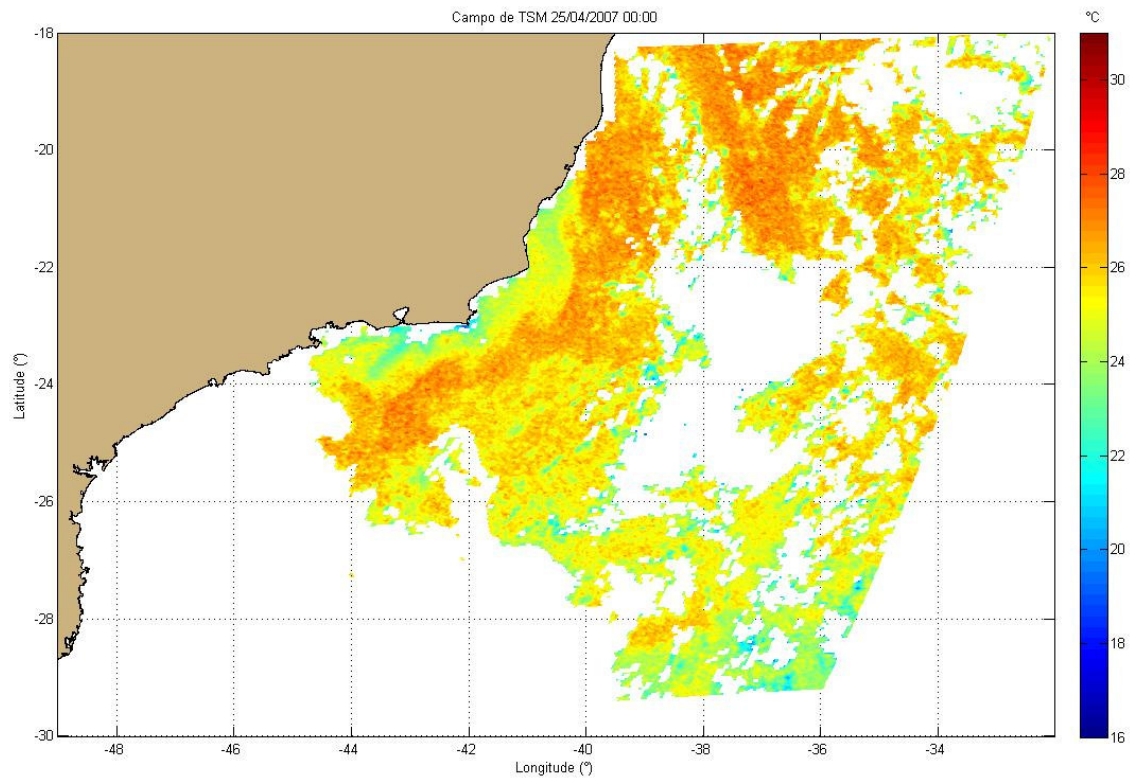


Figura 6: Campo de TSM do dia 25/04/2007, 00:00 hora. A barra de cores indica os valores de temperatura em °C.

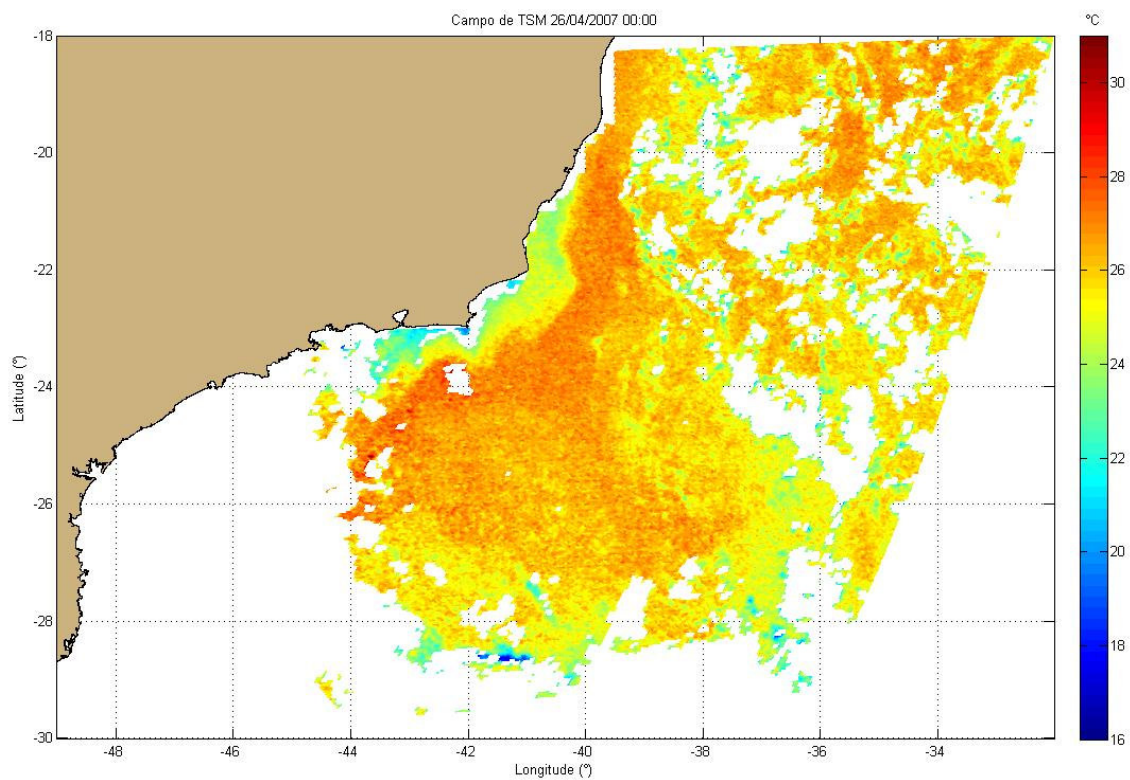


Figura 7: Campo de TSM do dia 26/04/2007, 00:00 hora. A barra de cores indica os valores de temperatura em °C.

Foi testada a aplicação do método da MCC em imagens espaçadas com intervalos de tempo distintos, sendo assim, foram seleccionados intervalos intermediários; dia 25/04/2007 às 09:00 (Figura 8), às 12:00 (Figura 9) e às 18:00 (Figura 10). Infelizmente nestes horários houve uma maior contaminação por nuvens, que inviabilizou a estimativa de TSM para uma grande quantidade de *pixels* na região de estudo.

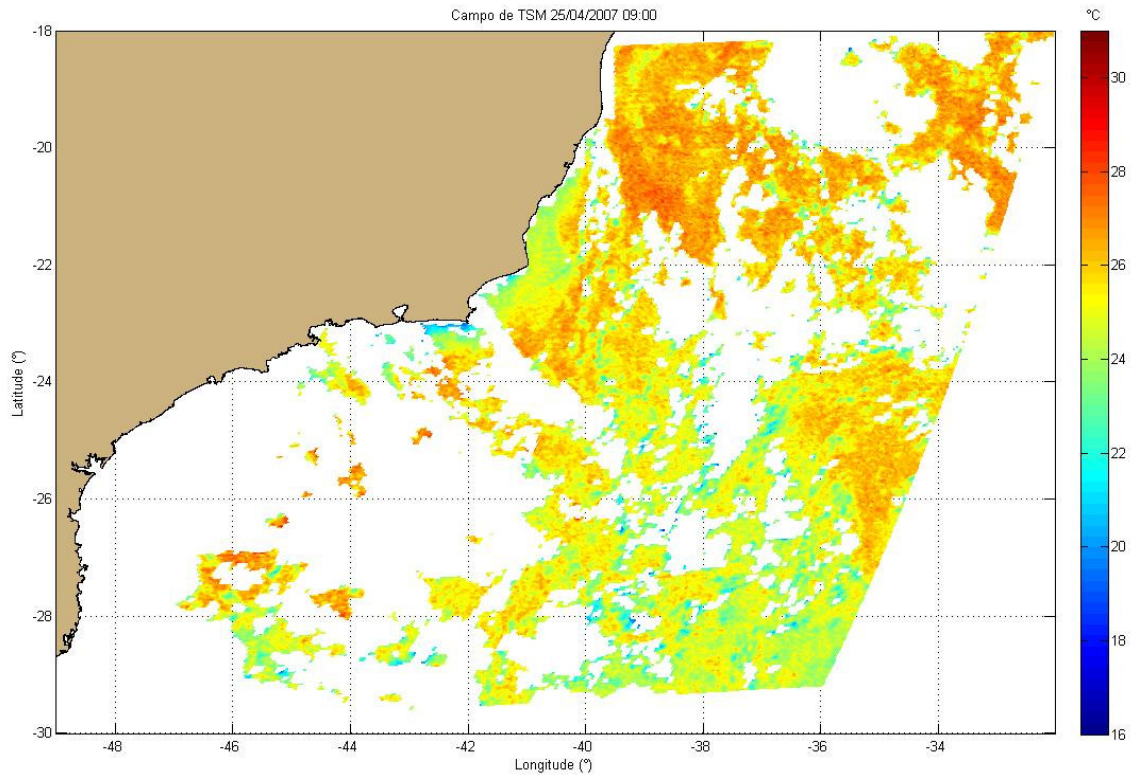


Figura 8: Campo de TSM do dia 25/04/2007, 09:00 horas. A barra de cores indica os valores de temperatura em °C.

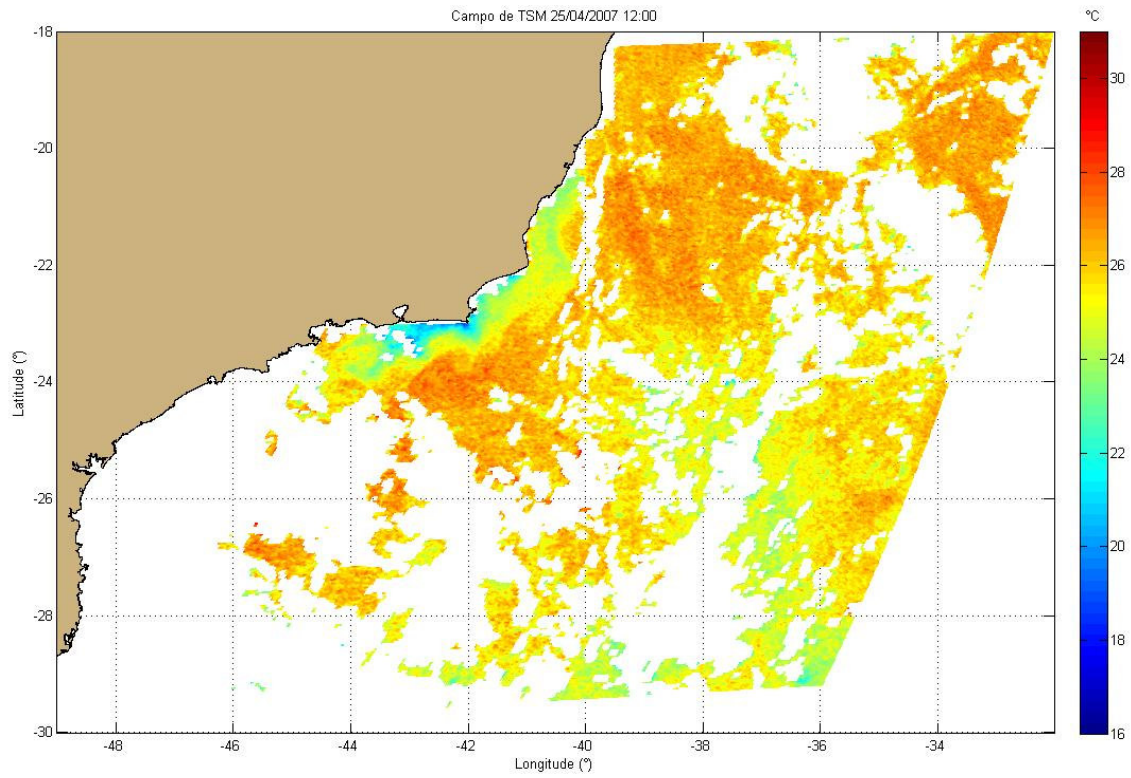


Figura 9: Campo de TSM do dia 25/04/2007, 12:00 horas. A barra de cores indica os valores de temperatura em °C.

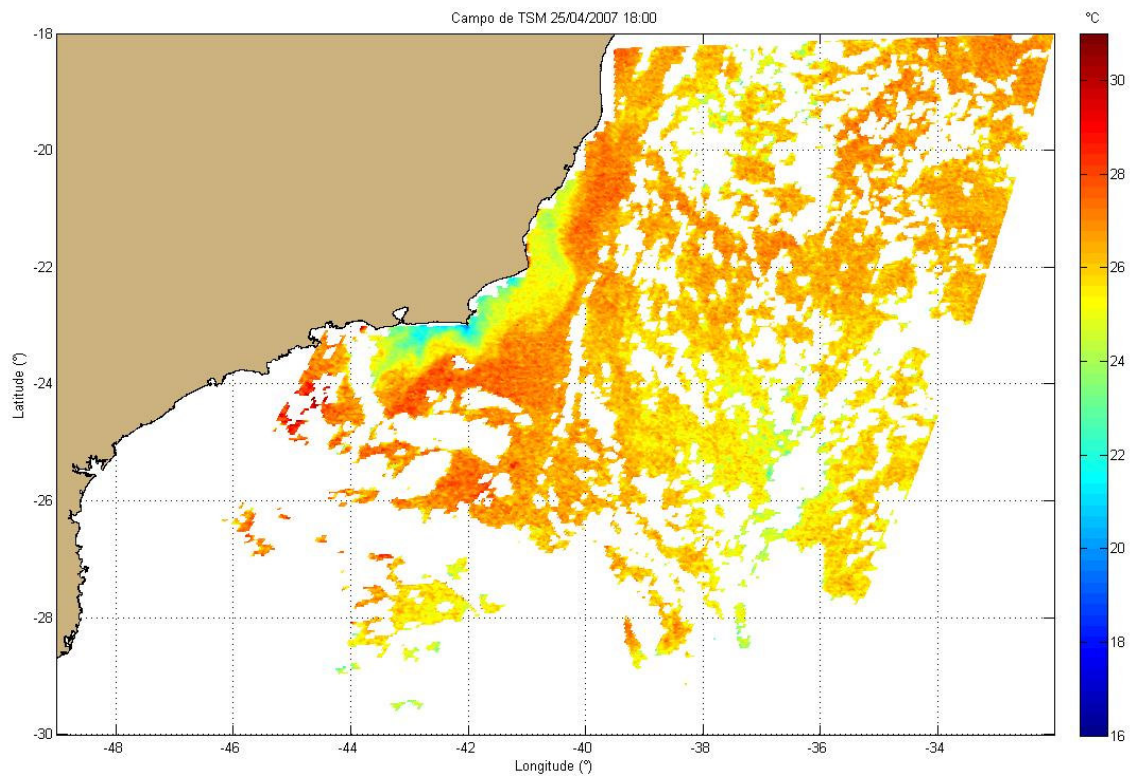


Figura 10: Campo de TSM do dia 25/04/2007, 18:00 horas. A barra de cores indica os valores de temperatura em °C.

A metodologia também foi testada em campos médios de TSM, com a média aritmética dos valores de temperatura do dia 25/04/2007, às 00:00 hora (Figura 11) e às 18:00 horas (Figura 12) e do dia 26/04/2007, às 00:00 hora (Figura 13). Nestes campos de TSM as médias preservaram as feições térmicas a oeste da CB.

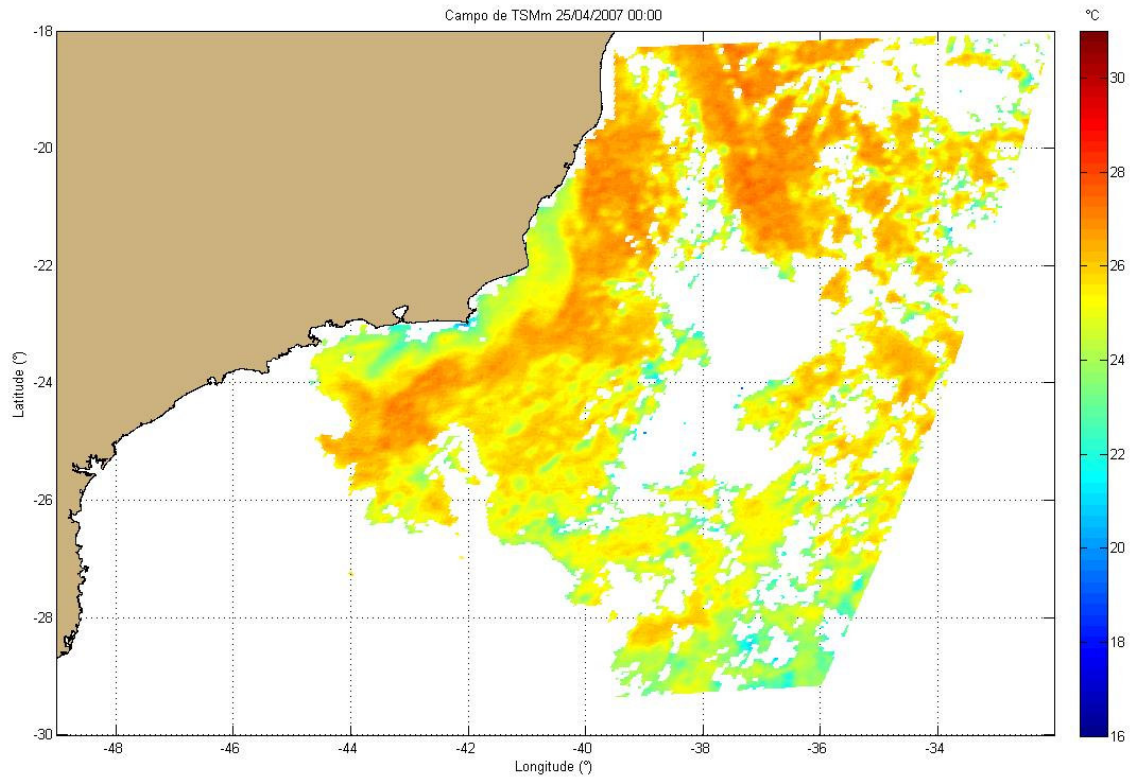


Figura 11: Campo de TSM médios do dia 25/04/2007, 00:00 hora. A barra de cores indica os valores de temperatura em °C.

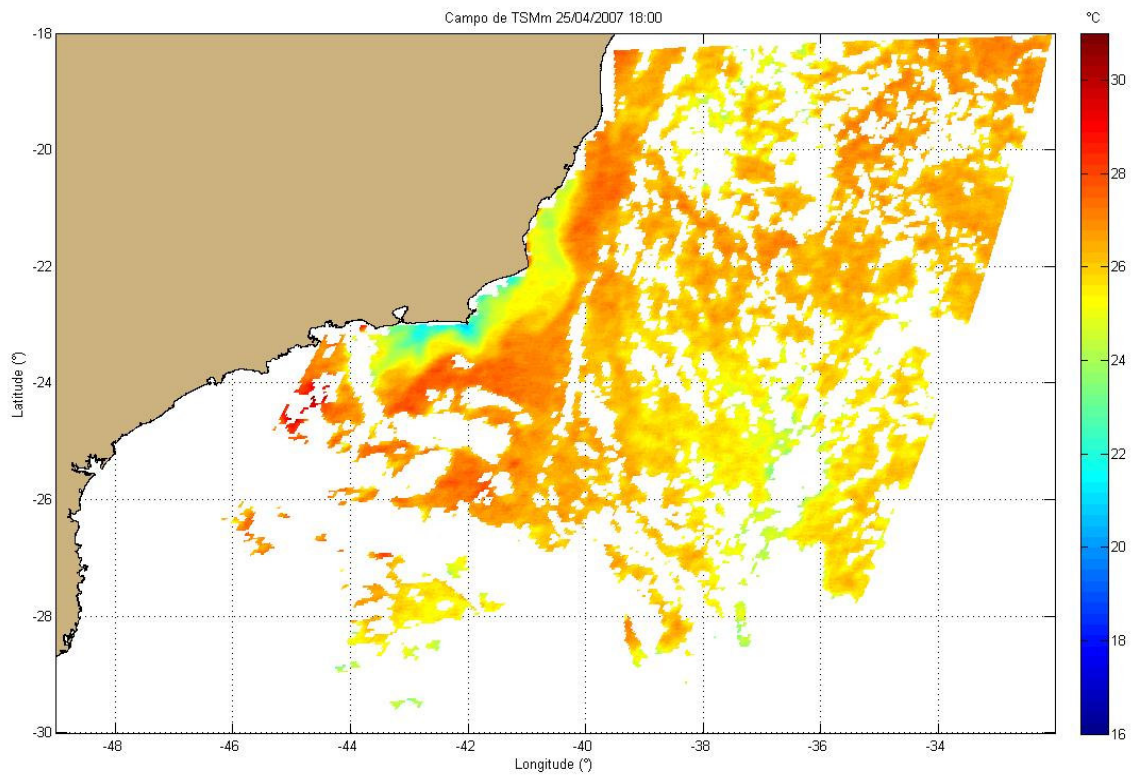


Figura 12: Campo de TSM médios do dia 25/04/2007, 18:00 horas. A barra de cores indica os valores de temperatura em °C.

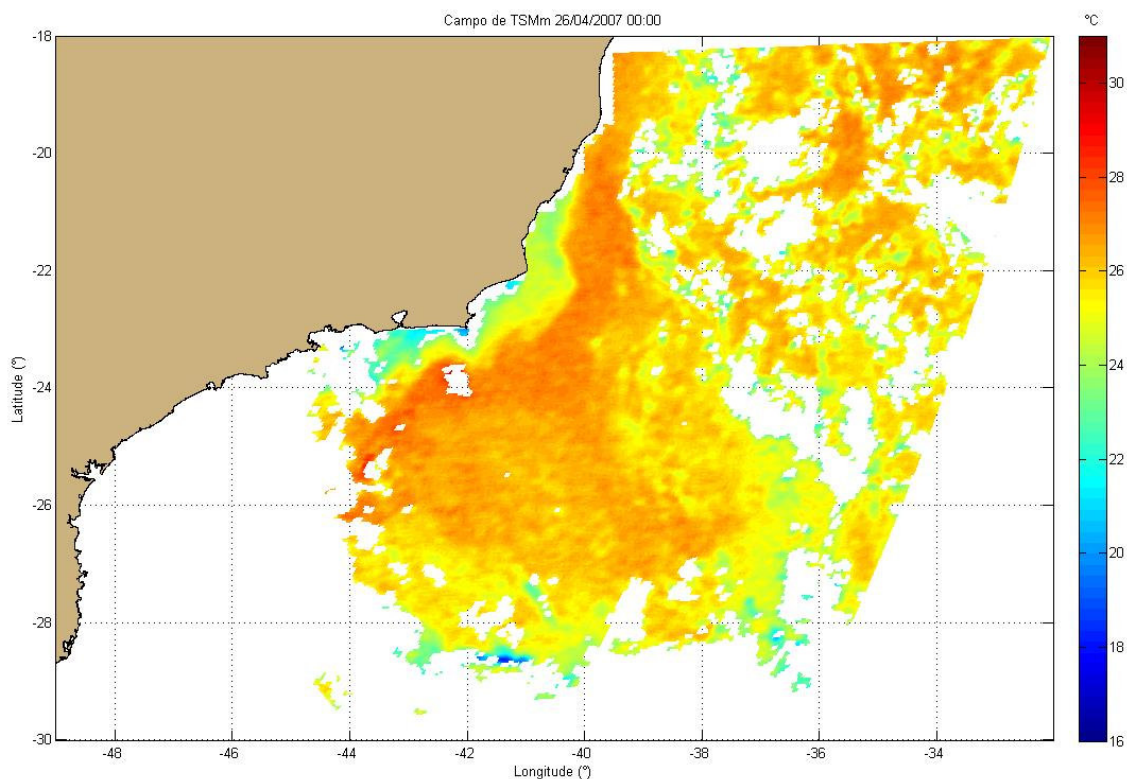


Figura 13: Campo de TSM médios do dia 26/04/2007, 00:00 hora. A barra de cores indica os valores de temperatura em °C.

Por fim, a metodologia foi testada diretamente nas imagens de temperatura de brilho (canal 9) do dia 25/04/2007, às 00:00 hora (Figura 14) e do dia 26/04/2007, às 00:00 hora (Figura 15). Nestas imagens são perceptíveis a CB e feições associadas, mas não tão destacáveis como nos respectivos campos de TSM, pelas devidas correções da aplicação do algoritmo *split-window*.

A Tabela 1 contém o detalhamento das imagens, com data e horário de medição, faixa de valores das temperaturas medidas na área de estudo e porcentagem de *pixels* contaminados.

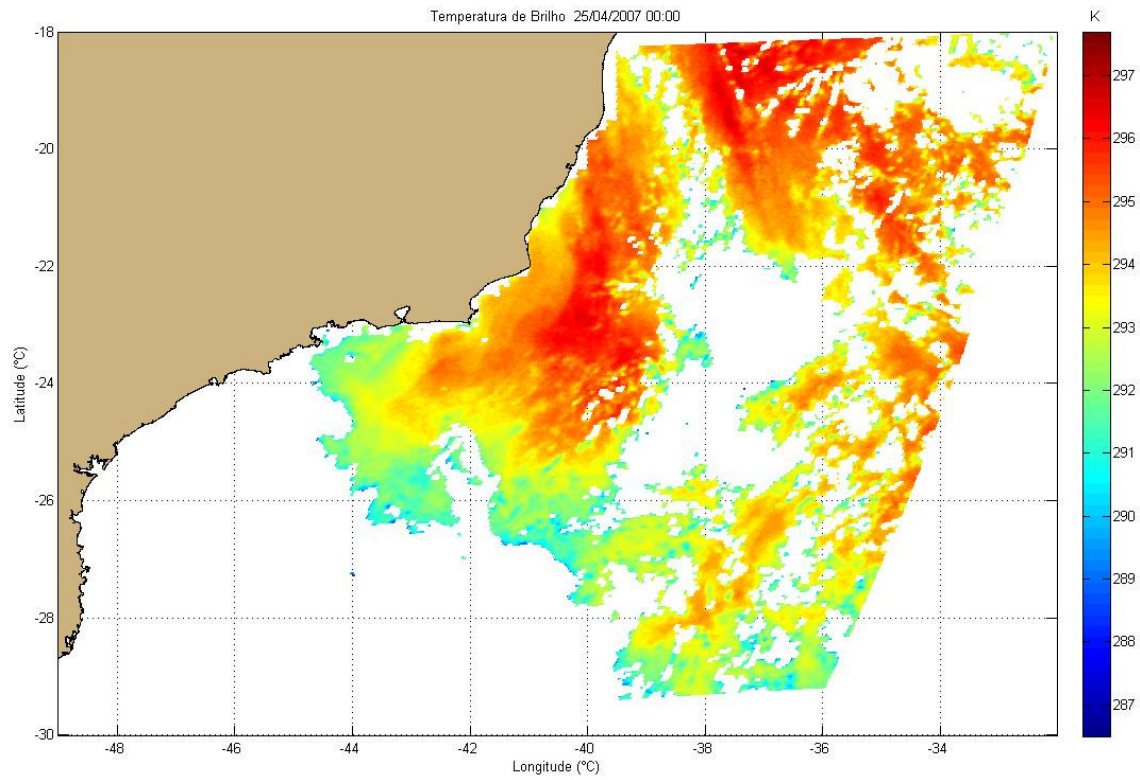


Figura 14: Campo de temperatura de brilho do dia 25/04/2007, 00:00 hora. A barra de cores indica os valores de temperatura em Kelvin.

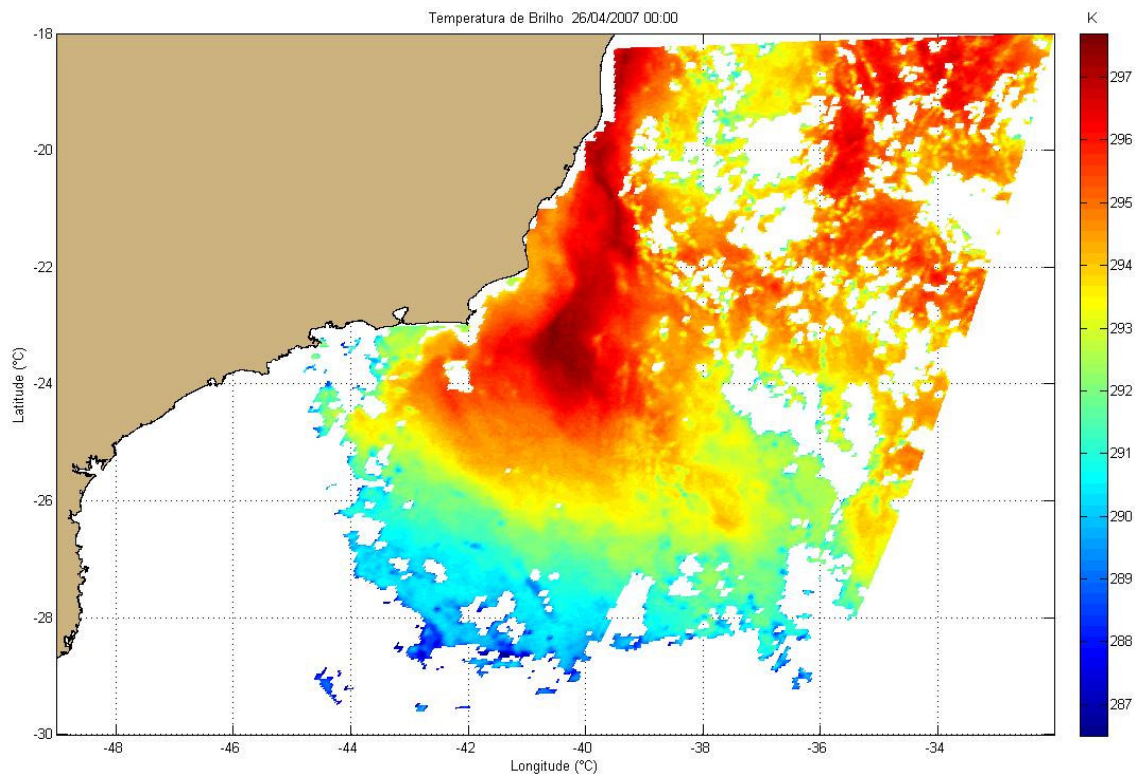


Figura 15: Campo de temperatura de brilho do dia 26/04/2007 00:00. A barra de cores indica os valores de temperatura em Kelvin.

Tabela 1 : Detalhamento das imagens do SEVIRI utilizadas nos experimentos do trabalho.

| Horário | Campo de TSM | | Temperatura de Brilho | | Pixels contaminados (%) |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| | Temperatura mínima (°C) | Temperatura máxima (°C) | Temperatura mínima (K) | Temperatura máxima (K) | |
| 00:00 25/04/2007 | 16,5 | 28,6 | 286,6 | 296,8 | 34,7 |
| 09:00 25/04/2007 | 15,9 | 30,9 | | | 30,9 |
| 12:00 25/04/2007 | 18,5 | 31,7 | | | 33,6 |
| 18:00 25/04/2007 | 19,5 | 34,1 | | | 36,2 |
| 00:00 26/04/2007 | 17,0 | 33,1 | 287,0 | 297,7 | 26,9 |

Os campos de vento, na época em que foram derivados os campos de TSM das imagens SEVERI (Figura 16), foram estimados pelo escaterômetro *SeaWinds*, estão direcionados para nordeste e chegam a valores de 10 a 15 m/s, caracterizando um *stress* intenso na região de estudo, principalmente no segundo dia (26/04/2007).

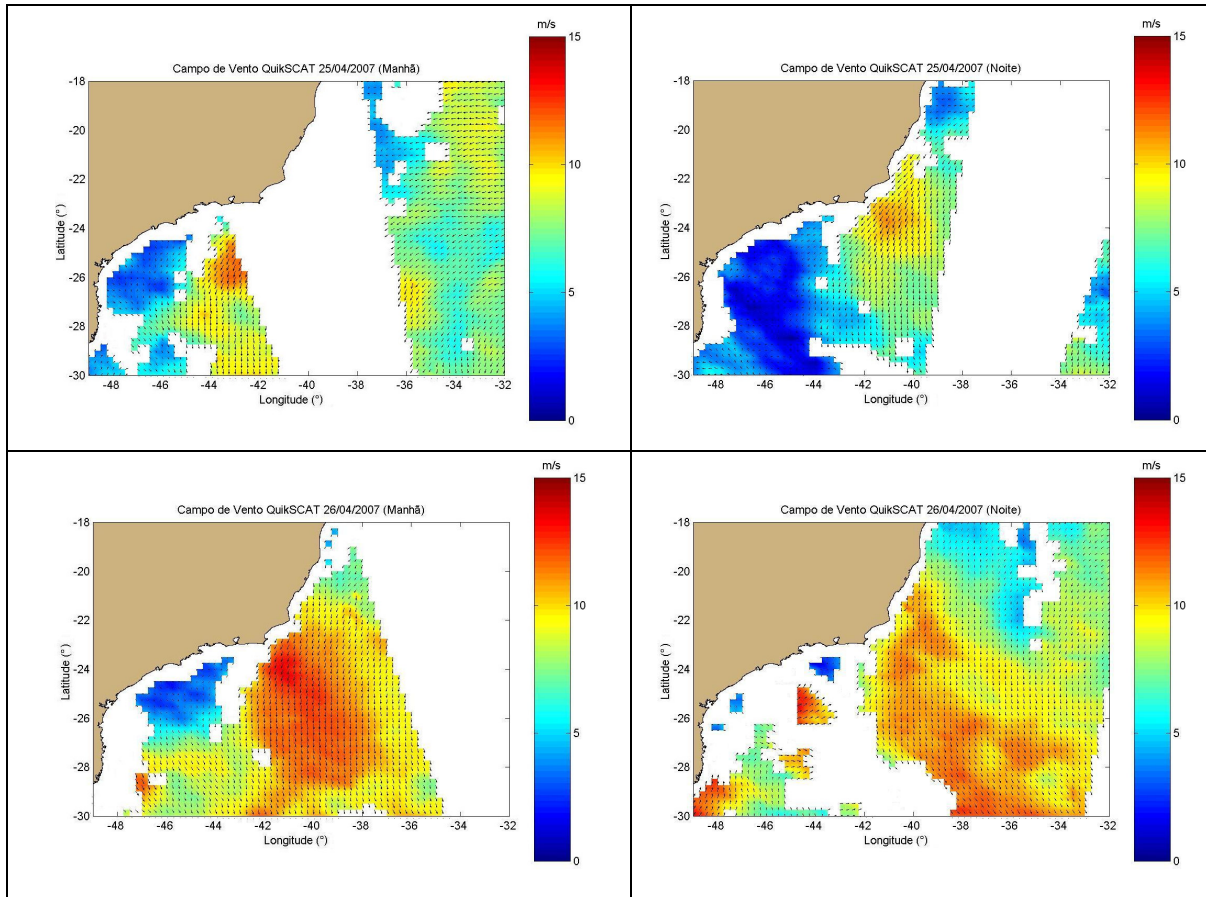


Figura 16: Campos de velocidade do vento (m/s), estimados através das medições do escaterômetro nos dias 25/04/2007 e 26/04/2007, para os períodos da manhã e da noite, na área de estudo.

3.1.2. Campos de TSM Sintéticos

Foi criado um primeiro Campo de TSM Sintético (TSM_s) através de uma distribuição senoidal, de acordo com a Equação 1, que serviu como condição inicial de uma simulação hidrodinâmica no POM (*Princeton Ocean Model*) (ROCHA, 2007), considerando-se somente a advecção como forçante. Os campos termais resultantes desta simulação foram utilizados, o método da MCC foi aplicado sobre pares com o primeiro campo de TSM.

$$TSM_s(x, y) = sen(x6\pi / n_{linha})x / n_{linha} + sen(y6\pi / n_{coluna})y / n_{coluna}$$
$$TSM_s(x, y) = TSM_s(x, y)5sen(x\pi / n_{linha} - \pi / 4)sen(y\pi / n_{coluna} - \pi / 4) + 20 \quad 1$$

Os campos de TSM foram inicialmente simulados com resolução de 5 minutos de grau (aproximadamente 9 Km) e posteriormente interpolados para as resoluções de 1 e 3 Km. Para os experimentos com os campos termais de 3 km de resolução foi escolhido o intervalo de tempo mais longo, 19 horas depois do inicial e para os experimentos com os campos termais com resolução de 1 Km foi escolhido um intervalo de tempo mais curto, 5 horas depois do inicial.

O primeiro campo de TSM (Figura 17) possui uma feição termal destacada ao norte da região de estudo, com uma concentração de calor abrangendo um raio de aproximadamente 0,5°. A feição térmica esta a nordeste da costa na primeira hora de simulação, centralizada em 22,5°S e 40,5°W e foi advectada para sudoeste ao longo da simulação hidrodinâmica; em 22,7°S e 41°W na quinta hora da simulação (Figura 18) e em 23,4°S e 41,7°W na décima nona hora (Figura 19).

Os campos de velocidade resultantes da aplicação da MCC (Figura 55 a Figura 61) e os resultantes da simulação numérica (Figura 62 e Figura 63) estão ilustrados na Seção 4.

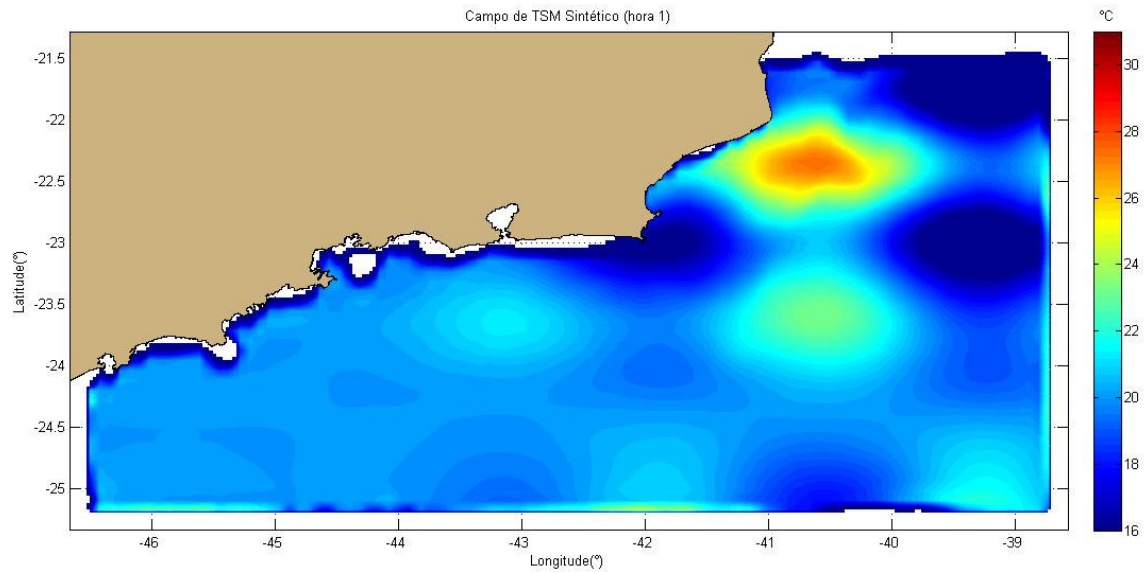


Figura 17: Campo sintético de TSM, primeira hora, utilizado nos experimentos com 1 e 3 Km de resolução. A barra de cores indica o valor de temperatura em °C.

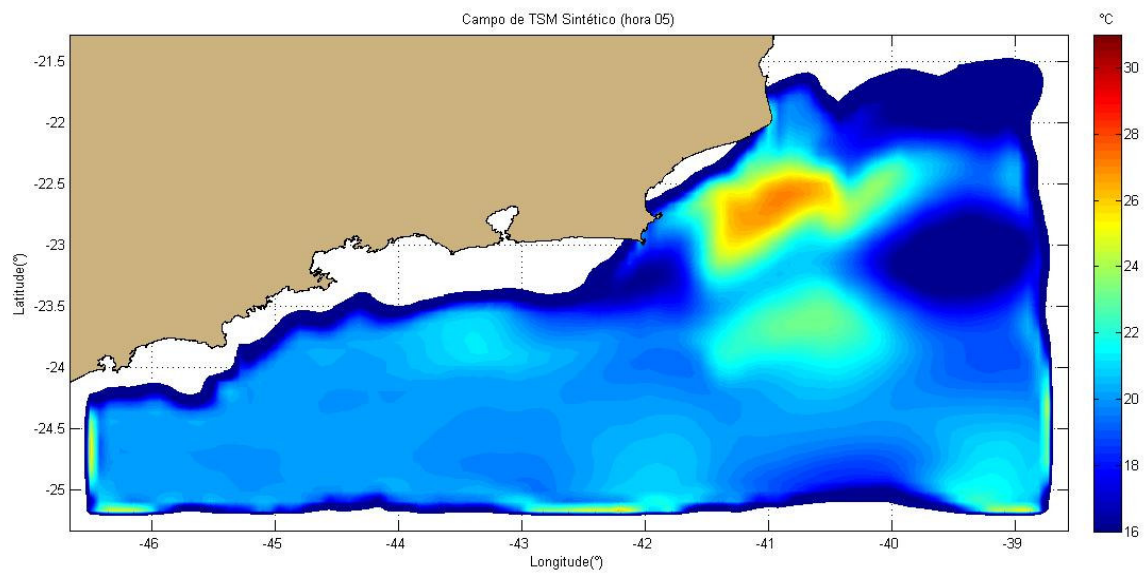


Figura 18: Segundo campo sintético de TSM (hora 05), utilizado nos experimentos com 1 Km de resolução. A barra de cores indica o valor de temperatura em °C.

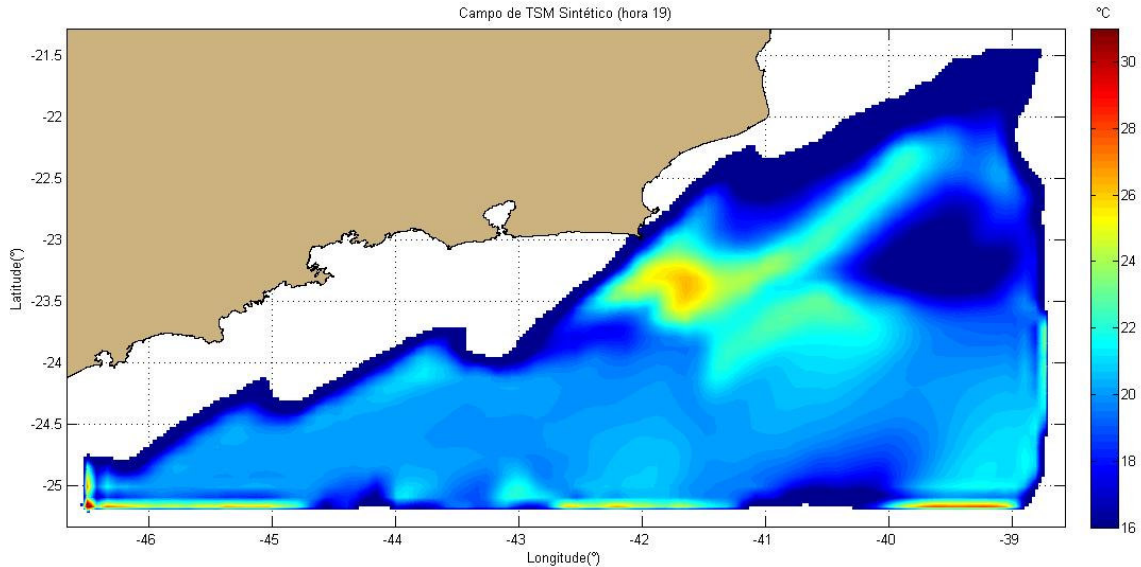


Figura 19: Segundo campo sintético de TSM (hora 19), utilizado nos experimentos com 3 Km de resolução. A barra de cores indica o valor de temperatura em °C.

3.2. Método da Máxima Correlação Cruzada (MCC)

Na oceanografia, a estimativa da velocidade de correntes oceânicas superficiais, pelo método da Máxima Correlação Cruzada (MCC), comumente considera o movimento das feições termais captadas em imagens de sensoriamento remoto. A diferença na posição das feições, em imagens consecutivas, é dividida pelo intervalo de tempo entre elas, resultando em um vetor de deslocamento, com intensidade e direção definidas. O comportamento dinâmico detectado é baseado na afirmação de que as feições encerradas no campo de velocidade são advectadas uniformemente, como corpos discretos (GAO e LYTHER, 1995).

O método da MCC compara estatisticamente uma variável em função do espaço e do tempo, envolvendo parâmetros de covariância e variância das imagens comparadas (WU et al., 1992), de acordo com a Equação 2:

$$MCC_{coef} = \frac{COV_{imag1,imag2}}{var_{imag1} * var_{imag2}} \quad 2$$

A comparação das feições, nos sinais de duas imagens consecutivas, acontece através de recortes nos campos de temperatura, a MCC é calculada com os valores de

temperatura incluso nos recortes das duas imagens. Na Equação 3, com as funções de variância e covariância, os termos $temp1(x, y)$ e $temp2(x, y)$ representam os valores de temperatura, respectivamente, no recorte do primeiro campo de temperatura e no recorte do campo consecutivo. As médias de temperatura destes campos estão representadas por $\overline{temp1(x, y)}$ e $\overline{temp2(x, y)}$.

O resultado da técnica é um coeficiente, com faixa provável de valores entre -1 e 1, respectivamente, dos recortes menos correlacionados para os recortes de maior correlação cruzada.

$$MCC_{coef}(x + x_{desloc}, y + y_{desloc}) = \frac{1}{\sigma_{imag1}\sigma_{imag2}} \sum \sum \{ [temp1(x, y) - \overline{temp1}] [temp2(x + x_{desloc}, y + y_{desloc}) - \overline{temp2}] \} \quad 3$$

onde;

$$\sigma_{imag1} = \sqrt{\sum \sum ((temp1(x, y) - \overline{temp1})(temp1(x, y) - \overline{temp1}))}$$

$$\sigma_{imag2} = \sqrt{\sum \sum ((temp2(x, y) - \overline{temp2})(temp2(x, y) - \overline{temp2}))}$$

Estes recortes destinados a capturar feições de temperatura, nos sinais das duas imagens, são chamados de janela alvo. Na tentativa de achar a melhor correlação com o recorte da primeira imagem são feitas comparações consecutivas, com janelas alvo deslocadas na segunda imagem, para então, dentre elas, escolher a comparação que produziu o maior coeficiente da MCC. Na Equação 3, x_{desloc} e y_{desloc} se referem a distância de deslocamento da janelas alvo na segunda imagem, em relação a posição da janela alvo na primeira imagem.

Entretanto, este deslocamento das janelas alvo, na segunda imagem, obedece a um limite, que teoricamente, seria relativo à distância máxima que uma partícula de água pudesse chegar, considerando-se as correntes costumeiras na área de estudo. Com este

deslocamento em mente, a janela de procura é dimensionalizada e na técnica, servirá para delimitar o deslocamento das janelas alvo na procura do maior coeficiente de MCC. A extensão da janela de procura é determinada em relação à velocidade máxima da corrente esperada para o local, dividida pelo intervalo de tempo das imagens utilizadas (WU *et al.*, 1992), seria a distância máxima em que uma feição qualquer, sobre a superfície oceânica, pudesse ser advectada.

Nos experimentos deste trabalho, a primeira janela alvo a ser comparada está no centro da janela de procura e os deslocamentos seguintes, das próximas janelas alvo a serem comparadas, acontecem de forma espiral, ao redor desta primeira janela alvo. O esquema das janelas utilizadas na metodologia da MCC está ilustrado na Figura 20, a área da janela de procura está destacada sobre um campo de TSM (quadrado vermelho) seguida de sua ampliação, com os pixels destacados, e a primeira janela alvo (quadrado cinza) localizada sobre o meio da área de procura. O quadrado com as bordas quadriculadas representa a segunda posição da janela alvo, no deslocamento na imagem 2.

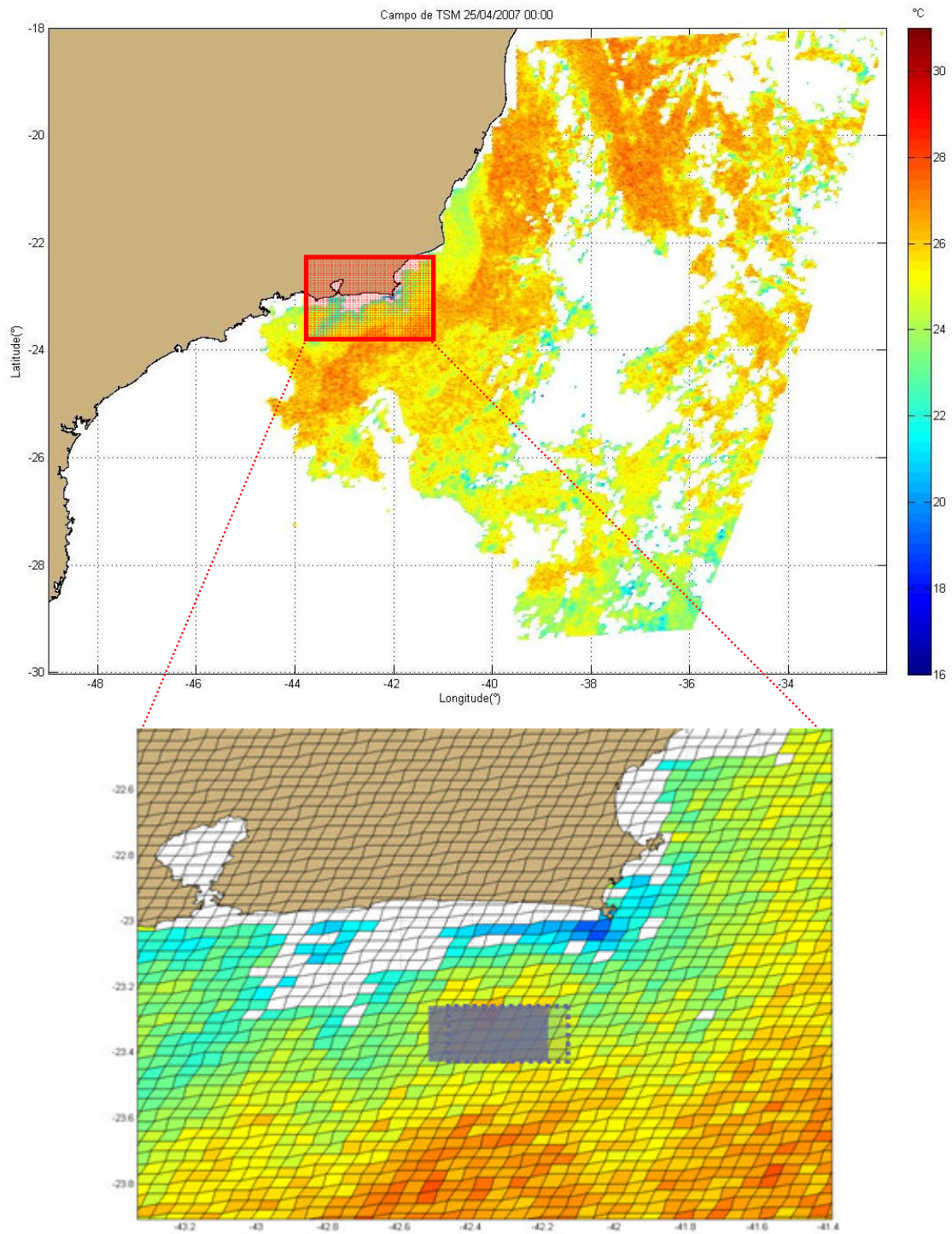


Figura 20 : Esquema demonstrando as janelas alvo e de procura utilizadas na metodologia da MCC, sobre o campo de TSM do dia 25/04/2007, a barra de cores indica a temperatura em °C.

A cada comparação realizada, entre as janelas alvo da primeira e segunda imagem, um coeficiente da MCC é calculado, e armazenado em uma matriz de coeficientes, que possui dimensão igual a da janela de procura. Para ilustração, vamos considerar que a janela de procura tenha dimensão $Np_{linhas} \times Mp_{colunas}$, sendo assim, para cada janela alvo recortada na primeira imagem, existe uma matriz de coeficientes da MCC com $Np_{linhas} \times Mp_{colunas}$.

Dentre estes coeficientes da janela de procura, será escolhido o de maior valor. Este coeficiente de maior valor é resultante de uma das comparações, para com uma das janelas alvos recortadas na segunda imagem. A posição do *pixel* central desta janela alvo, na segunda imagem, será computada como sendo a posição final do vetor de velocidade, enquanto que, a posição do *pixel* central da janela alvo, na primeira imagem, será computada como sendo a posição inicial do vetor de velocidade. Então, a região central da janela alvo, com maior coeficiente de correlação, é determinada como sendo o local para onde a feição, capturada na primeira imagem, se deslocou após o intervalo de tempo entre as duas imagens.

Os cálculos das distâncias que as feições percorrem (Equação 4), na direção y ($cateto_y$) e na direção x ($cateto_x$), são realizados com a informação geográfica dos *pixels* das imagens georeferenciadas. Logo, Os termos de $latitude_{inicial}$ e $longitude_{inicial}$ se referem às coordenadas do *pixel* central da janela alvo, na primeira imagem, e os termos de $latitude_{final}$ e $longitude_{final}$ se referem às coordenadas do *pixel* central, da janela alvo melhor correlacionada, na segunda imagem.

Como os valores das coordenadas geográficas possuem sinal, indicativo de quadrante, os cálculos são efetuados com os valores absolutos destas coordenadas. As diferenças são obtidas em graus e então convertidas para centímetros, em função do cosseno da latitude, para isto são multiplicadas pela variável $converte_cm$ (Equação 5).

$$\begin{aligned} cateto_y &= abs(latitude_{final}) - abs(latitude_{inicial}) \\ cateto_x &= abs(longitude_{final}) - abs(longitude_{inicial}) \end{aligned} \quad 4$$

$$converte_cm = (1,852 * 60) * \cos\left(\phi * \left(\frac{pi}{180}\right)\right) * 10^5 \quad 5$$

A direção é determinada pela arco-tangente da razão entre as diferenças latitudinais e longitudinais (Equação 6) e a magnitude (Equação 7), pela resultante das componentes dividida pelo intervalo de tempo entre as imagens (Δt).

$$direção = \arctg\left(\frac{cateto_y}{cateto_x}\right) \quad 6$$

$$magnitudo = \frac{\sqrt{cateto_y^2 + cateto_x^2}}{\Delta t} \quad 7$$

Finalizado o cálculo deste primeiro vetor, correspondente a primeira janela alvo, os valores são convertidos em componentes vetoriais e estas são armazenadas em duas matrizes, ambas com dimensões das imagens ($N_{i_{linhas}} \times M_{i_{colunas}}$).

O próximo passo é mudar a posição, na primeira imagem, da primeira janela alvo e o processo é reinicializado. Esta segunda janela alvo terá uma nova matriz de coeficientes calculada ($N_{p_{linhas}} \times M_{p_{colunas}}$), da qual será retirada uma segunda posição final de vetor, e mais uma célula, nas matrizes de componentes vetoriais ($N_{i_{linhas}} \times M_{i_{colunas}}$), é preenchida.

Os deslocamentos das janelas alvos são de *pixel* por *pixel*, até que preencham a área da primeira imagem, menos as bordas. As bordas das imagens são retiradas, para que as comparações nos seus extremos respeitem um limite final, igual ao somatório de metade do tamanho da janela de procura mais o tamanho da janela alvo.

Se por acaso as janelas alvo, em ambas as imagens, encerrarem valores de temperatura iguais uns aos outros, na Equação 3, produzirão termos de variância σ_{imag1} e σ_{imag2} zerados, o que implica em uma divisão por zero no cálculo do coeficiente. Tal situação inutiliza o método quando percorre regiões de temperatura homogêneas, desta forma, quando acontece sob uma janela alvo na primeira imagem, ela é inutilizada, assim como o vetor de velocidade correspondente e o cálculo segue para janela alvo seguinte. Quando acontece em uma janela alvo da segunda imagem, somente esta janela alvo tem o coeficiente inutilizado. As janelas alvo são igualmente inutilizadas na presença de *pixels* contaminados por nuvens e continente.

Seguem os passos da metodologia sumarizada, em conjunto com um fluxograma destas etapas (Figura 21). Nesta figura as cores estão dividindo as etapas; a designação da janela de procura está em roxo, a geração dos coeficientes de correlação cruzada,

pelas janelas alvo, está em azul, seguida pelo cálculo dos deslocamentos das feições, em verde, e por fim, a geração dos vetores velocidade, em rosa.

Passos dos procedimentos do método da MCC:

1. estimativa da velocidade máxima da área de estudo;
2. determinação do tamanho da janela de procura ($N_{p_{linhas}} \times M_{p_{colunas}}$);
3. determinação do tamanho da janela alvo;
4. primeira janela alvo estabelecida sobre o centro da imagem 1;
5. primeira janela alvo estabelecida sobre o centro da imagem 2;
6. cálculo do coeficiente da MCC;
7. preenchimento, com o coeficiente da MCC resultante, do elemento central de $N_{p_{linhas}} \times M_{p_{colunas}}$;
8. deslocamento da janela alvo sobre a imagem 2;
9. preenchimento dos demais elementos de $N_{p_{linhas}} \times M_{p_{colunas}}$;
10. identificação do maior coeficiente da MCC na janela de procura;
11. correlação com a coordenada geográfica, do *pixel* central da janela alvo, na imagem 2, atrelado a este coeficiente de MCC;
12. determinação da distância entre o *pixel* central da janela alvo, na imagem 1, e o *pixel* central desta janela alvo, na imagem 2;
13. cálculos de direção e magnitude do vetor;
14. alocação das componentes *u* e *v* de velocidade na matriz $N_{i_{linhas}} \times M_{i_{colunas}}$;
15. deslocamento da janela alvo sobre a imagem 1;
16. reinício do processo e
17. preenchimento da matriz $N_{i_{linhas}} \times M_{i_{colunas}}$.

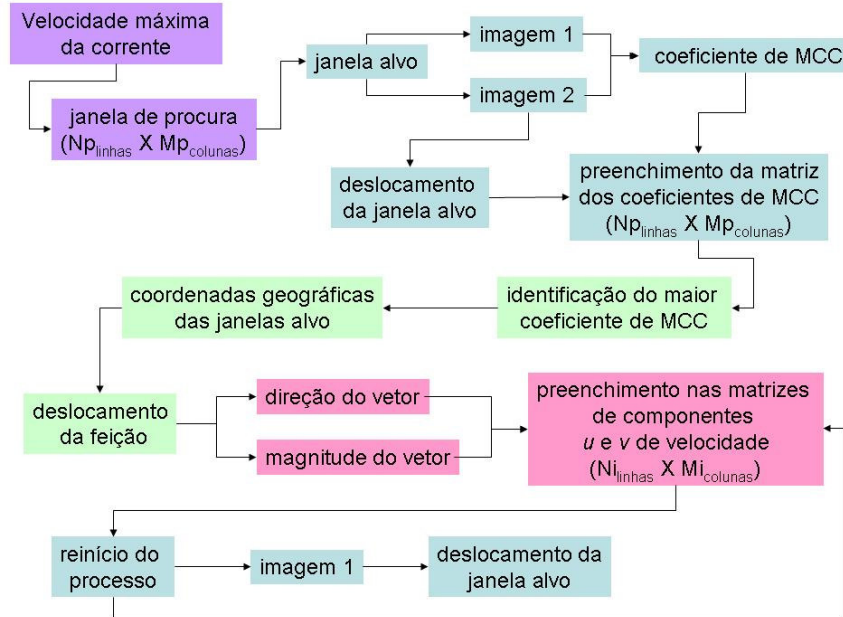


Figura 21 : Fluxograma da metodologia da MCC utilizada neste trabalho.

O código foi escrito em Matlab, e caso haja interesse, está disponível no endereço eletrônico da MATH WORK, 2008, com o nome “MCC to estimate the Superficial Ocean

Currents on SST images.m". Este endereço eletrônico permite a troca de rotinas por usuários do Matlab, ao acessá-lo é preciso ir em "File Exchange" e a rotina está na parte de Ciência Ambiental ("Earth Sciences"). As palavras chave desta rotina são; *MCC*, *SST* e *Current Field*.

3.3. Filtros

O campo vetorial resultante passa por uma sucessão de filtros, para melhor representatividade. O primeiro filtro é aplicado através de um teste de significância, do qual é escolhido o coeficiente de corte mais apropriado, pois exclui vetores decorrentes de correlações com coeficientes menores que estes, tidos como não significantes.

O segundo filtro compara a coerência espacial de cada um dos vetores e o último filtro tem por objetivo alisar o campo vetorial, por meio de uma média aritmética.

3.3.1. Teste de Significância

Os coeficientes de corte foram analisados em um teste proposto por EMERY *et al.*, 1986, baseado na significância estatística das correlações, em função do tamanho da janela alvo.

Neste teste, a variabilidade espacial das imagens é dada pelo número do grau de liberdade (GL) (Equação 8), para determinado tamanho de janela alvo (*alvo*), divididos pela média das distâncias L_x e L_y .

$$GL = \frac{alvo^2}{\left(\frac{L_x + L_y}{2}\right)}$$

8

As distâncias L_x e L_y são obtidas aplicando o método da MCC sobre duas imagens idênticas e como as correlações são realizadas com valores idênticos de temperatura, as matrizes de correlação cruzada resultantes apresentam um pico, no meio da imagem do coeficiente da MCC, igual a 1. Este teste é aplicado na imagem inteira e as matrizes de coeficiente de MCC são somadas no decorrer, para no final, obter uma matriz

de correlação média (Figura 22), L_x e L_y são as distâncias, longitudinais e latitudinais, respectivamente, deste pico da matriz de coeficientes até os *pixels* de coeficientes iguais a 0.

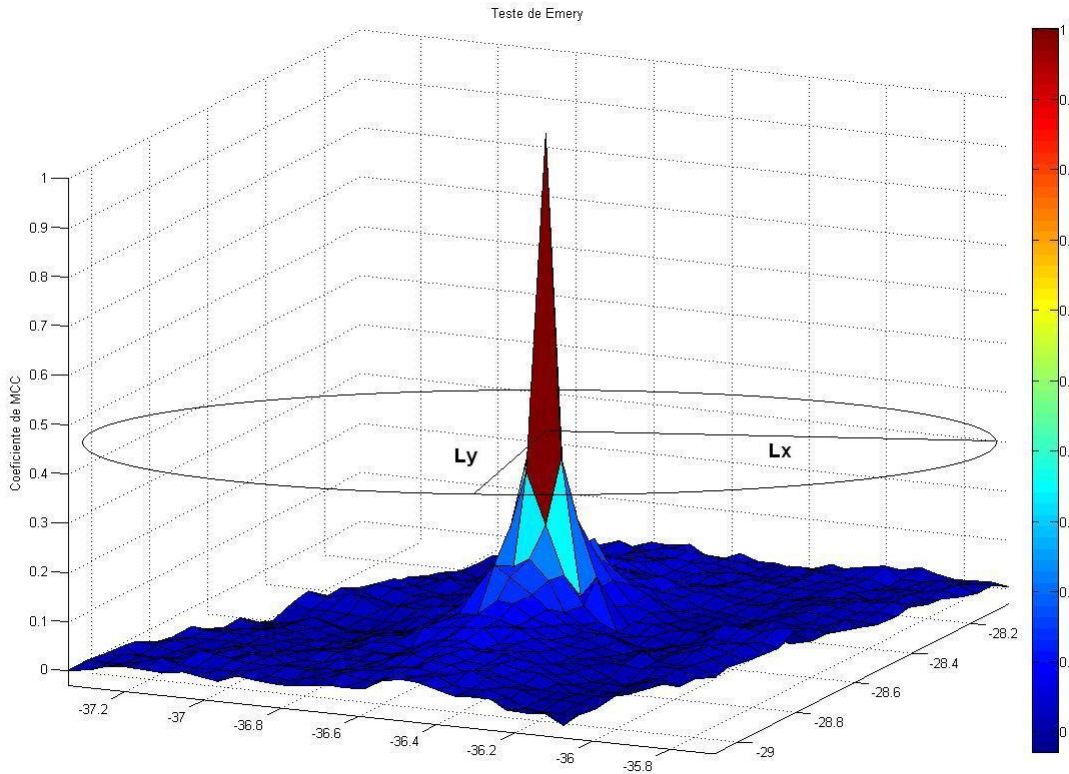


Figura 22: Matriz de coeficientes de autocorrelação, calculados sobre duas imagens idênticas. A barra de cores indica os valores de coeficientes da MCC.

A dimensão da janela alvo serve para o cálculo de uma população de coeficientes, o qual precisa ser suficiente para caracterizar o novo posicionamento da feição (DOMINGUES *et al.*, 2000) e a quantidade de feições termais que determinada janela alvo contém está correlacionada ao número do grau de liberdade (GL) (KELLY e STRUB, 1992).

O próximo passo do Teste de Emery consiste em determinar as significâncias dos campos de vetores, que serão estimados a partir da distribuições de N graus de liberdade (GL), com determinados coeficientes de corte. Nesta fase, foi aplicado o teste t -Student (t), Equação 9, com as respectivas distribuições de N graus de liberdade (GL) (OLIVEIRA, 2003), para os seguintes valores de coeficientes de corte de MCC (*coef*); 0,5, 0,6, 0,7 e 0,8.

$$t = coef \sqrt{\frac{GL}{(1-coef)^2}}$$

9

Os valores de *t*-Student possuem curvas de distribuição em função do número do grau de liberdade (*GL*) (MAGALHÃES e LIMA, 2002), das quais são retiradas probabilidades de correlação *p*. De acordo com WU (1992), estas probabilidades são estimadas por amostragens aleatórias, em populações não correlacionáveis e se a probabilidade é pequena, a correlação é considerada significativa (significância = 100% - *p*).

Os parâmetros *t*-Student, os números de grau de liberdade e as correlações *p*, calculados para os experimentos do trabalho, estão listados Nas Tabela 4 e Tabela 5. A Tabela 4 contém os cálculos para os campos de TSM derivados de imagens de sensoriamento remoto (*TSM*), as médias destes campos (*TSMm*) e diretamente para as imagens de temperatura de brilho do canal 9 (*IR9*). Na Tabela 5 estão listados os mesmos parâmetros, mas para os experimentos realizados sobre os campos de TSM sintéticos, em grades de 3 Km (*MOD 3Km*) e 1 Km (*MOD 1Km*).

As significâncias (%) dos campos de vetores estimados nos experimentos deste trabalho, em função de possíveis coeficientes de corte (0,5, 0,6, 0,7 e 0,8), foram determinadas para cada par de tamanho de janela alvo e campo termal utilizados.

3.3.2. Filtro da Coerência Espacial

Depois de selecionados os vetores correspondentes aos coeficientes iguais ou acima do coeficiente de corte, o campo de vetores resultante da técnica da MCC é filtrado quanto a sua coerência espacial, esquematizada na Figura 23.

Primeiro são separados, das matrizes resultantes das componentes de velocidade *u* e *v* (ilustradas no topo esquerdo da Figura 23), dois subgrupos de *pixels* vizinhos do vetor analisado (3 X 3 *pixels*). Para cada vetor (*pixel*), destes pares de subgrupos, é calculada a diferença vetorial dele, em relação aos oito vetores restantes (Equação 10).

$$DifVetorial = \sqrt{(U_{pixel} - U_{viz})^2 + (V_{pixel} - V_{viz})^2}$$

10

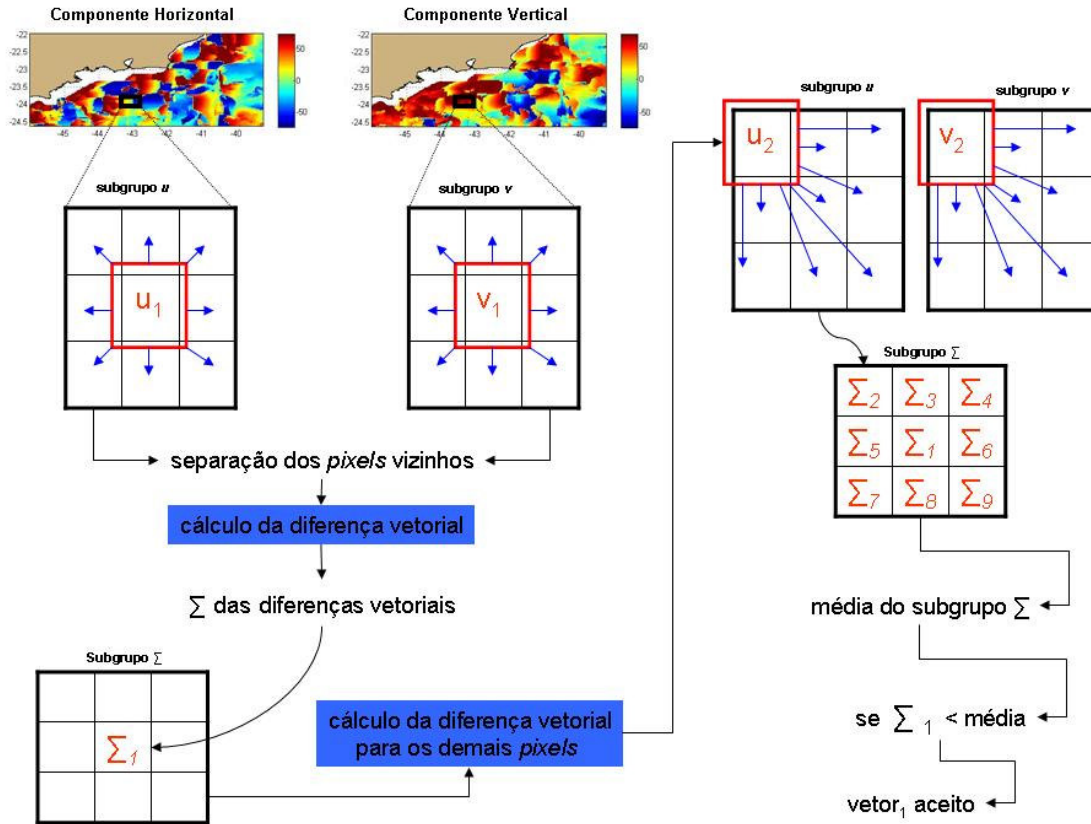


Figura 23: Fluxograma do filtro de coerência espacial.

Para cada um destes *pixels*, dos pares dos subgrupos, na medida em que são realizadas as diferenças vetoriais, elas são somadas, ou seja, no fim cada um dos *pixels* possui um somatório das diferenças vetoriais. *Pixels* inutilizados não são considerados no somatório.

Deste novo subgrupo de somatórios é retirada a média e o vetor analisado só será aceito se o seu somatório correspondente for menor que a média dos somatórios. Por fim, as matrizes das componentes de velocidade são atualizadas, inutilizando os *pixels* que não foram aceitos no teste.

Este filtro assume que o movimento da corrente superficial tenha direção coerente (OLIVEIRA *et al.*, 2005.) e logo, que há uma auto-correlação espacial entre os vetores (MULLEN, 2000).

3.3.3. Filtro de Média

No final o campo vetorial é suavizado por um filtro de média, esta filtragem está esquematizada na Figura 24. Inicialmente são separadas as matrizes resultantes das componentes de velocidade u e v , previamente analisadas no filtro de coerência espacial.

São separados dois subgrupos dos *pixels* vizinhos do vetor analisado (3 X 3 *pixels*). Para cada um destes subgrupos, é retirada a média dos valores de u e de v e no caso de haver *pixels* inutilizados no restante do subgrupo, não foram considerados.

De ambas as médias são estipuladas porcentagens e com estas, são criadas duas faixas de tolerância, uma para u e outra para v . O vetor analisado só será aceito se os seus respectivos valores, de u e de v , estiverem inclusos em ambas as faixas de tolerância.

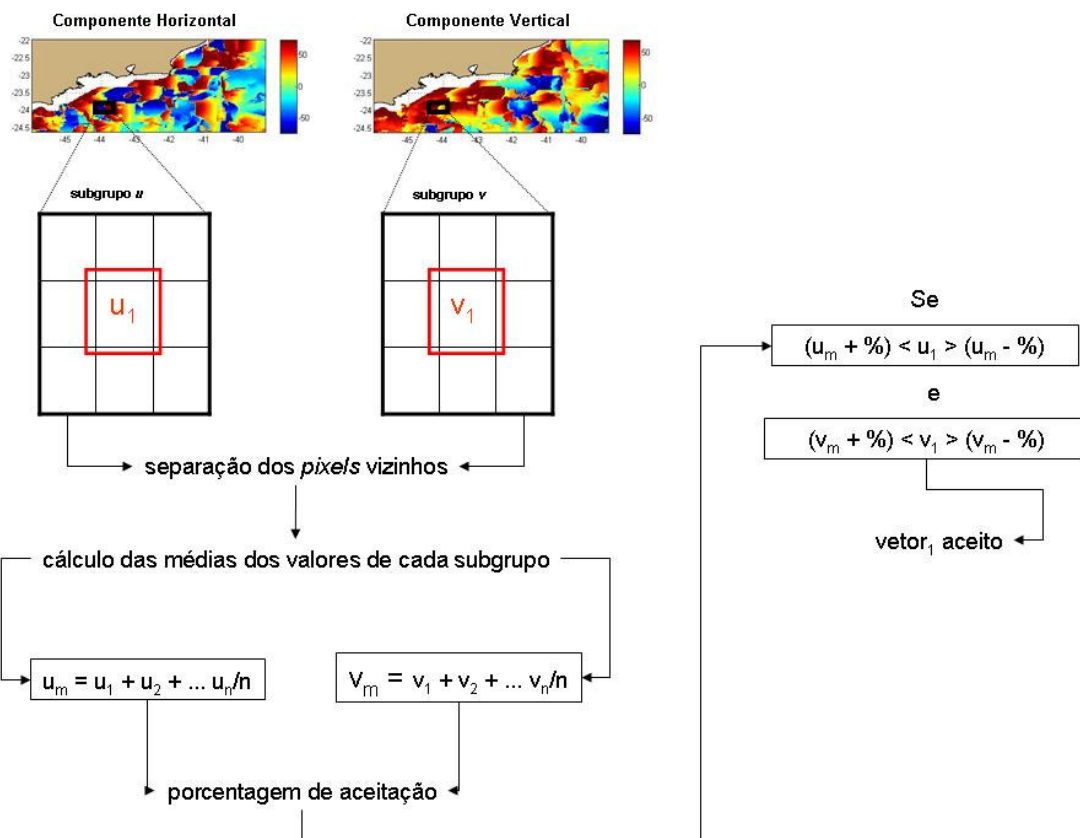


Figura 24: Fluxograma do filtro de média.

3.4. Experimentos

A rotina desenvolvida no trabalho, para a aplicação da metodologia da MCC, foi testada inicialmente sobre um recorte do campo de TSM do dia 25/04/2007 à 00:00 hora (no centro da Figura 25). A partir deste recorte foram geradas imagens artificiais, tendenciosas para determinado movimento, para certificação de que a estimativa do campo de correntes resultantes reproduziria tais tendências.

A metodologia foi aplicada em uma mesma imagem, duplicada, mas o campo de TSM determinado como sendo a segunda imagem, foi diferenciado do primeiro por estar com uma coluna e linha deslocadas para determinada direção (Figura 25). Nestas imagens artificiais, as linhas e colunas que ficaram sem dados, foram inutilizadas e nas imagens, aparecem como as bordas brancas (*pixel* sem informação).

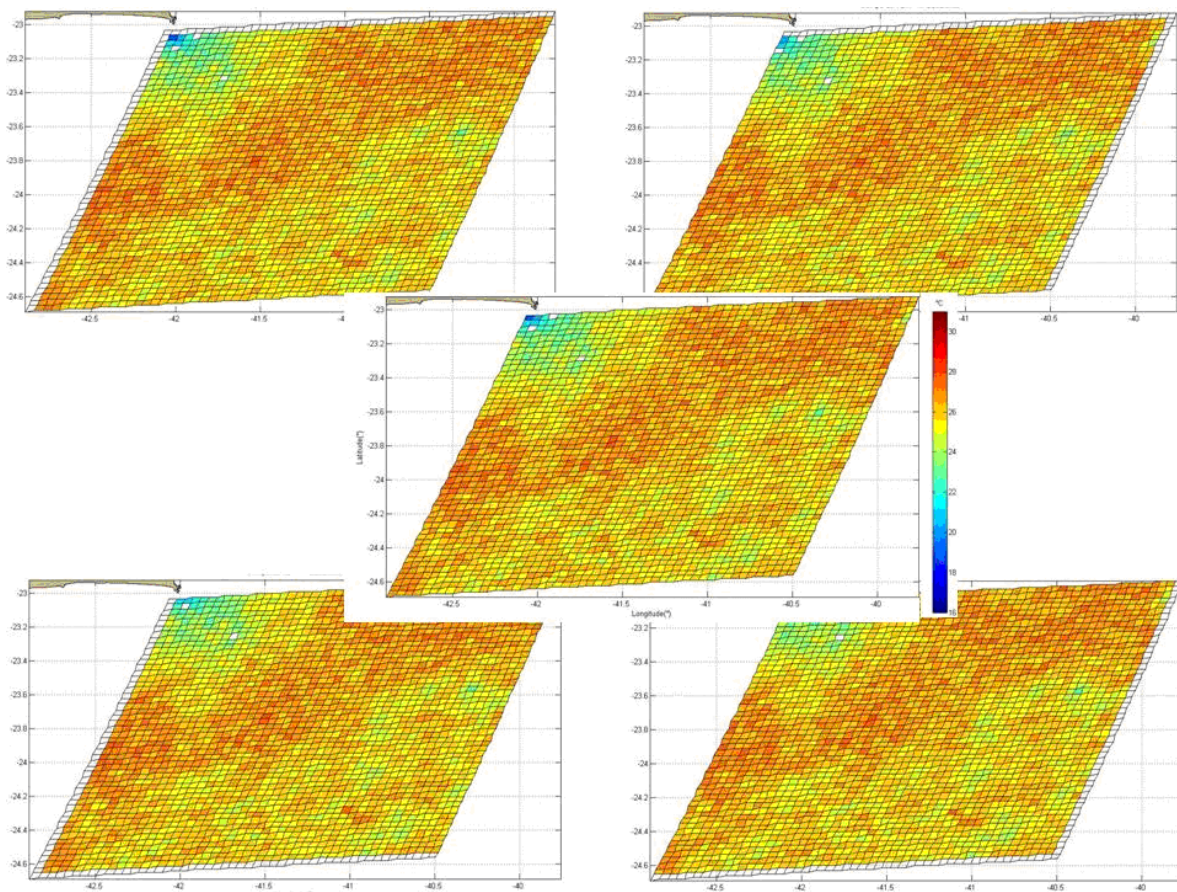


Figura 25: Campo de TSM (do dia 25/04/2007 00:00) utilizado como primeira imagem (no centro) e os demais campos de TSM, deslocados para cada quadrante, utilizados como segunda imagem.

Ao aplicar a rotina sobre estas imagens, os vetores reproduziram fielmente a direção para qual a segunda imagem havia sido movida; a seguir estão os campos de

vetores resultantes do teste (Figura 26). Todos os campos de vetores apresentaram, no topo esquerdo, uma ausência de vetores, conseqüente da falta de informação de um *pixel* no local.

Além disso, para a aplicação da metodologia da MCC, foi considerado um intervalo de tempo hipotético entre as imagens, de 24 horas, e os módulos de velocidade calculados tiveram os valores correspondentes à razão entre as resoluções dos *pixels* (Figura 27), por este intervalo de tempo (Figura 28).

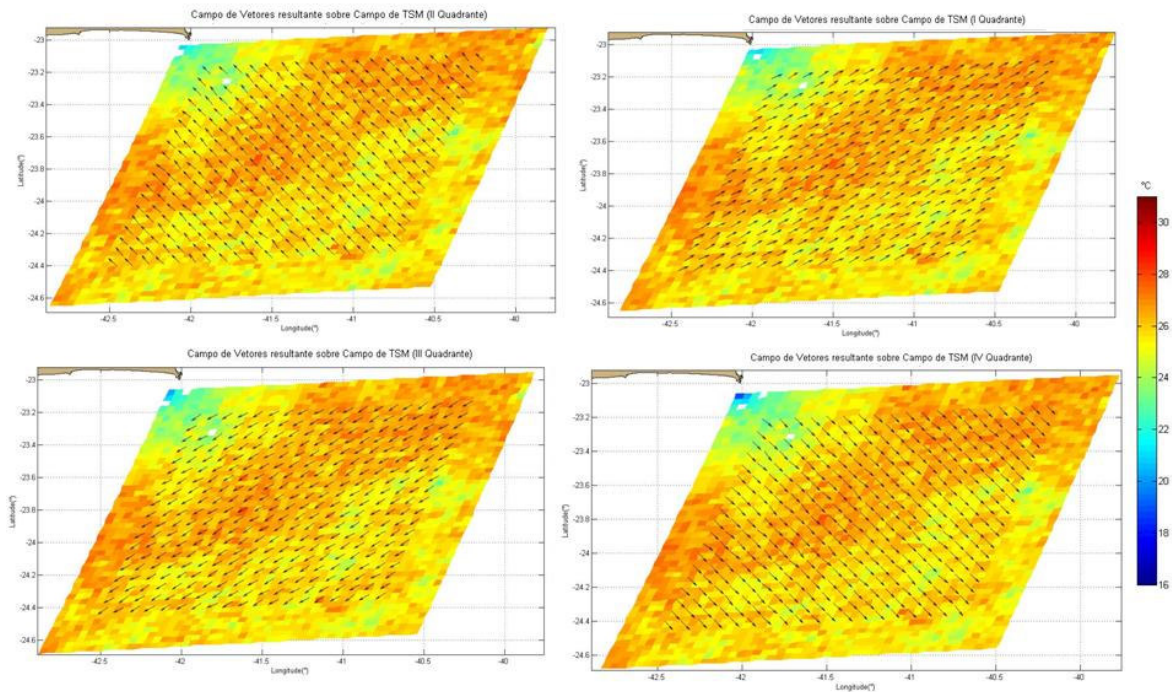


Figura 26: Campos vetoriais resultantes dos testes da metodologia, sobre a segunda imagem deslocada para o primeiro quadrante (nordeste)

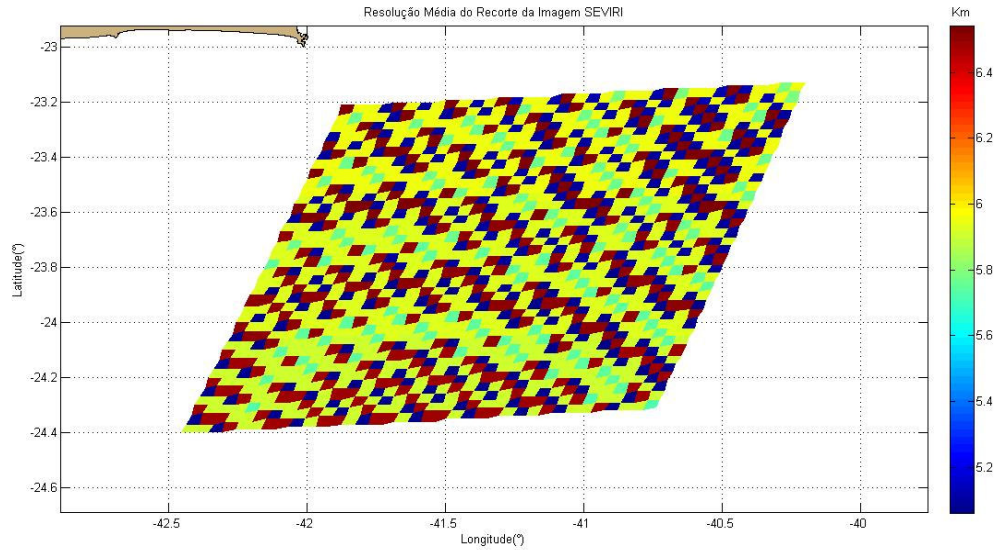


Figura 27: Resolução média (Km) do recorte do campo de TSM (25/04/2007 00:00), utilizado no teste da metodologia.

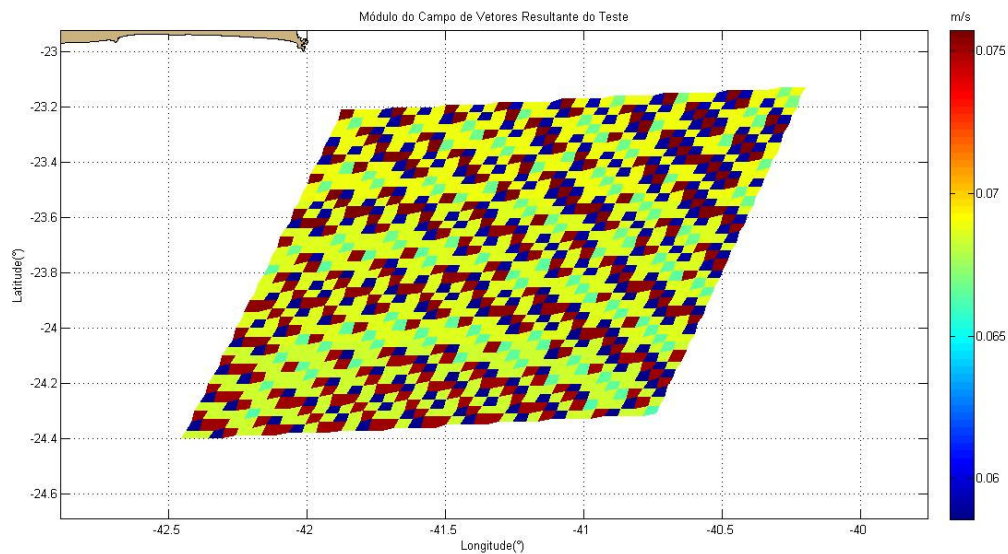


Figura 28: Módulo do Campo de Velocidade da corrente (m/s) resultante do teste da rotina.

Depois de testada, a técnica foi aplicada em diversos experimentos, para investigar as variantes possíveis na utilização da MCC; como os tamanhos das janelas, alvo e de procura, o intervalo de tempo entre as imagens e distintas fontes de campo termal.

Os campos de TSM, derivados das medições do SEVIRI, foram os primeiros a serem utilizados e, baseados nas informações das análises destes experimentos iniciais,

seguiram-se experimentos sobre os campos médios de TSM e sobre as imagens de temperatura de brilho (IR), do canal 9 (Seção 3.4.1). Além destes, a aplicação da metodologia da MCC também foi testada sobre os campos de TSM sintéticos (Seção 0.).

Ao analisar as correlações calculadas em cada experimento específico, optou-se pela informação quantitativa, com a geração de histogramas dos valores calculados dos coeficientes de MCC (GARCIA e ROBINSON, 1989), para os experimentos com as imagens do SEVIRI, na Figura 30 e para os experimentos com os campos de TSM sintéticos, Figura 37.

3.4.1. Experimentos – Imagens SEVIRI

O tamanho da janela de procura foi o primeiro parâmetro da metodologia determinado e está de acordo com o intervalo de tempo entre as imagens e a velocidade máxima de corrente esperada na área de estudo, que por sua vez, foi determinada como sendo de 1 m/s. Nos experimentos com as imagens SEVIRI foram utilizados quatro intervalos de tempo entre os campos termais; de 09, 12, 18 e 24 horas.

Para exemplificar a relação da velocidade de corrente no local com o intervalo de tempo entre as imagens, com um intervalo de 18 horas, a maior distância possível que uma feição termal poderia chegar, com tal velocidade de 1 m/s, seria de 64,8 km (por volta de 11 *pixels* nas imagens do SEVIRI, considerando um tamanho médio do *pixel* de 6 Km X 6 Km). Como a busca da janela alvo é centralizada na janela de procura, esta distância se estende os outros lados, caracterizando uma janela de procura de 22 X 22 *pixels*.

Os experimentos estão listados na Tabela 6, quanto ao tipo do campo de TSM, o intervalo de tempo entre as imagens, a distância máxima que uma feição pudesse percorrer (com esta velocidade de 1 m/s) e os tamanhos das janelas de procura e das janelas alvo utilizadas. Os tamanhos das janelas de procura e das janelas alvo estão em quilômetros, pois foram multiplicados pela resolução média de 6 Km.

Para cada intervalo de tempo foram testados diversos tamanhos de janelas de procura, compatíveis e maiores que estas distâncias máximas. Os tamanhos das janelas alvo ficaram limitadas a extensão da janela de procura, sendo assim, a técnica foi testada com janelas alvo de 4 X 4 *pixels*, 6 X 6 *pixels*, 8 X 8 *pixels*, 10 X 10 *pixels* e 12 X 12 *pixels*.

Nos experimentos com as imagens do SEVIRI foram utilizados tamanhos de janelas alvo que abrangeram áreas de aproximadamente 24 X 24 Km a 72 X 72 Km e que percorreram áreas de janelas de procura de 72 X 72 Km a 336 X 336 Km. Na Tabela 2, estão os intervalos de tempo entre as imagens, as resoluções das imagens, os tamanhos de janela alvo e janela de procura utilizados em alguns trabalhos da literatura.

Tabela 2: Tamanhos de janela alvo e janela de procura reunidos da literatura.

| Δt (horas) | Resolução (km) | Janela Alvo (km) | Janela de procura (km) | Referência |
|--|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 4 a 24 | 1,1 | 22 x 22 | 32 x 32 | EMERY <i>et al.</i> (1986) |
| 24 | 1,8 | 32 x 32 | 64 x 64 | WU <i>et al.</i> (1992) |
| 24 | 1,1 | 40 x 40 | | MULLEN (2000) |
| 18,5 | 1,1 | 77 x 77 | 165 x 165 | DOMINGUES <i>et al.</i> (2000) |
| | 1,8 | 57 x 57 | 115 x 115 | WU <i>et al.</i> (1992) |
| 12 | 1,8 | 37 x 37 | 74 x 74 | GAO e LYTHER (1996) |
| 5 | 1,1 | 20 x 20 | 80 x 80 | OLIVEIRA (2003) GHISOLFI (1991) |
| 5 | 1,1 | 41 x 41 | 71 x 71 | DOMINGUES <i>et al.</i> (2000) |
| 5 | 1,1 | 25 x 25 | 57 x 57 | |

O intervalo de tempo entre as imagens usadas é intrinsecamente correlacionado a velocidade limiar determinada pela técnica, já que a mínima velocidade perceptível pelo método depende da razão entre a resolução do *pixel* (Figura 5) e o intervalo de tempo entre as imagens (WU et al., 1992). Na Figura 29 as velocidades mínimas perceptíveis pelo método da MCC, para os intervalos de tempo testados nos experimentos estão dispostas na área de estudo e estão representados pelas barras de cores.

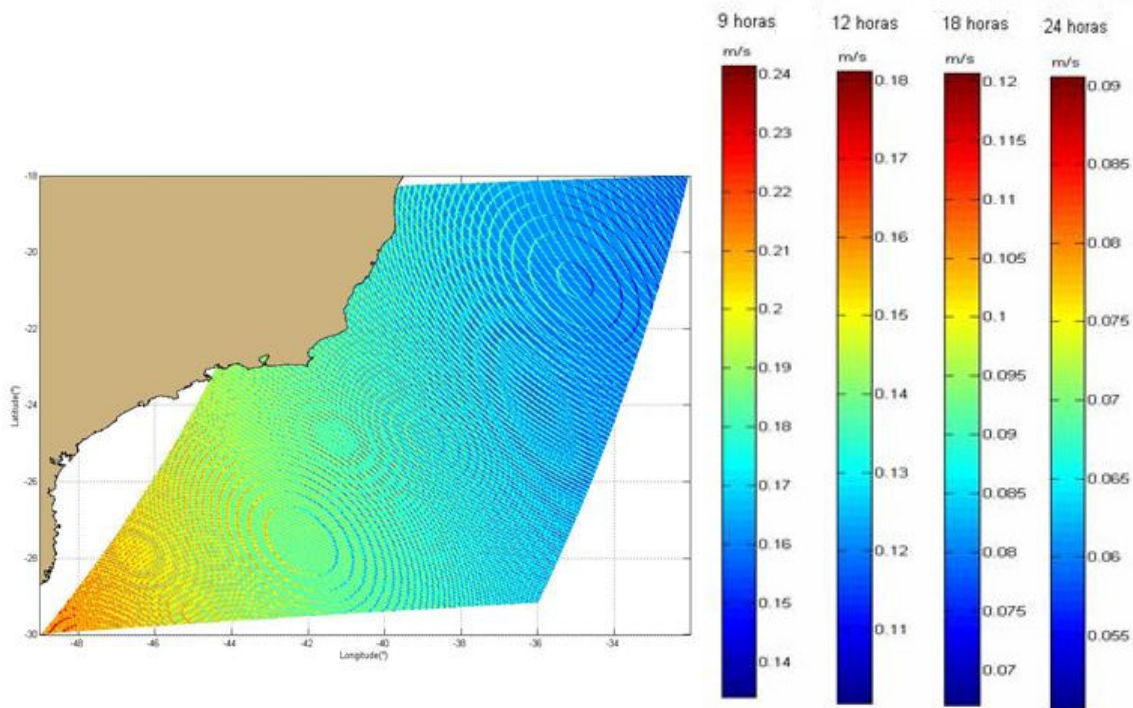


Figura 29: Velocidades limiars (m/s) determinadas pelo método da MCC na região de estudo, em função dos intervalos de tempo entre as imagens.

A influência na metodologia, dos diferentes intervalos de tempo entre as imagens, foi analisada através da comparação dos histogramas dos coeficientes de MCC gerados para os experimentos com campos de TSM intercalados de 09 horas (Figura 30), 12 horas (Figura 31), 18 horas (Figura 32) e 24 horas (Figura 33). Na Figura 34 estão os histogramas dos experimentos sobre campos de TSM (*TSM*), campos médios de TSM (*TSMm*) e temperatura de brilho (*IR*), intercalados de 24 horas.

Os tamanhos das janelas de procura utilizados nos experimentos estão destacados nos histogramas pelas cores e os tamanhos das janelas alvo, pela forma geométrica que acompanha a curva. As legendas especificam as curvas dos experimentos listados na Tabela 6 e indicam o tamanho da janela alvo (*alvo*) e metade do tamanho da janela de procura (*proc*), em *pixels*. Por exemplo, a indicação de *proc=06* se refere aos experimentos que utilizaram a janela de procura de 12 x 12 *pixels* e a indicação de *alvo=04*, uma janela alvo de 4 x 4 *pixels*.

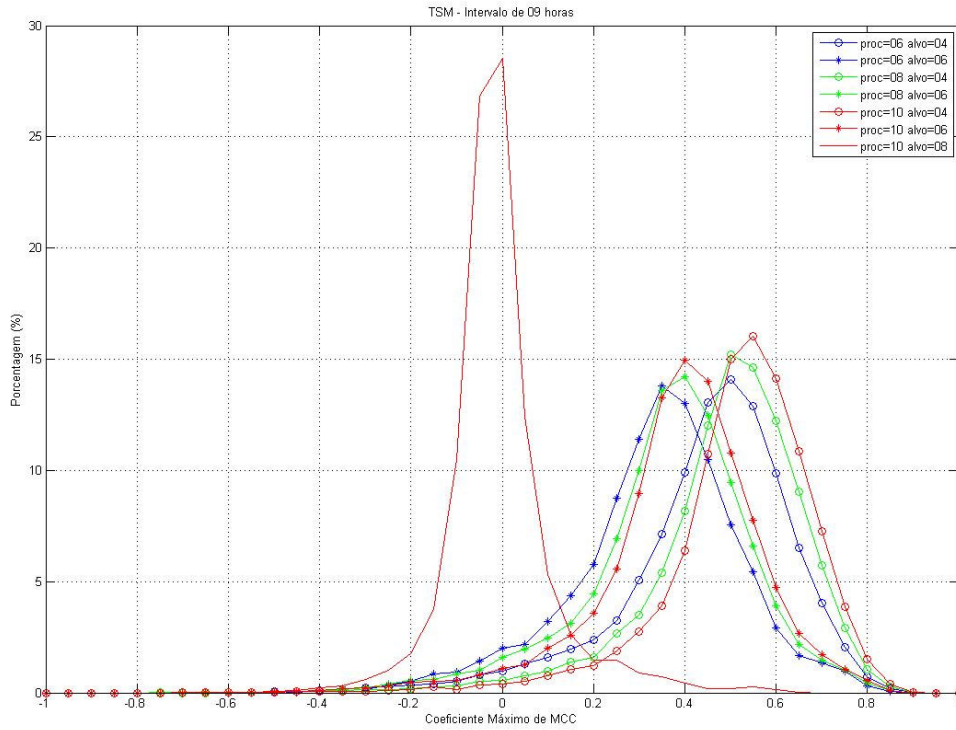


Figura 30: Histogramas dos coeficientes da MCC resultantes dos experimentos sobre campos de TSM, intercalados de 09 horas.

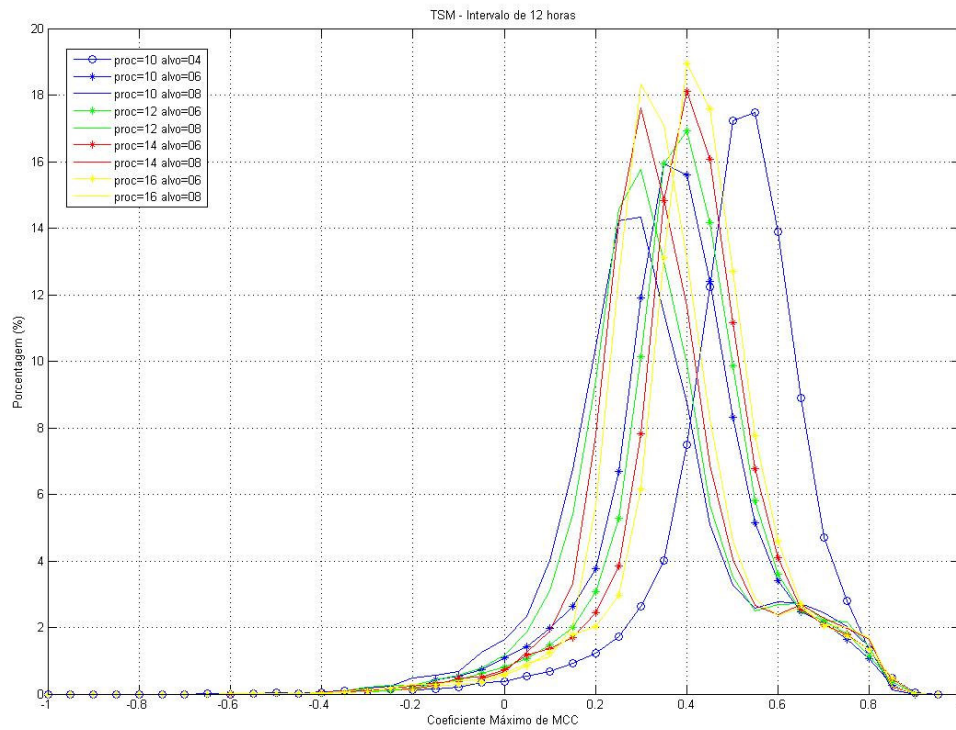


Figura 31: Histogramas dos coeficientes da MCC resultantes dos experimentos sobre campos de TSM, intercalados de 12 horas.

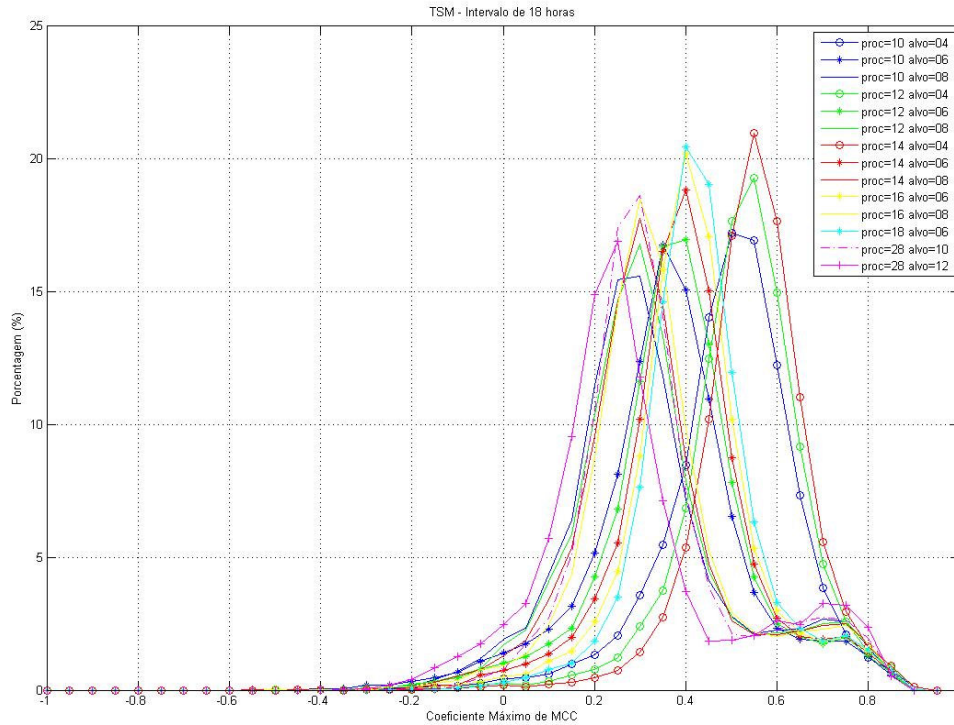


Figura 32: Histogramas dos coeficientes da MCC resultantes dos experimentos sobre campos de TSM, intercalados de 18 horas.

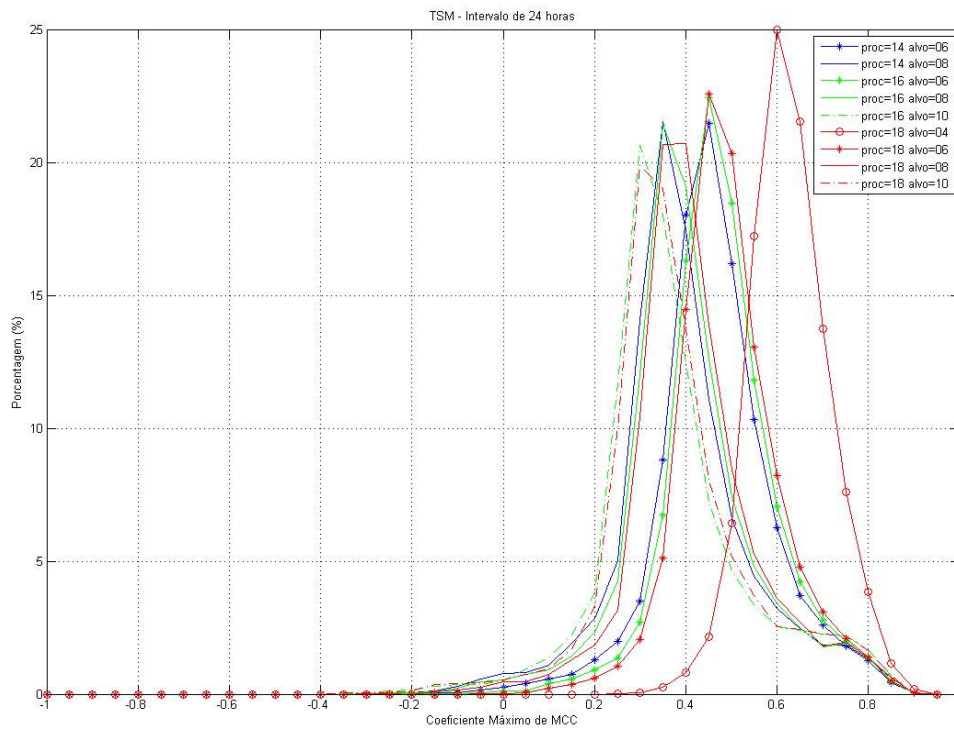


Figura 33: Histogramas dos coeficientes da MCC resultantes dos experimentos sobre campos de TSM, intercalados de 24 horas.

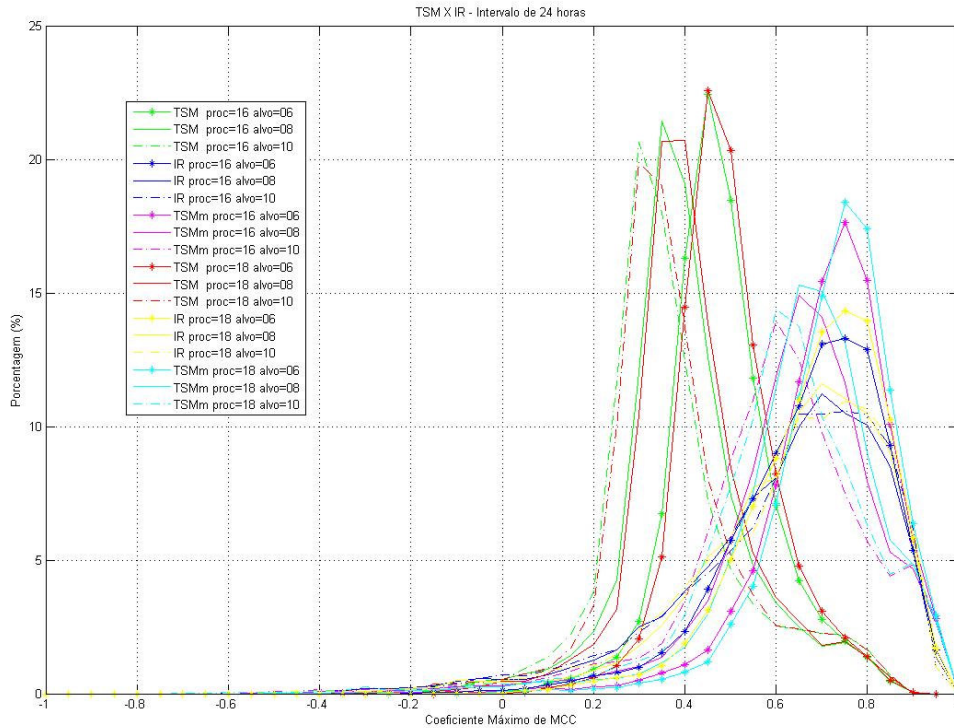


Figura 34: Histogramas dos coeficientes da MCC resultantes dos experimentos sobre campos de TSM (*TSM*), campos médios de TSM (*TSMm*) e temperatura de brilho (*IR*), intercalados de 24 horas.

Nestes histogramas, em toda a área das imagens SEVIRI, aonde foi aplicado o método da MCC, somente menos de 25% correspondem a coeficientes de MCC entre 0,1 e 1.

O aumento das janelas de procura leva a um aumento da quantidade de coeficientes calculados, já que aumenta a área de correlação, devido a isso, é perceptível um pequeno aumento nas porcentagens das curvas dos experimentos com as janelas de procura maiores. Dentre as janelas alvo, ficam claras as tendências das curvas para cada uma das dimensões escolhidas, pela disposição dos picos das curvas, separadas pelo tamanho da janela alvo utilizada.

Há um aumento na porcentagem dos coeficientes de MCC mais altos, proporcional a diminuição do tamanho das janelas alvo. As curvas com maiores coeficientes foram as de 4 X 4 *pixels*, só que uma análise visual nos campos de velocidades, decorrentes dos experimentos com tais janelas, demonstra um campo de vetores altamente aleatório, sendo assim, esta dimensão de janela alvo foi definida como muito pequena. ZODIATIS *et al.*, em 1996, afirmou que o limite para janelas muito pequenas é percebido quando são gerados deslocamentos errôneos, claramente devido ao efeito de variações aleatórias, nos níveis dos *pixels*, ou seja, a janela alvo é tão pequena que não é capaz de encerrar

feições inteiras e as correlações calculadas comparam somente os sinais isolados de temperatura entre os *pixels*, sem estarem correlacionados à uma feição.

As janelas alvo de 6 X 6 *pixels* e 8 X 8 *pixels* apresentaram campos de vetores visualmente parecidos. Nos intervalos de tempo maiores, de 18 horas e 24 horas, foram testadas as janelas alvo de 10 X 10 *pixels* e 12 X 12 *pixels*. As janelas alvo de 10 X 10 *pixels* apresentaram curvas de comportamento parecido com a curva da janela alvo 8 X 8 *pixels*, principalmente nos experimentos com intervalos de 18 horas entre as imagens. As janelas de 12 X 12 *pixels* apresentaram as curvas com os menores coeficientes. Igual situação observa-se no gráfico com os experimentos que utilizam imagens espaçadas de 09 horas, onde a curva da única janela alvo de 8 X 8 *pixels* destacou-se pelos baixos coeficientes de MCC em relação as demais curvas.

O campo de vetores gerados nos experimentos com janelas alvo de 10 X 10 *pixels* e 12 X 12 *pixels* apresentaram blocos homogêneos de vetores. O aumento no tamanho das janelas alvo também aumenta a possibilidade de rastreamento das feições pela técnica, mas este aumento deve ser cauteloso, pois pode descaracterizar a delimitação das feições e ocasionar em correlações errôneas, pela perda no detalhamento do campo de velocidade (ZODIATIS *et al.*, 1996). Desse modo, de acordo com KELLY e STRUB (1992), o nível de confiança nos resultados reduz e ocasiona uma descaracterização de algumas estruturas do campo de velocidade resultante, apesar destes apresentam altas porcentagens de significância nos Testes de Emery (Seção 3.3.1).

Nas curvas dos experimentos em que foram utilizados intervalos menores, de 09 e 12 horas, foi encontrada uma menor densidade de coeficientes, se comparados com os intervalos de 18 e 24 horas, provavelmente relacionada a maior contaminação destas imagens (Tabela 1) e as maiores velocidades limiar que estes intervalos de tempo mais curto são capazes de reproduzir (Figura 29).

Com intervalos de 9 e 12 horas, a técnica possui acurácia mínima, respectivamente de 0,24 e 0,18 m/s e nos intervalos de 18 e 24 horas, respectivamente de 0,12 e 0,09 m/s. Sendo que nos campos de intensidade de correntes resultantes da modelagem hidrodinâmica (Figura 35 e Figura 36), as velocidades chegam ao máximo de 0,4 m/s e na grande porcentagem da extensão da área de estudo, ficam na faixa de valores de 0,1 a 0,2 m/s, a aplicação da técnica da MCC, sobre as imagens do SEVIRI, utilizando imagens espaçadas de 9 e 12 horas fica comprometida.

Entretanto, é preciso ser cauteloso quanto ao intervalo de tempo máximo entre as imagens a serem utilizadas na aplicação da técnica da MCC, pois quanto maior o

intervalo, mais a técnica é afetada pela inabilidade de captar a difusão, a rotação e a deformação (WAHL e SIMPSON,1990). MULLEN, em 2000, afirmou que é aceitável a aplicação da metodologia da MCC com imagens espaçadas de 4 a 24 horas, pois acima disto, a influência destas forçantes aumentaria.

As curvas dos experimentos realizados com as médias dos campos de TSM apresentaram coeficientes maiores, em uma faixa de 0,6 a 0,75, que as dos experimentos com os campos de TSM, em uma faixa por volta de 0,3 a 0,5. Provavelmente a média dos campos de TSM serviu como um filtro das feições menores dos campos termais (KAMACHI, 1989), melhorando a correlação das feições que restaram. As curvas dos experimentos com as imagens de temperatura de brilho também estão em uma faixa de valores maiores que dos experimentos com os campos de TSM.

Já BOWEN *et al.* (2002) *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2005., em seu trabalho criticaram a utilização de campos de TSM na aplicação da técnica da MCC, exatamente pelo contrário, pois acreditaM que estes campos vêm acrescidos de ruídos dos dois canais, citando ainda que há a possibilidade de estes ruídos se correlacionarem, o que aumentaria o erro. Os trabalhos de OLIVEIRA *et al.*, 2005., DOMINGUES *et al.* (2000), EMERY(1991) e ZODIATIS *et al.* (1996) preferiram a aplicação da técnica da MCC diretamente sobre imagens de temperatura de brilho, enquanto que GAO e LYTHER (1995), OLIVEIRA, 2003 e GUIOLFI, 1991 em campos de TSM.

EMERY *et al.* (1986) utilizaram os gradientes de TSM e disseram que a aplicação da técnica sobre as imagens de temperatura de brilho e sobre os campos de TSM causara uma incoerência de vetores de baixos coeficientes. Enquanto que, WU *et al.* (1992), KELLY e STRUB (1992) e GARCIA e ROBINSON (1989) acharam as imagens do gradiente de temperatura com muito ruído.

O resultado da metodologia do MCC é sensível ao rastreamento das feições térmicas pelo campo termal, mas não a possíveis erros acumulados na geração dos campos de TSM, pois os erros estariam em ambas imagens utilizadas e portanto, não influenciariam diretamente na técnica (WU *et al.* 1992).

3.4.2. Experimentos – Campos de TSM Sintéticos

Nos experimentos realizados com as imagens SEVIRI, os tamanhos de janela foram pensados levando-se em consideração uma velocidade máxima de 1m/s na área de estudo. Já com os experimentos seguintes, sobre os campos de TSM sintéticos, inicialmente foram gerados gráficos de contorno das intensidades de velocidade resultantes das simulações numéricas, para então determinar a intensidade de corrente plausível na área de estudo. Seguem os campos de intensidade resultantes dos intervalos de 5 e 19 horas depois do começo da simulação, respectivamente na Figura 35 e Figura 36.

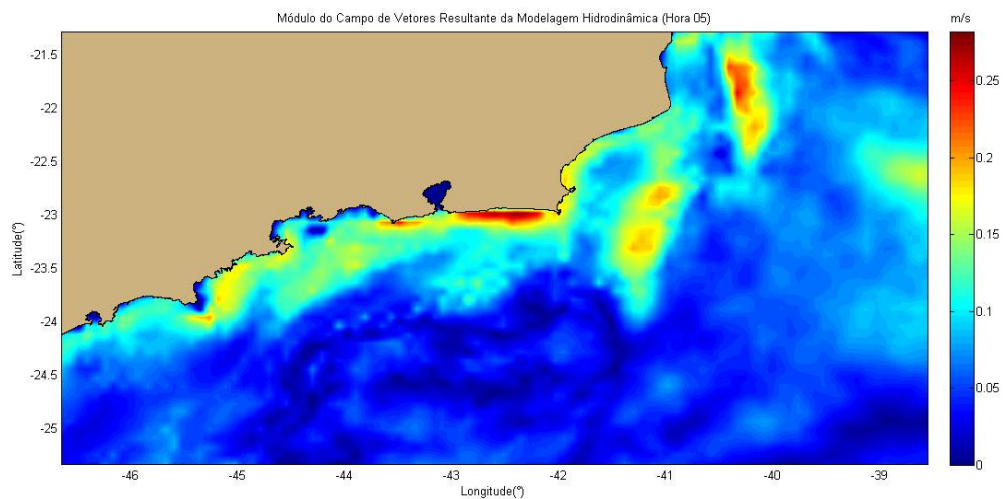


Figura 35: Gráficos de contorno dos módulos de velocidade (m/s) resultante da modelagem numérica, na quinta hora simulada.

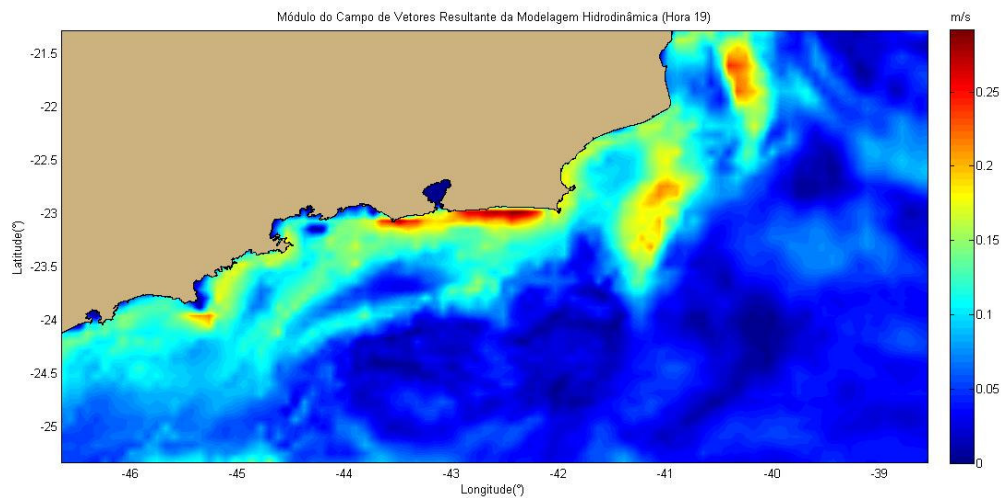


Figura 36: Gráficos de contorno dos módulos de velocidade (m/s) resultante da modelagem numérica, na décima nona hora simulada.

A velocidade máxima encontrada, em ambos, foi de 0,4 m/s, com a qual uma partícula chegaria a uma distância máxima de aproximadamente 7 Km, para o intervalo de 5 horas e 27 Km para o intervalo de 19 horas. Nos experimentos com os campos de TSM sintéticos de 1 Km foram utilizados tamanhos de janelas alvo que abrangeram áreas de 4 X 4 Km a 20 X 20 Km e que percorreram áreas de janelas de procura de 20 X 20 Km a 160 X 160 Km. Nos experimentos com os campos de TSM sintéticos de 3 Km foram utilizados tamanhos de janelas alvo que abrangeram áreas de 12 X 12 Km a 60 X 60 Km e que percorreram áreas de janelas de procura de 108 X 108 Km a 336 X 336 Km.

Nos campos de TSM modelados, com resoluções de grade de 1 Km e 3 Km, foram realizados experimentos diferenciados pelos tamanhos das janela de procura e das janela alvo (Tabela 7) e gerados histogramas dos valores dos coeficientes de MCC calculados nestes experimentos, na Figura 37 e Figura 38, respectivamente, em imagens intercaladas de 5 e 19 horas. Nos gráficos, os tamanhos das janelas de procura utilizados nos experimentos são separados pelas cores e os tamanhos das janelas alvo, pela forma geométrica que acompanha a curva. As legendas especificam as curvas dos experimentos, pelo tamanho da janela alvo (*alvo*) e metade do tamanho da janela de procura (*proc*), em *pixels*.

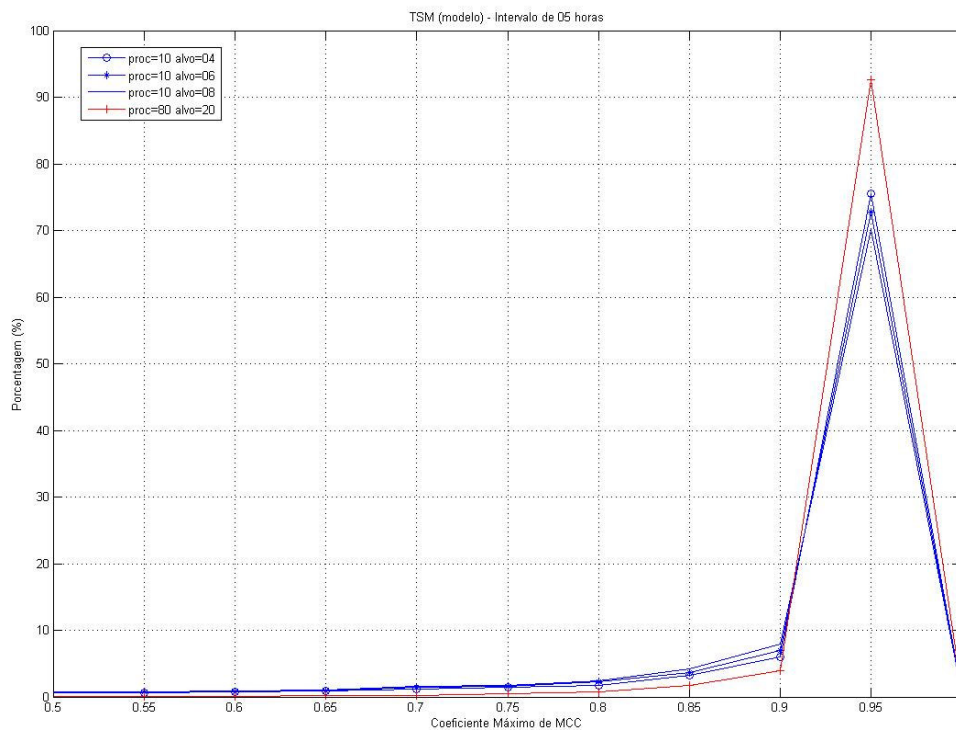


Figura 37: Histogramas dos coeficientes da MCC resultantes dos experimentos com os campos de TSM sintéticos, com resolução de 1 Km e intercalados de 05 horas.

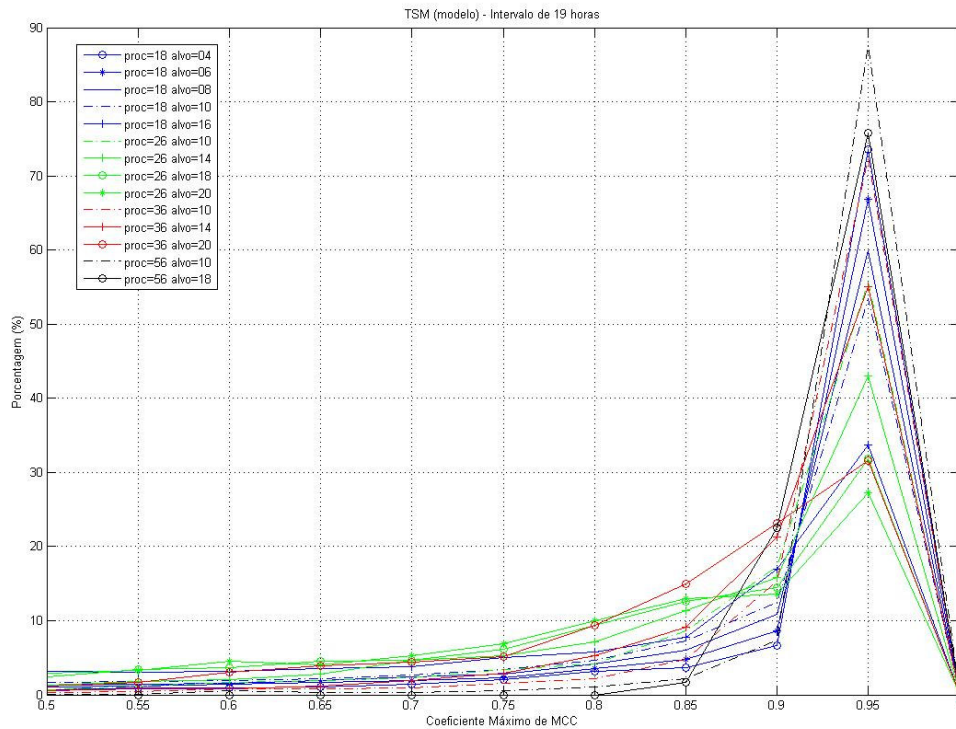


Figura 38: Histogramas dos coeficientes da MCC resultantes dos experimentos com os campos de TSM sintéticos, com resolução de 3 Km e intercalados de 19 horas.

Nos histogramas de coeficientes da MCC gerados para os experimentos com os campos de TSM sintéticos houve altas porcentagens, nos experimentos com os dois intervalos de tempo as curvas tiveram comportamento muito parecido, havendo pico de incidência igual a 0,95.

3.4.3. Significância dos Campos de Vetores

De acordo com o Teste de Emery (Seção 3.3.1), foram calculados os números de grau de liberdade (Figura 39) e as significâncias (Figura 40) dos campos de vetores estimados com as combinações dos tamanhos de janela alvo e os campos de temperatura derivados das imagens SEVIRI utilizados nos experimentos.

Na Figura 39, o eixo das ordenadas indica os números do grau de liberdade (GL), enquanto que o eixo das abscissas indica os tamanhos de janela alvo utilizados nos experimentos (por exemplo; uma janela alvo de 10 X 10 *pixels* está indicada como 10). As cores indicam o tipo de campo termal utilizado, a cor preta se refere aos experimentos

sobre campos de TSM (*TSM*), a azul sobre campos médios de TSM (*TSMm*), a verde sobre as imagens de temperatura de brilho do canal 9 (*IR9*), a vermelha sobre os campos de TSM sintéticos com 3 Km de resolução (*MOD3Km*) e a rosa sobre os campos de TSM sintéticos com 1 Km (*MOD1Km*).

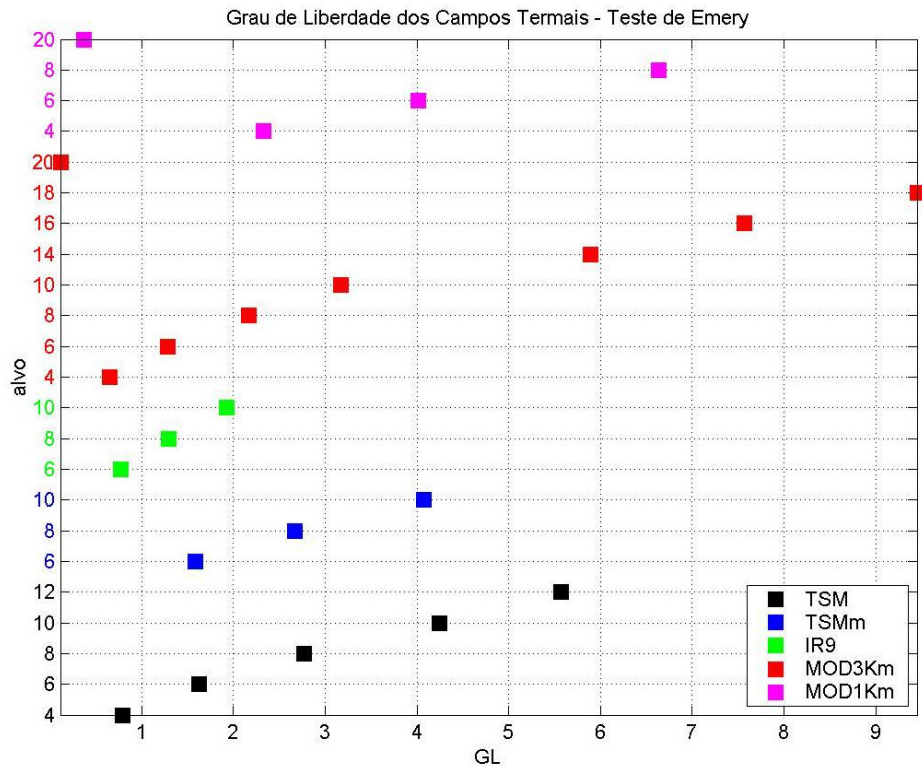


Figura 39: Números de grau de liberdade (GL) para os diversos tamanhos de janela alvo (alvo) e campos termais utilizados nos experimentos.

Na Equação 8, o número de graus de liberdade aumenta com o tamanho das janelas alvo, tendência observada na Figura 39. Quanto maior o número do grau de liberdade, maior é a possibilidade da janela alvo, no decorrer da metodologia, encerrar um número maior de feições termais.

Não houve diferença no grau de liberdade calculado para os campos de TSM, os campos médios e os campos sintéticos de 3 Km de resolução estão na mesma faixa de valores para os respectivos tamanhos de janela alvo. O grau de liberdade aumentou nos campos de TSM sintéticos de 1 Km de resolução.

O número do grau de liberdade também aumenta quanto menores as distâncias L_x e L_y (Equação 8), que representam a distância do pico de coeficiente de MCC (igual

a 1) dos coeficientes de MCC por aproximadamente 0, ou seja, a distância para qual a correlação cruzada, com a feição central, deixa de ser significativa.

As correlações resultantes dos Testes de Emery, nos campos termais modelados com a resolução mais refinada (1 Km), não obtiveram valores zerados, os coeficientes destas correlações chegaram a valores de no mínimos 0,6. Nestes casos, as distâncias L_x e L_y foram calculadas até a localização destes valores mínimos de coeficientes de MCC.

As significâncias (%) dos campos de vetores estimados nos experimentos deste trabalho, em função de possíveis coeficientes de corte (0,5, 0,6, 0,7 e 0,8), foram determinadas para cada par de tamanho de janela alvo e campo termal utilizados.

Os valores de significância, calculados para os campos termais provindos das medições por sensoriamento remoto, estão representados na Figura 40. Os experimentos são diferenciados pelas cores das curvas, um para cada tamanho de janela alvo utilizado (4 x 4, 6 x 6, 8 x 8, 10 x 10 e 12 x 12 *pixels*), a curva lisa representa os experimentos sobre os campos de TSM (*TSM*), a curva com asteriscos sobre os campos médios de TSM (*TSMm*) e a curva com circunferências sobre as imagens de temperatura de brilho (*IR*).

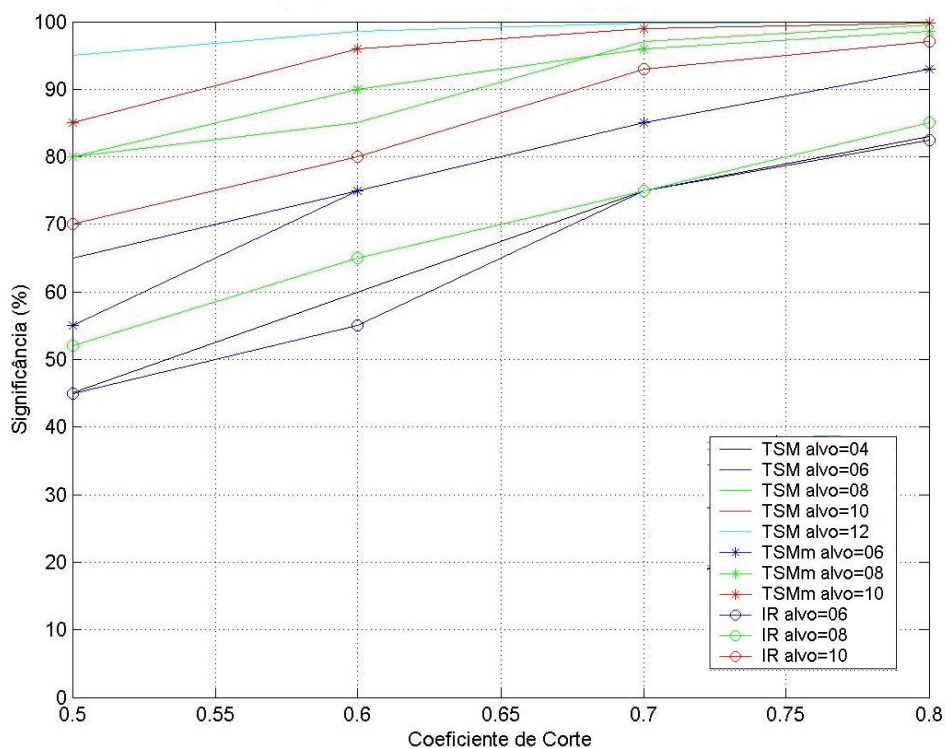


Figura 40: Significâncias (%) dos campos de vetores estimados sobre os campos termais providos do sensoriamento remoto. A legenda de cores indica os diversos pares de tamanho de janela alvo (*alvo*) e campo termal, utilizados nos experimentos deste trabalho.

Na Figura 40 não houve diferenças significativas entre as curvas de significâncias dos testes com os campos de TSM e com os campos médios de TSM. As curvas de significância dos testes com a imagem de temperatura de brilho demonstraram menores valores de significância em relação aos demais campos termais.

Os valores de significância, calculados para os campos de TSM sintéticos, estão representados na Figura 41. Os experimentos são diferenciados pelas cores das curvas, um para cada tamanho de janela alvo utilizado (4 x 4, 6 x 6, 8 x 8, 10 x 10 e 14 x 14, 16 x 16, 18 x 18, 20 x 20 *pixels*), a curva com sinal de '+' representa os experimentos sobre os campos com resolução de 3 Km, a curva tracejada sobre os campos com resolução de 1 Km.

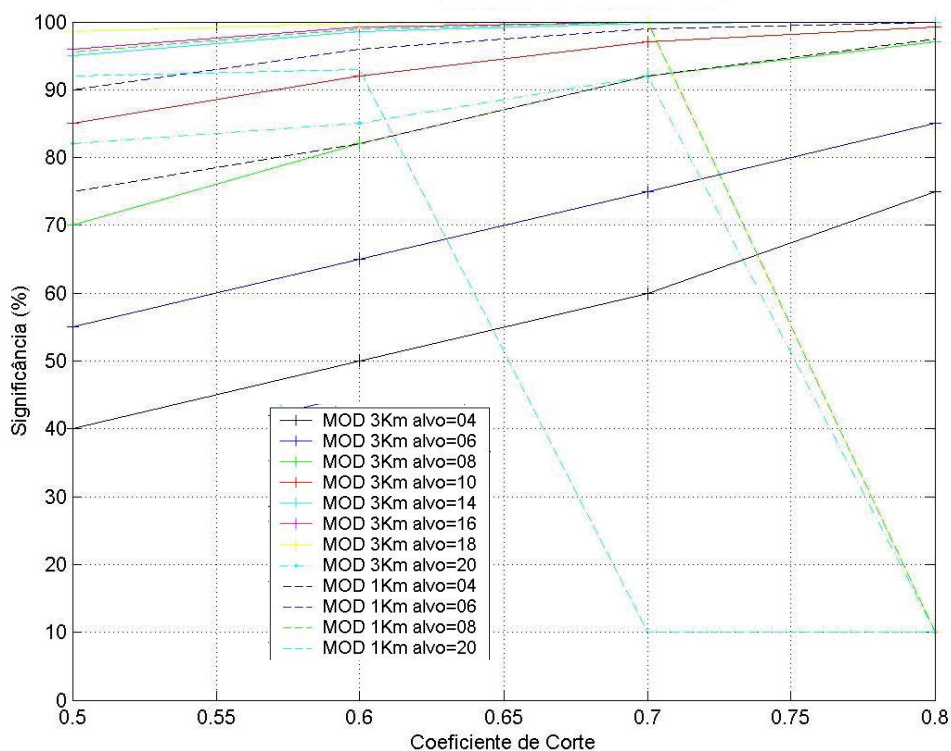


Figura 41: Significâncias (%) dos campos de vetores estimados sobre os campos de TSM sintéticos. A legenda de cores indica os diversos pares de tamanho de janela alvo (*alvo*) e campo termal, utilizados nos experimentos deste trabalho.

Na Figura 40 observa-se o aumento da significância com o aumento do coeficiente de corte da MCC e do tamanho da janela alvo utilizados nos testes, a porcentagem mínima foi de 40%, assim como na Figura 41. A não ser nos experimentos que testaram tamanhos maiores de janela alvo ($8 \times 8 \text{ pixels}$ e $20 \times 20 \text{ pixels}$ nos campos com resolução 3 Km e $18 \times 18 \text{ pixels}$ e $20 \times 20 \text{ pixels}$ nos campos com resolução 1 Km), que apresentaram uma queda bruta na significância dos campos de corrente, quando com os coeficientes de corte mais altos.

A resolução do campo de TSM determina um filtro das feições térmicas, pois limita a representação em escalas menores, os campos de TSM sintéticos foram inicialmente gerados com 9 Km de resolução posteriormente interpolados para 1 Km e 3 Km e os campos de TSM derivados de imagens possuem uma resolução média do *pixel*, na região de estudo, de 6 Km (Figura 5). Entretanto, houve aumento somente no grau de liberdade calculado para os campos de TSM sintéticos de 1 Km de resolução, em relação aos demais (Figura 39).

As curvas de significância dos campos termais de 3 Km de resolução, em comparação com as curvas dos campos de TSM e campos médios de TSM, (com

resolução média do *pixel*, na área de estudo, de 6 Km), apresentaram porcentagens parecidas (Figura 40 e Figura 41). Isto indica, pelos Testes de Significância de Emery, que não houve diferença na capacidade de rastrear feições entre estes campos termais.

4. Campos de Velocidade Estimados

4.1. Experimentos com Imagens de Sensoriamento Remoto

A seleção dos campos de vetores resultados dos experimentos (Seção 3.4.1 e Tabela 6) considerou as curvas dos histogramas dos campos de TSM derivados do sensoriamento remoto (Figura 30 a Figura 34).

Quanto aos intervalos de tempo, foram escolhidos os experimentos que utilizaram as imagens espaçadas em 24 horas (Figura 33), pois as curvas destes histogramas apresentaram as maiores porcentagens e em coeficientes de MCC mais altos que os histogramas dos experimentos com os demais intervalos de tempo entre as imagens (Figura 30 a Figura 32), além da menor velocidade limiar de 0,09 m/s.

Dentre as curvas dos experimentos de 24 horas, as curvas dos experimentos com a janela alvo de 6 X 6 *pixels* tiveram os maiores coeficientes, assim como os campos de vetores resultantes com menores ruídos. Nos experimentos com as janelas alvo de 6 X 6 *pixels*, a combinação com a janela de procura de 36 X 36 *pixels* obteve as maiores porcentagens de coeficientes de MCC.

Logo, foi selecionado o campo de vetor resultante do experimento com janela alvo de 6 X 6 *pixels* e janela de procura de 36 X 36 *pixels*, respectivamente 36 X 36 Km e 216 X 216 Km (indicadas na legenda da Figura 33 como *alvo6* e *proc18*), sobre o campo de TSM derivado das imagens SEVIRI (Figura 42 a Figura 44).

Também foram ilustrados os campos de vetores resultantes dos experimentos sobre os campos médios de TSM (*TSMm*), Figura 45 a Figura 47, e sobre as imagens de temperatura de brilho (IR9), Figura 48 a Figura 50, e para comparação, foram igualmente selecionados os experimentos que utilizaram intervalo de tempo de 24 horas, janelas alvo de 6 X 6 *pixels* e janelas de procura de 36 X 36 *pixels*.

Nestes campos de corrente estimados com a utilização dos campos de TSM (SEVIRI), não existe coerência com as feições termais das imagens e nem consistência espacial entre os vetores estimados.

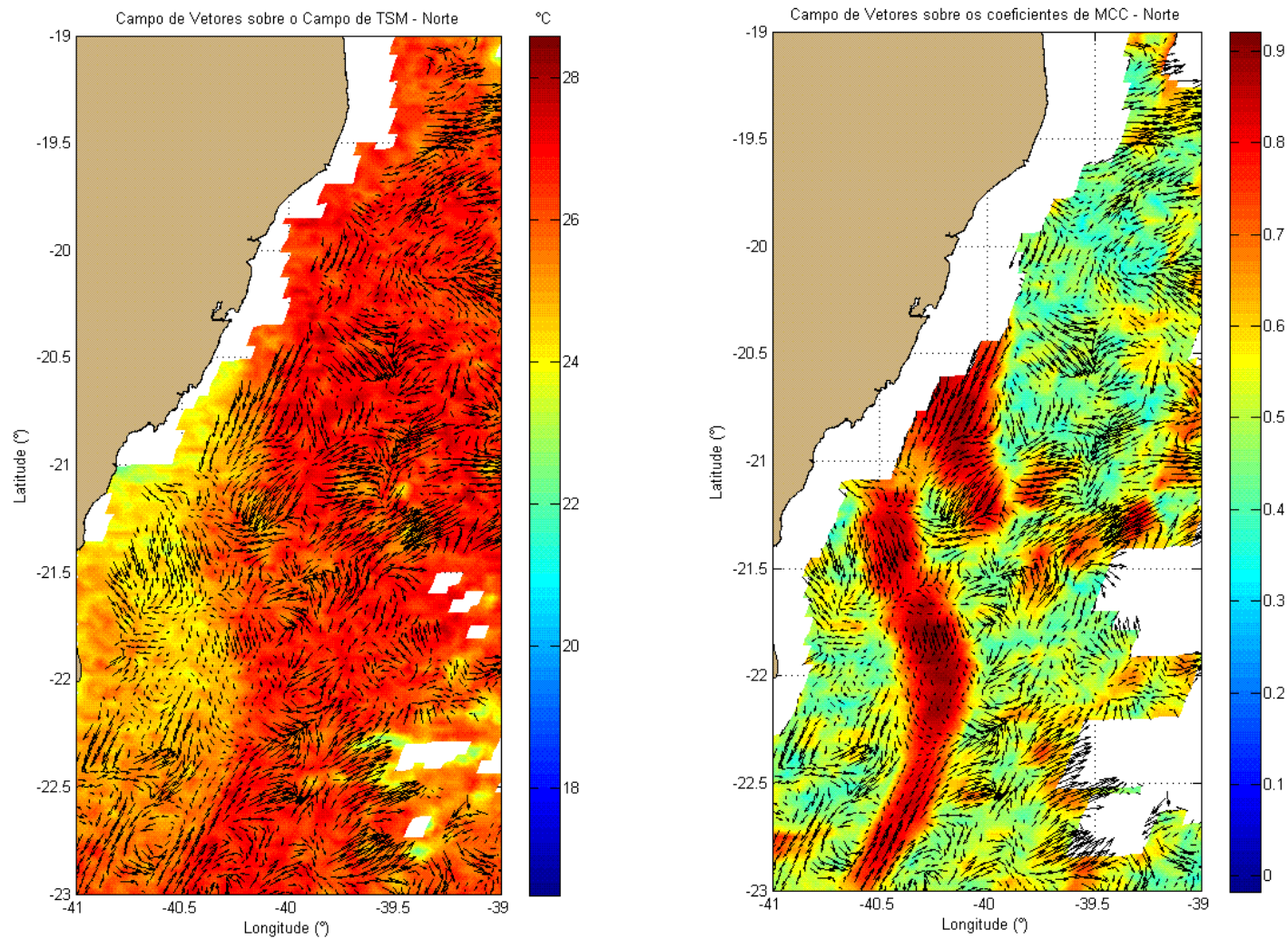


Figura 42: Campo de vetores a norte da região de estudo, o gráfico da esquerda está sobreposto ao campo de TSM (°C) e o da direita, ao gráfico de contorno dos coeficientes de MCC.

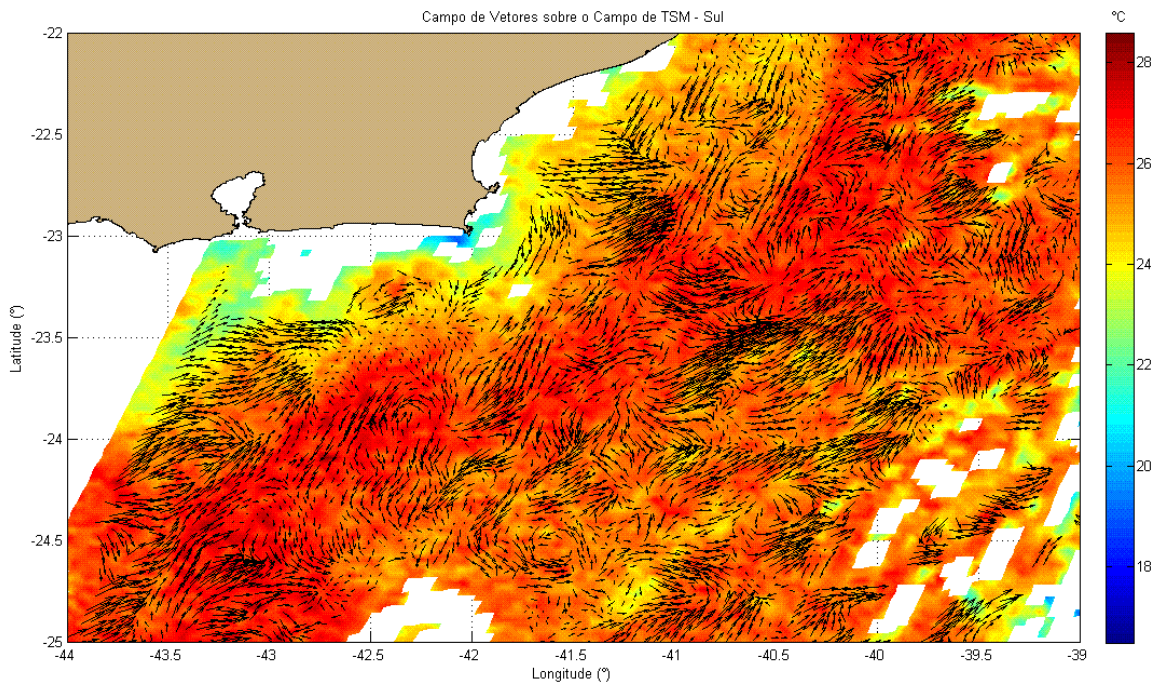


Figura 43: Campo de vetores a sul da região de estudo, está sobreposto ao campo de TSM (°C).

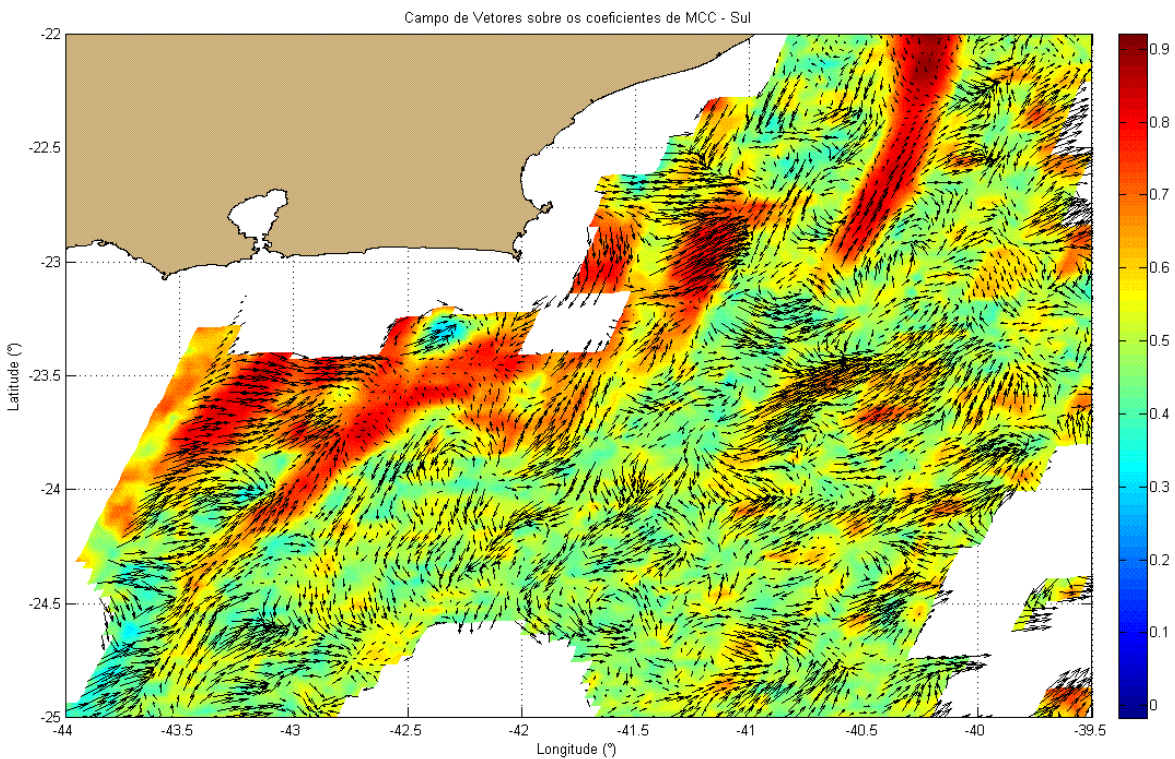


Figura 44: Campo de vetores a sul da região de estudo, está sobreposto ao gráfico de contorno dos coeficientes de MCC.

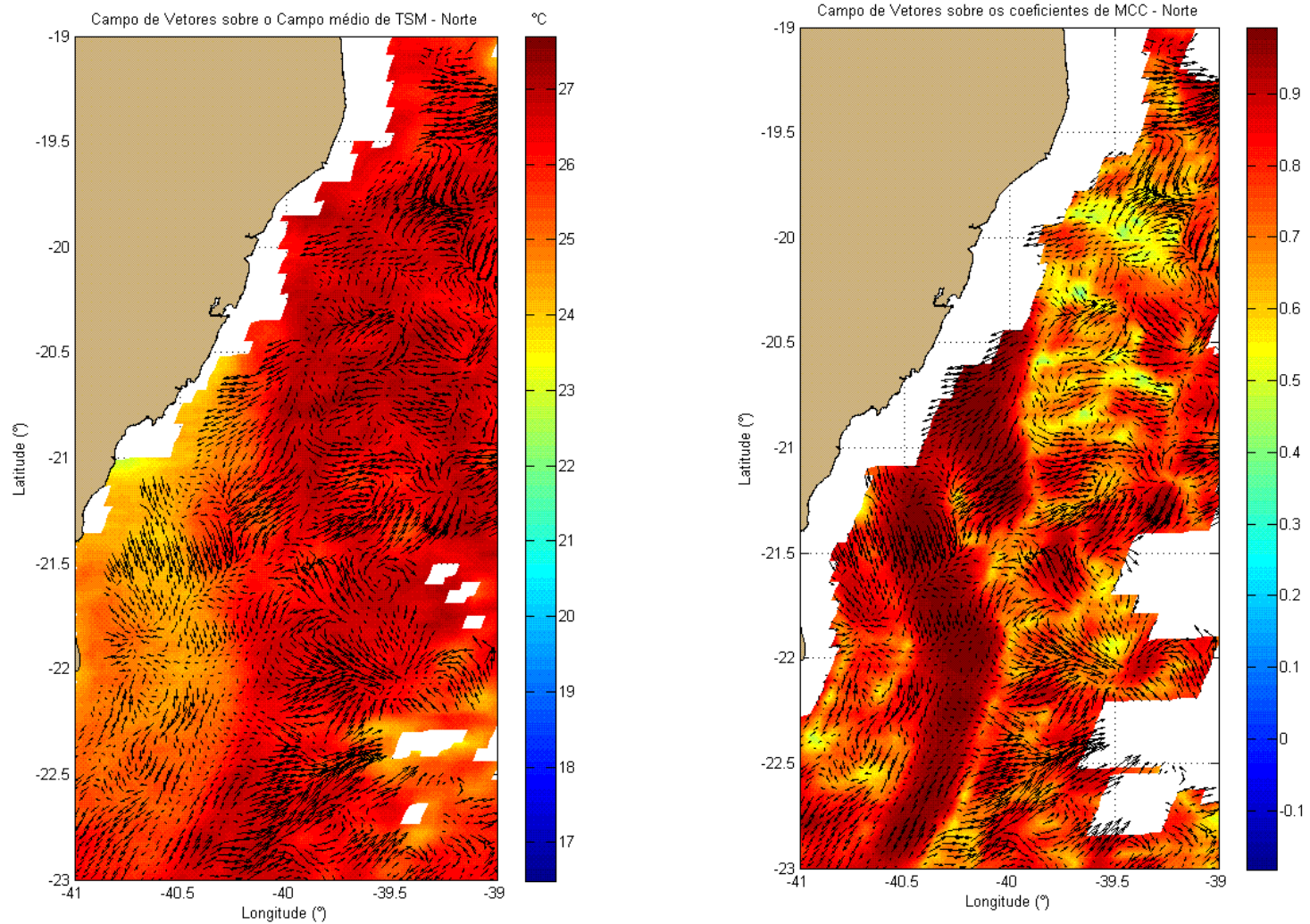


Figura 45: Campo de vetores a norte da região de estudo, o gráfico da esquerda está sobreposto ao campo médio de TSM e o da direita, ao gráfico de contorno dos coeficientes de MCC.

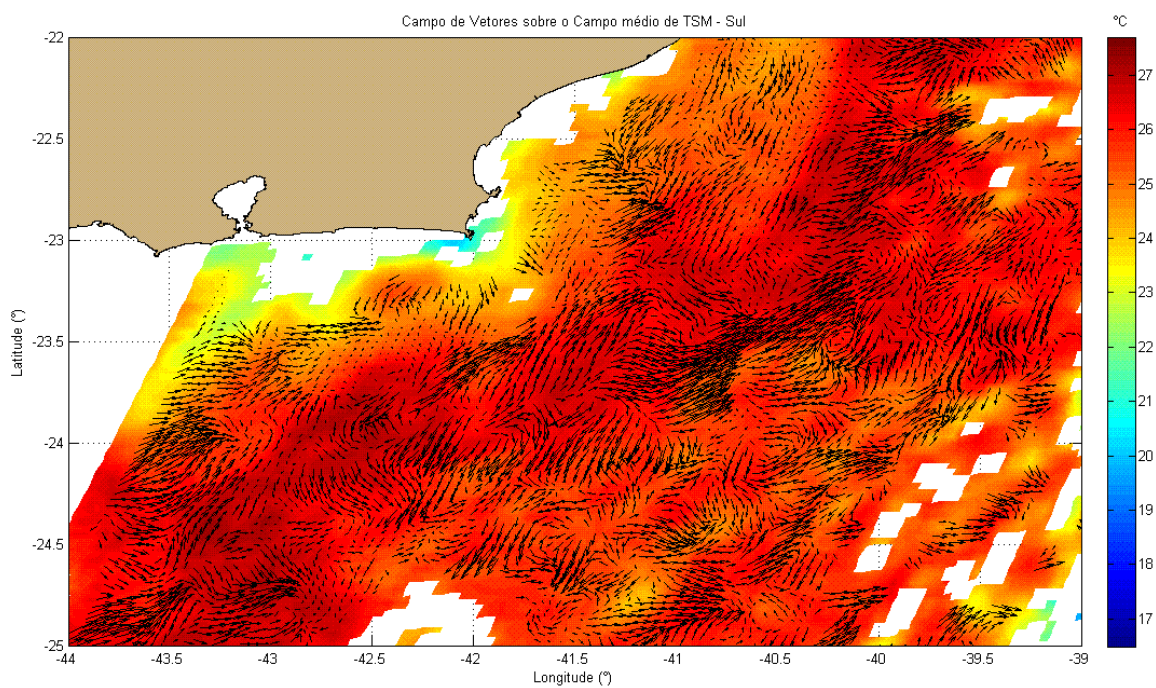


Figura 46: Campo de vetores a sul da região de estudo, está sobreposto ao campo médio de TSM (°C).

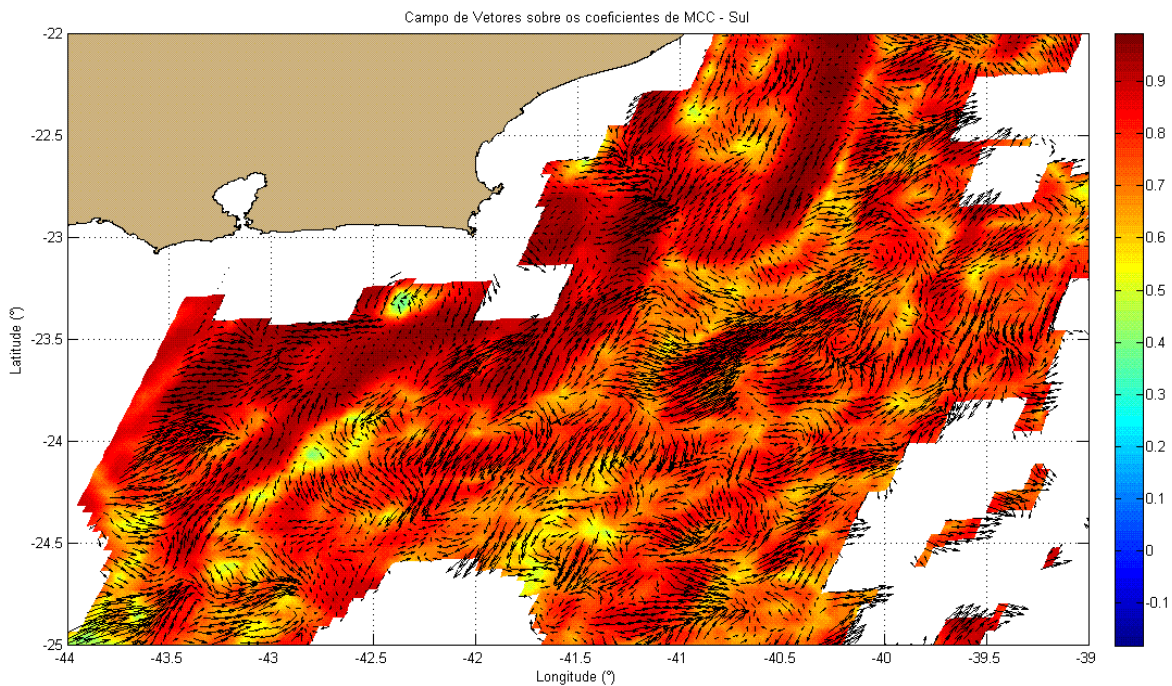


Figura 47: Campo de vetores a sul da região de estudo (TSMm), está sobreposto ao gráfico de contorno dos coeficientes de MCC.

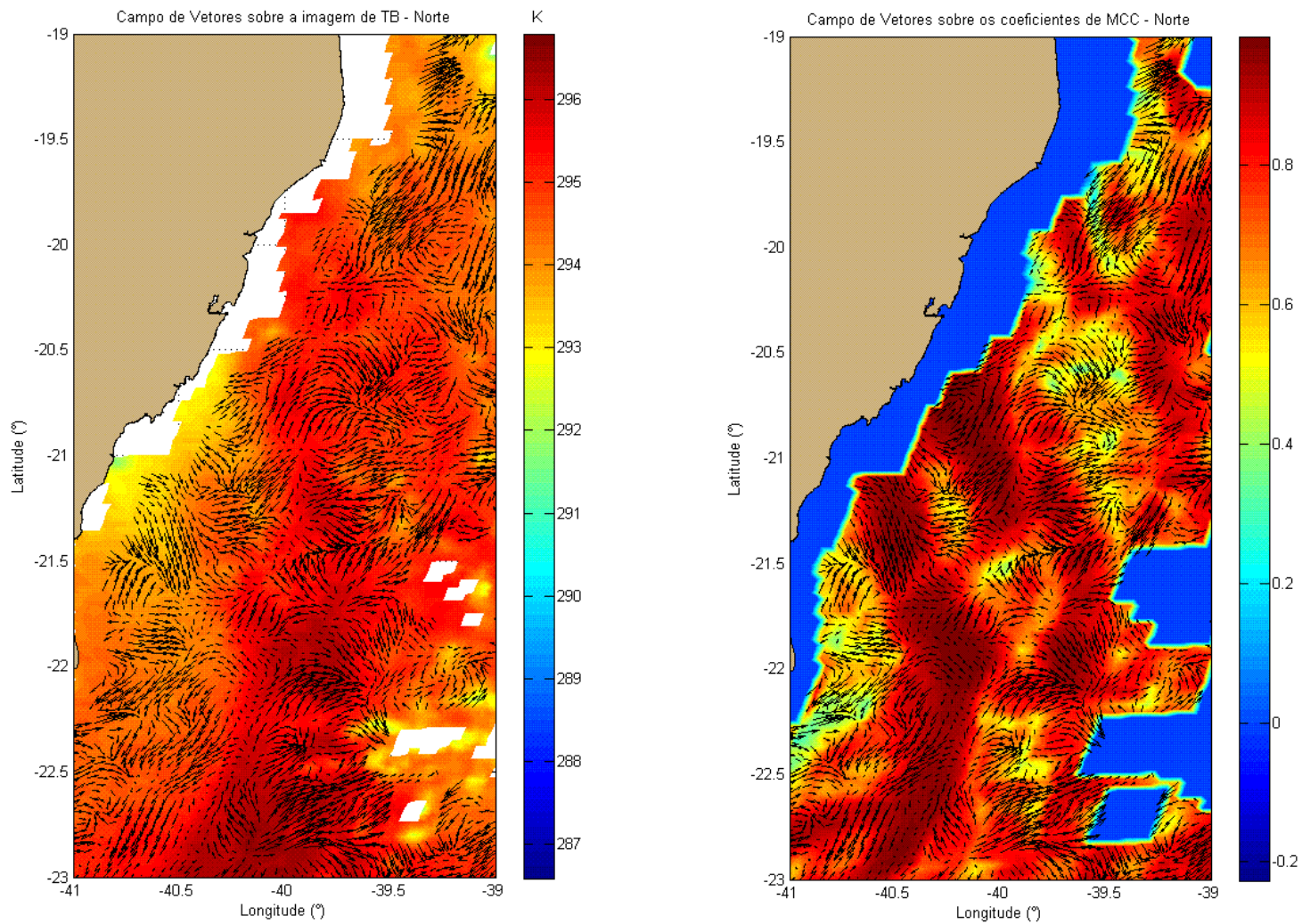


Figura 48: Campo de vetores a norte da região de estudo, resultante da aplicação da técnica da MCC sobre imagens de TB (K), sobreposto ao gráfico de contorno dos coeficientes gerados.

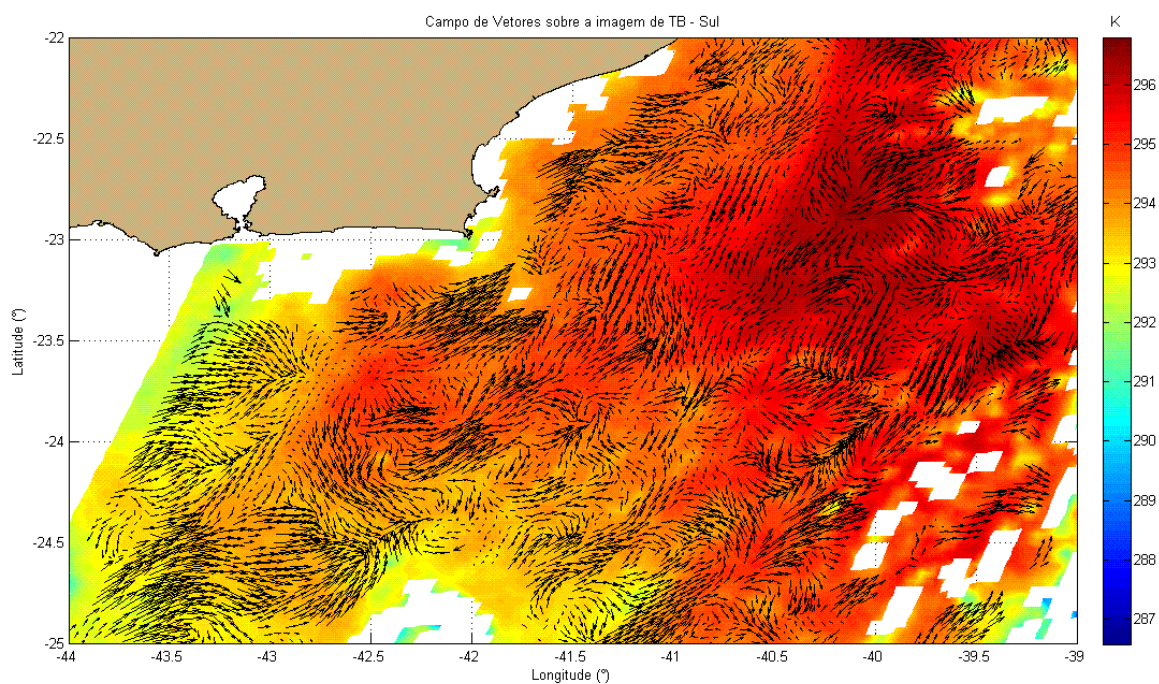


Figura 49: Campo de vetores a sul da região de estudo, está sobreposto a imagem de temperatura de brilho do canal 9 (K).

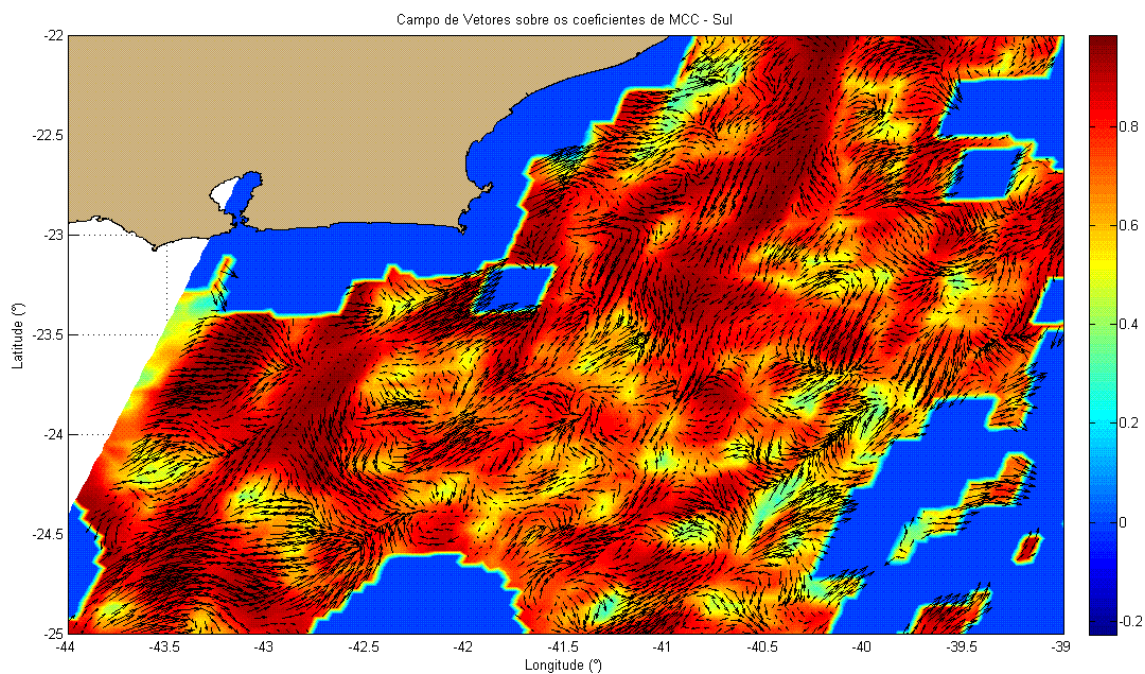


Figura 50: Campo de vetores a sul da região de estudo (IR9), está sobreposto ao gráfico de contorno dos coeficientes de MCC.

4.1.1. Derivadores

Os resultados dos experimentos com os campos de TSM derivados das imagens SEVIRI foram comparados com uma série de dados de derivadores, com trajetórias monitoradas pelos satélites ARGOS. A partir da localização dos derivadores são estimadas as velocidades ao longo das trajetórias, além de medições de temperatura *insitu*. O dado é consistido no *Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory (AOML)* e interpolado para intervalos regulares de 6 horas. As estimativas de velocidade destes derivadores foram obtidas do endereço eletrônico da *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2008)*.

Primeiro foram obtidos todos os dados disponíveis de derivadores no oceano Atlântico, do período de 15/02/1979 a 01/03/2007 e depois separados por mês de medição, para selecionar as medições que ocorreram nos meses de abril, na tentativa de uma maior coerência com os resultados da aplicação da técnica sobre as imagens do SEVIRI. As trajetórias dos derivadores selecionados, na área de estudo, representadas na Figura 51.

As trajetórias estão diferenciadas pelas cores, com os respectivos derivadores na legenda, com número de identificação e ano em que foram lançados. Os pontos em preto, ao redor das trajetórias, equivalem às localizações vizinhas de onde foram retiradas as informações de TSM e dos campos de velocidade utilizados na metodologia, para comparação com as medições dos derivadores (um raio de abrangência de 0,06 graus de coordenada geográfica).

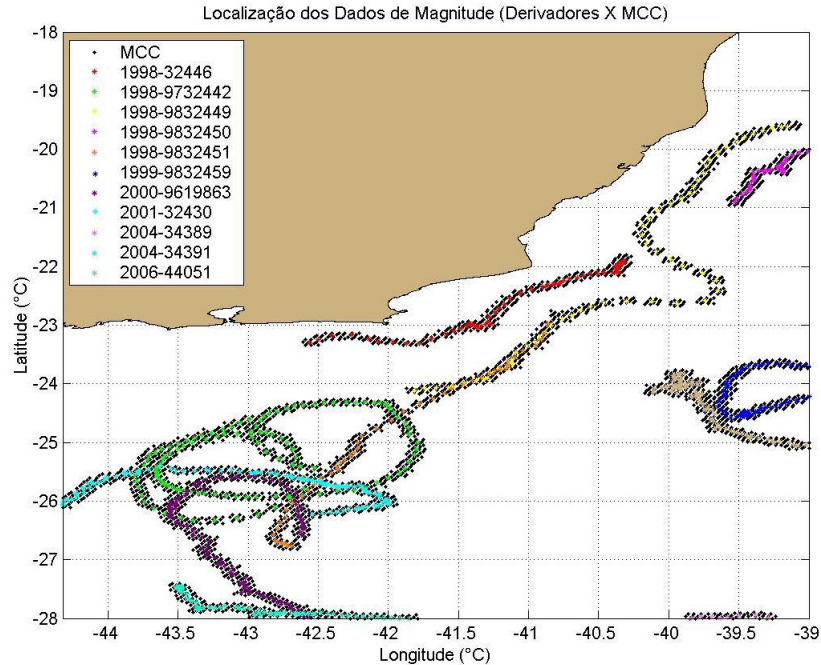


Figura 51: Localização das medições de derivadores ARGOS, para o mês de abril. A legenda de cores indica o ano de medição e código de identificação dos derivadores.

Os dados de temperatura medidos pelos derivadores, foram comparados com a temperatura das imagens utilizadas nos experimentos, retirada nas proximidades das trajetórias dos respectivos derivadores (Figura 52).

As velocidades medidas pelos derivadores foram comparadas com as estimativas de intensidade e direção, de vetores resultantes dos experimentos, vizinhos a trajetória dos derivadores. Os histogramas de intensidade (Figura 53) têm velocidades no intervalo de 0 a 100 cm/s, divididas em classes de porcentagens de 5 cm/s. Nos histogramas de direção (Figura 54) as classes de porcentagens estão divididas em 45°. Para a comparação de velocidades, foram escolhidos os resultados dos experimentos com as imagens espaçadas de 24 horas. Os gráficos representam legendas que indicam os diversos tamanhos de janela alvo (*alvo*) e metade do tamanho da janela de procura (*proc*), utilizadas nos experimentos da Tabela 6.

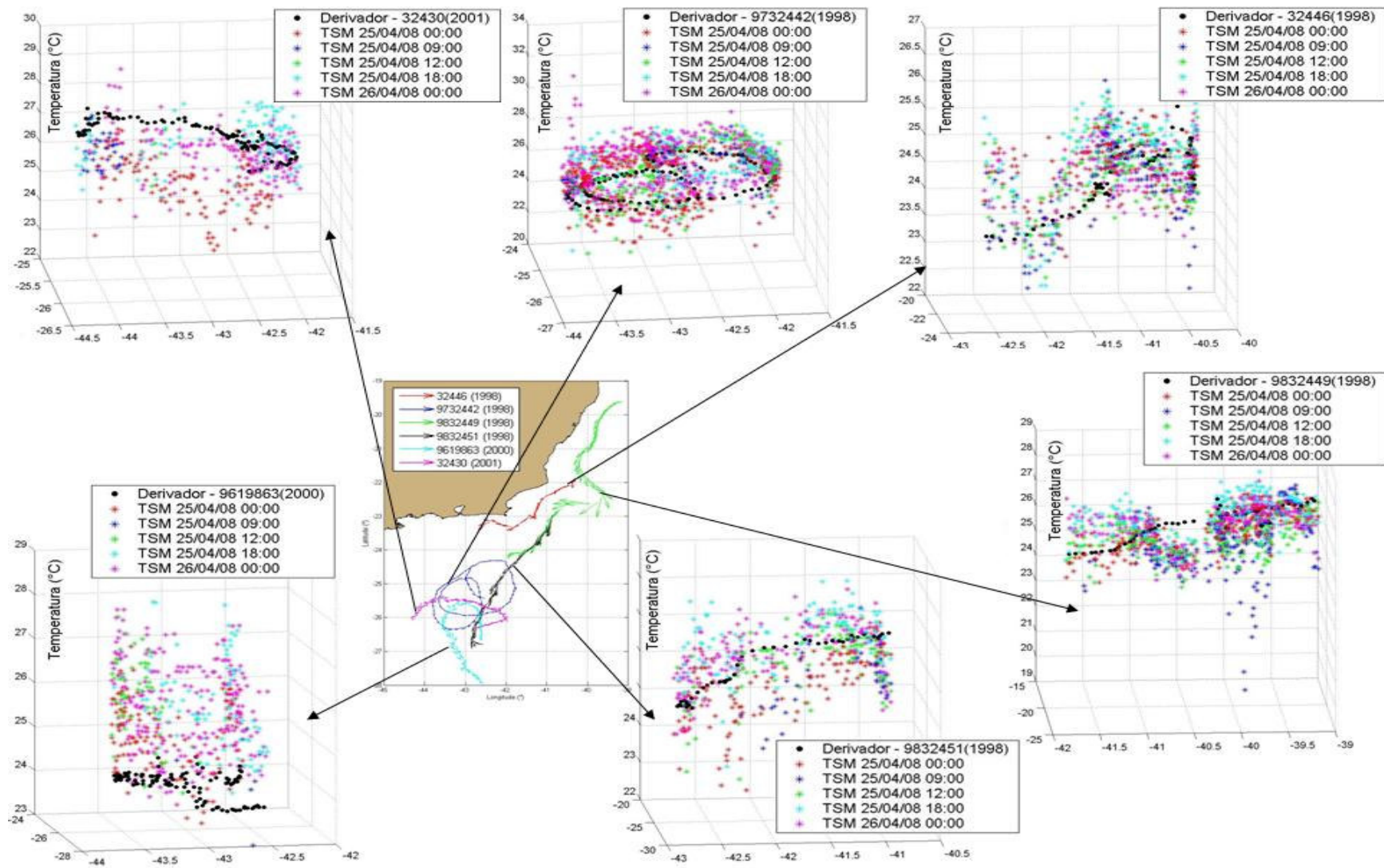


Figura 52: Comparações entre os valores de temperatura (°C), medidos pelos derivadores e derivados das imagens SEVIRI, nas respectivas imediações. Foram utilizados os campos de TSM dos dias 25/04/2007, 00:00, 09:00, 12:00 e 18:00 horas e do dia 26/04/2007, às 00:00 hora.

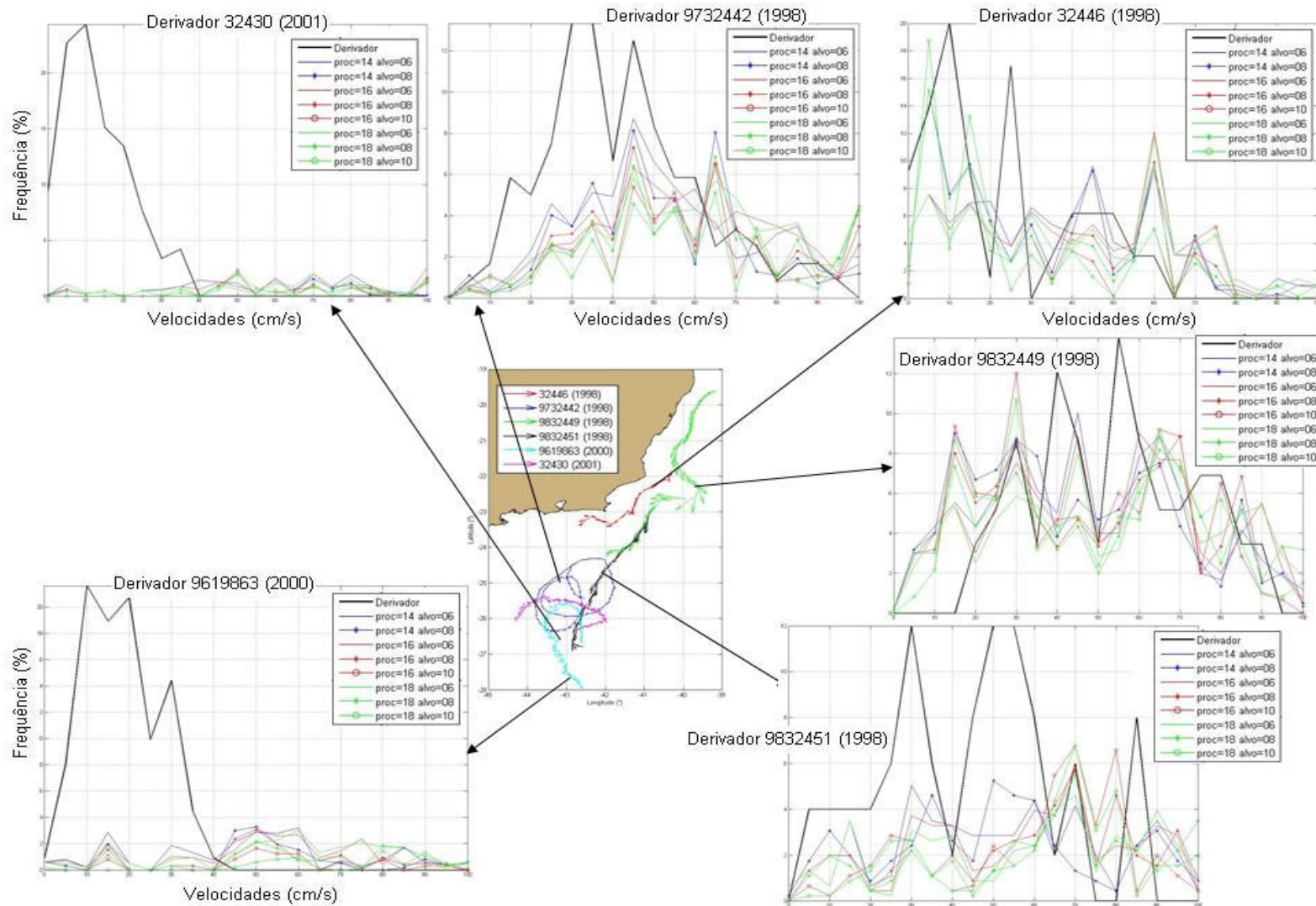


Figura 53: Histogramas de intensidade (cm/s), com os dados medidos pelos derivadores, em preto, e os estimados nos experimentos que utilizaram os campos de TSM espaçados de 24 horas.

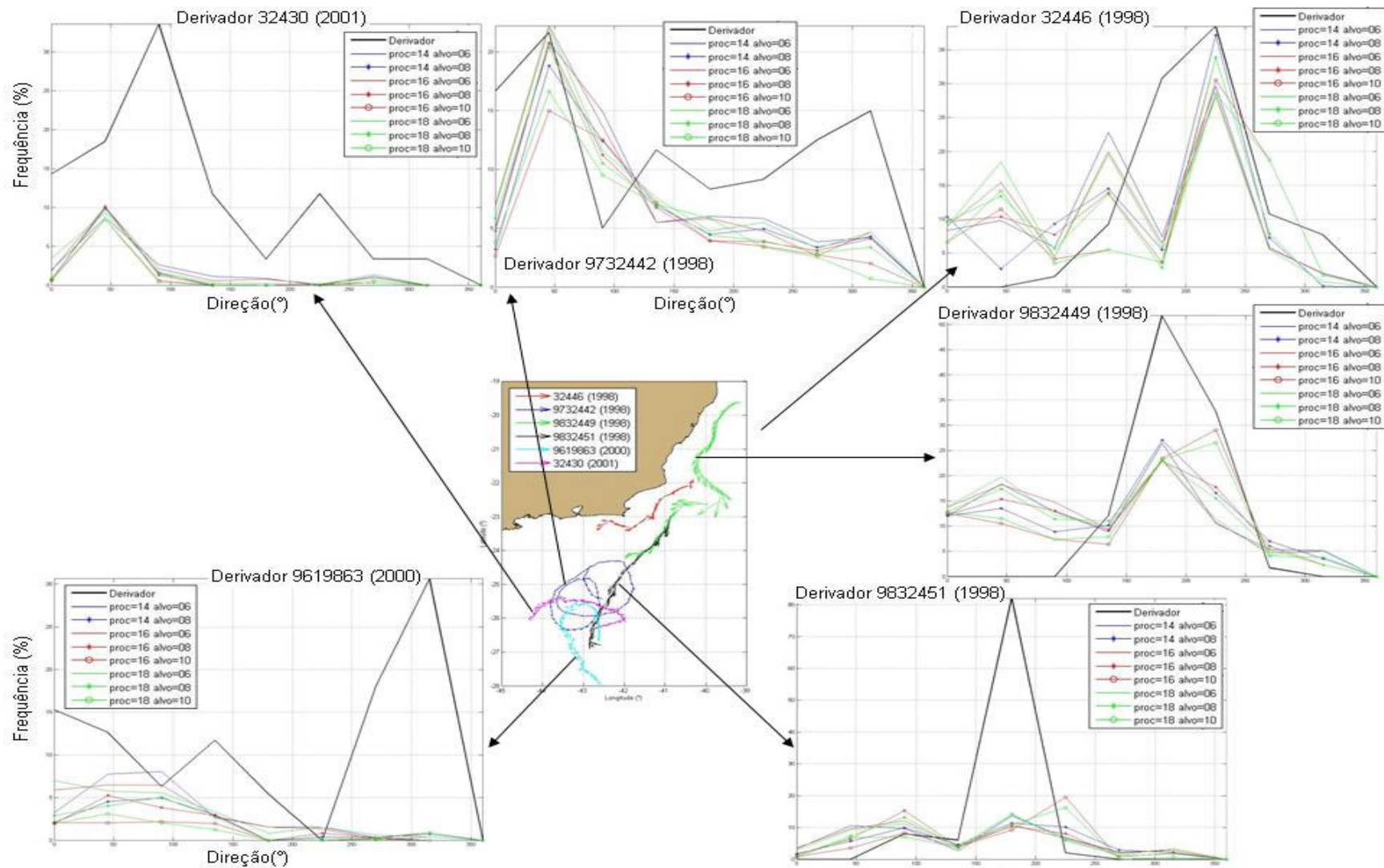


Figura 54: Histogramas de direção (°), com os dados medidos pelos derivadores, em preto, e os estimados nos experimentos que utilizaram os campos de TSM espaçados de 24 horas.

Nos gráficos onde são comparados os dados de temperatura, para cada um dos derivadores, e as temperaturas das imagens utilizadas no trabalho (Figura 52), é possível analisar que as faixas de valores das temperaturas envolvidas, em ambas as fontes, não são destoantes (Tabela 3), apesar de não corresponderem ao mesmo período.

Tabela 3: Faixas de valores das temperaturas medidas pelos derivadores e nos campos de TSM.

| Identificação do Derivador | Temperaturas (°C) | | | |
|----------------------------|-------------------|--------|---------------|--------|
| | Derivador | | Campos de TSM | |
| | Mínima | Máxima | Mínima | Máxima |
| 32446 (1998) | 23 | 25,5 | 22 | 26 |
| 9732442 (1998) | 22 | 26 | 21 | 28 |
| 9832449 (1998) | 24 | 26 | 22 | 26 |
| 9832451 (1998) | 24,5 | 26,5 | 23 | 28 |
| 9619863 (2000) | 23 | 24 | 23 | 28 |
| 32430 (2001) | 25 | 27 | 23 | 27 |

Na Figura 53, as curvas das intensidades medidas pelos derivadores 32430 (2001) e 9619863 (2000) obtiveram as piores comparações. Ambas as medições destes derivadores estão concentradas em intensidades menores que 45 cm/s, enquanto que, todas as curvas das estimativas dos experimentos, abrangeram a faixa inteira de 0 a 100 cm/s e com ocorrências menores que 4%. Esta diferença nos histogramas se deu pela região das trajetórias deste derivadores, que nos campos de TSM apresentaram alta contaminação por nuvens.

As curvas de porcentagens das intensidades estimadas nos experimentos tiveram boa correlação com a curva das medições de intensidade do derivador 9732442 (1998). Os dados medidos tiveram um aumento nas porcentagens na faixa de valores de 20 a 60 cm/s, assim como nas curvas dos experimentos. Apesar de que a maioria dos experimentos também apresentou um aumento nas porcentagens da intensidade de 75 cm/s, não correlacionado com a curva deste derivador.

As medições de intensidade do derivador 32446 (1998) abrangeram velocidades de 0 a 65 cm/s, com picos destacados em 10 e 25 cm/s. As curvas dos experimentos apresentam comportamentos distintos, com picos nas intensidades menores, de 0 a 20 cm/s (janela de procura de 36 X 36 *pixels*), picos na intensidade de 45 cm/s (janela de procura de 28 X 28 *pixels*) e picos menores, na faixa de intensidade de 60 a 75 cm/s.

A curva do derivador 9832449 (1998) apresentou intensidades medidas na faixa de 15 a 90 cm/s, com as maiores porcentagens entre 40 e 60 cm/s. Nas curvas dos experimentos observam-se comportamentos distintos, sendo as melhores correlações apresentadas nas curvas dos experimentos que utilizaram janela alvo de 6 X 6 *pixels*.

A curva do derivador 9832451 (1998) apresentou os maiores picos de porcentagens nas faixas de valores de intensidade de 25 a 35 cm/s e 45 e 60 cm/s. Os experimentos apresentam curvas de ocorrências distintas, com abrangência em toda a faixa de valores de intensidade, em baixas porcentagens. Neste gráfico, o experimento que utilizou janela de procura de 28 X 28 *pixels* e janela alvo de 8 X 8 *pixels* foi o que teve curva melhor correlacionada com a curva do derivador.

Quanto as direções (Figura 54), a curva do derivador 9619863 (2000) apresentou a maior porcentagem de vetores indo para noroeste, seguido por dois picos menores, indicando também direções para sudeste e norte-nordeste. As curvas dos experimentos concentraram as maiores porcentagens nas direções de vetores para nordeste e leste.

A curva do derivador 32430 (2001) apresentou direções para os oito octantes, com as maiores porcentagens dos vetores indo para leste e um pico com porcentagens menores, representando vetores de corrente para sudoeste. As curvas dos experimentos apresentaram a maior ocorrência de vetores de corrente indo para nordeste, seguidos de uma pequena porcentagem de vetores indo para oeste.

A curva do derivador 9732442 (1998) apresentou direções para os oito octantes, com as maiores porcentagens indicadas nas direções para nordeste e noroeste, as curvas dos experimentos também apresentaram todas as direções, mas com as maiores porcentagens concentradas na direção para nordeste.

A curva do derivador 32446 (1998) apresentou as maiores porcentagens nas direções para sudoeste, este pico foi acompanhado pelas direções estimadas pelos experimentos, mas estas curvas também apresentaram picos de porcentagens menores nas direções para nordeste e sudeste.

A curva do derivador 9832449 (1998) indicou uma direção preponderante para sul, as curvas dos experimentos também indicaram o maior pico de porcentagem nesta direção, mas há ocorrências menor de vetores estimados indo para norte, nordeste e leste.

A curva do derivador 9832451 (1998) apresentou a maior ocorrência de vetores indo para sul, enquanto que os vetores dos experimentos possuem estimativas para as oito direções e com baixas porcentagens.

Os campo de vetores estimado com os campos de TSM em intervalo de 24 horas, janelas alvo de 6 X 6 *pixels* e janelas de procura de 36 X 36 *pixels*, estão ilustrados a seguir, em preto, e sobreposto pelas trajetórias dos derivadores em azul. Na Figura 55 está a trajetória do derivador 32446 (1998), aonde há uma boa correlação entre as direções estimadas pelo derivador e pelo método da MCC na feição anticiclônica a sudoeste de Cabo Frio, na altura da latitude de 23,2°S e longitude de 42,6°W, o restante dos vetores estimados pelo método da MCC, na grande maioria do trajeto do derivador, não estão em concordância com as estimativas do derivador.

Na Figura 56 e Figura 57 estão a trajetória do derivador 9832449 (1998), respectivamente destacada nas porções norte e sul, na ilustração da porção norte os vetores estimados pelo método da MCC apresentam maior congruência com os dados estimados por este derivador, do que na porção sul.

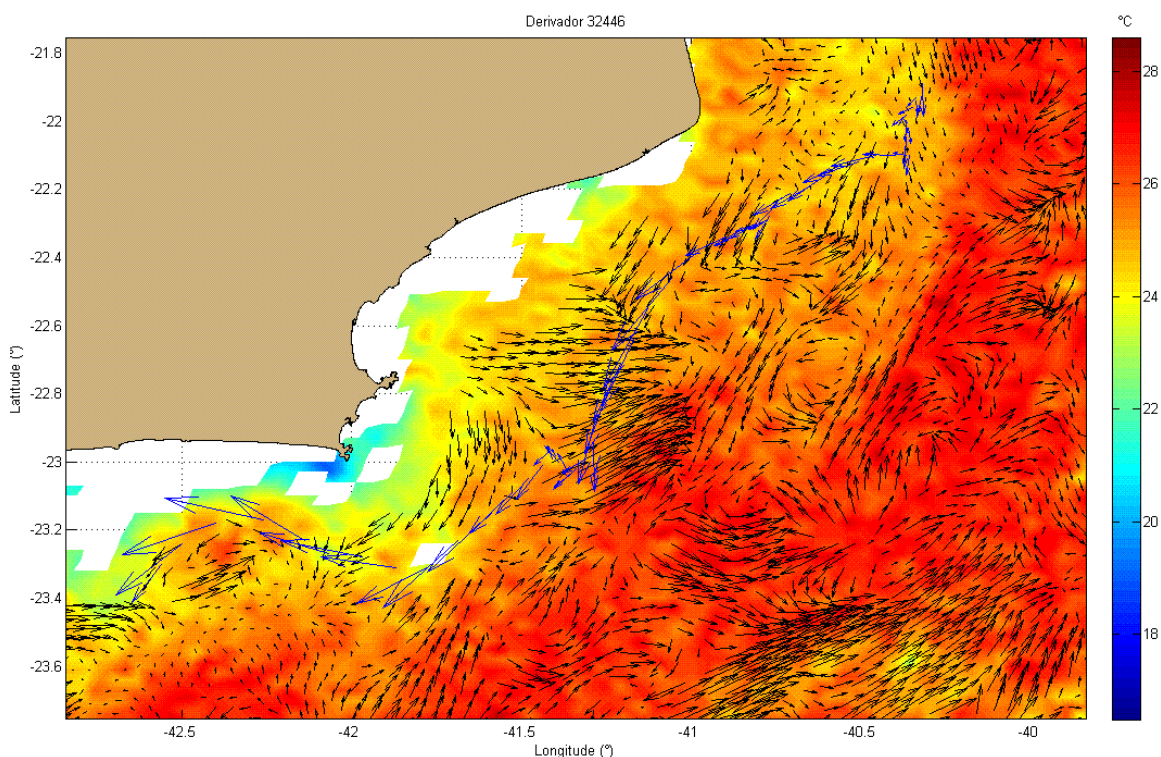


Figura 55: Campo de vetores estimados pela técnica da MCC (preto) e trajetória do derivador 32446 (azul).

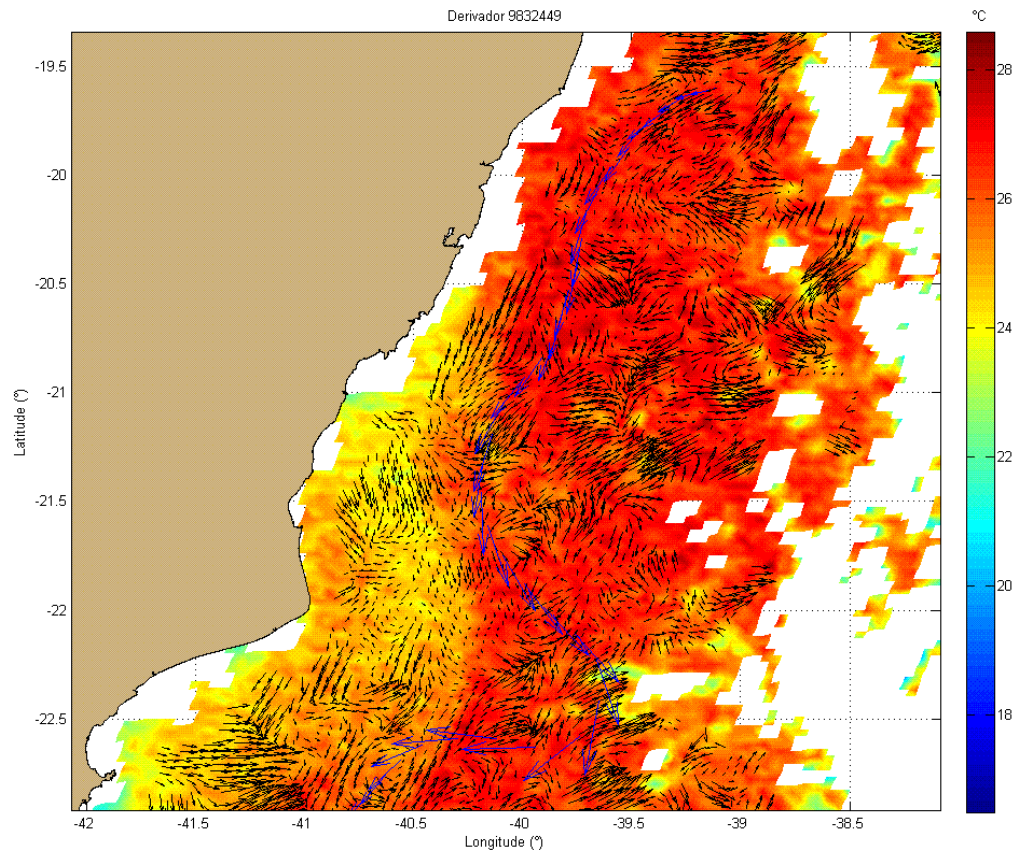


Figura 56: Campo de vetores estimados pela técnica da MCC (preto), resultante da utilização de campos de TSM e sobreposto pela porção norte da trajetória do derivador 9832449 (azul).

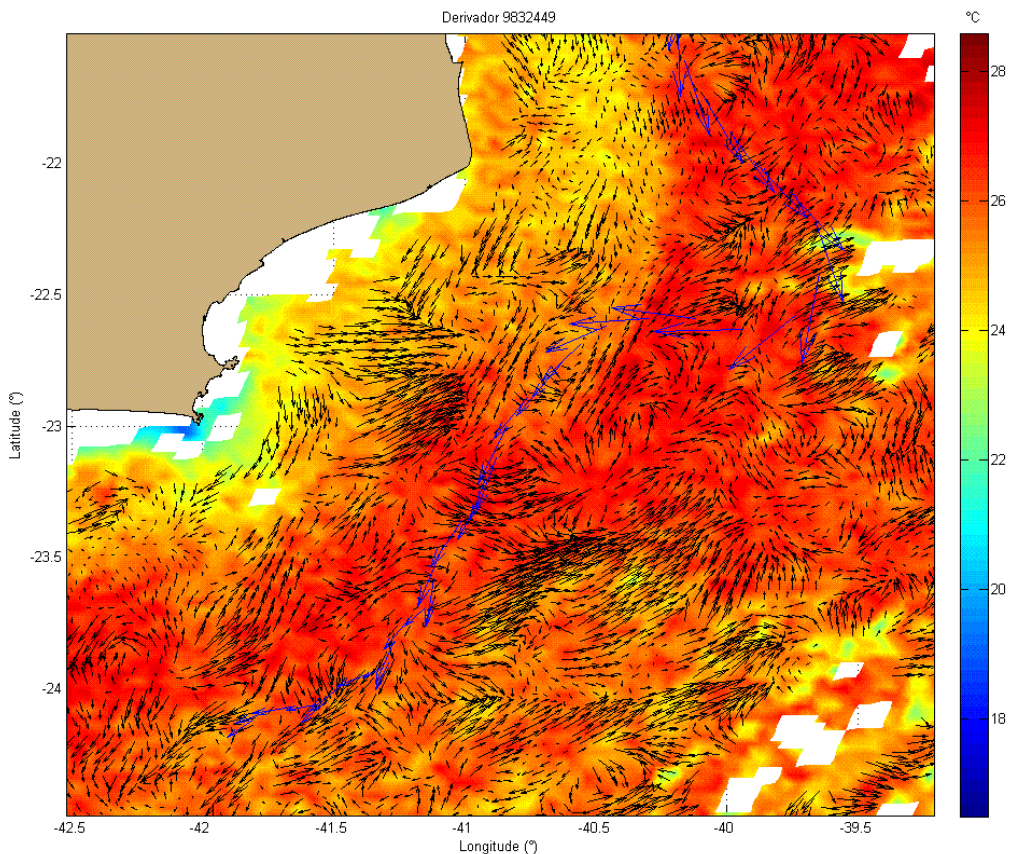


Figura 57: Campo de vetores estimados pela técnica da MCC (preto), resultante da utilização de campos de TSM e sobreposto pela trajetória porção sul do derivador 9832449 (azul).

4.2. Experimentos com Campos de TSM Sintéticos

Nos experimentos com os campos de TSM sintéticos (Seção 3.4.2) foram estimados campos de vetores com um padrão mais organizado, se comparados aos campos de vetores resultantes dos experimentos com os campos de TSM derivados das imagens SEVIRI. Foi selecionado o experimento com janela de procura de 160 x 160 *pixels* (160 x 160 Km) e janela alvo de 20 x 20 *pixels* (20 x 20 Km), para os campos termais de 1 Km e os experimentos com janela de procura de 36 x 36 *pixels* (108 x 108 Km) e janela alvo de 6 x 6 *pixels* (18 x 18 Km), para os campos termais de 3 Km resolução. Estes campos de corrente estão de acordo com a advecção das feições termais sintéticas

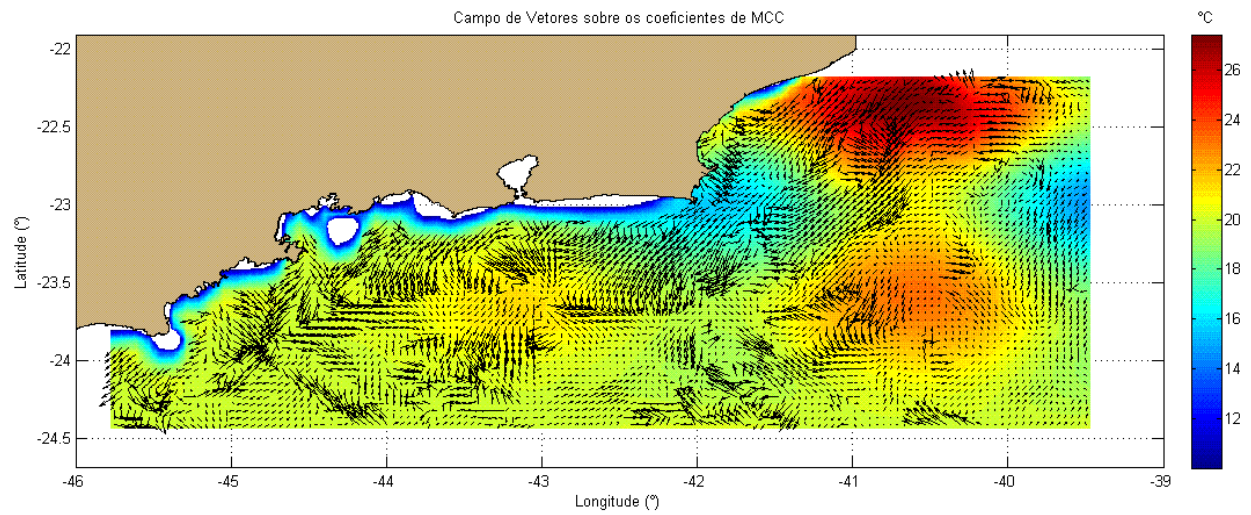


Figura 58: Campo de vetores sobreposto ao campo de TSM sintéticos (1 Km).

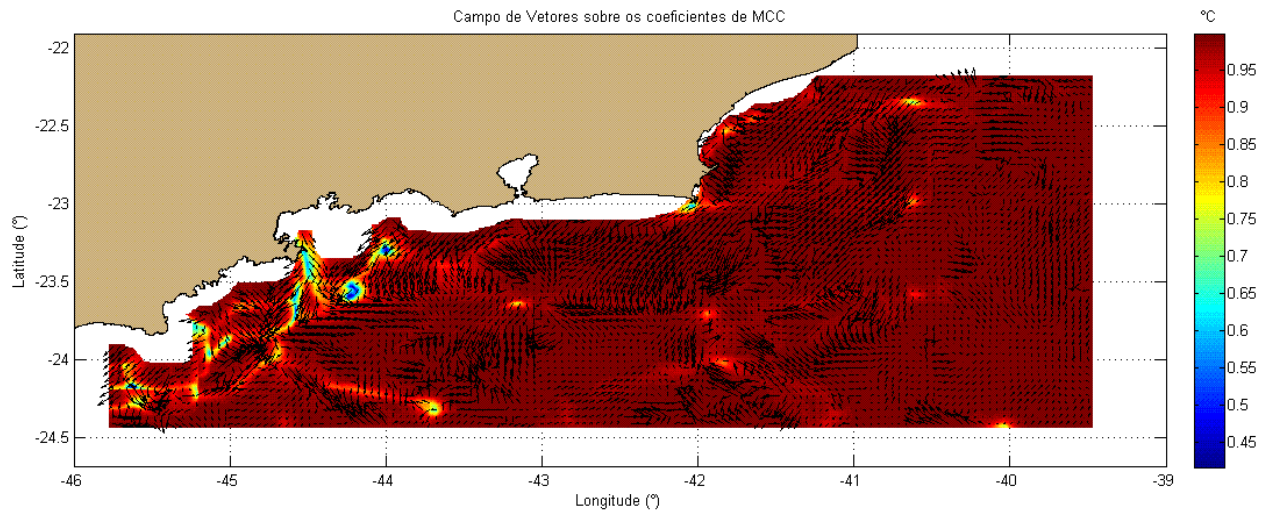


Figura 59: Campo de vetores sobreposto ao gráfico de contorno dos coeficientes de MCC gerados (1Km).

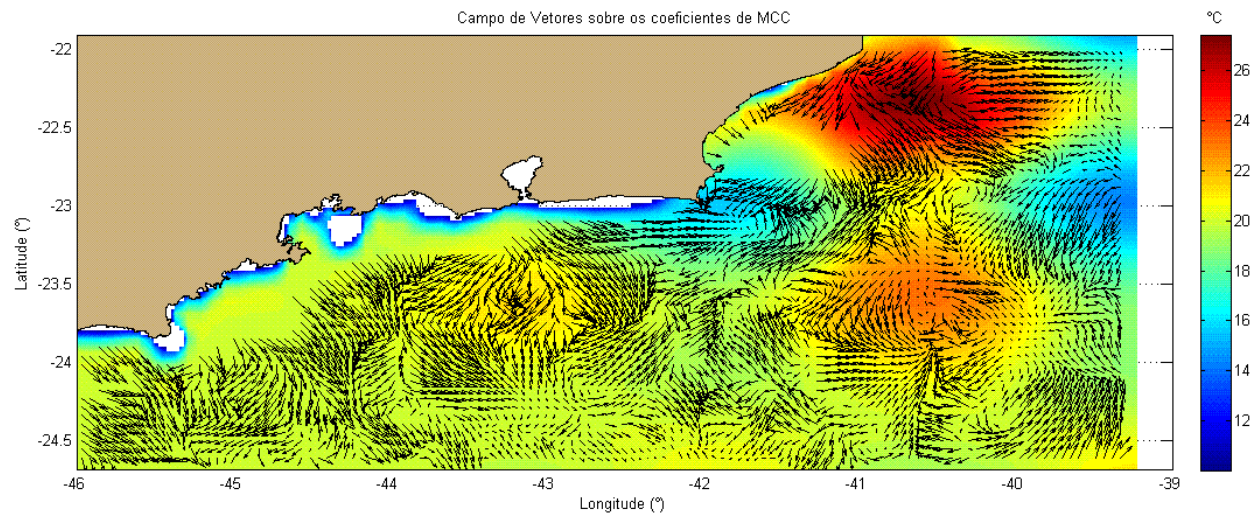


Figura 60: Campo de vetores sobreposto ao campo de TSM sintéticos (3 Km).

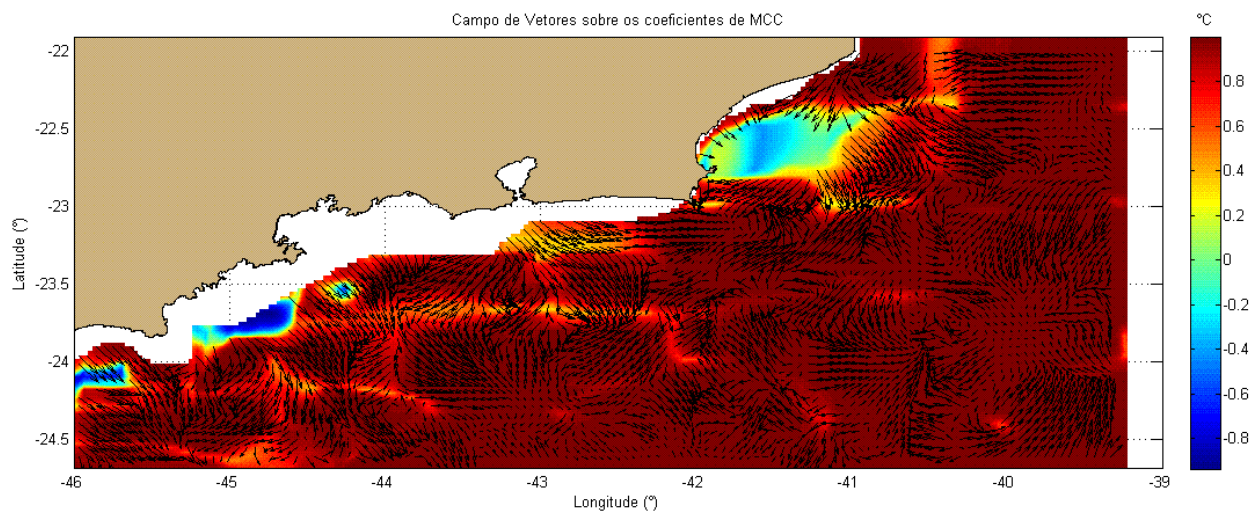


Figura 61: Campo de vetores sobreposto ao gráfico de contorno dos coeficientes de MCC gerados (3Km).

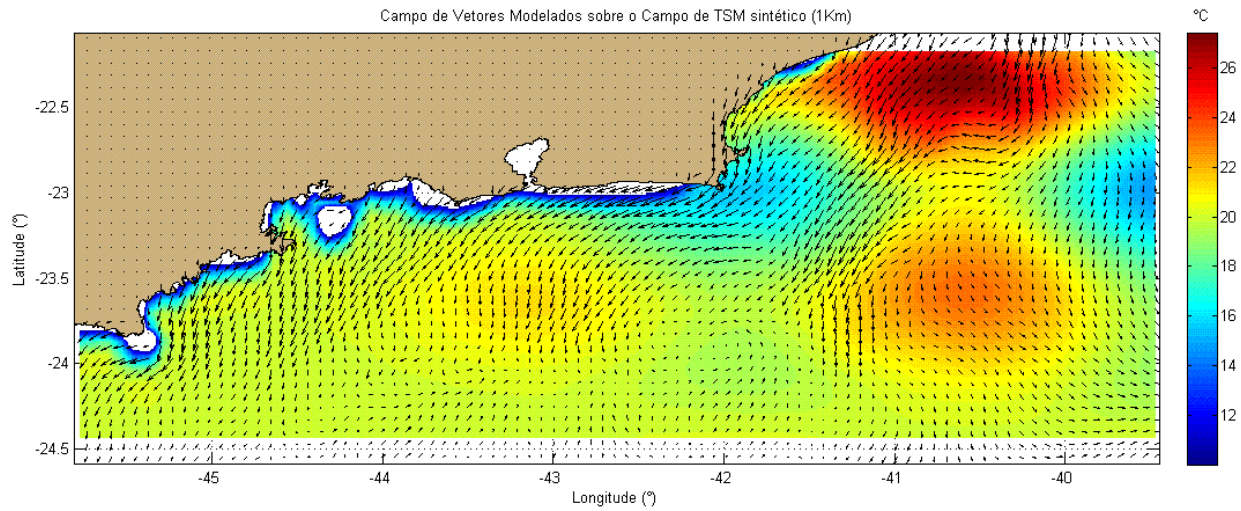


Figura 62: Campo de vetores modelado para a quinta hora de simulação numérica (1 Km).

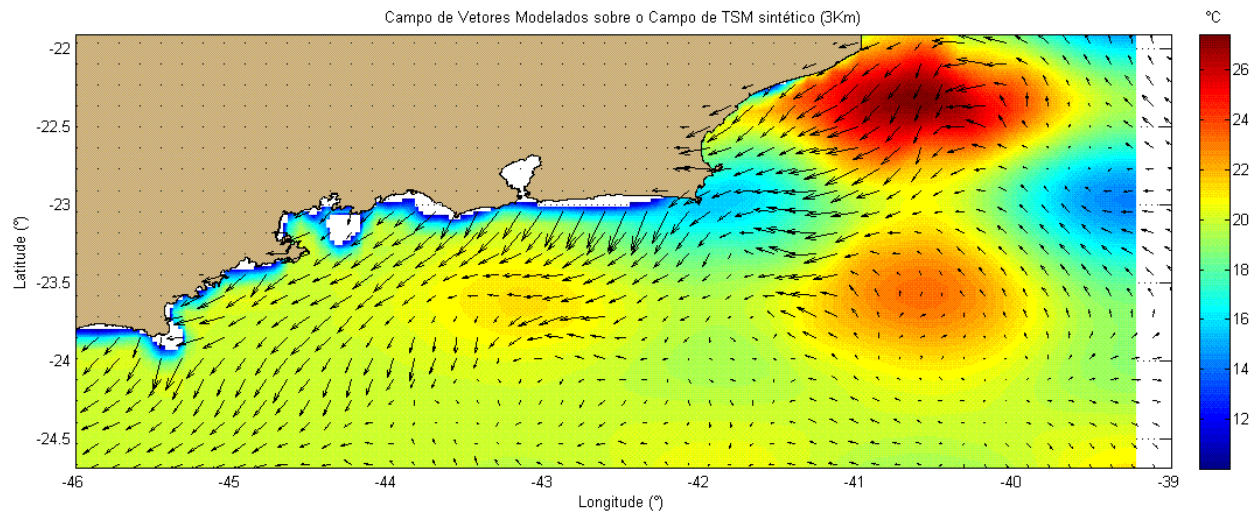


Figura 63: Campo de vetores modelado para a décima nona hora de simulação numérica (3Km).

5. Discussão

Os campos de TSM derivados das imagens SEVIRI, das 00:00 horas de 25/04/2007 às 00:00 horas de 26/04/2007, apesar da alta contaminação de *pixels* por nuvens na região de estudo, continham uma faixa ininterrupta de dados de TSM nas proximidades da quebra de plataforma, caracterizando uma fronteira oeste da CB meandrante e logo, com feições térmicas possíveis de serem rastreadas por técnicas de acompanhamento de feições superficiais.

A procura dos campos de TSM priorizou um par com a menor contaminação possível por nuvens, para minimizar problemas na aplicação da técnica, o problema consiste no fato de que, as imagens menos contaminadas ocorrem na ausência de frentes e, portanto, na predominância de vento de nordeste, o qual por sua vez, é responsável pelo fenômeno da ressurgência. De acordo com WU *et al.* (1992), a ocorrência de ressurgência ou convergência nos campos de TSM criam dificuldades na estimativa de correntes pelo método da MCC, pela sua incapacidade de detectar mudanças nas feições do termal devido às trocas verticais de temperatura.

O meandramento na fronteira oeste da CB caracterizou feições térmicas nos campos de TSM, derivados das imagens SEVIRI, com dimensões de aproximadamente 0,5° (55 X 55 Km). Nos experimentos que utilizaram estes campos, foram testados tamanhos de janelas alvo que abrangeram áreas de 24 X 24 Km a 72 X 72 Km. Nos histogramas que compararam as curvas de porcentagens de coeficientes de MCC, gerados nestes experimentos, os maiores coeficientes foram calculados para as menores janelas alvo, nos quatro intervalos de tempo. As curvas das janelas alvo de 60 x 60 *pixels* e 72 x 72 *pixels* obtiveram os menores coeficientes de MCC e os campos de correntes estimaram blocos de vetores distintos, sem coerência espacial.

Nos histogramas dos coeficientes de MCC, somente 25 % da imagem percorrida pelo método gerou coeficientes entre 0,1 e 1, pois as maiores porcentagens ficaram com os coeficientes zerados, resultantes de comparações entre os *pixels* continentais, descontada a porcentagem de *pixels* contaminados por nuvens.

Em termos dos tamanhos da janela de procura, estes experimentos percorreram áreas de 72 X 72 Km a 336 X 336 Km. As magnitudes das janelas alvo e de procura utilizadas nos experimentos estão em concordância com os valores utilizados na literatura (Tabela 2), de outros trabalhos que estimaram campos de corrente no oceano aplicando o método da MCC.

Nos campos de velocidade resultantes da aplicação da metodologia da MCC, sobre os campos de TSM derivados das imagens SEVIRI, não há homogeneidade nas direções calculadas e a incoerência de vetores não caracteriza a CB, nem a dinâmica de alguma feição de térmica de menor escala. Ainda assim, os campos de corrente estimados com os campos de TSM, com os campos médios de TSM e com os campos de temperatura de brilho, são distintos.

As Figura 42 e Figura 44 ilustram os campos de vetores resultantes da aplicação da técnica sobre os campos de TSM, e quando sobrepostos aos coeficientes de MCC calculados, é perceptível o aumento nos coeficientes de correlação cruzada sobre a borda oeste da CB, de 0,8 a 0,9, no restante da estimativa os coeficientes são de baixas correlações ($< 0,6$). Analisando os vetores, somente sobre esta faixa de altos coeficientes de MCC, ainda há incoerência espacial de determinados grupos de vetores, principalmente na porção sul da região de estudo, onde há maior incidência de *pixels* contaminados por nuvens e águas de ressurgência (WU *et al.*, 1992). Do limite oeste do campo de vetores, até a longitude de $43^{\circ}W$, o efeito de borda direciona os vetores para leste.

De acordo com EMERY (1986), o método da MCC tem dificuldade na detecção de frentes térmicas, pois o fluxo da corrente se dá somente no gradiente de temperatura, normal a frente, limitando a reprodução do movimento ao longo da frente.

A correlação cruzada aumentou na região de estudo com a utilização dos campos de TSM médios, e a borda oeste da CB continuou acentuada pelos valores mais altos dos coeficientes (Figura 45 e Figura 47). Os coeficientes dos experimentos que utilizaram os campos de temperatura de brilho também foram altos, e mais dispersos na região de estudo, a borda oeste da CB não ficou tão marcante quanto nos outros experimentos (Figura 48 e Figura 50). Segundo KELLY e STRUB (1992), o método da MCC obtém melhores resultados quando aplicado sobre gradientes de TSM menos acentuados.

No Teste de Emery, não houve diferenças significativas entre as curvas de significância, que utilizaram os campos de TSM e com os campos médios de TSM. As curvas de significância dos testes com a imagem de temperatura de brilho demonstraram menores valores em relação aos demais campos termais. Esta diferença pode ser porque a informação contida nos campos de TSM é derivada da informação de temperatura de brilho de dois canais, método *split-window*, que acarreta a possibilidade de um corrigir a falha de outro, melhorando o sinal de temperatura.

KELLY e STRUB (1992) e SVEJKOVSKY (1988) afirmaram que os derivadores tendem a ser levados na parcela mais energética das correntes, o que ocasiona medições de correntes superestimadas. Tal comportamento não foi notado nos histogramas que compararam as intensidades medidas pelos derivadores e as estimadas com a aplicação da técnica da MCC.

Nestes histogramas, que comparam a intensidade e direção dos vetores estimados pelos derivadores e pela aplicação do método da MCC, as curvas dos experimentos que utilizaram os campos de TSM espaçados de 24 horas, não apresentaram comportamento destoante e nem tendência a determinada composição de tamanho de janela alvo e de procura, portanto, estes testes não afetaram de forma diferenciada na estimativa dos vetores.

Nos experimentos com os campos de TSM sintéticos, de 1 Km de resolução, os tamanhos de janelas alvo abrangeram áreas de 4 X 4 Km a 20 X 20 Km e com os campos de 3 Km de resolução, abrangeram áreas de 12 X 12 Km a 60 X 60 Km. No Teste de Emery com os campos sintéticos, a significância dos campos de vetores estimados com as maiores janelas alvo, diminui bruscamente a partir do coeficiente de corte de 0,6, assim como o grau de liberdade.

Nestes experimentos com os campos sintéticos, o teste em janelas maiores ficou limitado, pela área reduzida destes campos de TSM, de aproximadamente 500 Km x 800 Km. Foram testadas janelas de procura que abrangeram de 20 X 20 Km e 160 X 160 Km, nos campos sintéticos de 1 Km de resolução e janelas de procura de que abrangeram de 108 X 108 Km a 336 X 336 Km, nos campos sintéticos de 3 Km de resolução.

As estimativas de vetores com os campos de TSM sintéticos foram coerentes entre si e obedeceram a advecção dos campos térmicos para sudoeste, ao longo da costa (Figura 58) Na Figura 60 se observa que a coerência espacial deste campo de vetores é menor nas regiões aonde foram calculados os menores coeficientes de MCC.

O posicionamento da feição térmica, junto aos *pixels* do continente e o aumento da área sem informação de TSM, nas bordas dos campos sintéticos utilizados como segunda imagem (Figura 18 e Figura 19), dificultaram a utilização da técnica da MCC.

Os coeficientes de MCC calculados nos experimentos com os campos de TSM sintéticos foram altos, como consta nos histogramas da Figura 37 e da Figura 38, e dispostos igualmente para toda a região de estudo (Figura 59 e Figura 61). Os campos sintéticos não são contaminados por nuvens, o que auxilia na continuidade das correlações.

O Teste de Emery calculou a significância do campo de vetores resultantes de todos os experimentos do trabalho e os que utilizaram os campos de TSM com resolução mais refinada, de 1 Km, obtiveram as maiores significâncias, assim como os maiores números de grau de liberdade, em comparação com os demais.

A intensificação do vento tende a aumentar a camada de mistura e pode dissipar as feições térmicas, no período das imagens de TSM, derivadas do SEVIRI, as estimativas dos escaterômetros foram de campos de vento intensos na região de estudo. De acordo com EMERY *et al.* (1986), durante períodos de vento intenso, as velocidades advectivas da corrente superficial são mais fortes e coerentes espacialmente, não obedecendo necessariamente aos gradientes de temperatura superficial, enquanto que com os ventos mais calmos, as velocidades advectivas correspondem melhor com as feições térmicas da superfície.

WAHL e SIMPSON, 1990 afirmaram que ventos menores que 10 m/s ainda permitem uma disposição da TSM influenciada pela difusão e trocas de calor, mas quando ficam superiores a 20 m/s, destroem as feições térmicas da superfície, inviabilizando a aplicação da técnica da MCC na estimativa de campos de vetores.

6. Conclusões

As composições dos tamanhos de janelas alvo e de procura estavam compatíveis com as feições térmicas localizadas nos campos de TSM derivados das imagens SEVIRI, mas os campos de vetores resultantes foram de baixa representatividade, provavelmente pela maior influência de outras forçantes, que não a advecção horizontal na disposição dos campos termais.

O intenso campo de vento aumentou as tensões superficiais e as águas de ressurgência possibilitaram, apesar de mais feições térmicas, gradientes de temperatura acentuados junto a frente térmica da CB, condições que prejudicam a aplicação do método da MCC.

Outro fator que pode ter prejudicado a metodologia foi a resolução das imagens SEVIRI, que dificulta a caracterização das feições térmicas no rastreamento. Em contraponto, estas imagens têm a vantagem da frequência na região, pelo satélite ser geoestacionário.

Já a aplicação do método da MCC sobre os campos de TSM sintéticos foi compatível com a advecção das feições teóricas, fato que pode estar relacionado a melhor resolução destes campos de TSM, a não influência das demais forçantes hidrodinâmicas e do transporte de calor ou a ausência de contaminação por nuvens.

Como sugestão, estes experimentos podem ser realizados sobre imagens sintéticas de TSM, com a inclusão de ruídos, para então inferir a respeito da influência destes na estimativa do campo de correntes.

Quanto aos experimentos com os campos de TSM, derivados das imagens SEVIRI, a frequência de dados deste radiômetro permite estimativas consecutivas de campos de corrente e a possibilidade da composição destes vetores, o que provavelmente, suavizaria com algumas das deficiências no campo de corrente, relacionadas às limitações da técnica e o sinal médio poderia reproduzir melhor o comportamento das feições de macro escala, como a CB.

7. Referências Bibliográficas

ASSAD, L.P.F., 2006, *Influência do Campo de Vento Anômalo Tipo ENSO na Dinâmica do Atlântico Sul*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CALADO, L., GANGOPADHYAY, A. SILVEIRA, I.C.A., 2006, "A parametric model for the Brazil Current meanders and eddies off southeastern Brazil.", ***Geophysical Research Letters***, v.33 (Jun), pp. 1-5.

CARVALHO, N. V., 1998. *Investigação sobre a Evolução do Clima de Ondas na Bacia de Campos e a Correlação com as Situações Meteorológicas Associadas*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DERRIEN, M. e LEGLEAU, H., 2005, "MSG/SEVIRI cloud mask and type from SAFNWC", ***International Journal of Remote Sensing***, v. 26, pp. 4707 - 4732

DOMINGUES, C.M., GONÇALVES, G.A., GHISOLFI, R.D., GARCIA, C.A.E., 2000, "Advection Surface Velocities Derived from Sequential Infrared Images in the Southwestern Atlantic Ocean", ***Remote Sensing of Environment***, v. 73, pp. 218-226.

EMERY, W.J., THOMAS, A.C., COLLINS, M.J., 1986, "An Objective Method for Computing Advection Surface velocities From Sequential Infrared Satellites Images", ***Journal of Geophysical Research***, v. 91 (Nov), pp.12,865-12,878.

EMERY,W.J., FOWLER, C., CLAYSON, C.A., 1991, "Satellite-Image-derived Gulf Stream Currents Compared with Numerical Model Results", ***Journal of Atmospheric and Oceanic Technology***, v. 9 (Set), pp. 286-304.

EUMETSAT, 2008. Disponível em:

[http://www.eumetsat.int/Home/Main/What We Do/Satellites/Orbits/SP_1119354856486?!=en](http://www.eumetsat.int/Home/Main/What_We_Do/Satellites/Orbits/SP_1119354856486?!=en). Acesso em 01 set. 2008.

FRAGOSO, M. R. 2004. *Um Modelo Numérico da Circulação Oceânica para as Bacias Leste e Sudeste do Brasil*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ,.

GAO, J., LYTHER, M.B., 1996, "The Maximum Cross-Correlation Approach to Detecting Translational Motions from Sequential Remote-Sensing Images.", ***Computers & Geosciences***, v.22, n. 5, pp. 525-534.

GARCIA, C.A.E., ROBINSON I.S., 1989, "Sea Surface Velocities in Shallow Seas Extracted From Sequential Coastal Zone Color Scanner Satellite Data.", v. 94, pp. 681-12.

GHISOLF, R.D., MONTEIRO, A., MOLLER, O.O.,1991, "Balanço de Calor para as Estações de Verão e Inverno: Estimativas e Processos Envolvidos. In: *Anais: IV Congresso Latinoamericano de Ciências Del Mar*, Coquimbo, pp. 125.

GHISOLFI, R. D., GARCIA, C.A.E.,1996, "Efeitos do processo difusivo na estimativa de correntes superficiais pelo método MCC.", In: *Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp. 761-768, Salvador, Abr.

GILL, A.E., 1982, ***Atmosphere-Ocean Dynamics***. *International Geophysics Series*, v.30. Califórnia, Academic Press, Inc..

HOLLAND, J.A., YAN, X., 1992, " Ocean Thermal Feature Recognition, Discrimination, and Tracking Using Infrared Satellite Imagery.", ***IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing***, v. 30, n. 5 (Set) , pp. 1046-1053.

KAMACHI, M., "Advective Surface Velocities Derived From Sequential Images for Rotational Flow Field: Limitations and Applications of Maximum Croos-Correlation Method with Rotational Registration", ***Journal of Geophysical Research***, v. 94 (Dez), pp. 18,227-18,233.

KELLY, K.A., 1988, "An inverse model for near-surface velocity from infrared images". ***Journal of Physical Oceanography***, v. 19, pp. 1845 - 1864.

KELLY, K.A., STRUB, P.T., 1992, "Comparison of Velocity Estimates From Advanced Very High Resolution Radiometer in the Coastal Transition Zone.", ***Journal of Physical Geophysical Research***, v. 97 (Jun), pp. 9653-9668.

KUO, N., YAN, X., 1994, "Using the Shape-Matching Method to Compute Sea-Surface Velocities from AVHRR Satellite Images", ***IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing***, v. 32, n. 3 (Mai), pp. 724-730.

MAGALHÃES, M.N., LIMA, A.C.P., 2002, ***Noções de Probabilidade e Estatística***. 5 ed. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo.

MANO, M.F., 2007, *Assimilação de Dados em Modelo Oceanográfico da Bacia Sudoeste do Atlântico para Reproduzir e Prever Circulação Superficial e Feições de Meso-Escala*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MATH WORK, 2008. Disponível em:

<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/loadCategory.do> Acesso em 01 set. 2008.

MULLEN, C., 2000, *Ocean Current*,. In: Visible, Infrared Imager, Radiometer Suíte, Algorithm Theoretical Basis Document, v. 3, Raytheon Systems Company, Lanham.

NOAA, 2008. Disponível em:

http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/gdp_doc.html. Acesso em 01 set. 2008.

OCEANWORLD, 2008. Disponível em:

http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/chapter05/chapter05_02.htm.

Acesso em 01 set. 2008.

ODA, T. O. 1997. *Influência da Ressurgência Costeira sobre a Circulação Local em Cabo Frio (RJ)*, Tese de M.Sc., INPE, São José dos Campos, SP, Brasil.

- OKUBO, A., 1974, "Oceanic Diffusion Diagrams", ***Deep-Sea Research***, v.18, pp.789-802.
- OLIVEIRA, 2003, *Estimativas de Correntes Oceânicas Superficiais pelo Método da Máxima Correlação Cruzada*. Tese M.Sc., INPE, São José dos Campos, SP, Brasil.
- OLIVEIRA, E.N., DOMINGUES, C.M., GHISOLFI, R.D., "Velocidades de Correntes com base em Imagens de Satélite". In: SOUZA, R.B., *Oceanografia por Satélites*, 1 ed, capítulo 4, São Paulo, BR, Oficina de Textos.
- PETERSON, R.G., STRAMMA, L., 1991, " Upper-Level circulation in the South Atlantic Ocean", ***Progress in Oceanography***. v. 26, pp. 1-73.
- Peres, L. F., 2004. *Land Surface Temperature and Emissivity Retrieval Using MSG/SEVIRI Data*. Tese de P.hD., FCUL , Lisboa, Portugal.
- POND, S., PICKARD, G.L., 1983, ***Introductory Dynamical Oceanography***. 2 ed. Oxford, Butterworth-Heinemann.
- POPE, P.A., EMERY, W.J., 1994, " Sea Surface velocities from Visible and Infrared Multispectral Atmospheric Mapping Sensor (MAMS) Imagery". ***IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing***, v. 32, pp. 220-223.
- RESNICK, R., HALLIDAY, D., 1966, ***Física – Parte I***. 1 ed. Rio de Janeiro, SEDEGRA.
- ROCHA, C.R.M., *Inclusão dos Processos Radiativos Associados às Massas de Água na Modelagem da Circulação Oceânica do Atlântico Sudoeste*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SARTORI, A.S.N., 2004, *Análise de Imagens Termais AVHRR utilizando Transformada de Fourier e Ondas para Determinação de Padrões em Vórtices e Meandros*. Tese de D.Sc., UFV, Viçosa, MG, Brasil.

SILVEIRA, I.C.A., SCHMIDT, A.C.K., CAMPOS, E.J., GODOI, S.S., IKEDA, Y., 2000, "A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira", **Revista Brasileira de Oceanografia**, v.48, n.2, pp. 171-183.

SILVEIRA, I.C.A., CALADO, L., CASTRO, B.M., CIRANO, M., LIMA, J.A.M., MASCARENHAS, A.D.S., 2004, "On the baroclinic structure of the Brazil Current-Intermediate Western Boundary Current system at 22°-23°S.", v. 31 (Jul).

SILVEIRA, I.C.A., 2006, *O Sistema Corrente do Brasil na Bacia de Campos, RJ*. Tese de Livre Docente, IO/USP, São Paulo, SP, Brasil.

SOBRINO, J.A., RAISSOUNI, N., 2000. "Toward Remote Sensing Methods for Land Cover Dynamic Monitoring. Application to Morocco", **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n.2, pp. 353–366.

STULL, R. B., 1999, **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. 2 ed. Kluwer Academic Publisher.

STRAMMA, L., 1989, "The Brazil Current Transport South of 23°S.", **Deep Sea Research**, v. 36, n. 4, pp. 639-646.

SVEJKOVSKY, J., 1988, "Sea Surface Flow Estimation From Advanced Very High Resolution Radiometer and Coastal Zone Color Scanner Satellite Imagery: A Verification Study", **Journal of Geophysical Research**, v. 93 (Jun), pp. 6735-6743.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R., 1991, **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, UFV.

WAHL, D.D., SIMPSON, J.J., 1990, "Physical Processes Affecting the Objective Determination of Near-Surface Velocity From Satellite Data", **Journal of Geophysical Research**, v. 95 (Ago), pp. 13,511-13,528.

WU, Q.X., PAIRMAN, D., McNEIL, S.J., BARNES, E.J., 1992, "Computing Advective Velocities from Satellite Images of Sea Surface Temperature", **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, n.1 (Jan), pp. 166 -176.

ZODIATIS, G., THEODOROU, A.J., DEMETROPOULOS, A., 1996, "Hydrography and circulation in the area south of Cyprus in late summer 1995 and in spring 1996", *Oceanologica Acta*, v. 21, n. 3, pp. 447- 458.

8. Anexos

Tabela 4: Resultados dos Testes de Emery, nas imagens de sensoriamento remoto

| Campo Termal | Grau de Liberdade | Janela alvo | Coefficiente de corte | t-Student | p (%) |
|---------------------|--------------------------|--------------------|------------------------------|------------------|--------------|
| TSM | 0,790 | 4 | 0,5 | 0,889 | 50-60 |
| | | | 0,6 | 1,333 | 40 |
| | | | 0,7 | 2,074 | 20-30 |
| | | | 0,8 | 3,556 | 15-20 |
| | 1,63 | 6 | 0,5 | 1,276 | 30-40 |
| | | | 0,6 | 1,913 | 20-30 |
| | | | 0,7 | 2,977 | 10-20 |
| | | | 0,8 | 5,103 | 5-10 |
| | 2,773 | 8 | 0,5 | 1,665 | 20 |
| | | | 0,6 | 2,498 | 10-20 |
| | | | 0,7 | 3,885 | 2-4 |
| | | | 0,8 | 6,661 | 0,1-1 |
| | 4,249 | 10 | 0,5 | 2,061 | 15 |
| | | | 0,6 | 3,092 | 4 |
| | | | 0,7 | 4,809 | 1 |
| | | | 0,8 | 8,245 | 0,15 |
| 5,573 | 12 | 0,5 | 2,361 | 5 | |
| | | 0,6 | 3,541 | 1,5 | |
| | | 0,7 | 5,508 | 0,15 | |
| | | 0,8 | 9,443 | <0,1 | |
| TSM _m | 1,582 | 6 | 0,5 | 1,257 | 50-40 |
| | | | 0,6 | 1,886 | 20-30 |
| | | | 0,7 | 2,934 | 10-20 |
| | | | 0,8 | 5,030 | 5-10 |
| | 2,672 | 8 | 0,5 | 1,634 | 20 |
| | | | 0,6 | 2,452 | 10 |
| | | | 0,7 | 3,814 | 4 |
| | | | 0,8 | 6,538 | 1-2 |
| | 4,079 | 10 | 0,5 | 2,019 | 15 |
| | | | 0,6 | 3,029 | 4 |
| | | | 0,7 | 4,712 | 1 |
| | | | 0,8 | 8,078 | 0,15 |
| IR9 | 0,768 | 6 | 0,5 | 0,876 | 50-60 |

| | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-----|--------|-------|-----|-------|----|
| | | | 0,6 | 1,3148 | 50-40 | | | |
| | | | 0,7 | 2,045 | 20-30 | | | |
| | | | 0,8 | 3,506 | 15-20 | | | |
| | 1,296 | 8 | 0,5 | 1,138 | 48 | | | |
| | | | 0,6 | 1,707 | 35 | | | |
| | | | 0,7 | 2,656 | 25 | | | |
| | | | | 0,8 | 4,553 | 15 | | |
| | | | | 1,931 | 10 | 0,5 | 1,389 | 30 |
| | | | | | | 0,6 | 2,084 | 20 |
| | 0,7 | 3,242 | 7 | | | | | |
| | 0,8 | 5,558 | 3 | | | | | |

Tabela 5: Resultados dos Testes de Emery, nos campos de temperatura resultantes da modelagem numérica

| Resolução do Campo Termal | Grau de Liberdade | Janela alvo | Coefficiente de corte | t-Student | p (%) |
|---------------------------|-------------------|-------------|-----------------------|-----------|-------|
| MOD 3Km | 0,656 | 4 | 0,5 | 0,810 | 60 |
| | | | 0,6 | 1,215 | 50 |
| | | | 0,7 | 1,890 | 40 |
| | | | 0,8 | 3,241 | 25 |
| | 1,286 | 6 | 0,5 | 1,134 | 45 |
| | | | 0,6 | 1,701 | 35 |
| | | | 0,7 | 2,646 | 25 |
| | | | 0,8 | 4,536 | 15 |
| | 2,163 | 8 | 0,5 | 1,471 | 30 |
| | | | 0,6 | 2,206 | 18 |
| | | | 0,7 | 3,432 | 8 |
| | | | 0,8 | 5,883 | 3 |
| | 3,173 | 10 | 0,5 | 1,781 | 15 |
| | | | 0,6 | 2,672 | 8 |
| | | | 0,7 | 4,156 | 3 |
| | | | 0,8 | 7,125 | 0,8 |
| | 5,895 | 14 | 0,5 | 2,428 | 5 |
| | | | 0,6 | 3,642 | 1,5 |
| | | | 0,7 | 5,665 | 0,15 |
| | | | 0,8 | 9,712 | < 0,1 |
| 7,568 | 16 | 0,5 | 2,751 | 4 | |
| | | 0,6 | 4,126 | 0,8 | |
| | | 0,7 | 6,419 | < 0,1 | |

| | | | | | | |
|-------|---------|-------|-----|-------|-------|----|
| | 9,450 | 18 | 0,8 | 0,110 | > 90 | |
| | | | 0,5 | 3,074 | 1,5 | |
| | | | 0,6 | 4,611 | 0,15 | |
| | | | 0,7 | 7,173 | < 0,1 | |
| | | | 0,8 | 0,123 | > 90 | |
| | 0,115 | 20 | 0,5 | 3,397 | 18 | |
| | | | 0,6 | 5,095 | 15 | |
| | | | 0,7 | 7,926 | 8 | |
| | | | 0,8 | 0,136 | > 90 | |
| | MOD 1Km | 2,329 | 4 | 0,5 | 1,526 | 25 |
| | | | | 0,6 | 2,289 | 18 |
| | | | | 0,7 | 3,561 | 8 |
| 0,8 | | | | 6,104 | 2,5 | |
| 4,012 | | 6 | 0,5 | 2,003 | 10 | |
| | | | 0,6 | 3,004 | 4 | |
| | | | 0,7 | 4,674 | 1 | |
| | | | 0,8 | 8,012 | 0,1 | |
| 6,632 | | 8 | 0,5 | 2,575 | 4,5 | |
| | | | 0,6 | 3,863 | 1 | |
| | | | 0,7 | 6,009 | <0,1 | |
| | | | 0,8 | 0,103 | >90 | |
| 0,367 | | 20 | 0,5 | 6,062 | 8 | |
| | | | 0,6 | 9,094 | 7 | |
| | | | 0,7 | 0,141 | >90 | |
| | | | 0,8 | 0,242 | >90 | |

Tabela 6: Experimentos com os campos termal derivados das medições do SEVIRI.

| Intervalo (hr) | Distância Máx. (Km) | Campo Termal | Janela de Procura (Km) | Janela Alvo (Km) |
|-------------------|---------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------|
| 09 | 32,4 | TSM | 72 x 72 | 24 x 24 |
| | | | | 36 x 36 |
| | | | 96 x 96 | 24 x 24 |
| | | | | 36 x 36 |
| | | | 120 x 120 | 24 x 24 |
| | | | | 36 x 36 |
| 12 | 43,2 | TSM | 120 x 120 | 48 x 48 |
| | | | | 24 x 24 |
| | | | | 36 x 36 |

| | | | | |
|-----------|-----------|------------------|-----------|---------|
| | | | | 48 x 48 |
| | | | 144 x 144 | 36 x 36 |
| | | | | 48 x 48 |
| | | | 168 x 168 | 36 x 36 |
| | | | | 48 x 48 |
| | | | 192 x 192 | 36 x 36 |
| | | | | 48 x 48 |
| 18 | 64,8 | TSM | 120 x 120 | 24 x 24 |
| | | | | 36 x 36 |
| | | | | 48 x 48 |
| | | | 144 x 144 | 24 x 24 |
| | | | | 36 x 36 |
| | | | | 48 x 48 |
| | | | 168 x 168 | 24 x 24 |
| | | | | 36 x 36 |
| | | | | 48 x 48 |
| | | | 192 x 192 | 36 x 36 |
| 48 x 48 | | | | |
| 216 x 216 | 36 x 36 | | | |
| | 60 x 60 | | | |
| | 72 x 72 | | | |
| 24 | 86,4 | TSM | 168 x 168 | 36 x 36 |
| | | | | 48 x 48 |
| | | | 192 x 192 | 36 x 36 |
| | | | | 48 x 48 |
| | | | | 60 x 60 |
| | | | 216 x 216 | 24 x 24 |
| | | | | 36 x 36 |
| | | 48 x 48 | | |
| | | 60 x 60 | | |
| | | TSM _m | 192 x 192 | 36 x 36 |
| | | | | 48 x 48 |
| | | | | 60 x 60 |
| | | | 216 x 216 | 36 x 36 |
| | | 48 x 48 | | |
| 60 x 60 | | | | |
| IR | 192 x 192 | 36 x 36 | | |
| | | 48 x 48 | | |
| | | 60 x 60 | | |
| | 216 x 216 | 36 x 36 | | |

| | | | | |
|--|--|--|--|---------|
| | | | | 48 x 48 |
| | | | | 60 x 60 |

Tabela 7: Experimentos com os campos de TSM sintéticos.

| Intervalo (hr) | Acurácia (cm/s) | Distância Máx. (Km) | Janela de Procura (Km) | Janela Alvo (Km) |
|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|--|---|
| 5 | 5,5 | 7 | 20 x 20 | 4 x 4 |
| | | | | 6 x 6 |
| | | | | 8 x 8 |
| | | | 160 x 160 | 20 x 20 |
| Intervalo (hr) | Acurácia (cm/s) | Distância Máx. (Km) | Janela de Procura (*Km) | Janela Alvo (n° de elementos*3 Km) |
| 19 | 4,38 | 27 | 108 x 108 | 12 x 12 |
| | | | | 18 x 18 |
| | | | | 24 x 24 |
| | | | | 30 x 30 |
| | | | | 48 x 48 |
| | | | 156 x 156 | 30 x 30 |
| | | | | 42 x 42 |
| | | | | 54 x 54 |
| | | | | 60 x 60 |
| | | | 216 x 216 | 30 x 30 |
| | | | | 42 x 42 |
| | | | | 60 x 60 |
| | | | 336 x 336 | 30 x 30 |
| | | | | 54 x 54 |

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)