

ANGELO SARTORI NETO

**ANÁLISE DE IMAGENS TERMAIS AVHRR UTILIZANDO
TRANSFORMADA DE FOURIER E ONDALETAS PARA
DETERMINAÇÃO DE PADRÕES EM VÓRTICES E MEANDROS**

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
Exigências do Programa de Pós-graduação
em Ciência Florestal, para Obtenção do
Título de “*Doctor Scientiae*”.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2004**

ANGELO SARTORI NETO

**ANÁLISE DE IMAGENS TERMAIS AVHRR UTILIZANDO
TRANSFORMADA DE FOURIER E ONDALETAS PARA
DETERMINAÇÃO DE PADRÕES EM VÓRTICES E MEANDROS**

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
Exigências do Programa de Pós-graduação
em Ciência Florestal, para Obtenção do
Título de “*Doctor Scientiae*”.

APROVADA: 30 de julho de 2004

Prof. James Jackson Griffith
(Conselheiro)

Prof. Carlos Antonio A. S. Ribeiro
(Conselheiro)

Prof. Mara Regina L. Fragoso Silva

Pesq. José Antônio Moreira Lima

Prof. Vicente Paulo Soares
(Orientador)

TURBULÊNCIA

O vento experimenta

O que irá fazer

Com sua liberdade ...

(Poema de João Guimarães Rosa, do livro *Magma*)

“Viu na água, enquanto remava, a fosforescência das algas do *Gulf* naquele ponto do oceano que os pescadores chamavam o *grande poço*, pois havia ali uma súbita profundidade de mil e trezentos metros onde se juntavam peixes de todas as espécies por causa do redemoinho que a corrente fazia contra as altas paredes do fundo do oceano”.

(trecho retirado do romance **O velho e o Mar**,
de Ernest Hemingway)

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do treinamento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), pela bolsa de estudos concedida.

À Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS/CENPES pela oportunidade de desenvolvimento de pesquisa que possibilitou a finalização do doutorado.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e aos professores João Antônio Lorenzetti e Ilson Silveira, pela cessão de um conjunto de imagens usado neste trabalho.

À empresa OceansatPeg pelo fornecimento de imagens de temperatura da superfície do mar (TSM) utilizadas na elaboração desse estudo.

Ao Professor Vicente, pela orientação, confiança e pelo apoio. Faço um agradecimento especial e pelo qual cultivo uma admiração pela maneira serena e lúcida com que conduziu o trabalho.

Ao Prof. Griffith, pelo apoio e sugestões sempre pertinentes.

Ao Prof. Carlos Antônio, pela confiança e que sempre tem um ponto de vista bem peculiar do assunto, contribuindo com novas idéias e questionamentos.

À profa. Mara Regina pelo entusiasmo com que aceitou participar da banca e pelo interesse em contribuir com a discussão das idéias aqui levantadas.

Aos colegas da UFV pela convivência durante o período em que morei em Viçosa: Lourenço, Manuel, Alba, Márcia, Wellington, Aderbal, Walter e Thomaz.

Para a Marina e Zilda, um agradecimento de irmão para irmãs. Vocês foram grandes amigas e tenho muito que agradecer. Passamos juntos por momentos difíceis, mas também por muitos momentos de boas risadas.

Ao grupo de oceanografia do CENPES, que faço questão de dirigir-me a cada um deles: Eric, Guerra, Renato, Marcelo, Gerônimo, Leonardo, Wellington, Eduardo, Kelly, Luiz Cláudio, Alvaro e Anderson. Muito obrigado por tudo, a convivência com todos vocês foi um grande apoio e serviu de incentivo para seguir em frente.

Ao José Antônio, um agradecimento muito especial, pela imensa ajuda no decorrer desse trabalho. A elaboração dessa tese foi um aprendizado enorme, de conceitos e idéias antes desconhecidas. E a sua ajuda e companheirismo foram fundamentais.

Ao Luis Manoel pelas boas discussões que tivemos acerca do assunto e pelo entusiasmo com que às vezes procurávamos entender os conceitos envolvidos no tema da tese. As palavras de incentivo foram importantes para fortalecer a crença em nosso trabalho.

Um agradecimento repleto de carinho e admiração para a minha família. Agradeço a confiança e o apoio constante de minha mãe, e pelo exemplo de força diante das adversidades da vida. À Camilla, minha irmã, pelo constante apoio e ajuda. A Eleonora, nossa querida Nenô, sua memória sempre será uma lembrança de amor à vida, de força, de nunca desistir, resistir até o último momento, com muita dignidade. Aos tios, tias, primos e primas pela convivência tão essencial e feliz que nós conseguimos construir. A Dinda pelo carinho e preocupação que sempre tem com todos. Ao Henrique, pela convivência alegre e, nesta reta final, pelos pratos e tira-gostos enquanto terminava as últimas linhas do texto.

Um agradecimento muito especial para Luiza, filha linda e querida, que sem dúvida é a maior força que me move e que inspira. Filha, muito obrigado por tudo.

À Tininha, com quem começo um novo caminho e jornada, feliz ao seu lado, agradeço o carinho, o amor e apoio. Pelas constantes palavras de incentivo e pela parceria sincera. Ao Erico, grande parceiro e amigo, muito obrigado pelo incentivo.

À Ritinha e Frederico, da Secretaria de Pós-graduação da Ciência Florestal, pela ajuda e auxílios com os exigências formais do curso e também pela amizade.

A todos que ajudaram e contribuíram para execução desse trabalho, muito obrigado.

BIOGRAFIA

Angelo Sartori Neto, filho de Angelo Sartori Filho (“in memoriam”) e Maria do Carmo Augusto, nasceu em 29 de abril de 1968 em Ubá (MG), Minas Gerais. Graduiu-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa em janeiro de 1993. Em maio do mesmo ano foi contratado pela Fundação Pró-Natureza, organização não-governamental ambientalista, para integrar a equipe do Programa Grande Sertão Veredas, no Parque Nacional Grande Sertão Veredas. Permaneceu na FUNATURA até agosto de 1996, quando se desligou para dar início ao mestrado em Ciência Florestal em outubro do mesmo ano, concluindo-o em agosto de 1999. Iniciou doutorado, na Universidade Federal de Viçosa em setembro de 1999. Em fevereiro de 2001, iniciou suas atividades no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopold A. Miguez de Mello (CENPES), da PETROBRAS, no Rio de Janeiro, como engenheiro de meio ambiente. O doutorado é concluído em julho de 2004.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO.....	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Imagens de temperatura da superfície do mar e sensores	
AVHRR	4
3.1.1. Estrutura térmica do oceano.....	8
3.1.2. Caracterização dos sensores AVHRR.....	10
3.1.3. Principais algoritmos utilizados para geração de imagens	
TSM	15
3.1.4 Exemplos de aplicação de imagens TSM	18
3.2. Circulação oceânica na costa sudeste brasileira.....	21
3.2.1. Principais massas d'água	22
3.2.2. Corrente do Brasil.....	23
3.3. Técnicas de análise de sinais... ..	28
3.3.1. Análise de Fourier e a Transformada Rápida de Fourier -	
FFT	31
3.3.2. Análise de ondaletas.....	36

4. MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1. Área de estudo	39
4.2. Material	39
4.3. Sistemas computacionais.....	40
4.4. Metodologia	41
4.4.1. Processamento das imagens NOAA/AVHRR	41
4.4.2. Digitalização da frente térmica da Corrente do Brasil.....	41
4.4.3. Preparação dos arquivos para análise de Fourier e de ondaletas	43
4.4.4. Parâmetros da análise de Fourier	45
4.4.5. Parâmetros para aplicação de ondaletas	47
4.4.6. Rotinas desenvolvidas em Matlab	48
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1. Digitalização das frentes térmicas sobre as imagens de TSM....	50
5.2. Análise de Fourier com algoritmo da Transformada Rápida de Fourier.....	59
5.3. Análise de ondaletas	70
6.RESUMO E CONCLUSÕES	78
7. RECOMENDAÇÕES	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
APÊNDICE	83

RESUMO

SARTORI NETO, Angelo, D.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2004.
Análise de imagens termais AVHRR utilizando transformada de Fourier e ondaletas para determinação de padrões em vórtices e meandros.
Orientador: Vicente Paulo Soares. Professores conselheiros: Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro e James Jackson Griffith.

O estudo de séries temporais de dados ambientais, em determinadas situações, requer o uso de técnicas para identificação de padrões ou periodicidades que porventura possam ocorrer. As técnicas de processamento de sinais são ferramentas muito utilizadas na análise de variáveis ambientais, tais como precipitação, temperatura, entre outras. O trabalho em questão objetiva avaliar a adaptação da Transformada de Fourier para análise de sinal no domínio do espaço. Utilizando imagens de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), obtidas por meio dos sensores AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), frentes térmicas, na borda Oeste da Corrente do Brasil (CB), foram digitalizadas. Em seguida, as distâncias entre os pontos da frente da CB e as isóbatas de 200 m e 1000 m foram calculadas. A Corrente do Brasil é uma corrente de contorno Oeste, que surge da bifurcação da Corrente Sul Equatorial, em nível superficial, nas proximidades de 10° S, fluindo em seguida para o Sul. Nas proximidades do Cabo de São Tomé e Cabo Frio observam-se intensas

feições de mesoescalas, representadas pelos meandros e vórtices. A aplicação da FFT (*Fast Fourier Transform*) objetivou identificar, quantitativamente, os espectros de amplitudes significativos de meandramento da CB. Assim, procura-se fornecer subsídios para entendimento dos fenômenos físicos responsáveis pelo aparecimento dessas feições. Os resultados revelaram que a aplicação da FFT mostrou-se consistente para a identificação dos espectros de amplitude da frente da CB. No entanto, avaliou-se que, para feições de baixa frequência a FFT, nesse caso, mostrou-se limitada, em função da resolução espectral insuficiente para números de onda (K) muito pequenos. Realizaram-se testes com análise de ondaletas para avaliar seu potencial na identificação dos comprimentos de onda de interesse. Outro aspecto, relaciona-se com o emprego de técnicas de remoção de nuvens, para aumentar o índice de aproveitamento das imagens.

ABSTRACT

SARTORI NETO, Angelo, D.S., Universidade Federal de Viçosa, July 2004.
AVHRR thermal Image Analysis using Fourier transform and wavelets for the determination of patterns in eddies and meanders. Advisor: Vicente Paulo Soares. Committee Members: Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro and James Jackson Griffith.

In certain circumstances, the temporal series study of environmental data requires the use of techniques for the identification of potential patterns or periodicities. The signal processing techniques are much used tools in the analysis of environmental variables such as precipitation and temperature, among others. The present work aims to assess the adjustment of the Fourier Transform to analyze the dominance of space. Using the images from the Sea Surface Temperature (SST), attained by means of AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) sensors, thermal fronts at the western border of the Brazilian Current (BC) were digitalized. Afterward, the distances between the points along the BC and along the 200 m depth were calculated. The BC is an western current that arises from the bifurcation of the South Equatorial Current, at a superficial level, around 10° S, which then flows southward. In the proximities of São Tomé cape and Cabo Frio, one can observe intense mesoscale features represented by meanders and eddies. The FFT (*Fast Fourier Transform*)

was applied to quantitatively identify the spectral signal of significant BC meandering amplitudes. Thus, information was sought for the understanding of the physical phenomena responsible for the appearance of such features. The FFT application proved to be consistent for the identification of the amplitude specters of the BC front. Nevertheless, it was assessed that, for particular cases of low frequency features, the FFT was noticeably limited, given that the spectral resolution which was insufficient for small (K) wave numbers. Wavelet analysis tests were carried out to evaluate their potential to identify wavelengths of interest. Another aspect concerns the employment of cloud removal techniques to increase the image improvement index.

1. INTRODUÇÃO

O estudo e a tentativa de planejamento da ocupação do ambiente pelo homem têm sido um dos principais focos de preocupação para a implementação de políticas e regras que possam discipliná-la. Assim, a análise de variáveis ambientais é uma peça fundamental no planejamento ambiental, e em diversas áreas correlatas, auxiliando, por exemplo, em estudos de impacto ambiental. A complexidade dessas variáveis, em termos estruturais e quantitativos, requer o desenvolvimento e o emprego de técnicas que possam auxiliar na execução desses estudos.

As técnicas de análise de séries temporais vêm sendo utilizadas com o intuito de determinação de padrões nas variáveis ambientais, na investigação de possíveis fenômenos periódicos e em estudos de eventos de escala globais como o efeito estufa, El Niño e La Niña. Atualmente dispõe-se de uma gama variada de fonte de dados, provenientes de medições *in situ*, ou obtidas por sensoriamento remoto. Nos últimos 40 anos, o emprego de satélites orbitais tem fornecido uma quantidade enorme de dados da superfície terrestre, reforçando a necessidade de se utilizar técnicas eficientes e rápidas no processamento desse volume enorme de dados. Paralelamente, o desenvolvimento vertiginoso da computação e a evolução de *softwares* e *hardwares* abriu novos horizontes na área de análise de séries temporais e de sinais.

O uso de imagens orbitais na oceanografia teve um impacto muito grande e possibilitou um novo olhar sobre o oceano, ampliando as escalas de

investigação dos processos físicos relacionados a este ambiente. As imagens de temperatura da superfície do mar (TSM) revelaram feições e estruturas de diferentes escalas, como frentes termais, vórtices e meandros, que por sua vez constituem a manifestação de fenômenos físicos importantes do oceano.

Neste trabalho, imagens de TSM foram usadas para identificação de anomalias de mesoescala que ocorrem ao longo da Corrente do Brasil, costa sudeste brasileira. Técnicas de análise de sinais foram empregadas para auxiliar na análise dessas feições. Os resultados podem servir de subsídio para outros estudos, como por exemplo, na assimilação de dados ambientais em modelos numéricos de previsão da circulação oceânica. Por sua vez, esses modelos podem ser utilizados na modelagem matemática da dispersão de efluentes, simulação de vazamentos hipotéticos de óleo no mar, entre outros.

2. OBJETIVOS

O presente estudo tem como principais objetivos:

- estimar as dimensões espaciais dos meandros da Corrente do Brasil (CB), a partir da sua frente térmica discretizada sobre as imagens de temperatura da superfície do mar (TSM);
- adaptar e utilizar o algoritmo FFT (*Fast Fourier Transform*) e ondaletas para análise espectral, no domínio do espaço, das frentes térmicas discretizadas, estimando os comprimentos de ondas associados aos meandros da CB.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Uma revisão, acerca dos princípios teóricos e trabalhos relacionados ao tema, será apresentada procurando ressaltar fatores relevantes sobre estimativa de TSM utilizando imagens orbitais geradas pelo sensor *National Oceanic and Atmospheric Administration/Advanced Very High Radiometer* - NOAA/AVHRR, a Corrente do Brasil, Transformada de Fourier e Ondaletas.

3.1. Imagens de temperatura da superfície do mar e sensores AVHRR

A escolha do espectro da radiação eletromagnética (REM) de um sensor é feita com base, principalmente, na transmitância atmosférica das faixas do espectro da REM e na aplicação pretendida para as imagens fornecidas pelo sensor. As imagens de temperatura da superfície do mar são obtidas utilizando-se sensores que operam na faixa do infravermelho, que se situa entre os comprimentos de onda 0,7 μm e 300 μm , aproximadamente. Ressalta-se que a atmosfera é completamente opaca para comprimentos de onda entre 30 μm e 0,1 cm, devido à absorção dessa radiação pelo vapor d'água (KIDDER e HAAR, 1995). Na Figura 1, podem-se observar os valores de transmitância para os diferentes comprimentos de onda, com especial atenção para os valores próximos de 1 μm e 10 μm . Nas faixas do espectro relacionadas aos altos valores de transmitância, ou seja, em que a absorção da REM refletida ou emitida é

pequena, são escolhidas as principais bandas dos sensores das plataformas orbitais. Essas faixas são denominadas de “janelas atmosféricas”.

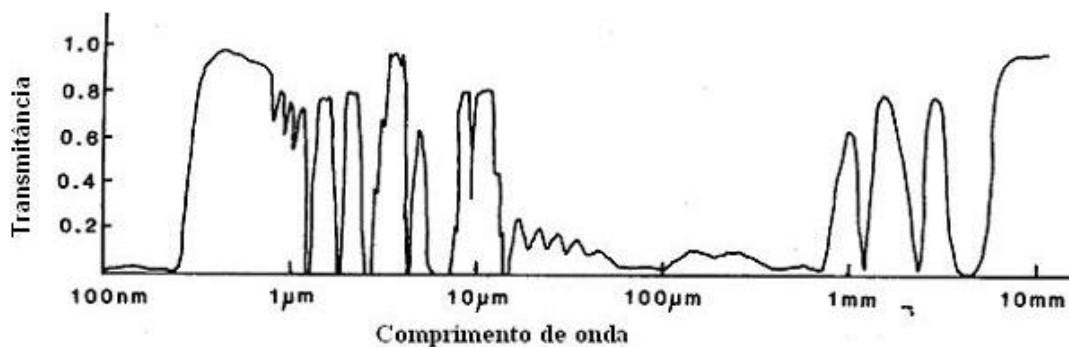


Figura 1 – Valores de transmitância através da atmosfera para diferentes comprimentos de onda.
(Fonte: ROBINSON, 1997).

Imagens da temperatura da superfície do mar (TSM) são obtidas por meio de radiômetros com bandas no espectro do infravermelho (IV), baseando-se na Lei de Radiação de Planck. Na Figura 2, tem-se a representação das curvas dos espectros da radiação emitida por um corpo negro, em diferentes temperaturas. A curva referente à temperatura de 6000 K corresponde ao Sol e, a de 300 K ao Globo Terrestre (ROBINSON, 1997). Dessa forma, o pico de irradiação, para o Sol, situa-se na faixa do visível, enquanto que para a superfície terrestre situa-se na faixa do infravermelho termal (10 μm). As imagens de TSM são obtidas medindo-se a radiação emitida na banda do infravermelho (10 μm - 12 μm) pela superfície dos oceanos como um indicador da temperatura.

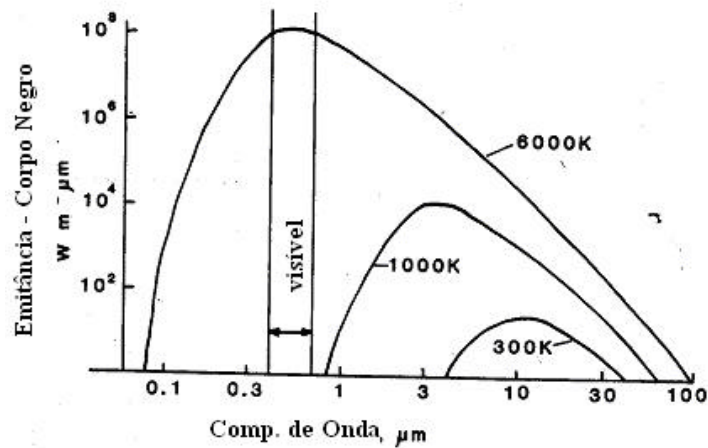


Figura 2 – Espectros de emitância de radiação eletromagnética em diferentes temperaturas. (Fonte: ROBINSON, 1997).

As características espectrais da emissão de calor por um corpo, a uma determinada temperatura T , em graus Kelvin, podem ser determinadas pela equação da Lei de Planck para a radiação (ROBINSON, 1997):

$$M_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]} \quad , \quad (1) \quad \text{em que}$$

M_{λ} é a emitância, ou seja, representa a medida da densidade do fluxo radiante, por unidade da banda do espectro para um determinado comprimento de onda (λ), a partir de uma área da superfície do corpo emissor. Na equação 1, C_1 e C_2 são constantes, com os respectivos valores:

- $C_1 = 3,74 \times 10^{-16} \text{ W m}^2$
- $C_2 = 1,44 \times 10^{-2} \text{ m K}$.

A equação 1 baseia-se em princípios termodinâmicos ideais, os quais são aplicados a emissor perfeito, denominado de corpo negro. A emissão de uma superfície real é descrita pela sua emissividade (ϵ):

$$\epsilon(\lambda) = \frac{M_l(\text{superfície real na temperatura } T)}{M_l(\text{emissor perfeito na temperatura } T)} \quad (2)$$

De acordo com a equação 1 e Figura 2, denota-se que mesmo em torno do comprimento de onda referente ao pico de emissão para a superfície do mar, a radiação solar direta é mais significativa do que a emissão da superfície terrestre. Nas imagens obtidas durante a passagem no período noturno do satélite, esse problema deixa de existir, pelo fato óbvio da não incidência de raios solares sobre aquela área escanerizada pelo sensor. Nos comprimentos de onda em torno de 10 μm – 12 μm , para ângulos zenitais pequenos, a emissão termal da superfície do mar é mais expressiva do que as radiações refletidas, possibilitando o uso de canais dessa faixa para obtenção de TSM durante o dia. No entanto, para canais situados em comprimentos de onda em torno de 3 μm , a emissão da superfície é fortemente contaminada pela REM refletida, fazendo com que canais dessa faixa sejam poucos utilizados para estudo de TSM e restringindo-os nas aquisições noturnas de imagens (ROBINSON, 1997).

No espectro do infravermelho termal, a REM interage com os diferentes constituintes da atmosfera, podendo ocorrer absorção atmosférica por vapor d'água, espalhamento por aerossóis, ou ainda a nova emissão da radiação absorvida na atmosfera. Esses aspectos serão discutidos após o detalhamento do sensor AVHRR e seus canais, facilitando a compreensão desses efeitos em cada um deles, bem como os resultados das temperaturas obtidas por meio dos diferentes algoritmos.

3.1.1. Estrutura térmica do oceano

Para melhor compreensão do que representa os resultados obtidos de temperatura da superfície do mar, por meio de satélites orbitais, é necessário explicitar os fenômenos envolvidos na formação da estrutura vertical da termoclina do oceano. A radiação mensurada pelo sensor, e que provém da emissão da superfície do mar, representa a energia emitida pelas camadas de moléculas de água muito próximas à superfície. E é justamente a temperatura dessa película que caracteriza o comprimento de onda da radiação emitida e, por conseguinte, a temperatura de brilho calculada para a imagem. A espessura dessa película que está contribuindo para a geração dos valores de TSM varia de acordo com o comprimento de onda, mas para os valores dos canais do sensor AVHRR utilizados (3 μm e 12 μm) ela representa cerca de 0,1 mm (ROBINSON, 1997).

A temperatura da superfície do mar mensurada por sensores à bordo de satélites é, em função do exposto anteriormente, chamada de temperatura pelicular, e sua utilidade para a oceanografia está relacionada com a capacidade de interpretá-la, procurando inferir sobre os valores de temperatura dos primeiros metros abaixo da superfície.

Na Figura 3, observa-se um perfil típico de temperaturas para os 1.500 metros iniciais dos oceanos. Em geral, a temperatura decresce monotonicamente com a profundidade. No entanto, esse perfil varia com a latitude e, para latitudes médias ocorrem variações sazonais.

Há também o desenvolvimento de termoclina diurna, em que o processo de formação é semelhante ao desenvolvimento de uma termoclina sazonal. O aquecimento da camada superior aumenta à medida que o dia avança e, devido à diminuição do efeito da radiação solar nas camadas inferiores, a temperatura na superfície aumenta bem mais, criando um forte gradiente de temperatura no primeiro metro de coluna d'água

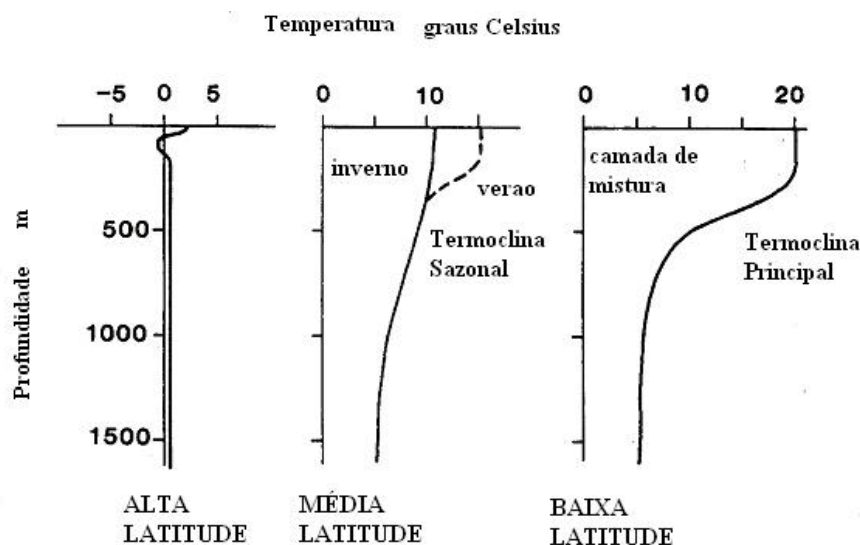


Figura 3 – Seção vertical de temperatura para o oceano em latitudes diferentes.
(Fonte: adaptado de ROBINSON, 1997)

No entanto, sob a ação de vento na superfície do mar, essa termoclina poderá ser destruída, diminuindo fortemente o gradiente e originando uma camada de mistura ao longo dos primeiros metros. Destaca-se que, em dias calmos, a temperatura da superfície pode apresentar um aquecimento de mais de 1°C em relação à camada de mistura adjacente.

Durante a noite, o processo de destruição da termoclina ocorre em função da perda de calor das camadas superiores para a atmosfera, em função da ausência da radiação solar. Com o resfriamento das camadas superiores, aumenta a densidade da água nessas faixas, ocorrendo o afundamento destas e causando uma mistura gravitacional, destruindo a termoclina rapidamente. Na Figura 4 estão representados, esquematicamente, os processos de formação da termoclina diurna ou, então, aqueles que causam a sua atenuação.

Desta forma, as imagens de TSM obtidas durante a passagem noturna do satélite, sobre uma determinada área, podem ser mais interessantes uma vez que estão eliminados a interferência da radiação solar e o processo de formação da termoclina diurna.

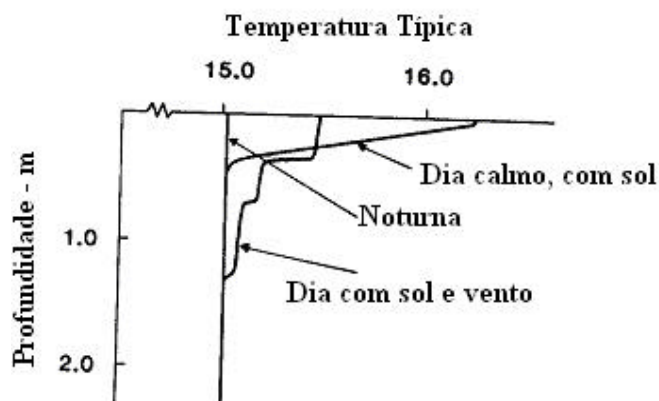


Figura 4 - Perfil de temperatura das camadas superiores do oceano.

(Fonte: ROBINSON, 1997)

3.1.2. Caracterização dos sensores AVHRR

Os sensores AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) são utilizados fundamentalmente nos estudos de determinação de cobertura de nuvens, da temperatura da superfície terrestre e monitoramento da cobertura vegetal de extensas áreas. O primeiro sensor foi lançado em 1978, a bordo do satélite TIROS (Television and Infrared Observational Satellite), e era denominado de VHRR, possuindo 4 canais espectrais (NATIONAL ...-NOAA, 2002), distribuídos conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Faixas espectrais dos canais do sensor AVHRR/1

CANAL	INTERVALO	
	ESPECTRAL μm	DETECÇÃO
1	0,55 – 0,68	Visível
2	0,72 – 1,10	Infravermelho próximo
3	3,55 – 3,93	Infravermelho termal
4	10,55 – 11,5	Infravermelho termal

Fonte: BERNSTEIN, 1982.

Posteriormente, desenvolveu-se um novo sensor, denominado AVHRR/2, passando de 4 para 5 canais espectrais. As faixas dos canais do AVHRR/2 estão detalhadas no Tabela 2, observando-se que o novo canal situa-se no infravermelho termal, entre os comprimentos de onda 11,5 μm e 12,5 μm .

Tabela 2 – Faixas espectrais dos canais do sensor AVHRR/2

CANAL	INTERVALO	
	ESPECTRAL μm	DETECÇÃO
1	0,55 – 0,68	Visível
2	0,75 – 1,10	Infravermelho próximo
3	3,55 – 3,93	Infravermelho termal
4	10,3 – 11,3	Infravermelho termal
5	11,5 – 12,5	Infravermelho termal

Fonte: KIDDER e HAAR, 1995, p. 91.

O AVHRR/2 foi lançado, inicialmente, a bordo do satélite NOAA – 7 em junho de 1981, e também nos satélites da série NOAA até o de número 14, que foi colocado em órbita em dezembro de 1994 (NATIONAL ... – NOAA, 2002).

A partir do satélite NOAA – 15, lançado em maio de 1998, passa a ser utilizado o novo radiômetro AVHRR/3, com seis canais espectrais, divididos da seguinte forma: três canais abrangendo o espectro de visível e do infravermelho próximo e outros três canais na faixa do infravermelho termal (NATIONAL ... – NOAA, 2002b). A Tabela 3 fornece uma descrição desses canais, suas faixas espectrais e o uso potencial das imagens geradas em cada uma das bandas do sensor.

Tabela 3 – Faixas espectrais dos canais do sensor AVHRR/3

CANAL	INTERVALO	USO POTENCIAL
	ESPECTRAL μm	
1	0,58 – 0,68	Identificação de nuvens (dia)
2	0,725 – 1,00	Separação de água e feições terrestres
3 A	1,58 – 1,64	Detecção de neve e gelo
3 B	3,55 – 3,93	Identificação de nuvens (noite), TSM*
4	10,3 – 11,3	Identificação de nuvens (noite), TSM
5	11,5 – 2,5	TSM

Fonte: NOAA, 2002.

* Temperatura da Superfície do Mar

Apesar do radiômetro AVHRR/3 possuir seis canais, a transmissão simultânea para as bases receptoras só pode ser feita para cinco canais, em um dado momento. Isto é, os canais 3A e 3B não operaram simultaneamente. A resolução radiométrica do sensor é 10 bits, o que possibilita a representação de 1024 valores para a radiação medida por ele. A resolução espacial, no nadir, é de 1,1 Km. Os satélites possuem órbitas polares, sincrônicas com o Sol, com altitudes de 833 Km ou 870 km, os quais cruzam a linha do Equador, respectivamente, nas seguintes horas locais: 07:30 AM e 01:40 PM (NATIONAL ... – NOAA, 2002). Operando com dois satélites é possível o fornecimento de imagens, para uma determinada região da superfície terrestre, com uma resolução temporal de 6 horas. Ou seja, quatro imagens, do mesmo local, em 24 horas.

Atualmente, a NOAA está operando cinco satélites orbitais com sensores AVHRR a bordo: o NOAA – 14 (AVHRR/2), NOAA – 15 e 16

(classificados como operacionais) e o recém lançado NOAA – 17 em junho de 2002. Esse último satélite encontra-se na fase de testes e ajustes finais. O sensor a bordo nos três últimos satélites citados é o AVHRR/3.

Na faixa do espectro infravermelho termal ($3\ \mu\text{m}$ e $14\ \mu\text{m}$), a atmosfera interage com a radiação incidente por meio dos seguintes processos: absorção atmosférica e reemissão da radiação eletromagnética em um novo comprimento de onda. Os efeitos de espalhamento, por moléculas de determinadas substâncias presentes na atmosfera ou por aerossóis, não são significativos nessa faixa do espectro, como ocorre na faixa do visível. Os principais responsáveis pela absorção, presentes na atmosfera, são: o vapor d'água, o ozônio e o gás carbônico. Desses elementos, somente o gás carbônico possui uma distribuição mais uniforme na atmosfera. Por outro lado, o vapor d'água tem uma variação espacial muito grande e, geralmente, tem uma concentração maior em regiões com presença de ar mais aquecido, fazendo com que a quantidade de vapor d'água varie de acordo com a latitude e sazonalmente. Ou seja, nas regiões tropicais o efeito do vapor d'água passa a ser bastante significativo.

Devido aos problemas de atenuação atmosférica, explicados anteriormente, é necessário efetuar uma correção de tal modo que a temperatura de brilho aparente, detectada pelo sensor, seja convertida corretamente em temperatura da superfície terrestre. McLain (1981), citado por BERNSTEIN (1982), mostrou que o canal centrado em $3,7\ \mu\text{m}$ pode ser mais bem aproveitado, quando combinado com as bandas $11\ \mu\text{m}$ e $12\ \mu\text{m}$, para corrigir a atenuação causada pelo vapor d'água, obtendo-se valores de temperatura do mar com mais acurácia.

Com relação aos demais canais do AVHRR, além da influência do vapor d'água na atmosfera, outros processos tornam-se relevantes como absorção por outros gases e espalhamento por moléculas e aerossóis (TANRÉ et al., 1992). Esses fatores podem influenciar significativamente os níveis de radiância medido pelo sensor, o que torna necessário um conhecimento melhor desses efeitos e o

desenvolvimento de metodologias para corrigi-los ou mitigá-los. No canal 1/AVHRR (faixa do visível – vermelho) há uma absorção em função do ozônio, enquanto que o vapor d'água não tem efeito significativo. Porém o efeito do vapor d'água é bem pronunciado no canal 2 (infravermelho próximo) que, por outro lado, não sofre a influência do ozônio. Os canais 1 e 2 são utilizados para monitorização da cobertura vegetal por meio dos índices de vegetação, constituindo-se em um dos principais usos dos sensores AVHRR, juntamente com as imagens de temperatura da superfície do mar.

Segundo TANRÉ et al. (1992), as perturbações causadas pela absorção atmosférica podem ser significativas. A absorção pelo vapor d'água decresce o valor medido, pelo sensor, no espectro do infravermelho próximo, resultando em alterações nas radiância dos dois canais e decréscimo no Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Nas áreas vegetadas presentes na imagem, as principais alterações são devidas ao espalhamento causado por moléculas e aerossóis.

Um método utilizado, com bons resultados, para corrigir os efeitos da atenuação atmosférica, para obtenção da temperatura da superfície do mar, combina as medições da REM no infravermelho em duas ou três bandas de comprimentos de onda diferentes. Conforme exposto anteriormente, a absorção pelo vapor d'água é menor na faixa de 3,5 – 4,0 μm do que na de 10,5 – 11,5 μm , assim pode-se verificar a diferença entre os dois canais e contabilizar a absorção atmosférica pelo vapor d'água. Outra técnica divide a banda de 10,5 – 12,5 μm em duas janelas, contendo os seguintes limites de REM: 10,5 – 11,5 μm e 11, 5 – 12,5 μm , valendo-se da propriedade de que a absorção, devido ao vapor d'água, na última janela é bem menor (ZHENGIMING e DOZIER, 1989).

3.1.3. Principais algoritmos utilizados para geração de imagens TSM

Uma vez que a radiação infravermelho, emitida pela superfície terrestre, sofre atenuação atmosférica, estimativas acuradas da temperatura da superfície do mar, utilizando imagens geradas a partir de sensores da série AVHRR, dependem da aplicação de técnicas para remoção eficaz de pixels com cobertura de nuvens e de correção da absorção atmosférica.

As bases teóricas para a criação de algoritmos utilizando técnicas de multicanal, objetivando estimar temperatura da superfície do mar, foram desenvolvidas no início da década de 70. Esses estudos teóricos levaram ao desenvolvimento de um algoritmo com a seguinte forma geral:

$$TSM = aT_i + \gamma(T_i - T_j) + c \quad (3)$$

em que, T_i e T_j correspondem às temperaturas de brilho mensuradas nos canais i e j , e c é uma constante. Em boa parte dos algoritmos de TSM o coeficiente a é definido como uma unidade, e em outros muito próximos de 1. O parâmetro γ pode ser definido como “absorção diferencial”, conforme se segue (McMillin, 1975 apud BARTON, 1995);

$$\gamma = (1 - \tau_i)/(\tau_i - \tau_j) \quad (4)$$

em que τ é a transmitância, na atmosfera, da radiação eletromagnética da superfície terrestre para o satélite. A transmitância é dada por:

$$\tau = \exp(1 - \kappa w) \quad (5)$$

em que, κ é o coeficiente de absorção e w a quantidade de vapor. Para situações em que há uma fraca absorção, a transmitância pode ser aproximada para a seguinte relação: $(1 - \kappa w)$, e que passa a definir o parâmetro γ da seguinte forma:

$$\gamma \cong (\kappa_i)/(\kappa_i - \kappa_j) \quad (6)$$

No entanto, deve-se atentar para o fato de que à medida em que a concentração de vapor d'água aumenta, as premissas básicas da linearidade assumida nos algoritmos de TSM começam a perder validade. Ajustes devem ser implementados na estimativa dos coeficientes dos algoritmos (BARTON, 1995).

Foi elaborada uma série de equações para os diferentes satélites da série NOAA, as quais são mais apropriadas para estimativas de TSM de acordo com o período de aquisição das imagens (diurno ou noturno), e o número de canais empregados na equação. As equações podem ser classificadas em *DUAL WINDOW*, no caso de dois canais em janelas atmosféricas distintas (3,7 μm e 11,5 μm); *SPLIT WINDOW*, quando se utilizam dois canais dentro da mesma janela atmosférica (11,5 μm e 12,5 μm) e *TRIPLE WINDOW*, quando forem 3 canais. As equações que utilizam 3 canais (3,7 μm , 11 μm e 12 μm) são utilizadas somente para o período noturno, assim como de Dual Window (ROBINSON, 1997).

O primeiro algoritmo desenvolvido foi denominado de MCSST (*Multichannel Sea Surface Temperature*), que pode ser classificado em diurno e noturno. A classificação deve-se ao fato de que a equação utilizando a temperatura de brilho do canal centrado em 3,7 μm refere-se àquelas imagens obtidas à noite, evitando a contaminação da radiação solar, bem como para considerar as diferentes condições ambientais entre esses dois períodos. A formulação desse algoritmo é dada por McClain et al (1983), citado por YU e EMERY (1996):

$$\begin{aligned} \text{SST} = & 1,02015T_4 + 2,31973(T_4 - T_5) \\ & + 0,489092 (T_4 - T_5) (\sec \theta - 1) - 278,52 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{SST} = & 1,07185T_4 + 2,31963(T_4 - T_5) \\ & + 1.16138 (T_4 - T_5) (\sec \theta - 1) - 280,71 \end{aligned} \quad (8)$$

A equação 7 é para o período diurno e a equação 8 para o período noturno, e T_4 e T_5 são respectivamente temperatura de brilho nos canais 4 e 5 do AVHRR. O parâmetro θ é o ângulo zenital do satélite. Os coeficientes gerados para essas equações são válidos somente para o satélite NOAA 11.

WALTON (1988) apresentou um novo algoritmo, utilizando também o princípio de multicanal, porém não linear. A não linearidade é baseada no cálculo do parâmetro gama (γ), que passa a variar com a temperatura e o total de vapor d'água atmosférico. Essa nova abordagem difere daquela empregada na técnica MCSST, em que γ é constante. O novo algoritmo foi denominado de *Cross Product Sea Surface Temperature* (CPSST), que vem sendo utilizado para situações de maiores concentrações de vapor d'água e ambientes tropicais. Os passos para obter uma equação de regressão pela técnica CPSST envolve duas etapas: a primeira, em que algoritmos de único canal são usados, procedendo-se a uma análise de regressão de TSM contra T_i . Em seguida, determina-se uma “temperatura de deslocamento”, $T_i^* = T_i + C$, que minimize o espalhamento do algoritmo CPSST relativo à atual TSM.

WALTON (1998) apresentou as seguintes equações para estimativas de TSM, por meio de algoritmos CPSST, para combinações de canais espectrais do tipo *DUAL WINDOW* e *SPLIT WINDOW*:

$$\text{CPSST (3,4)} = \frac{0,117T_{11} - 31,64}{0,117T_{11} - 0,0559T_{3,7} - 15,92} * (T_{3,7} + 1 - T_{11}) + T_{11}$$

$$\text{CPSST (4,5)} = \frac{0,1761T_{12} - 47,56}{0,1761T_{12} - 0,117T_{11} - 15,72} * (T_{11} + 0,2 - T_{12}) + T_{12}$$

A acurácia global máxima obtida pelo método do multicanal é da ordem de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$ (McClain et al., 1985 citado por YU e EMERY, 1996); e em um estudo mais recente foi estimado que para algoritmos MCSST a acurácia global é de $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$ (BARTON, 1995). Essas incertezas relativas às estimativas de TSM, obtidas com sensores AVHRR, devem-se a uma variedade de fatores, em que os mais significativos são:

- o próprio sensor possui um nível de ruído estimado entre $0,1-0,2^{\circ}\text{C}$;
- outra fonte de erros refere-se à presença de pequenas manchas de nuvens, uma vez que os métodos para sua eliminação não garantem 100% de sucesso, levando a um erro de aproximadamente $0,1-0,2^{\circ}\text{C}$;
- e também as diferenças de temperatura obtidas pelo sensor, denominada temperatura pelicular, e as temperaturas medidas *in situ*, obtidas a uma certa profundidade.

No entanto, para estudos de padrões de grande escala ($>100\text{ Km}$) pesquisas têm mostrado que campos de TSM obtidos por diferentes algoritmos apresentam os mesmos padrões. Desta forma, nas investigações sobre mudanças em padrões da TSM pode-se utilizar qualquer um dos algoritmos de estimativa de TSM disponíveis no espectro do infravermelho.

3.1.4. Exemplos de aplicações de imagens TSM

Estudos da dinâmica de feições oceanográficas de mesoescala na Bacia de Campos utilizam imagens de temperatura da superfície do mar obtidas pelo sensor AVHRR. A quantificação, no tempo e no espaço, dos processos responsáveis pela injeção de nutrientes existentes em águas subsuperficiais nas águas da região do Cabo de São Tomé e ao sul de Cabo Frio, foi realizada por CIOTTI e KAMPEL (2001). A injeção de nutrientes está associada com a ocorrência de ressurgências na costa brasileira, nas proximidades de Cabo Frio.

Utilizando imagens TSM procurou-se verificar os padrões de formação e evolução de vórtices, meandros, frontais e ressurgência na costa sudeste do litoral Brasileiro. Na Figura 5 podem-se observar algumas dessas feições, com a formação de grande vórtice e a frente da Corrente do Brasil que escoar ao longo da plataforma continental. Ressalte-se que nas imagens de TSM apresentadas os tons avermelhados representam águas mais quentes, enquanto que os tons em amarelo e azul as águas com temperaturas mais baixas.

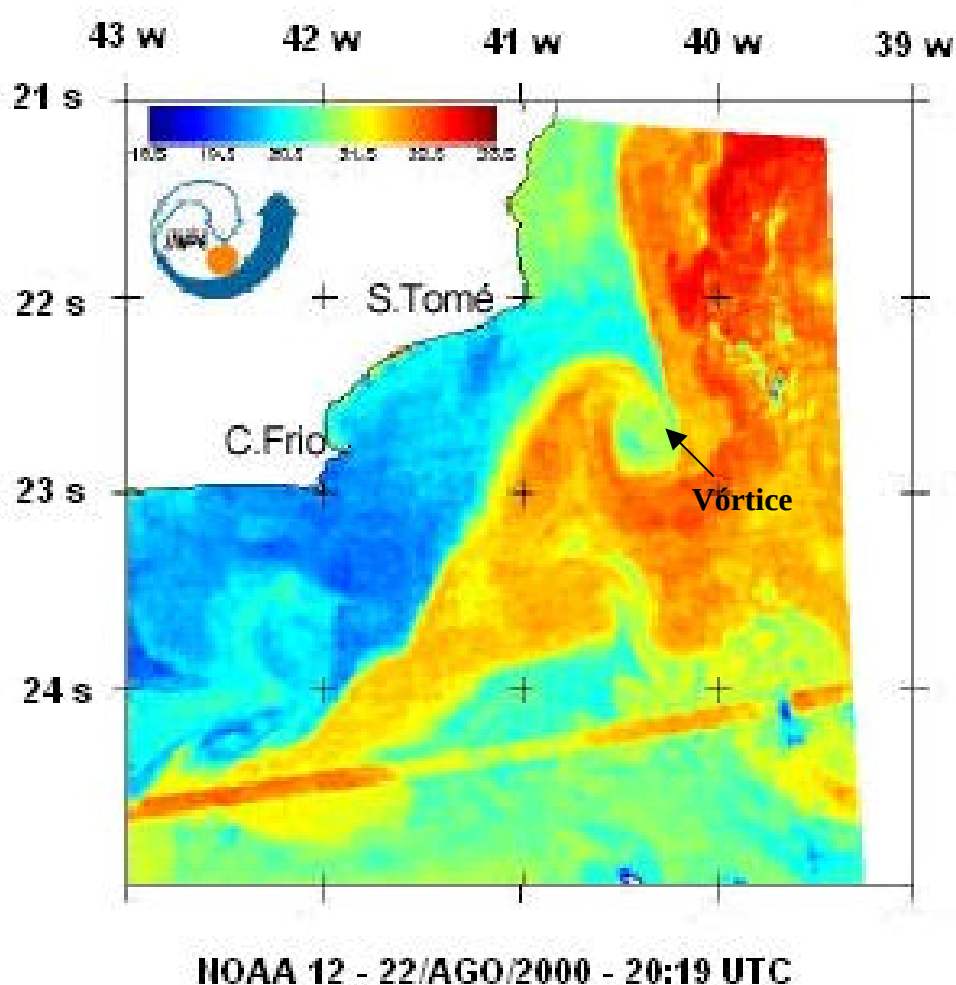


Figura 5 – Imagem TSM da região da Bacia de Campos, mostrando a formação de um vórtice.

O estudo de feições reveladas pelas imagens de TSM, levando-se em conta o alto grau de complexidade, tanto na estrutura quanto no seu número, tem revelado a necessidade de se aplicar técnicas mais quantitativas desses padrões. A aplicação de uma técnica computacional, denominada de Fragmentador Assimétrico (ASSIREU et al., 2001), em imagens TSM da Costa Brasileira, revelou-se eficiente na distinção de vórtice das demais estruturas (meandros, frentes térmicas). Porém, na distinção entre meandros e frentes termiais, o operador mostrou-se pouco eficiente. Os autores concluem que os resultados, embora preliminares, apontam para o potencial dessa técnica na identificação automática dos padrões analisados e na possibilidade de desenvolvimento de outras metodologias para a caracterização quantitativa de vórtices e meandros observados em imagens de TSM. Na Figura 6 tem-se uma sub-região da área de estudo com a identificação das feições de interesse: 1 – vórtice, 2 – meandro e região, 3 – frente térmica.

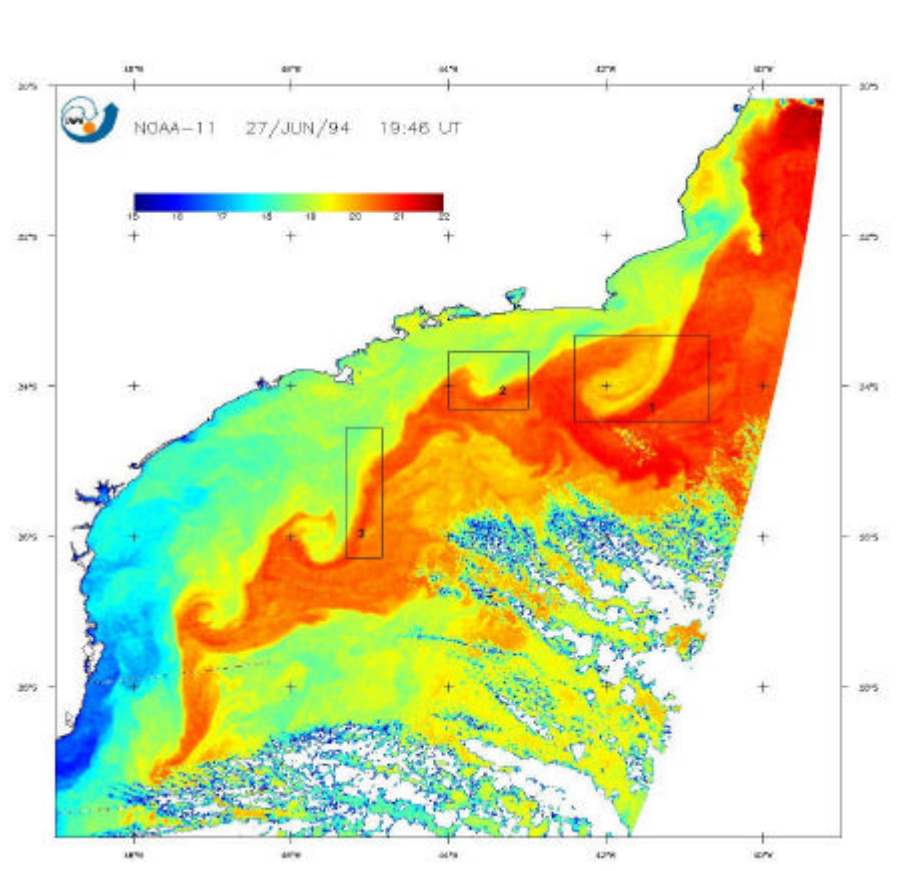


Figura 6 – Imagem TSM da região da Baía de Campos com feições típicas – vórtices, frentes térmicas e meandros.

Em outro estudo, imagens AVHRR foram utilizadas para auxiliar e verificar a exequibilidade da utilização de imagens RADARSAT para identificação das feições de mesoescala na região da Bacia de Campos (BEISL et al., 2001). As imagens de radar foram processadas com um classificador Textural não supervisionado, gerando uma imagem classificada nas seguintes categorias: região de ressurgência, águas costeiras e da Corrente do Brasil. Uma imagem de TSM, do mesmo período, foi utilizada para melhorar a capacidade de extração dessas feições em imagens de radar.

Outro exemplo de utilização de imagens TSM pode ser encontrado em estudos da Corrente da Califórnia, por meio de imagens termais, para detecção de estruturas de mesoescala, procurando compreender interações entre meandros de pequena e grande escala. As estruturas mapeadas sobre as imagens termais foram investigadas por meio de análise de Fourier, confirmando escalas espaciais inferidas subjetivamente pelo analista. Esses dados foram utilizados em modelos numéricos desenvolvidos para auxiliar no processo dinâmico de formação dos meandros na Corrente da Califórnia (IKEDA e EMERY, 1984, IKEDA et al., 1984, EMERY e IKEDA, 1984).

3.2. Circulação oceânica na costa sudeste brasileira

Uma breve revisão acerca da circulação oceânica no sudeste do Brasil será apresentada, abordando alguns aspectos do Giro Subtropical no Atlântico Sul, principais massas d'água, da Corrente do Brasil, bem como apresentar alguns trabalhos que discutem a gênese das feições de mesoescalas identificadas por meio de dados hidrográficos e imagens obtidas por sensoriamento remoto.

3.2.1. Principais massas d'água

As massas de água no oceano movem-se horizontalmente e verticalmente e cada uma delas pode ser definida e caracterizada por sua temperatura, salinidade e outras propriedades. As massas de água movem-se mais lentamente do que as massas de ar, com isso elas são menos variáveis e seus limites não mudam muito ao longo do tempo. As correntes superficiais são forçadas pela componente cisalhante do vento, enquanto que o movimento de faixas intermediárias e mais profundas das massas de água é influenciado pela densidade (THE OPEN UNIVERSITY, 1992).

A circulação vertical das massas d'águas nos oceanos é controlada por variações na temperatura e salinidade, denominada, então, de circulação termohalina.

Com base nos dados levantados pelo Programa de Monitoramento Ambiental da Bacia de Campos, executado em 1992, as seguintes massas de água podem ser identificadas na região da Plataforma Continental e do talude. Foram identificados cinco tipos de massas de água, de acordo com as características predominantes (>50%) das suas origens: Água Tropical (AT), Água Costeira (AC), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), com mesma estrutura básica tanto no inverno quanto no verão (PETRÓLEO ... – PETROBRAS, 1994).

As massas do tipo AT, AC, ACAS foram encontradas na Plataforma, enquanto que as massas AT, ACAS, AIA e APAN no talude. Ressalte-se que as águas da Plataforma Continental foram caracterizadas pela mistura lateral e vertical entre três tipos: AT, AC e ACAS. Os seguintes intervalos de referência podem ser utilizados para representar as diferentes massas de água da Plataforma:

- ACAS: Temperatura (T) < 18°C e Salinidade (S) < 36.
- ACAS/AC: T entre 18°C e 20°C e S < 36
- AC: T > 20°C e S < 36
- AT: T > 20°C e S > 36,4

As águas encontradas no talude são caracterizadas pela mistura vertical e a camada superficial reflete as variações climáticas entre inverno e verão e que introduzem modificações na mistura AT/ACAS, desenvolvendo a termoclina sazonal. Essas variações estão associadas com altos valores de temperatura superficial (T > 26°C) e aumento da salinidade em todo o período do verão. Os seguintes intervalos de referência podem ser utilizados para representar as diferentes massas de água no talude:

- AIA: Temperatura (T) entre 4°C e 6°C.
- ACAS: T entre 4°C e 18°C
- AT: T > 20°C e Salinidade (S) > 36,4 (inverno)
- AT: T > 22°C e Salinidade (S) > 36,8 (verão)

3.2.2. Corrente do Brasil

A Corrente do Brasil é considerada o limite oeste associada com o Giro Subtropical do Atlântico Sul, caracterizada por águas quentes, salinidade (> 36‰) mais elevada e oligotrófica. A Corrente do Brasil origina-se como uma corrente superficial mais quente, na borda leste da Plataforma Continental da América do Sul, na altura da divergência da Corrente Sul Equatorial (aproximadamente 8° S). A CB flui para o Sul, ao longo da borda do Talude, até a divergência da Corrente das Malvinas, aproximadamente na latitude de 32° S.

Uma descrição das mudanças hidrográficas que ocorrem na Corrente do Brasil, à medida que ela flui para Sul, foi elaborada por Fisher (1964), citado por GARFIELD (1990). Utilizando várias fontes de dados, Fisher descreveu o processo de esfriamento e diminuição da salinidade à medida que o fluxo da CB atinge regiões de maiores latitudes. Em baixas latitudes (10-15° S), a média anual

da temperatura de superfície é da ordem de 23,9 °C e salinidade de 36,5, transportando predominantemente Água Tropical (AT). Entre as latitudes de 30-35° S, a temperatura superficial média cai para 18,4 °C e a salinidade para 35,53.

A identificação da frente da Corrente do Brasil já foi efetuada por diferentes critérios e técnicas, e embora não permitam uma localização exata da mesma, possibilitou obter boas indicações da sua localização. Uma das possibilidades é por meio da avaliação do gradiente horizontal de temperatura, salinidade ou densidade. No entanto, no que se refere à temperatura, devido às interações atmosféricas e misturas de massas de água em função de recirculação e águas costeiras, torna-se difícil definir um valor de temperatura que marque a Corrente do Brasil. No caso da salinidade, esse mesmo raciocínio dificulta a sua utilização para se definir um critério para marcar a frente da CB. A variação anual da salinidade parece ser pequena, em relação à variação espacial, encontrando-se valores de desvios da ordem 34 ‰. Estudando a Corrente do Brasil, GARFIELD (1990) não define um valor de temperatura para identificação da frente, no caso das imagens de satélite, mas para análise dos dados coletados usou a salinidade como critério para definir a sua localização. A análise de 121 imagens de satélite, identificando as frentes da Corrente do Brasil, possibilitou as seguintes conclusões:

- aparentemente a localização da frente está relacionada com a quebra da plataforma, representada pela isóbata de 200 m.
- que a Corrente do Brasil pode ser considerada como uma feição contínua ao longo de toda a borda da Plataforma Continental.

Ainda sobre valores de temperaturas, na tentativa de se definir a frente da Corrente do Brasil, BEISL et al. (2001), estudando a utilização de imagens RADARSAT para identificação de mesoescala, apresentam um perfil de temperatura ao largo de Macaé (RJ), com base em imagem de TSM obtida pelo sensor AVHRR, conforme Figuras 7 e 8. Observa-se que existe um forte gradiente de temperatura entre a isóbata de 100 metros para a isóbata de 200 m.

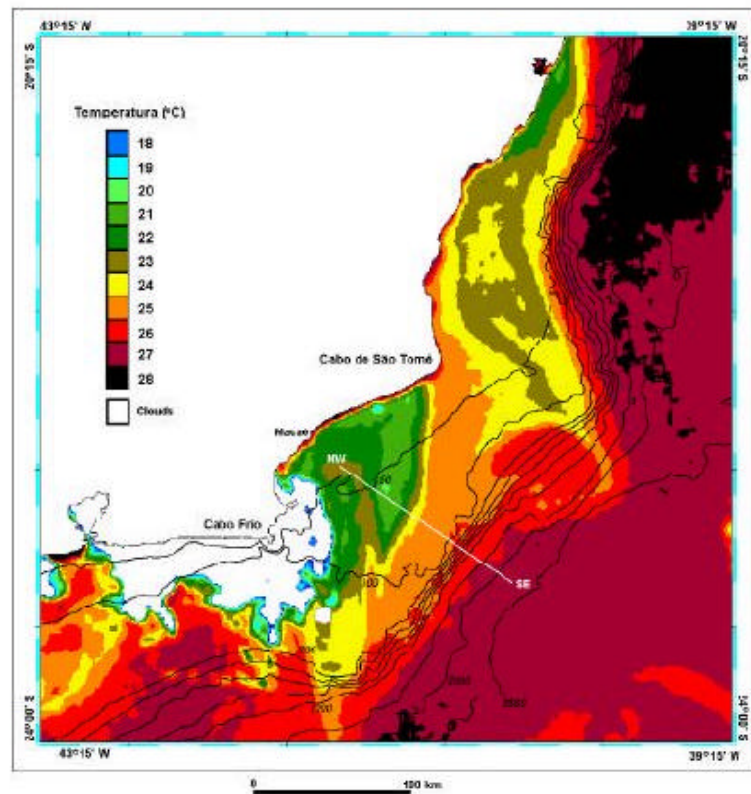


Figura 7 – Imagem TSM obtida por meio do sensor AVHRR 16.
Fonte: BEISL et al., 2001

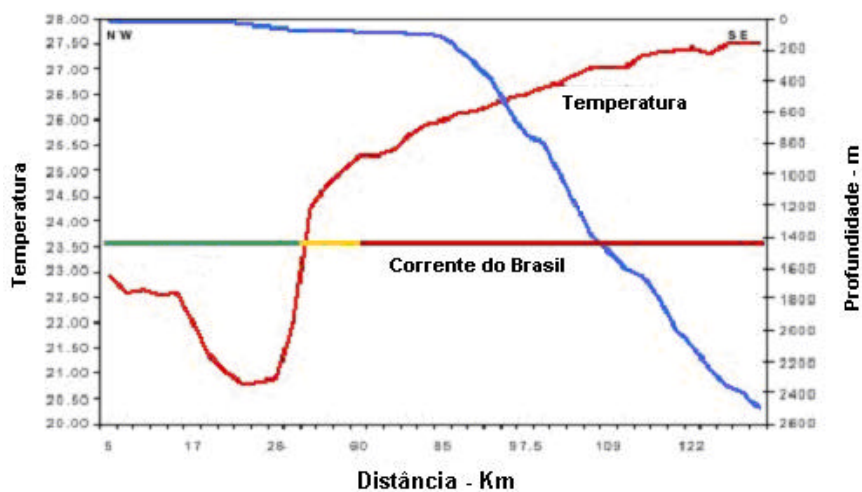


Figura 8 – Perfil de temperatura na altura de Macaé, conforme indicado na Figura 7. A linha vermelha representa a variação da temperatura e a azul a batimetria. O trecho de cor amarela na linha horizontal representa localização da água de plataforma.
Fonte: BEISL et al., 2001

Utilizando-se dados de temperatura e salinidade de uma seção de CTD realizada ao longo de uma radial na latitude de $22,5^{\circ}$ S, entre os dias 11 a 25 de novembro de 1992, calcularam-se as seções de temperatura e velocidade geostrófica (Figura 9). Nesta figura constata-se a coerência entre a localização do máximo de gradiente termal, indicada por uma marcação em azul e a borda oeste da Corrente do Brasil. O centro de jato encontra-se a alguns quilômetros à leste da posição da frente térmica da superfície, conforme indicado pelos triângulos (Figura 9). Foi utilizado um modelo hidrodinâmico bidimensional, denominado *Princeton Ocean Model* (POM), conforme metodologia descrita em LIMA (1997). Na Figura 10, apresenta-se uma imagem de satélite do dia 20 de novembro de 1992, com a frente térmica visível, nas proximidades da seção de CTD. Essa observação é a base da metodologia para identificação da frente térmica.

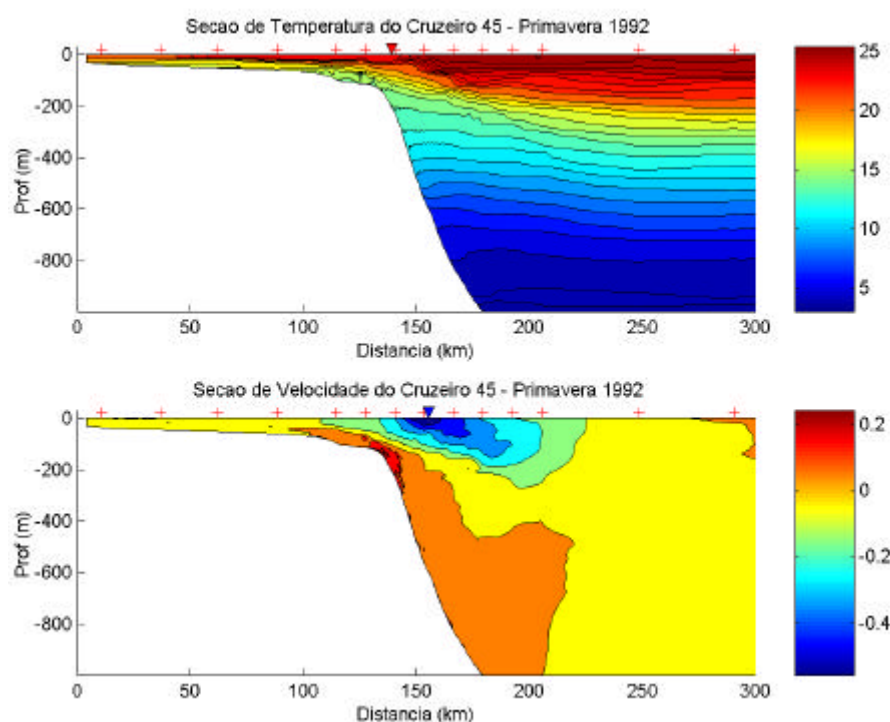


Figura 9 – Seções de temperatura e velocidades na latitude de $22,5^{\circ}$ S. (A posição estimada da frente de superfície encontra-se indicada por um triângulo na Figura superior, e a posição do centro do jato está indicado por um triângulo na Figura inferior) – Fonte: LIMA (1997)

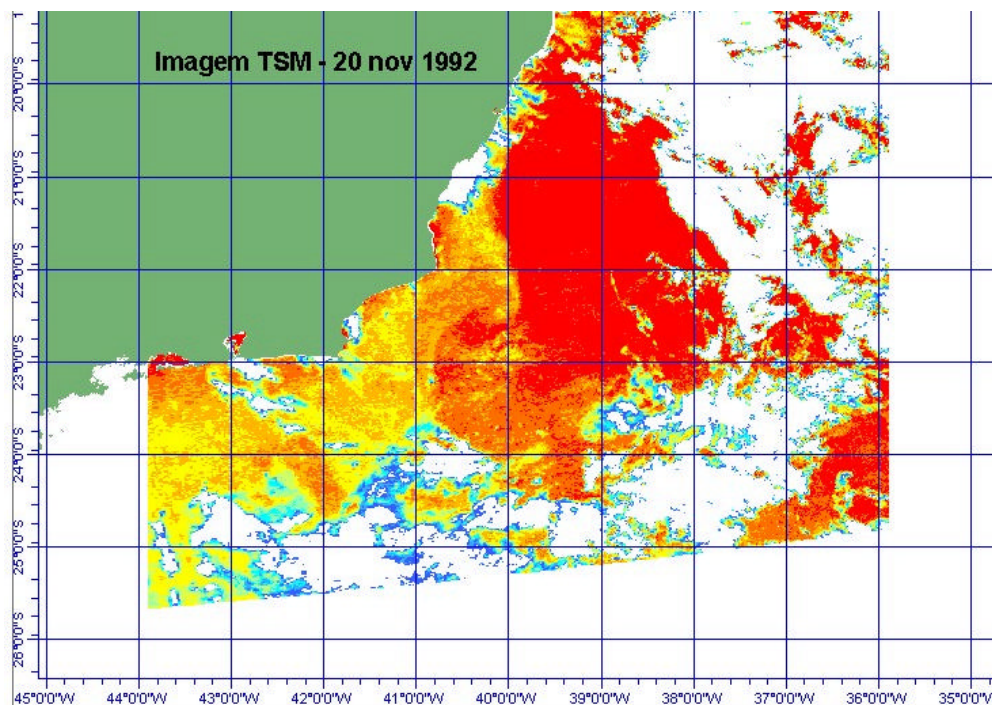


Figura 10 – Imagem de TSM do dia 20 de novembro de 1992

A ocorrência de instabilidades hidrodinâmicas de meso-escala, ao longo da Corrente do Brasil, tem sido observada nas proximidades de irregularidades topográficas. Estruturas com vórtices e meandros têm sido detectadas na região do talude, na região de Cabo Frio e cabo de São Tomé, com dimensões da ordem de 100 a 400 Km de diâmetro, os quais podem persistir por várias semanas. A Corrente do Brasil, ao fluir para Sul, apresenta a formação de grandes meandros que podem se fechar em estruturas ciclônicas (vórtices). A ocorrência dessas estruturas tem sido explicada com base em perturbações nas feições topográficas que, em função da mudança da orientação da linha de costa na altura de Cabo Frio, faria com que o fluxo da CB, centrado na isóbata de 1000 metros, se deslocasse para regiões mais profundas. Esse deslocamento da CB causaria um estiramento da coluna d'água, adquirindo vorticidade ciclônica. Ao entrar na Bacia de Santos, o fluxo da Corrente tenta se realinhar à isóbata de 1000 metros, retornando para regiões mais rasas, o que causaria uma compressão

da coluna d'água e, novamente, por conservação de vorticidade, adquire vorticidade anticiclônica. Dessa forma, baseando-se no balanço de vorticidade, supõe-se que a CB forme meandros ciclônicos, dando origem às estruturas vorticais observadas em imagens de temperatura da superfície do mar (CALADO, 2001, GONÇALVES, 2000; SILVEIRA et al, 2000; CAMPOS et al, 1995).

Uma outra abordagem, na tentativa de explicar a formação das anomalias dinâmicas descritas anteriormente, baseia-se na indicação de uma instabilidade baroclínica na região da Bacia de Campos. Essa instabilidade baroclínica surgiria em função de um aumento da intensidade de cisalhamento vertical entre duas massas d'água diferentes: a Corrente de Contorno Oeste Intermediária (CCI) e a Corrente do Brasil (CALADO, 2001).

Diante do exposto, verifica-se a complexidade do sistema em foco e os distintos mecanismos que podem estar interagindo para a formação das estruturas de instabilidade dinâmicas na Bacia de Campos. Aspectos como a conformação batimétrica da região, linha de costa, propriedades físico-químicas das diferentes massas d'água podem ser consideradas estruturas de um sistema e que portanto a compreensão dinâmica dos processos pode ser alcançada por meio da descoberta das relações entre esses fatores.

3.3. Técnicas de Análise de Sinais

A análise de séries temporais constitui-se de um conjunto de técnicas importantes para o processamento de observações coletadas de processos estocásticos. Considerando diversas áreas relacionadas com as ciências da Terra (Geologia, Oceanografia, Meteorologia, entre outras), constata-se que a maioria dos dados está localizada no tempo ou no espaço (MORETTIN, 1999; JENKINS e WATTS, 1968; MIDDLETON, 2000). Uma série temporal constitui-se em uma função aleatória de x , ou não determinística, de uma variável independente t . A variável independente t pode estar relacionada ao tempo (por exemplo dias,

horas, anos) ou então, de forma que a variável x seja representada em intervalos espaciais (JENKINS e WATTS, 1968).

Formalmente, um processo estocástico pode ser definido assim: considerando T um conjunto arbitrário, um processo estocástico é representado por $\{X(t), t \in T\}$, tal que, para cada $t \in T$, $X(t)$ é uma variável aleatória (MORETTIN, 1999). Na Figura 11, apresenta-se um exemplo de série temporal de velocidades de correntes marinhas, em intervalos regulares de tempo (Δt).

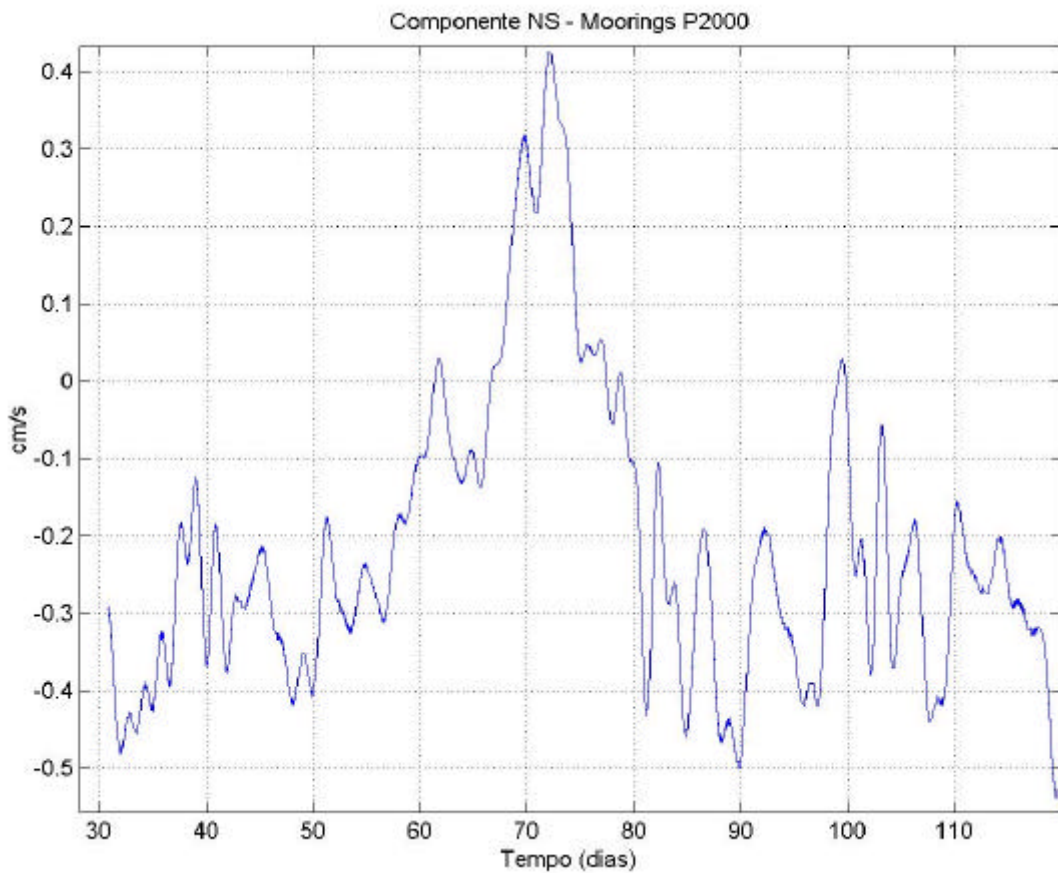


Figura 11 – Série temporal de velocidades (componentes Norte-Sul) de correntes marinhas.

Analisando a Figura 11, percebe-se que a amplitude de variação da intensidade de corrente (cm/s) não tem um valor constante, flutuando ao longo do tempo. Caso uma outra série de correntes, coletada no mesmo local, em um intervalo t distinto, seja comparada com aquela apresentada na Figura 11, a falta

de semelhança entre elas seria a primeira característica a ser notada. No entanto, a comparação entre suas estatísticas (média, desvio padrão e variância) apontaria para a semelhança entre as duas séries temporais. A partir dessas observações, pode-se estabelecer que o comportamento de uma variável aleatória $x(t)$ pode ser descrito por meio de sua distribuição de probabilidades (JENKINS e WATTS, 1968).

Outra característica importante das séries temporais relaciona-se com a **estacionariedade** do processo estocástico analisado, que corresponde à ausência de tendenciosidade na série. Assim, as estatísticas associadas ao processo estocástico estacionário (P.E.E.), como a média, a variância e o desvio-padrão, não se alteram ao longo do tempo. Assumindo-se estas condições, pode-se descrever o P.E.E. baseando-se em uma única realização de $x(t)$. Há séries temporais, que por outro lado, apresentam **não-estacionariedade**, revelando tendenciosidade nas observações, como por exemplo em séries de dados econômicos. Geralmente, para análise dessas séries, utilizam-se técnicas para retirar a sua tendenciosidade, ou são empregadas técnicas de análise de sinais apropriadas para fenômenos não-estacionários, como as ondaletas.

Se a função de probabilidade associada ao processo $f_x(t)$ é Gaussiana, então se pode caracterizar o processo por meio de sua média (eq. 9) e sua variância (eq. 10):

$$= E[x] = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx \quad (9)$$

$$s^2 = E[(X - \bar{x})^2] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m)^2 f_x(x)dx \quad (10)$$

Uma das características de séries temporais, refere-se ao fato de que observações vizinhas são correlacionadas e que, portanto, há a necessidade de determinação de sua função de autocovariância, dada por (JENKINS e WATTS, 1968):

$$(u) = E[(X(t) - \bar{x})(X(t + u) - \bar{x})]. \quad (11)$$

Na prática, a função de autocovariância pode ser estimada da seguinte forma:

$$C(u) = 1/N \sum_{t=1}^{N-u} (x_t - \bar{x})(x_{t+u} - \bar{x}) \quad (12),$$

$$\text{em que} \quad \bar{x} = 1/N \sum_{t=1}^N x_t \quad (13)$$

A equação 13 representa a média da série temporal e um P.E.E. pode ser descrito por sua função de autocovariância, equivalente ao Espectro de Potência da série temporal, conforme discussão apresentada no item 3.3.1 (Análise de Fourier e a Transformada Rápida de Fourier – FFT). O espectro de potência é estimado pela Transformada de Fourier da função de autocovariância. A partir da curva do espectro de potência de um P.E.E., pode-se estimar a sua variância por bandas de frequência (JENKINS e WATTS, 1968; MORETTIN, 1999; MELO FILHO, 1982).

A seguir, serão apresentados fundamentos da análise espectral utilizando as técnicas das Séries de Fourier e ondaletas.

3.3.1. Análise de Fourier e a Transformada Rápida de Fourier – FFT

A **análise de Fourier**, também denominada de **análise harmônica**, tem como objetivo aproximar uma combinação de séries de senos e co-senos (Séries de Fourier) e estimar os coeficientes associados às diferentes frequências. Uma série de Fourier representa uma soma de senos e co-senos, de acordo com a seguinte equação:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum [a_n \cos(2\pi n t) + b_n \sin(2\pi n t)] \quad (14)$$

em que,

a_n e b_n representam os coeficientes dos harmônicos ajustados.

Na Figura 12 tem-se a representação esquemática de como uma função original $f_x(t)$ pode ser transformada em uma série linear de senos e co-senos. Conforme exposto no item 3.3, a Transformada de Fourier da função de autocovariância de um P.E.E. fornece o seu espectro de potência, estimando a variância do sinal analisado, por faixas de frequências. Desta forma, o sinal original no domínio do tempo é transformado para o domínio da frequência.

Segundo MELO FILHO (1982), o espectro de potência de uma série de $x(t)$ pode ser entendido por meio do esquema apresentado na Figura 13. Ao passar um filtro móvel, com uma frequência central (f) e de largura Δf , obtêm-se valores médios quadráticos. A operação é repetida para todas as faixas de frequências fisicamente possíveis, compreendidas entre 0 e ∞ .

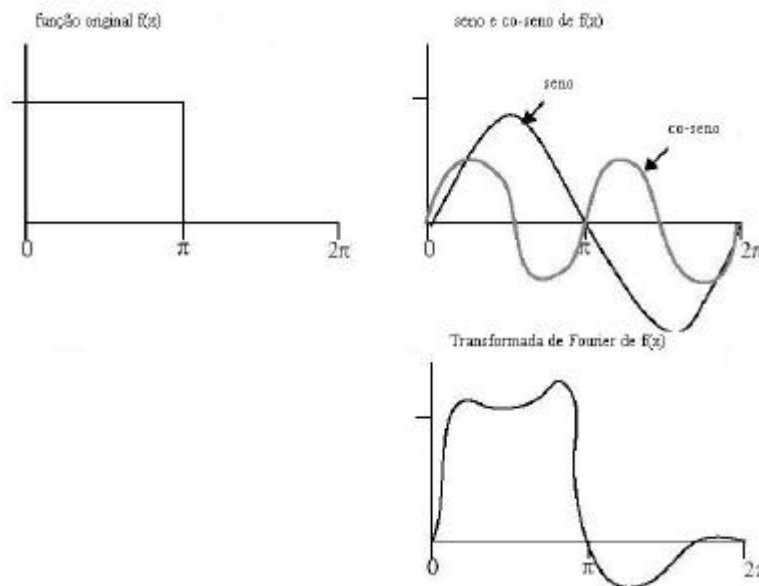


Figura 12 – Combinação de uma série de Fourier a uma função original $f(x)$.

Fonte: Adaptado de ERDAS, 1999.

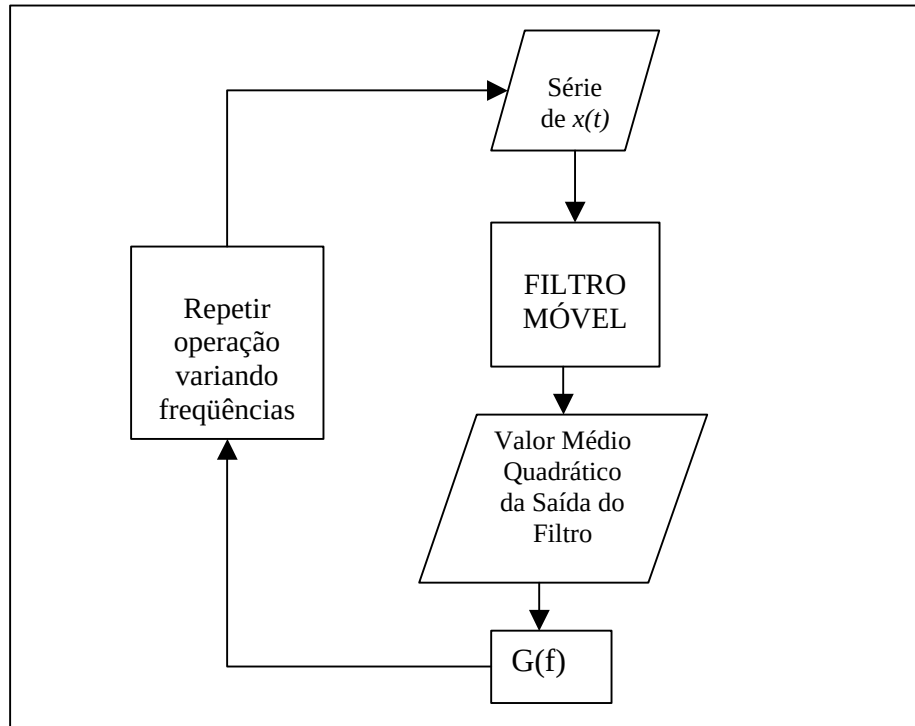


Figura 13 - Esquema para definição do espectro de potência - $G(f)$ - de uma série temporal.

Fonte: adaptado de MELO FILHO (1982).

O valor médio quadrático (VMQ) é definido pela equação 15, e o respectivo espectro de potência – $G(f)$ – está representado pela equação 16. O VMQ, do ponto de vista físico, está associado com a energia existente na série temporal analisada. Ou seja, aplicando uma análise espectral, no domínio da frequência, na série temporal, pode-se definir como a variância desse sinal está distribuída por faixas de frequências (JENKINS e WATTS, 1968; MELO FILHO, 1982).

$$y_x^2(f, \Delta f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x^2(t, f, \Delta f) dt \quad (15)$$

$$G(f) = \lim_{\Delta f \rightarrow 0} \frac{y_x^2(f, \Delta f)}{\Delta f} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \left[\int_{-T/2}^{T/2} x^2(t, f, \Delta f) dt \right] \quad (16)$$

A relação entre a energia no domínio do tempo com a energia no domínio da frequência é definida pela **identidade de Parseval**, que por sua vez pode ser demonstrada partindo da transformada de Fourier (TF) da função do valor médio quadrático (VMQ). A identidade de Parseval é dada pela relação apresentada segundo a equação 17.

$$y_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t).dt = \int_{-\infty}^{\infty} |x(f)|^2 .df \quad (17)$$

Em seguida, serão apresentadas algumas considerações acerca da transformada de Fourier e o teorema de Nyquist, bem como a determinação do número de graus de liberdade do estimador, determinação do intervalo de confiança e o algoritmo da Transformada Rápida de Fourier (FFT – *Fast Fourier Transform*). Considerando $s(t)$ uma função contínua e $S(f)$ sua transformada de Fourier, diz-se que $s(t)$ e $S(f)$ representam um par de uma série de Fourier (JENKINS e WATTS, 1968; MELO FILHO, 1982), tal que:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-i2\pi ft} .dt \quad (18)$$

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f).e^{i2\pi ft} .dt \quad (19)$$

Assumindo que $s(t)$ é limitada em alta frequência, tal que $S(f)$ seja igual a zero quando $f > f_{\text{máximo}}$, o teorema de Nyquist estabelece que não é necessário conhecer, de forma contínua, a função $s(t)$ para obter sua transformada

de Fourier. Nesse caso, $s(t)$ pode ser amostrada em intervalos espaçados de t , respeitando-se a seguinte condição:

$$\Delta t \leq \frac{1}{2 f_{m\acute{a}xima}} \quad (20)$$

A **frequência de Nyquist** é definida por $f_N = 1/2 t$, definindo a frequência máxima que pode ser detectada em $s(t)$ amostrada em intervalos t . Na equação 20, o termo $f_{m\acute{a}xima}$ é denominado também de frequência de corte (JENKINS e WATTS, 1968; MORETTIN, 1999). A desconsideração ao teorema de Nyquist provoca o fenômeno de alisamento no espectro, mascarando-o nas frequências mais próximas da frequência de corte.

O algoritmo denominado de Transformada Rápida de Fourier foi desenvolvido por COOLEY e TUKEY (1965), que requer $T \log T$ operações para análise de uma série. A transformada de Fourier requer T^2 operações complexas que, considerando séries mais longas, se torna menos eficiente com relação ao tempo de processamento, quando comparada com a FFT. Admitindo-se a necessidade de se encontrar a Transformada de Fourier X_m , em que $m = 0, 1, 2, \dots, N-1$, referente à série X_t , em que $t = 1, 2, \dots, N$, uma maneira seria particionar a série X_t em duas séries de dimensão $N/2$, denominadas de Y_t e Z_t . As duas séries (Y e Z) possuem transformadas de Fourier, conforme:

$$Y_m^{(N/2)} = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^{N/2} y_t e^{-j(4ptm/N)} \quad (21)$$

$$Z_m^{(N/2)} = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^{N/2} z_t e^{-j(4ptm/N)} \quad (22)$$

Em JENKINS e WATTS (1968) encontra-se demonstração de que as transformadas $X(N)_m$, $Y(N/2)_m$ e $Z(N/2)_m$ são relacionadas entre si, e que portanto a transformada da série X_t pode ser estimada a partir da partição de N em $N/2$.

3.3.2. Análise de ondaletas

A técnica por análise de ondaletas, ao contrário da análise de Fourier, é apropriada para o tratamento de sinais não-estacionários. A análise por ondaletas constitui-se em passar uma janela móvel ao longo de toda a série, variando-se a escala dessa janela. Essa janela móvel é representada pelas ondaletas, representadas por funções localizadas no espaço, ou no tempo. As ondaletas são funções que satisfazem certas propriedades, e podem ser assimétricas ou não e representadas por equações matemáticas simples ou complexas (MORETTIN, 1999; VALENS, 2004). Uma das vantagens no uso das ondaletas é o fato de que o sinal pode ser representado, simultaneamente, nos domínios do tempo e frequência.

A transformada contínua de ondaleta pode ser representada pela seguinte equação:

$$g(s, t) = \int f(t) y_{(s,t)}(t) dt \quad (23)$$

em que,

g é o coeficiente de similaridade, dada uma escala (S) e posição (t);

y é a função de ondaleta, em função de uma escala (S) e posição (t).

A técnica consiste em decompor a função $f(t)$ em um conjunto de funções de ondaletas, assumindo diferentes valores para a escala e a posição. Para cada uma dessas ondaletas, os coeficientes de similaridade entre

determinada ondaleta, ao longo de toda a série, são estimados (MORETTIN, 1999; THE MATHWORKS, 2002).

As ondaletas () podem apresentar certas propriedades, que justificam o emprego dessa terminologia para essas funções (VALENS, 2004; MORETTIN, 1999):

- admissibilidade ($\int_{-\infty}^{\infty} y(t) dt = 0$), indicando que o valor médio da

ondaleta, no domínio do tempo deve ser igual a zero, isto é, dever ter natureza oscilatória. O que equivale dizer que $y(t)$ deve ser uma onda;

- regularidade estabelece que $y(t)$ deve ter alguma suavização no domínio do tempo e frequência.

Um exemplo é a ondaleta de Morlet (equação 24) que consiste de uma onda plana modulada por uma curva gaussiana (TORRENCE e COMPO, 1998) e tem sua parte real definida em DAUBECHIES (1992). A ondaleta de Morlet é utilizada com frequência em estudos geofísicos, para estudos de periodicidade de eventos. Na Figura 14 está representada a ondaleta de Morlet.

$$y(t) = p^{-1/4} e^{t^2/2} \cos(5t) \quad (24)$$

A ondaleta de Morlet foi utilizada em estudo sobre periodicidade temporal de anomalias de armazenamento de calor na Corrente do Kuroshio, a partir de dados do altímetro TOPEX/POSEIDON (CHEN, 2004). Utilizando uma relação entre período de uma componente de Fourier e a escala da ondaleta de Morlet, foi possível determinar o padrão periódico dos principais componentes temporais das anomalias.

$$\psi(t/s)$$

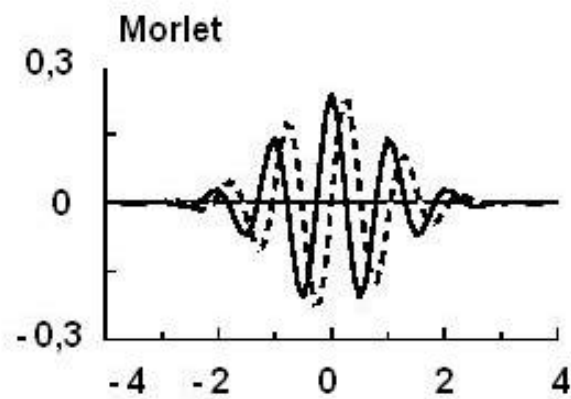


Figura 14 - Ondaleta de Morlet, no domínio do tempo, mostrando sua parte real (linha contínua) e sua parte imaginária (linha pontilhada).
Fonte: TORRENCE e COMPO (1998).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

A área de estudo compreende a região da costa sul-sudeste brasileira entre as latitudes de 20° S e 28° S e longitudes entre 39° W e 48° W, conforme Figura 15.

4.2. Material

O presente trabalho baseou-se na interpretação de imagens orbitais NOAA/AVHRR, com informações sobre a temperatura da superfície do mar (TSM). Portanto, o principal material utilizado foi composto por um conjunto de imagens em formato digital.

Foram utilizadas 371 imagens, compreendendo os anos de 1993 a 2001, as quais encontravam-se no formato .TIF ou .JPG.

Utilizou-se também um arquivo, em ASCII, com pontos cotados de batimetria da área de interesse.

4.3. Sistemas computacionais

Utilizou-se o sistema Matlab (MathWorks, Inc.) para programação das rotinas empregadas na digitalização da frente térmica, na análise espectral do sinal da frente, visualização e montagem de gráficos com os resultados.

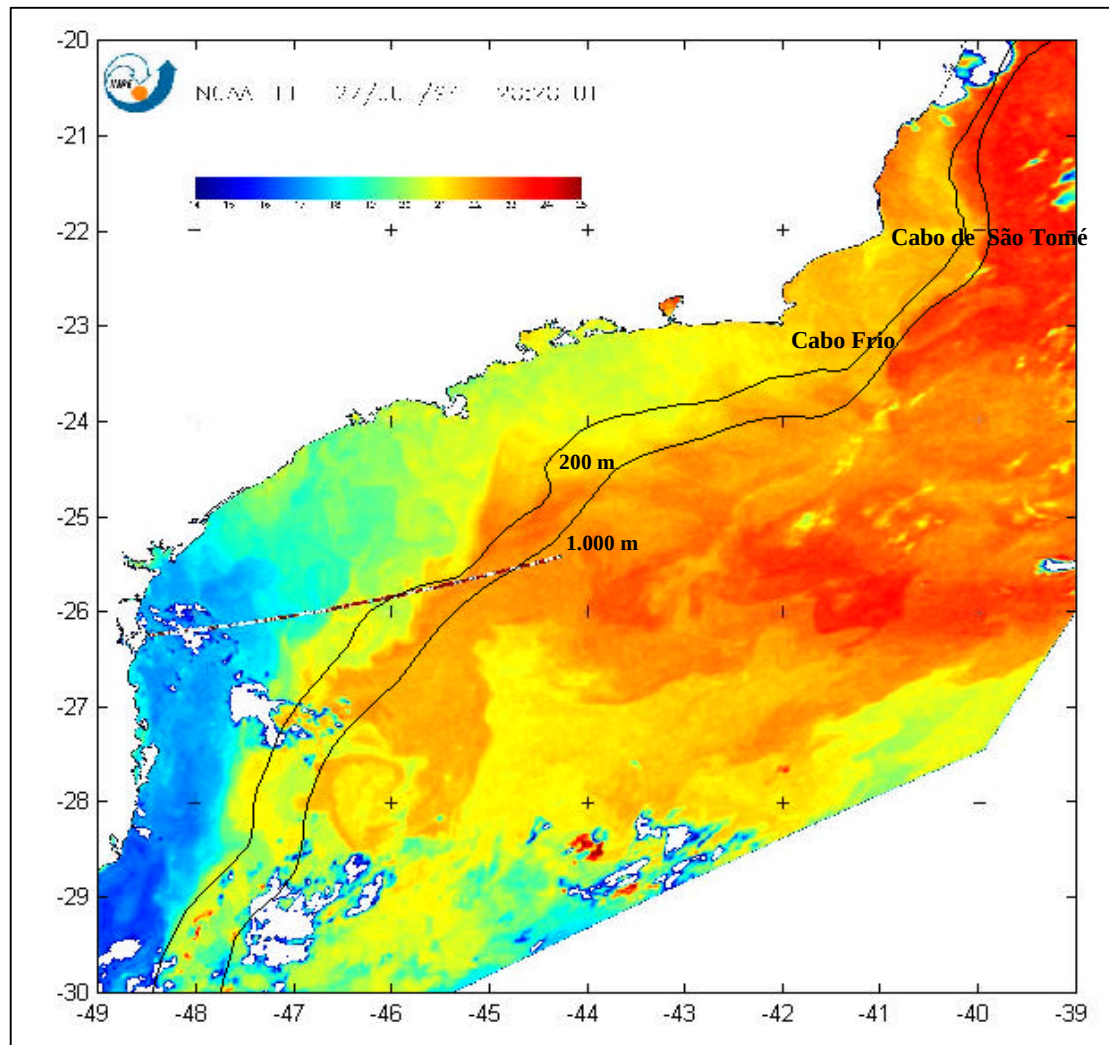


Figura 15 – Área de estudo, mostrando isóbatas de 200 m e 1000 m.

4.4. Metodologia

Os métodos utilizados nas fases de discretização da frente térmica, na análise espectral utilizando FFT e de ondaletas são descritos nos itens a seguir.

4.4.1. Processamento das imagens NOAA/AVHRR

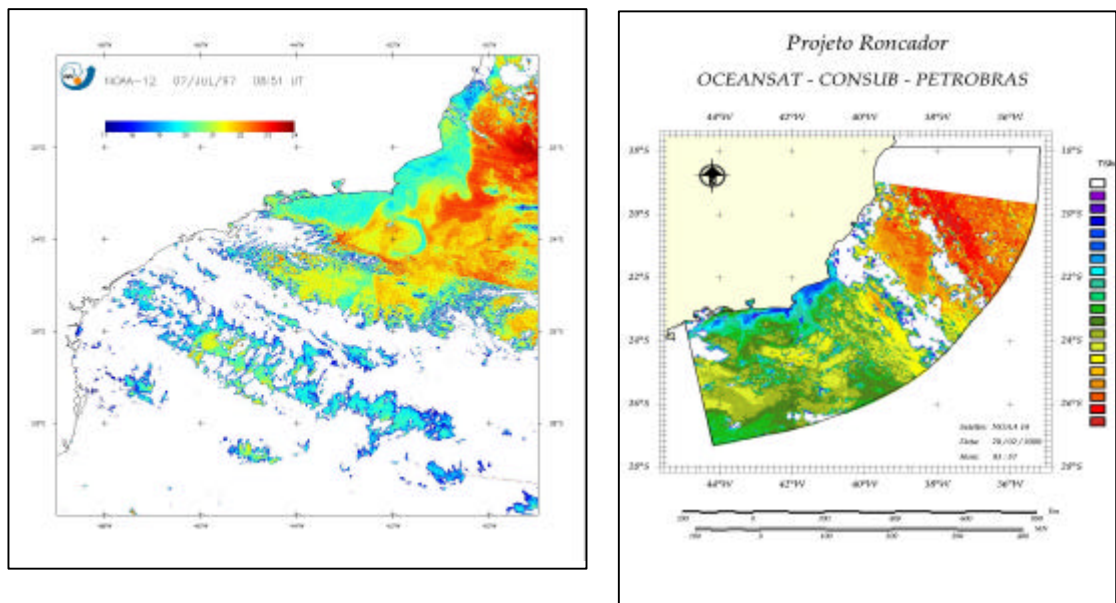
As imagens utilizadas para definição das frentes térmicas foram processadas utilizando-se o algoritmo para geração de TSM do tipo não-linear, e devidamente georreferenciadas, durante execução dos Programas de Capacitação em Exploração em Águas Profundas (PROCAP) e Projeto Roncador realizados pela PETROBRAS, em conjunto com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a empresa OCEANSAT. As imagens utilizadas nesse trabalho constituem acervo técnico desses projetos e estão armazenadas no banco de dados da PETROBRAS.

4.4.2. Digitalização da frente térmica da Corrente do Brasil

As principais etapas para análise das imagens e digitalização da frente térmica da Corrente do Brasil são descritas a seguir.

1) – Seleção das Imagens AVHRR com base nos seguintes critérios: integridade da frente no trecho de interesse, cobertura de nuvens, gradiente térmico bem definido na imagem.

A frente térmica deveria estar visível, no mínimo, entre as latitudes de 20° S e 25° S, com total ausência de nuvens. Imagens com contaminação ou obstrução por nuvens que impossibilitassem o cumprimento desse critério foram descartadas. Na Figura 16 são apresentados dois exemplos de imagens descartadas pelo critério da ocorrência de nuvens sobre a frente térmica.



Figuras 16 - Exemplos de imagens descartadas pela contaminação de nuvens.

O gradiente térmico entre as águas da Corrente do Brasil e a água de plataforma deveria estar bem definido, de forma que sua localização sobre a imagem não fosse duvidosa. Algumas imagens foram descartadas por causa da imprecisão de se definir a frente da Corrente do Brasil, mesmo sem a obstrução por nuvens.

2) – Em seguida, procedeu-se à digitalização da frente térmica sobre as imagens selecionadas, a partir da latitude de 20° S, prosseguindo, no mínimo, até a latitude de 25°. No entanto, em imagens com visualização da frente térmica em latitudes maiores que o mínimo estabelecido, toda a extensão possível era aproveitada.

As frentes térmicas, identificadas nas imagens como um gradiente termal bem pronunciado entre a água quente da CB e a água mais fria da Plataforma Continental, indicam a borda oeste da Corrente do Brasil. Esta observação baseia-se no exposto no item 3.2.2 (Corrente do Brasil), em que dados de perfis de CTD, coletados em uma radial na latitude de 22,5° S, foram utilizados para estimar o máximo de gradiente termal e a borda oeste da CB.

3) – Para cada ponto discretizado sobre a frente térmica, calculou-se a distância Euclidiana entre este ponto e aquele mais próximo sobre a isóbata de 200 m.

As frentes discretizadas foram armazenadas em arquivos no formato ASCII, contendo as coordenadas geográficas dos pontos de digitalização da frente, a extensão da frente e as respectivas distâncias às isóbatas, em graus decimais. Esta fase do trabalho foi efetuada utilizando o programa **PlotAVHRR3.m**, desenvolvido em linguagem Matlab.

Definiu-se uma nomenclatura para identificação de todos os arquivos gerados nas análises e sua associação com as imagens. Os arquivos foram identificados da seguinte maneira: **aaaammddhh.***. Isto é, o ano com quatro dígitos, seguido do mês e do dia, juntamente com a hora ao final do nome do arquivo.

4.4.3. Preparação dos arquivos para análise de Fourier e de ondaletas

Os arquivos das frentes digitalizadas foram interpolados em intervalos constantes de x , denominado de Δx . Deve-se ressaltar que a análise espectral empregada nesse estudo foi efetuada no domínio do espaço, em detrimento da análise usual no domínio da frequência ou do tempo. Considerando que um dos objetivos refere-se à identificação dos padrões espaciais dos meandros da Corrente do Brasil, adaptou-se a FFT para identificação dos números de onda (K) associados aos picos espectrais mais significativos.

De acordo com a discussão apresentada no item 3.3.1, **Análise de Fourier e a Transformada Rápida de Fourier – FFT**, os critérios para interpolação dos dados devem obedecer ao Teorema de Nyquist e ter resolução suficiente para resolver números de ondas pequenos e relacionados com comprimento de interesse. As causas para o meandramento da Corrente do Brasil, conforme exposto no **item 3.2.2**, baseadas nos estudos de

CALADO (2001), SILVEIRA et al.(2000) e CAMPOS et al. (1995), apontam para feições relacionadas com dimensões espaciais em torno de 200 Km e 450 km.

Assim, a resolução espectral foi estabelecida para que números de onda dessa ordem fossem resolvidos pela análise de Fourier, utilizando-se a seguinte formulação:

$$\Delta K = \frac{1}{N \cdot \Delta x} \quad (25)$$

em que,

N representa número de observações

Δx representa o espaçamento entre observações, em Km.

Na Figura 17, um esquema ilustra uma série temporal hipotética com indicações dos parâmetros utilizados na equação 25. Na interpolação das frentes utilizou-se um Δx de 1 quilômetro e N igual a 1445, obtendo-se uma resolução espectral de $6,92 \times 10^{-4} \text{ km}^{-1}$.

O máximo número de onda pode ser calculado pela seguinte equação:

$$K_c = \frac{1}{2\Delta x} \quad (26)$$

K_c é o número máximo de onda (Km^{-1})

Δx representa o espaçamento entre observações (Km)

Com isso, o máximo número de onda (K_c) da frente interpolada com esses parâmetros foi de $0,5 \text{ Km}^{-1}$, equivalente ao comprimento de onda (λ) de 2 Km.

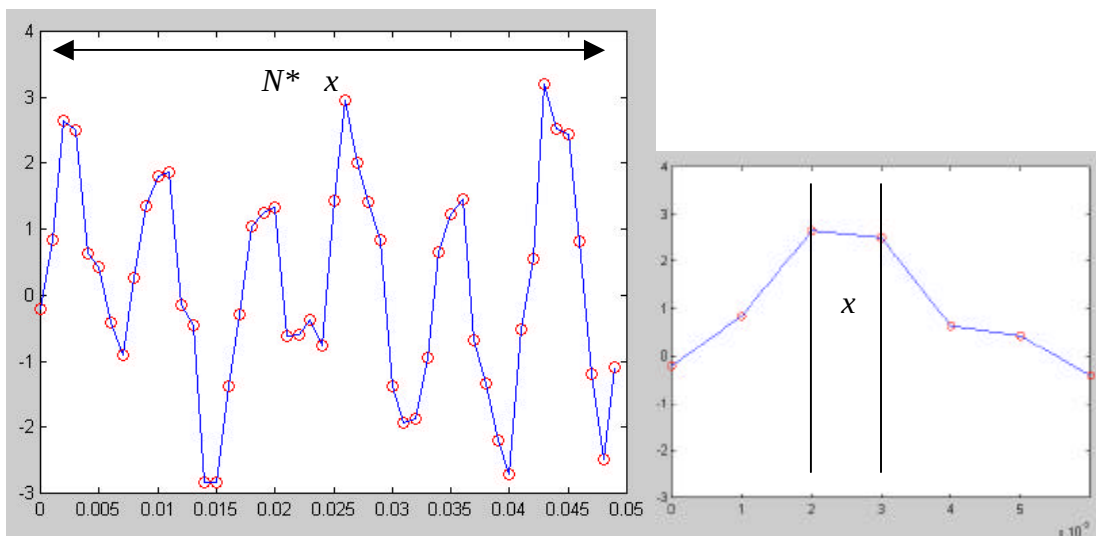


Figura 17 – Série temporal hipótetica ilustrando a resolução espectral.

A série interpolada ficou com uma extensão de 1445 quilômetros (aproximadamente 13 graus), o que ultrapassa boa parte das frentes discretizadas. A maioria das imagens permitia a digitalização até latitudes em torno de 26° S, obtendo-se uma frente originalmente com cerca de 800 Km (aproximadamente 7 graus) de extensão. Nesse caso, o algoritmo foi preparado para preencher com zeros restante do arquivo.

4.4.4. Parâmetros da análise de Fourier

A análise espectral foi executada utilizando-se o algoritmo da Transformada Rápida de Fourier (FFT), elaborando um código em Matlab para estimação do espectro do sinal da frente. Foram adotados os seguintes parâmetros na análise de Fourier:

- adoção de um número de Graus de Liberdade (**ngl**) igual a 6, que define o grau de alisamento do espectro,
- intervalo de confiança ao nível de 5% ,

- o espectro de potência foi transformado para **espectro de amplitude**, de acordo com a equação 23 (THE MATHWORKS, 1992) e sua unidade é Km,

$$P_A = \sqrt{\frac{2P_x}{N.\Delta x}} \quad (27)$$

em que,

P_x é o espectro de potência em uma banda, km^3

P_A é o espectro de amplitude, em Km.

Uma vez que a análise espectral foi executada no domínio espacial, os espectros foram plotados com **número de onda** contra a **amplitude de espectro**. Utilizaram-se, ainda, alguns critérios para seleção dos picos significativos e estatisticamente independentes, conforme abaixo:

- identifica picos estatisticamente independentes, adotando um espaçamento, em número de onda igual a

$$(\text{ngl}/2)/(1/N. \ x);$$

- descarta picos espectrais com amplitudes menores que 3 Km;
- seleciona um pico para as seguintes faixas de comprimento de onda;
 - > 300 Km,
 - entre 300 Km e 100 km,
 - < 100 Km.

Espectros com número de onda (K) maior que 0,05 foram descartados, em função dos erros associados ao processo de digitalização das frentes sobre as imagens em escalas muito reduzidas. Durante a digitalização pequenos deslocamentos representam variações da ordem de 30 quilômetros.

Calculou-se o deslocamento da frente da CB, em relação à isóbata de 200 metros, para os seguintes pontos notáveis na costa sudeste brasileira: Cabo de São Tomé, Macaé e Cabo Frio. Os resultados da análise de FFT foram armazenados em único arquivo no formato ASCII.

4.4.5. Parâmetros para aplicação de ondaletas

A aplicação da ondaletas neste trabalho não tem como escopo aprofundar-se na análise e no uso da técnica. Mas tem como principal objetivo uma primeira abordagem para avaliação do seu potencial para identificação das escalas espaciais existentes nas frentes térmicas digitalizadas.

Aplicou-se uma função de ondaleta contínua, unidimensional, ao longo da frente interpolada, utilizando-se a ondaleta db2, pertencente a um grupo de ondaletas conhecido por *daublets*. A análise foi executada variando a escala de 1 até 512, com espaçamento de 1 unidade de escala.

A relação entre a escala da ondaleta e o comprimento de onda correspondente é dado pela relação que se segue:

$$F_a = F_c/a. \quad (28)$$

em que,

F_a = pseudofrequência associada com escala a ;

F_c = frequência central da ondaleta;

= período de amostragem.

Por meio da relação apresentada na equação 28, pode-se definir então para diferentes escalas, o comprimento de onda corresponde. No caso da ondaleta utilizada neste trabalho, a db2, sua frequência central é dada por 0,6667 Hz (THE MATHWORKS, 2002). Assim foram definidas as escalas correspondentes aos comprimentos de onda de 444 quilômetros e 222 quilômetros.

4.4.6. Rotinas desenvolvidas em Matlab

Foram utilizadas cinco rotinas em Matlab para o processamento, armazenamento e visualização dos dados em todas as etapas dos trabalhos. Segue relação das rotinas com breve descrição.

- PLOTAVHRR3.m – captura imagem TSM no formato .bmp e executa georreferenciamento da mesma. Utilizada também para digitalização da frente térmica, calcula seu deslocamento em relação às isóbatas e salva os dados em arquivo ASCII com extensão .frt.
- TRATAFFT.m, FUNÇAOFFT.m, SELE_PICO.m – executa a interpolação da frente térmica original e, em seguida, a Transformada de Fourier, selecionando picos significativos. Gera os gráficos para visualização das frentes interpoladas e respectivos espectros, salvando os resultados em arquivos ASCII com extensões .1Km e .esp para frentes interpoladas e resultados da FFT, respectivamente. Gera um terceiro arquivo ASCII com extensão .out, em que os comprimentos de onda selecionados e os deslocamentos da frente no Cabo de São Tomé, Macaé e Cabo Frio são armazenados.
- TRATAWAVELET - executa transformada de ondaleta contínua nas frentes interpoladas, salvando os coeficientes e plotando os gráficos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do universo de imagens disponíveis para análise e com base nos critérios de seleção definidos no item 4.4.2, foram discretizadas 105 frentes, com um aproveitamento de 28% das imagens. A abrangência temporal das imagens compreende os anos de 1993 a 2001. Na Tabela 4 encontra-se a distribuição das imagens selecionadas por estação do ano, onde se percebe a influência da cobertura de nuvens durante o período de verão. O total de imagens no período de verão era de 111, que ao final do processo de seleção obteve-se um percentual de aproveitamento de 23%. No inverno, esse total era de 92 imagens, porém o aproveitamento foi de 43%, visto que foram usadas 39 imagens para digitalizar a frente térmica.

Tabela 4 – Distribuição das imagens AVHRR utilizadas na digitalização das frentes térmicas - Estação do Ano

Estação do Ano	Total de Imagens	Frentes Digitalizadas
Inverno	92	39
Outono	76	20
Primavera	89	22
Verão	111	24

Na Tabela 5 encontra-se a distribuição, em cada ano, do total de imagens analisadas, com respectivas imagens utilizadas para captura da frente termal. Pode-se observar que o número de imagens, ao longo dos anos, é bastante variado, em função do acervo disponível, bem como devido aos problemas com cobertura de nuvens e defeitos radiométricos nas imagens. Este fato é bem característico para o ano de 1999, do Projeto Roncador, no qual o percentual de aproveitamento foi muito pequeno. Analisando as imagens desse período, observou-se que para os meses de abril e maio daquele ano, o recobrimento de nuvens foi uma constante. A maioria das imagens desses meses foi descartada.

Tabela 5 - Distribuição anual das imagens AVHRR utilizadas na digitalização das frentes térmicas

Ano	Total de Imagens	Frentes Digitalizadas
1993	13	9
1994	23	13
1995	27	12
1996	19	3
1997	31	15
1998	38	5
1999	105	17
2000	95	26
2001	17	5
Total	371	105

5.1. Digitalização das frentes térmicas sobre as imagens de TSM

As imagens selecionadas foram importadas para o Matlab e georreferenciadas, procedendo-se à digitalização das frentes. Na Figura 18 mostra-se um exemplo de frente discretizada e a plotagem da distância às isóbatas, em graus decimais e comprimento da frente discretizada a partir da

latitude de 20° s. As coordenadas da frente digitalizada foram armazenadas, juntamente com as distâncias calculadas à isóbata de 200 m, e o comprimento da frente. Esses arquivos no formato ASCII foram criados com extensão .FRT e no Apêndice 1 tem um exemplo da estrutura desse arquivo.

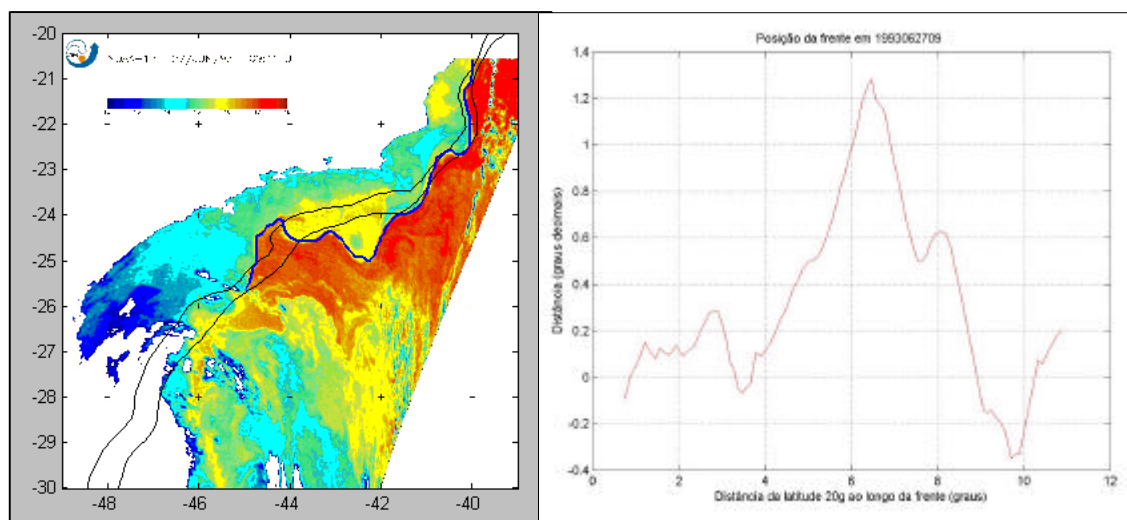


Figura 18 – Discretização da frente térmica sobre imagem AVHRR e gráfico com cálculo da distância à isóbata de 200 m.

Na imagem de TSM da Figura 18, a frente discretizada está representada pela linha contínua azul, ao longo de toda a frente térmica da Corrente do Brasil. A imagem foi obtida no dia 27 de junho de 1993 e pode-se observar um pequeno meandro na altura do Cabo de São Tomé (latitude de 22° S) e um afastamento muito pronunciado da frente, em relação à isóbata de 200 m, ao largo de Cabo Frio (longitude de 42° W). No lado direito desta imagem (Figura 18) encontra-se um gráfico com a variação das distâncias da frente capturada às isóbatas de interesse. No eixo y encontram-se os valores destas distâncias em graus, em valores positivos e negativos, em que valores positivos representam maior afastamento da Costa e a frente térmica localiza-se à direita das isóbatas, tomando-se o sentido de Nordeste para Sudoeste como referência. Nota-se claramente o meandro ao largo de Cabo Frio representado, nesta série, como uma feição de baixa frequência na altura de 6° de comprimento da frente, e com valores positivos de distância. Em média utilizavam-se 90 pontos para

discretizar as frentes, que por sua vez possuíam, em média 9 graus de comprimento. Essa é uma imagem do dia 27 de junho de 1993, que mostra um afastamento, em relação à Costa, muito pronunciado na altura de Cabo Frio e no Platô de São Paulo. Essa feição ocorreu com frequência nas imagens do ano de 1993, especialmente nos meses de inverno.

A seguir, algumas imagens de TSM, com os principais padrões da frente térmica, são apresentadas com o intuito de ilustrar as feições mais comuns, e também as mais raras, discutindo-se algumas dificuldades encontradas na definição da frente térmica.

Na Figura 19 encontra-se uma imagem de TSM com intenso meandramento, com ondas que se propagam para maiores latitudes, de até 28° S, como um “trem de ondas” bem definido. Essa feição foi observada em poucas imagens, aparecendo quatro vezes na amostra utilizada nesse estudo. A dificuldade encontrada para digitalizar imagens com presença de vórtices, que também pode ser observada nessa imagem do dia 27 de junho de 1994 (Figura 19), era definir o sentido das correntes marinhas e o local em que a borda oeste da Corrente do Brasil estava fluindo. Esse problema pode ser observado em outra imagem do dia 30 de abril de 1995 (Figura 20), em que aparece um grande meandro na altura do Cabo de São Tomé, com um afastamento muito grande da frente do CB do talude. Esse fenômeno foi capturado por um fundeio da PETROBRAS, executado no âmbito do Programa de Capacitação em Águas Profundas 2000 (PROCAP 2000), revelando a brutal intensificação e reversão das correntes marinhas no local. Na Figura 20 apresenta-se a imagem em questão e o meandro do Cabo de São Tomé, que parece ser recorrente. Novamente, aparece a dificuldade para definir a frente da CB e o sentido de fluxo da sua borda oeste quando aparecem anomalias como grandes meandros ou vórtices.

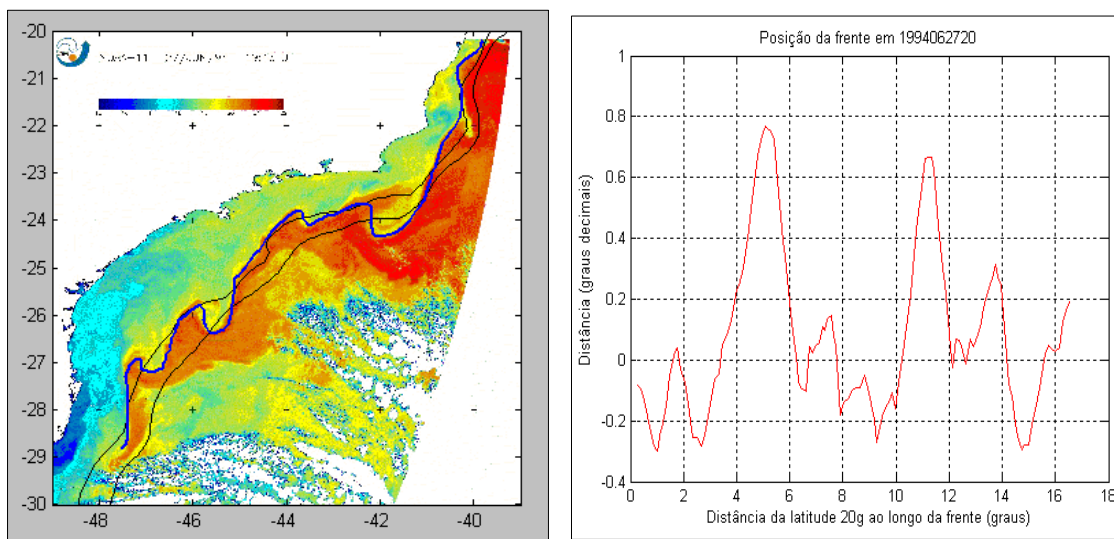


Figura 19 – Imagem TSM com frente térmica digitalizada e gráfico mostrando os deslocamentos da frente em relação à isóbata de 200 m.

Utilizando os dados do fundeio do PROCAP 2000, que abrange o período da imagem do dia 30 de abril de 1995, plotoram-se os vetores das correntes medidas do dia 01 de maio de 1995, objetivando determinar o sentido das correntes na presença de intensos meandros. A série temporal de correntes dos fundeios F3N, F1S e F3S encontra-se plotada nas Figuras 21 e 22, nas suas componentes Norte-Sul (N-S) e Leste-Oeste (E-W), respectivamente, na profundidade de 50 metros.

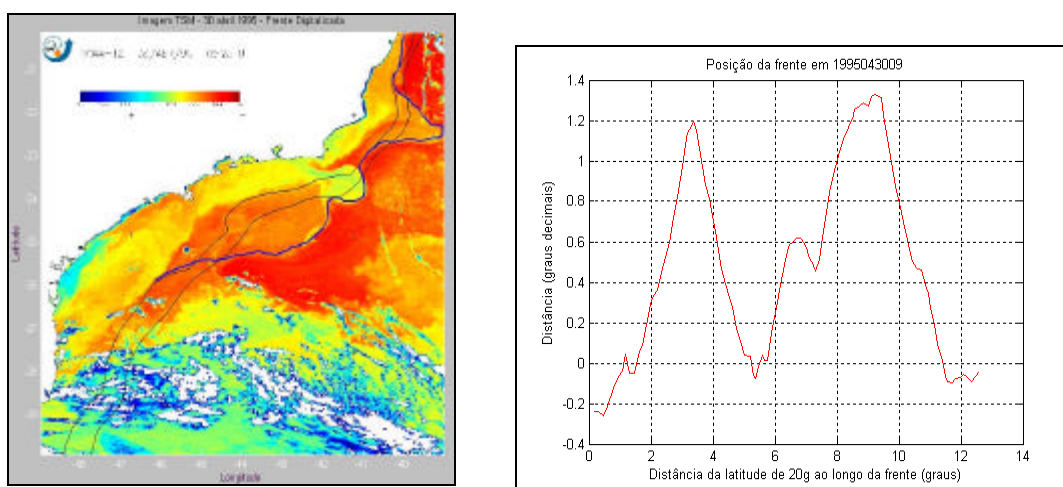


Figura 20 – Imagem TSM – 30 abril de 1995 – com frente digitalizada e gráfico com posição da frente.

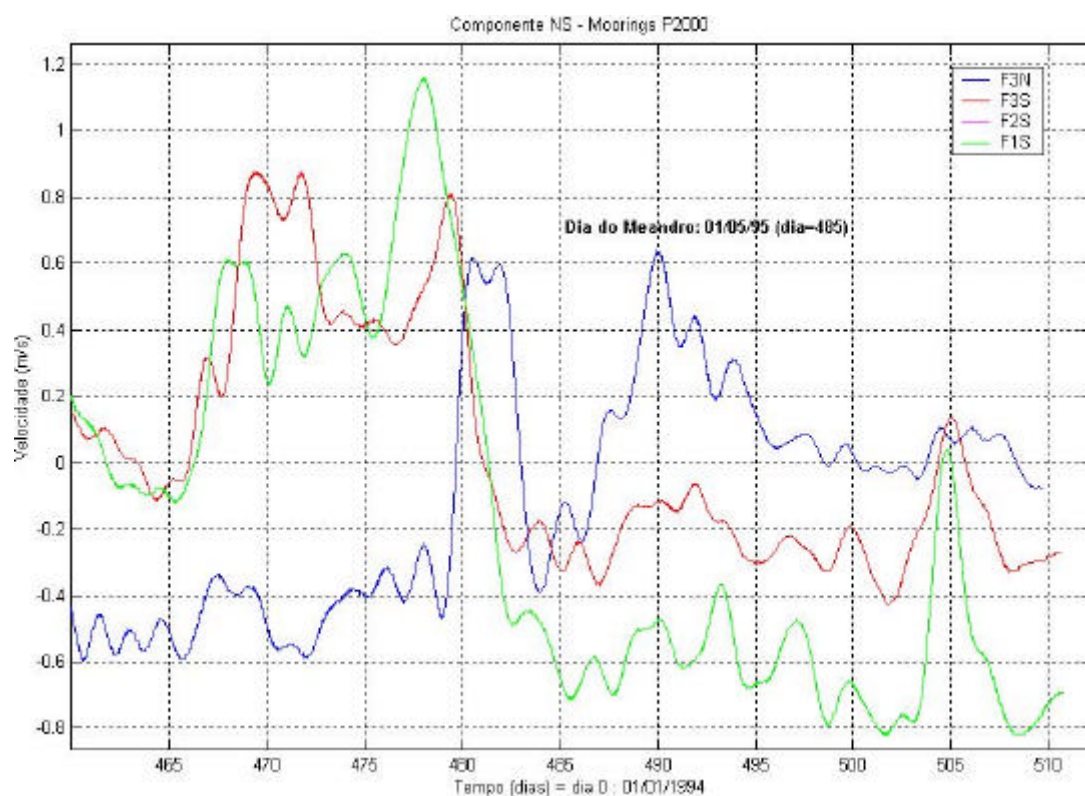


Figura 21 – Série Temporal de correntes coletadas durante fundeio do PROCAP2000, componentes NS.

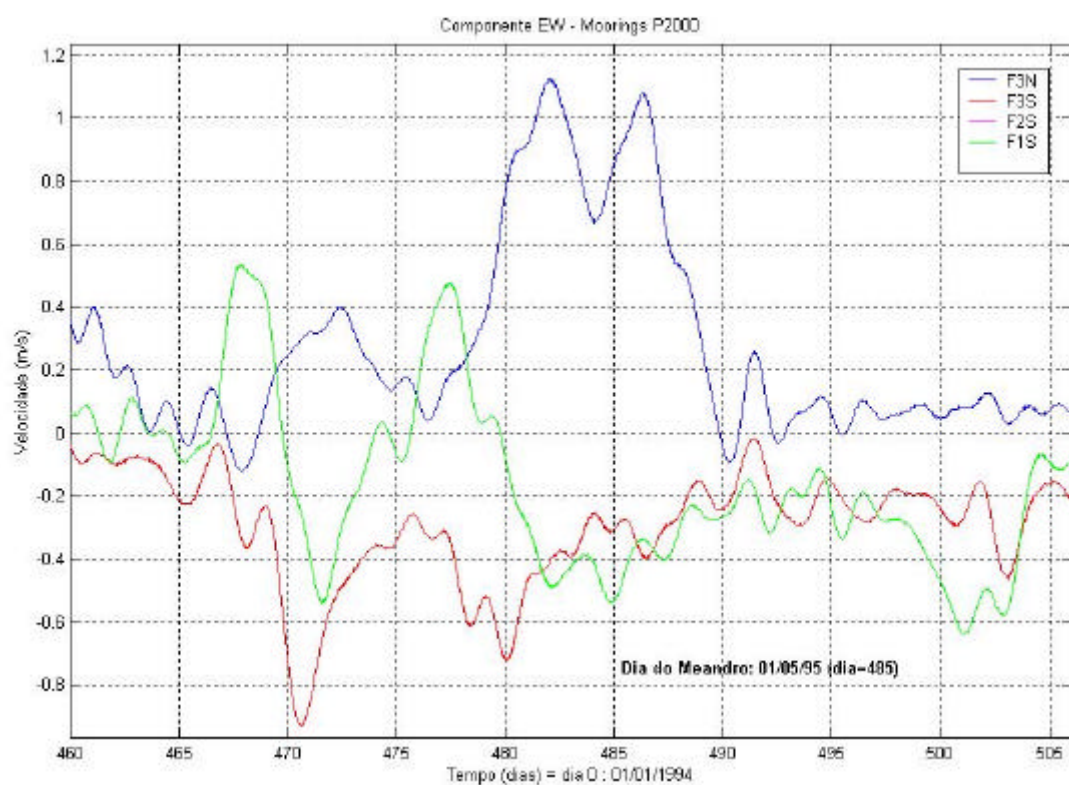


Figura 22 – Série temporal de correntes coletadas durante fundeio do PROCAP2000, componentes EW.

A localização dos fundeios (F3N, F1S e F3S) está representada na Figura 23, sobre a imagem TSM do dia 30 de abril de 1994, onde foram colocados os vetores de corrente dos referido fundeios, mostrando o padrão de circulação de correntes para o dia 01 de maio de 1995. Analisando-se a série do fundeio F1S (Figura 21 – linha verde) nota –se a forte reversão na componente NS no período de observação do meandro nas imagens orbitais. Observa-se também uma intensificação das correntes do fundeio F3N, nas componentes EW no mesmo período (Figura 22 – linha azul). Esta análise auxiliou no processo de definição e digitalização da frente térmica.

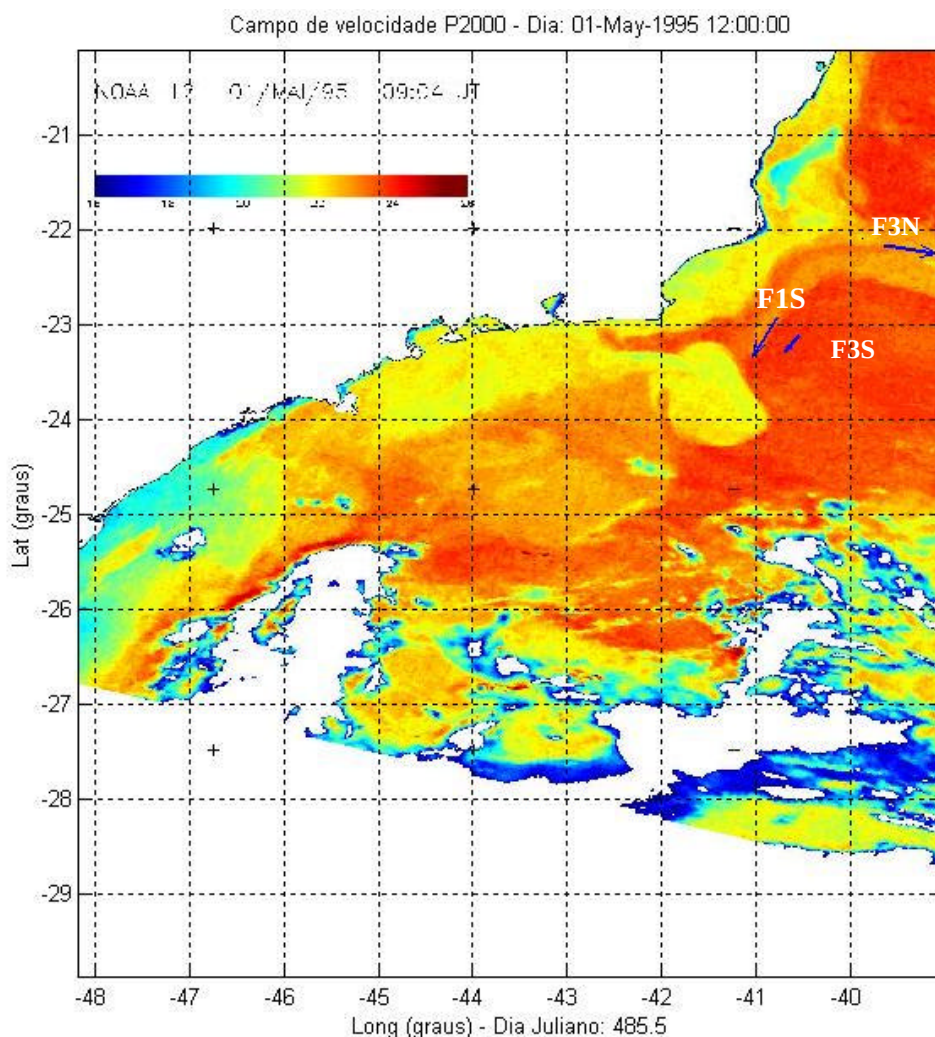


Figura 23 – Imagem TSM do dia 30 de abril de 1995 com vetores de velocidade do PROCAP 2000.

Há situações em que a frente térmica mostra a CB mais comportada, com ausência de meandros, ou vórtices, ou ocorrem pequenos meandros e menos intensos. Esse padrão foi encontrado também nas imagens analisadas e há um exemplo na Figura 24, com o respectivo gráfico da frente, em que a frente segue a isóbata de 200 metros.

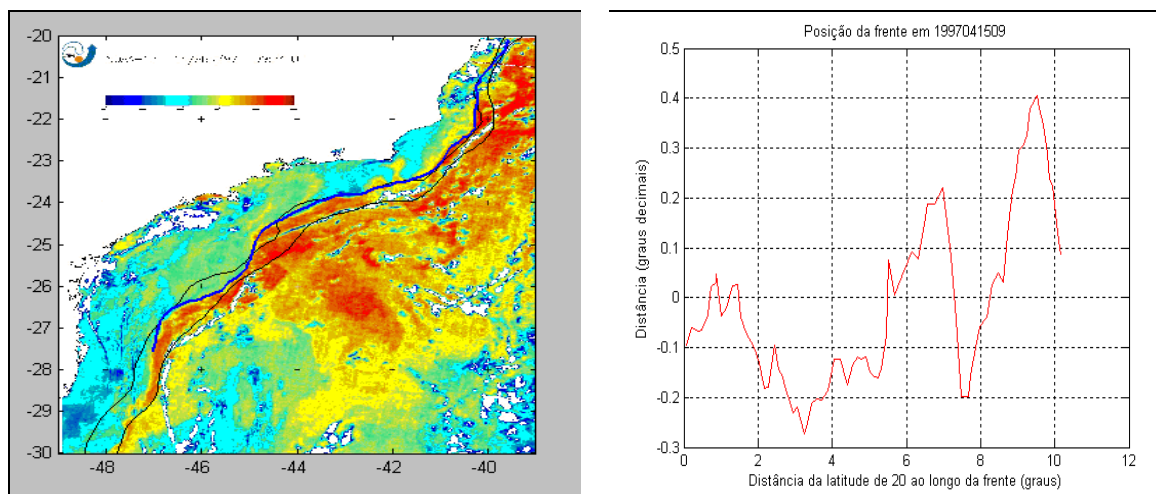


Figura 24 – Imagem TSM do dia 15 de abril de 1997, com frente digitalizada e gráfico com posição da frente.

Outro aspecto a ser ressaltado refere-se ao conjunto de imagens no período de 1998 a 2001, em que a frente era interrompida na latitude de 25° S. O comprimento da frente é importante para se obter um arquivo com discretização que possibilite definir uma resolução espectral, em termos de número de onda (K), suficiente para detecção de comprimentos de onda mais longos. Procedeu-se à interpolação de todos os arquivos digitais da frente, antes da execução da análise de FFT. Na Figura 25 encontra-se uma série de frentes interpoladas, indicando a localização de alguns pontos notáveis da costa Brasileira: Cabo de São Tomé (linha magenta), Macaé (linha verde) e Cabo Frio (linha preta). Pode-se observar o truncamento ao final da série, com zeros, para extensão da frente até 1445 Km, objetivando-se melhorar a resolução espectral, conforme exposto no item 4.4.3. As imagens entre 1993 e 1997 possibilitaram definir frentes um pouco mais extensas, evitando truncamentos muito grandes ao final da série (Figura 26). As frentes interpoladas foram armazenadas em ASCII (Apêndice 2).

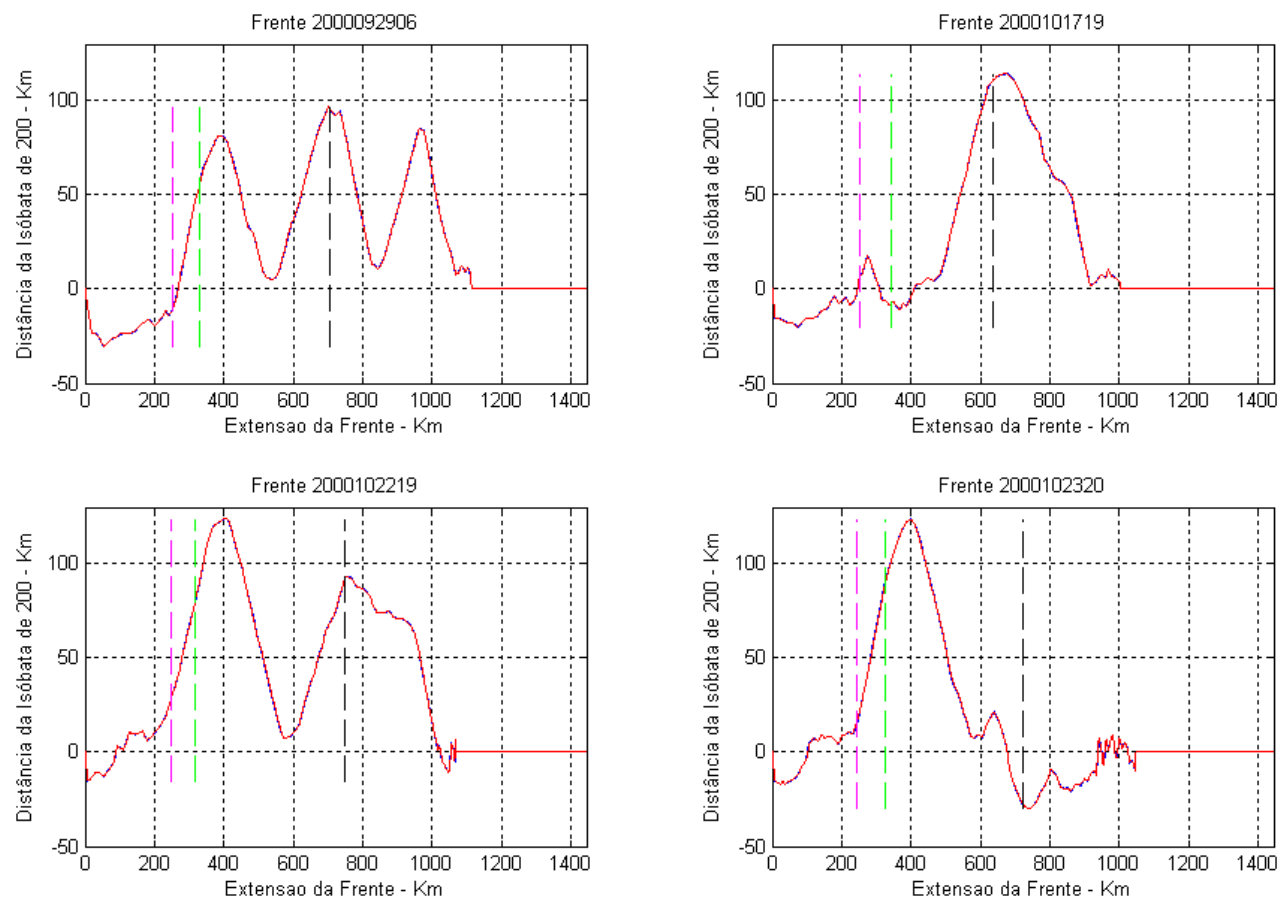


Figura 25 – Conjuntos de frentes interpoladas, com indicação no gráfico de pontos notáveis da costa brasileira.

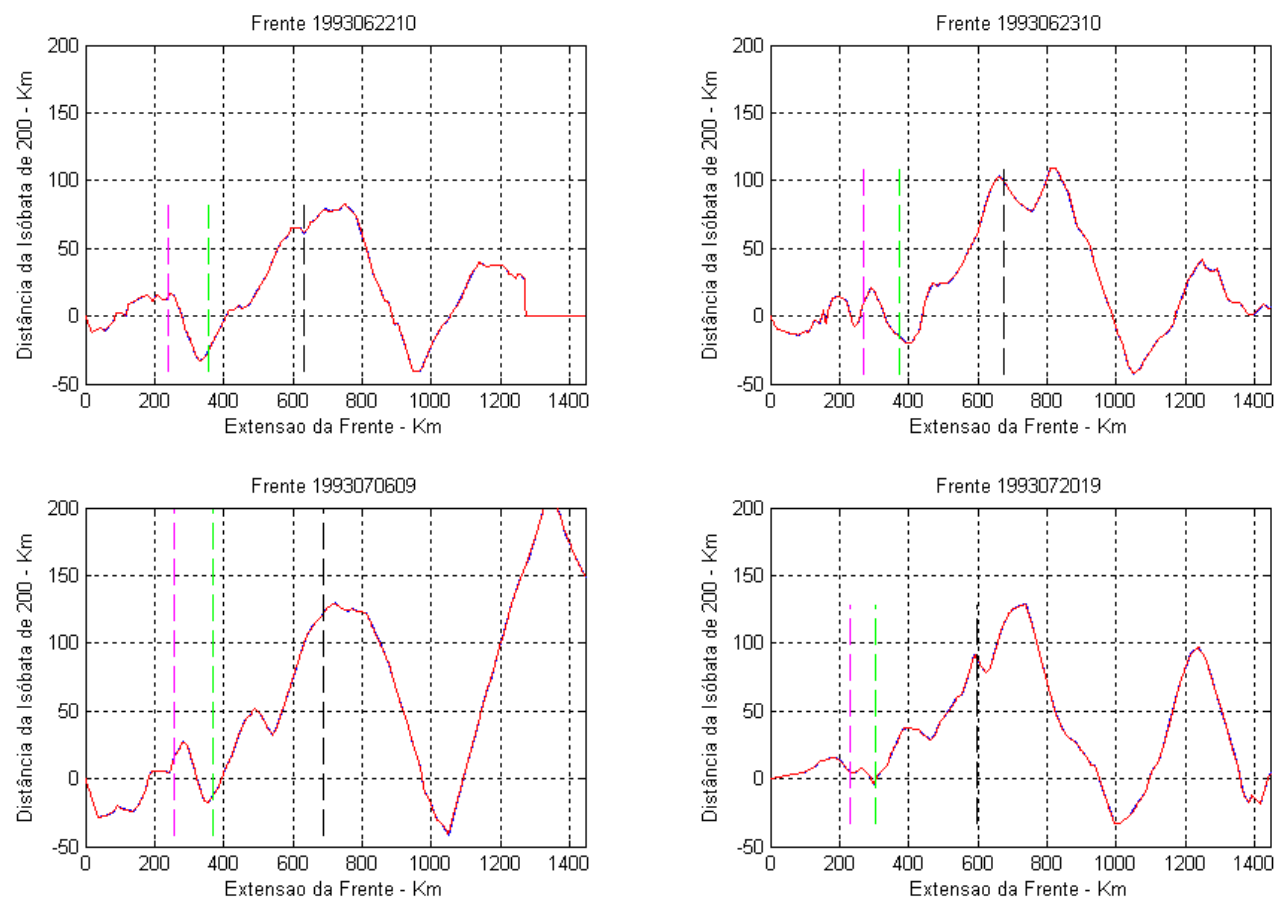


Figura 26 – Conjuntos de frentes interpoladas, com indicação no gráfico de pontos notáveis da costa brasileira.

5.2. Análise de Fourier com algoritmo da Transformada Rápida de Fourier

As rotinas desenvolvidas para a análise de Fourier foram aplicadas sobre todos os arquivos de frentes interpoladas, utilizando os critérios e parâmetros definidos no item 4.4.4. Os resultados da análise espectral foram armazenados em arquivos ASCII, com extensão .ESP (Apêndice 3), composto de duas colunas: a primeira coluna armazena o número de onda (Km^{-1}) e a segunda o espectro da frente em termos de amplitude de espectro (Km). Incluiu-se uma pequena rotina no código para armazenar em um arquivo todos os dados obtidos por meio da análise espectral, o qual encontra-se no Apêndice 4, tais como:

- os deslocamentos da frente térmica, em relação à isóbata de 200 metros, nos três pontos notáveis da costa (Cabo de São Tomé, Macaé e Cabo Frio);
- os picos espectrais nas faixas de comprimento de onda definidas no item 4.4.4;
- as amplitudes associadas aos picos espectrais;
- e o momento dos espectros, que representa a integração de todo o espectro.

Partindo-se de algumas imagens com feições de interesse, ou sequência de imagens mostrando crescimento temporal de meandros, os espectros dessas frentes serão discutidos, procurando identificar a capacidade do algoritmo em detectar os números de onda relacionados com os meandros. Nas Figuras 27 e 28 encontra-se um conjunto de espectros, mostrando os picos espectrais identificados pelo algoritmo, por faixas de comprimento de onda. As faixas estão demarcadas por linhas pontilhadas em magenta e se referem aos comprimentos de onda: 100 Km e 300 Km. Observa-se, em rápida análise desses espectros, que os comprimentos de onda em baixa frequência (números de onda muito pequenos) não foram identificados claramente pelo algoritmo. Esse aspecto parece indicar que os comprimentos das frentes, e conseqüentemente a resolução espectral, influenciaram na capacidade do algoritmo em detectar comprimentos de onda mais longos.

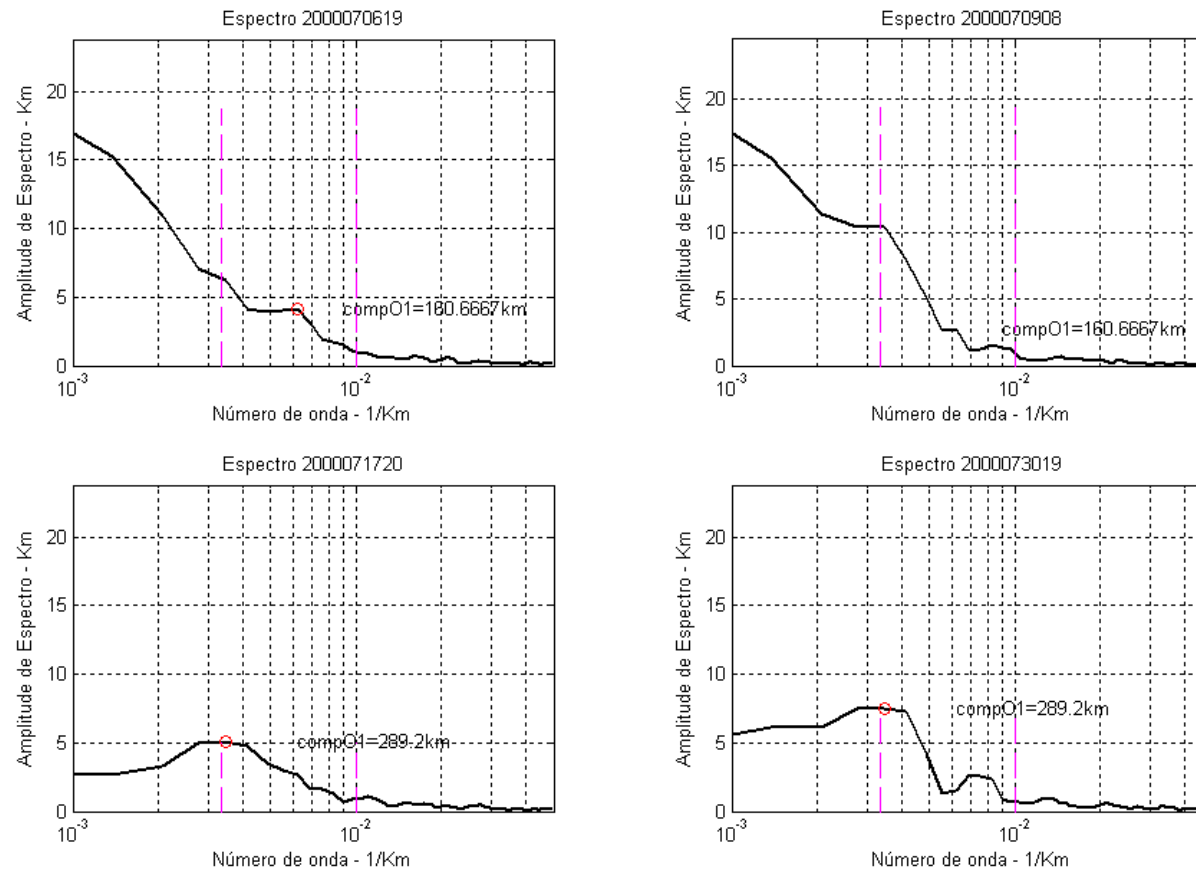


Figura 27 – Conjunto de espectros de frentes térmicas, com indicação dos picos significativos e dos intervalos de comprimento de onda.

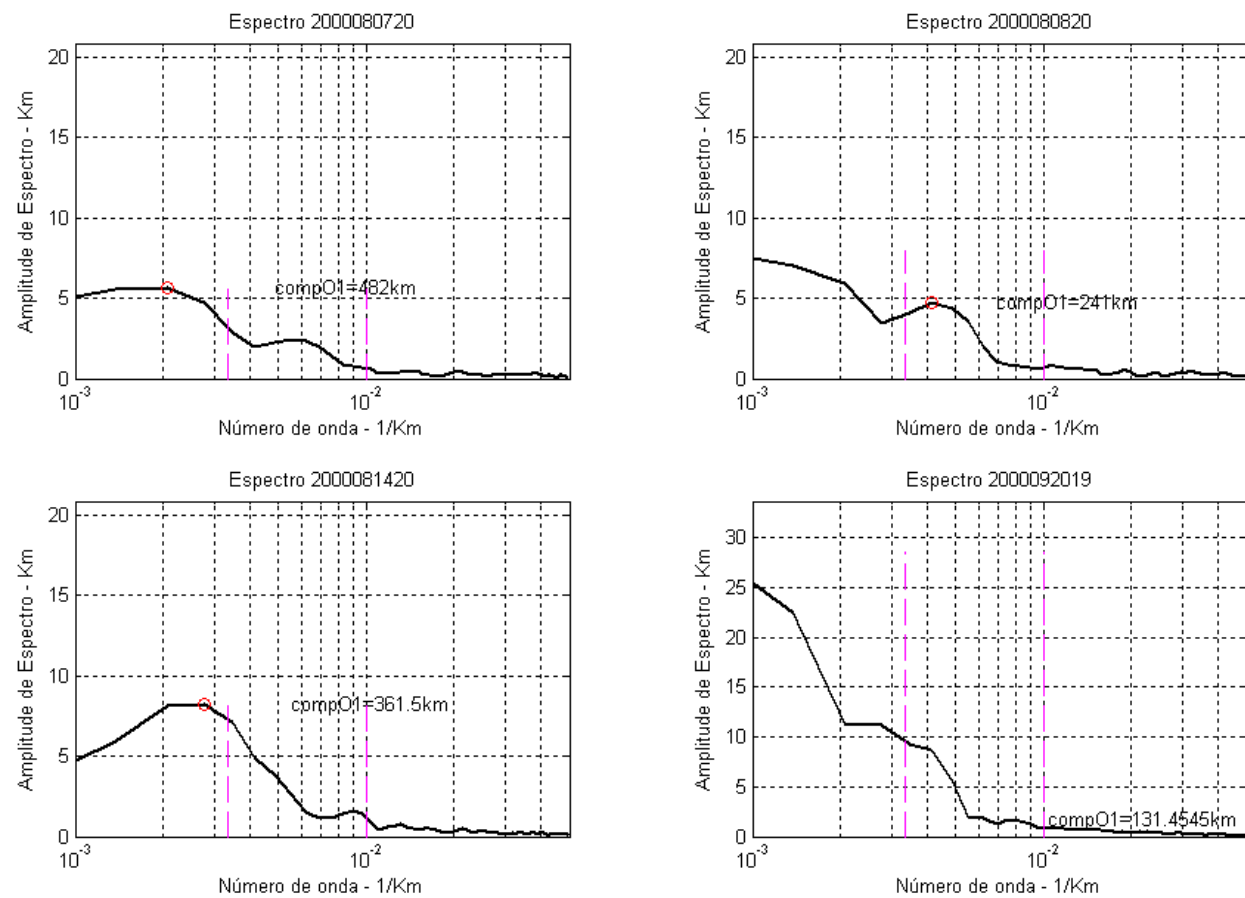


Figura 28 – Conjunto de espectros de frentes térmicas, com indicação dos picos significativos e dos intervalos de comprimento de onda.

A dificuldade de detecção do primeiro pico espectral, relativo à faixa de comprimento de onda maior que 300 quilômetros pode estar relacionada também com o truncamento da série durante a interpolação. Em algumas situações o primeiro pico espectral foi detectado e percebe-se a robustez do algoritmo na detecção do segundo pico espectral, onde se encontram os comprimentos de onda em torno de 250 quilômetros. Diante destas observações, avalia-se o que problema não reside no uso da análise de Fourier, mas a uma contingência dos dados disponíveis para análise. Ou seja, o método parece bastante robusto para identificação dos comprimentos de onda significativos. Em outro exemplo, na imagem do dia 09 de julho de 2000, na qual se observa um meandramento bem típico da CB, percebe-se que a análise espectral identifica um pico no comprimento de onda 160,66 quilômetros. Este comprimento parece estar associado com a distância dos meandros visualizados no Cabo de São Tomé e outro em Cabo Frio. No entanto, conforme exposto na revisão sobre análise espectral, com a FFT identificam-se as faixas de frequência com maior variância, mas não em que instante do tempo ela ocorreu. É o que ocorre nas análises desse estudo, em que se identifica o pico significativo e o número de onda associado, mas não se identifica onde ele ocorreu. Na Figura 29 estão essa imagem de 09 de julho de 2000 e o seu espectro.

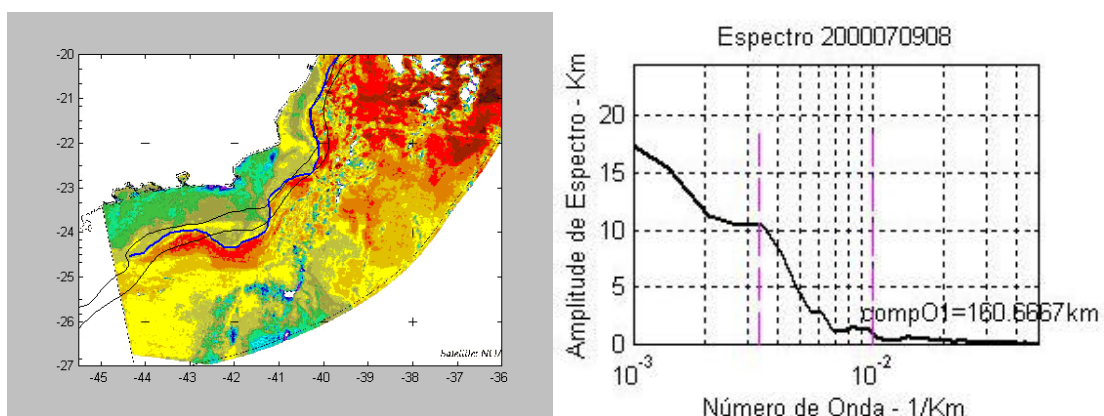


Figura 29 – Imagem de TSM do dia 09 de julho de 2000 e respectivo espectro.

Em uma outra sequência de imagens, entre os dias 23 de agosto de 1999 e 27 de agosto do mesmo ano, observa-se o início de formação de meandros no dia 23 de agosto (Figura 30), que se intensifica e que pode ser visualizado na imagem do dia 27 de agosto (Figura 31). Ressalta-se o fato de que no dia 27 de agosto a frente encontra-se mais distante da isóbata de 200 metros, ao largo do Cabo de São Tomé e Cabo Frio, latitudes de 22° S e 24° S, respectivamente. Pode-se afirmar que a frente do dia 27 de agosto é mais sinuosa do que a do observada no dia 23 de agosto. Os gráficos da análise espectral encontram-se ao lado das respectivas figuras.

Um dos parâmetros estimados pela análise espectral foi o momento, que representa a integração da curva espectral. Nesta sequência de imagem observa-se o crescimento gradual do momento à medida que a sinuosidade, ou formação de meandros, aumenta. Na Tabela 06 são apresentados os valores dos momentos das imagens do dia 23 de agosto a 27 de agosto de 1999. Na Figura 32 estão plotados os momentos estimados das frentes térmicas, de todas as imagens utilizadas, onde se pode observar a dispersão desse parâmetro. Com base nessa constatação, pode-se especular que o momento representa o grau de sinuosidade da frente e do afastamento da isóbata de 200 metros, em que conseqüentemente representa a intensidade dos meandros da CB.

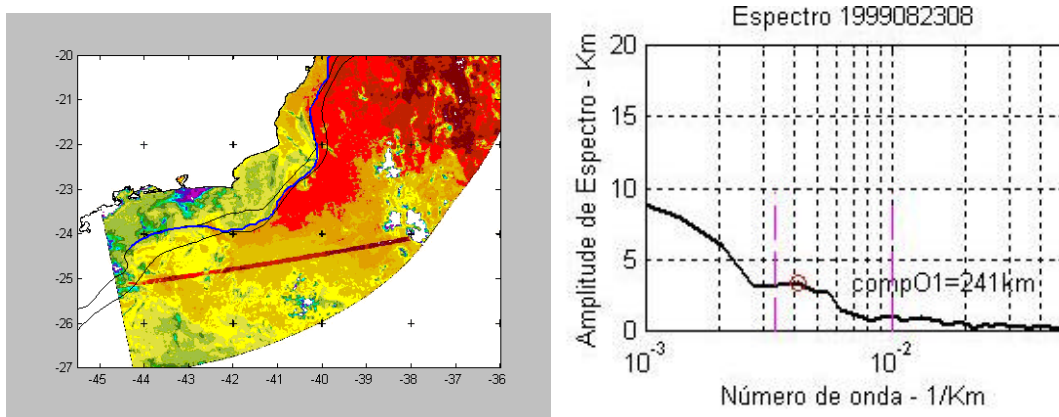


Figura 30 – Imagem de TSM de 23 de agosto de 1999 e pico espectral de 241 Km.

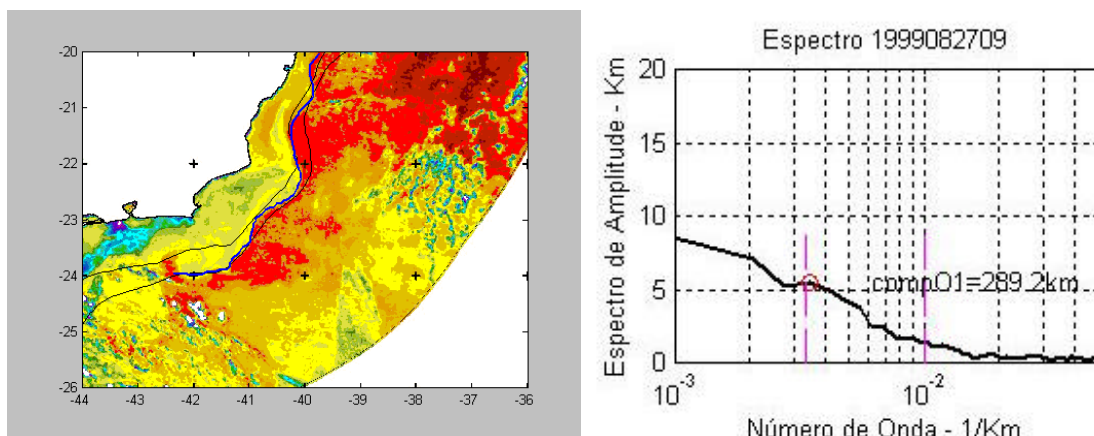


Figura 31 – Imagem de TSM de 27 de agosto de 1999 e pico espectral de 289,2 Km.

Tabela 6 – Valores de momentos para sequência de imagens TSM

Imagem TSM	Momento	Comprimento de Onda Km
23 agosto 1999 – 08 horas	0,040641	241
24 agosto 1999 – 08 horas	0,044868	242
26 agosto 1999 – 06 horas	0,054869	241
27 agosto 1999 – 09 horas	0,072463	289

Da Figura 32 observamos alguns valores que se destacam com momentos expressivos e que representam situações em que ocorreram grandes meandros ou intensos meandros ao longo da Corrente do Brasil. Um desses valores é de 30 de abril de 1995, provocado pelo “megameandro” ao largo do Cabo de São Tomé, apresentado na Figura 20. O mesmo vale para a imagem do dia 27 de junho de 1994, apresentado na Figura 19, que se destaca dos demais valores.

O maior valor de momento observado na Figura 32, maior que 0,3, provém de uma imagem do dia 25 de fevereiro de 1995 e foi estimado de uma frente térmica difusa e pode conter erros em sua interpretação, superestimando o valor. No entanto, o segundo maior valor refere-se a uma imagem do dia 11 de junho de 1995 em que há um afastamento muito pronunciado na região platô de São Paulo.

A dispersão dos valores de comprimentos de onda estimados pela análise espectral está representada na Figura 33 e percebe-se uma concentração em torno dos valores de 200 e 400 quilômetros. Os valores estimados apresentam coerência com as teorias que explicam a formação dos meandros e vórtices na Corrente do Brasil. Esses resultados confirmam, em bases quantitativas, as principais escalas de meandros da Corrente do Brasil entre o Cabo de São Tomé e o Platô de São Paulo.

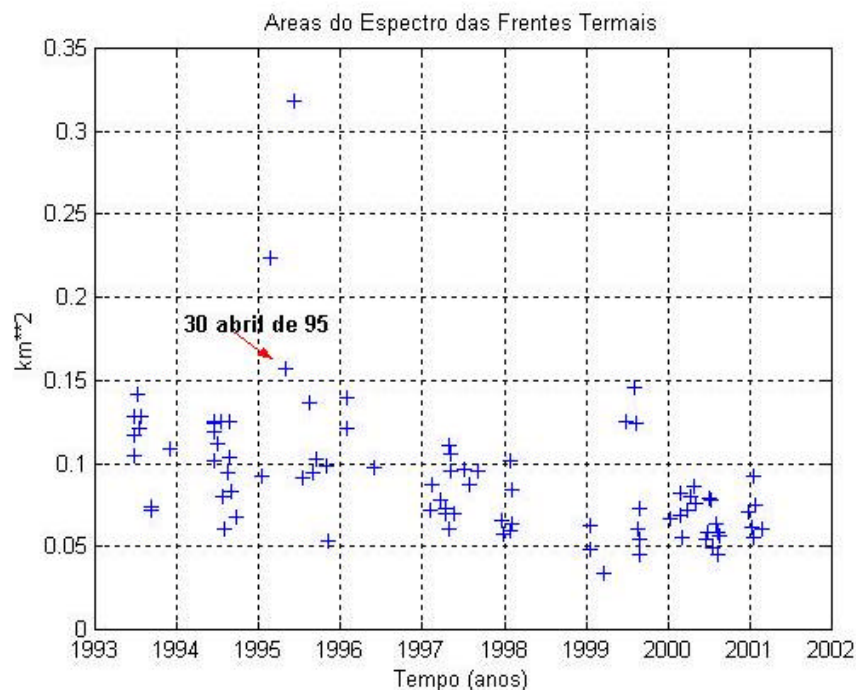


Figura 32 – Dispersão dos valores de momento estimados dos espectros das frentes.

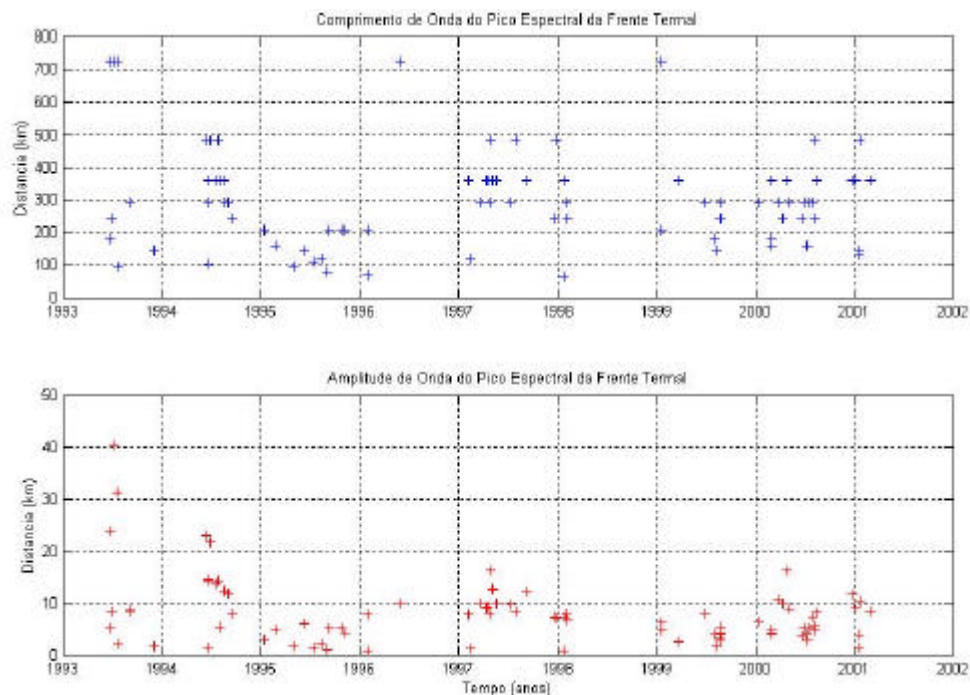


Figura 33 – Dispersão dos comprimentos de ondas e amplitudes estimados dos espectros das frentes.

A distribuição de frequências dos comprimentos de onda estimados (Figura 34) oferece uma compreensão melhor das escalas espaciais associadas às feições de mesoescala em análise neste trabalho.

Outro dado importante obtido a partir da digitalização das frentes térmicas refere-se ao cálculo do deslocamento da frente em relação à isóbata de 200 metros, ao longo de três pontos notáveis: Cabo de São Tomé (latitude de 22° S), Macaé (latitude de $22,5^{\circ}$) e Cabo Frio (na longitude de 42° W). Os valores desse deslocamento para o Cabo de São Tomé foram muito concentrados entre 20 e -20 quilômetros (Figura 35), encontrando-se tanto à direita quanto à esquerda da isóbata de referência. Apenas 20% dos deslocamentos foram superiores aos 20 quilômetros. Os maiores valores observados, acima de 50 quilômetros, foram para as imagens com ocorrência dos grandes meandros, conforme na imagem do dia 30 de abril de 1995.

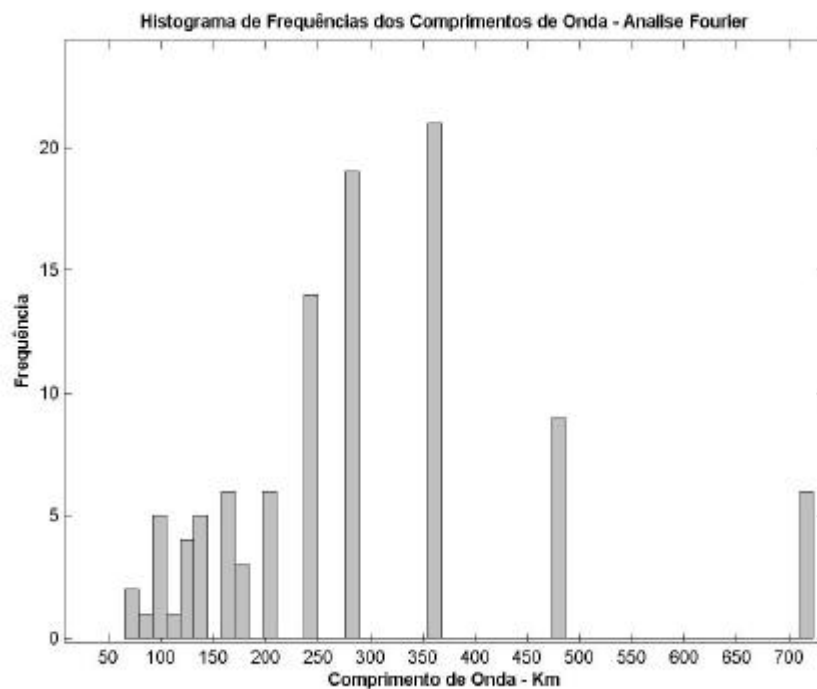


Figura 34 - Distribuição de frequências dos comprimentos de onda.

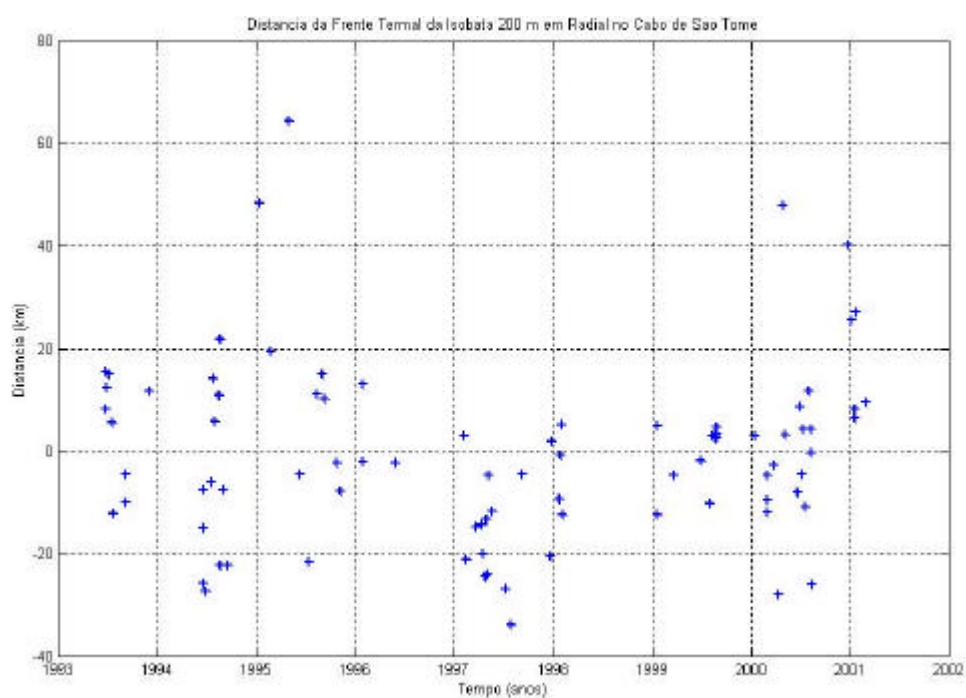


Figura 35 – Distância da frente térmica da isóbata de 200 metros na latitude do Cabo de São Tomé.

Os registros das distâncias da frente, para a radial de Macaé (latitude de $22,5^{\circ}$ S), possuem valores maiores quando comparados com aqueles obtidos para o Cabo de São Tomé. Esses valores encontrados sugerem que a frente térmica de superfície, assim como o jato da CB, está deslocada mais para leste da isóbata de 200 m em Macaé. Isto é explicado pela forte mudança de orientação da batimetria na quebra da plataforma, que se encontrava na direção norte-sul em São Tomé e assume direção nordeste-sudeste em Macaé. O jato da CB tem elevada inércia e está fluindo rumo ao sul em São Tomé ao longo da isóbata de 200 m, não tendo tempo de retorno para próximo desta isóbata em Macaé, passando um pouco ao largo em inúmeras imagens. Ressalta-se que na radial de Macaé, 43% dos deslocamentos encontram-se acima de 20 quilômetros (Figura 36).

Na radial de Cabo Frio as distâncias são bem maiores e também mais dispersas (Figura 37). Outro aspecto diferente das demais radiais é o fato de que a maioria dos valores é positiva e passam ao largo da isóbata de 200 metros. Este dado pode ser uma comprovação do efeito da batimetria e da mudança no sentido da costa nessa região, no comportamento da CB e no aparecimento de estruturas vorticais e meandros. Na Tabela 7 encontram-se os valores estimados para as médias e desvios padrões da variação do deslocamento da frente térmica, em relação à isóbata de 200 metros, nos pontos notáveis de interesse: Cabo de São Tomé, Macaé e Cabo Frio.

Os resultados apresentados e discutidos apontam para a validade da técnica de FFT na determinação dos comprimentos de onda mais significativos associados aos meandros e vórtices da CB entre latitudes de 20° S e 28° S. No entanto, a dificuldade de se obter imagens com pouca interferência atmosférica impede uma amostragem temporal adequada para a digitalização da frente térmica, entre os diferentes anos e estações.

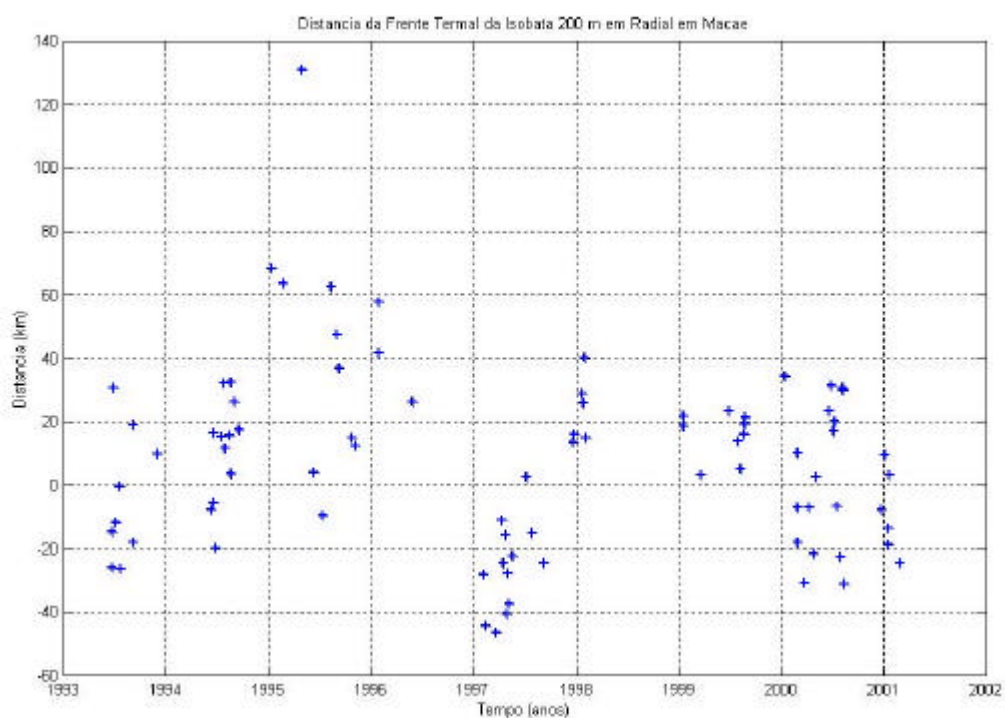


Figura 36 – Distância da frente térmica da isóbata de 200 metros na latitude do Cabo de Macaé.

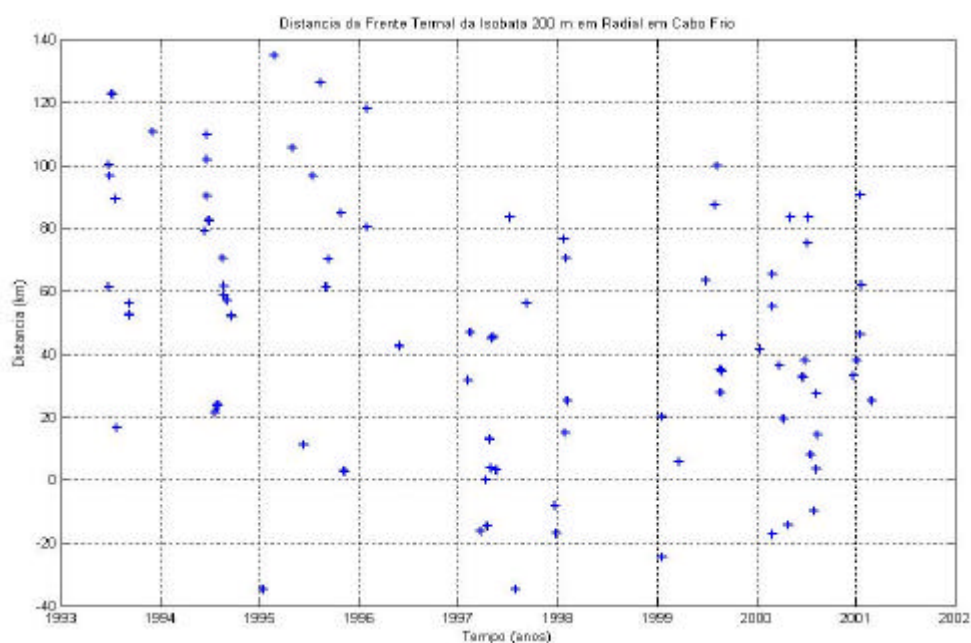


Figura 37 – Distância da frente térmica da isóbata de 200 metros na latitude de Cabo Frio.

Tabela 7 – Estatísticas para o deslocamento da frente térmica em torno da isóbata de 200 metros para alguns pontos da costa sudeste brasileira

Referência na Costa	Média (Km)	Desvio Padrão
Cabo de São Tomé	12,45	11,74
Macaé	24,60	19,71
Cabo Frio	50,95	34,40

5.3. Análise de Ondaletas

Os resultados das análises com a transformada de ondaleta contínua podem ser observados nas Figuras 38 a 40. Evidencia-se claramente a capacidade da análise de ondaleta na identificação dos padrões de meandramento da CB. As cores vermelhas indicam coeficientes de similaridade maiores e portanto as ondaletas daquela escala revelam os comprimentos de onda em determinado trecho da frente interpolada. A localização geográfica ao longo da frente digitalizada pode ser estimada pelo eixo que representa a extensão da frente, em quilômetros. Em torno de 200 Km encontram-se os coeficientes de similaridade associados com as escalas espaciais da frente na altura do Cabo de São Tomé. As estimativas dos coeficientes para o trecho da frente térmica na altura de Cabo Frio encontram-se em torno de 600 Km. A associação entre escala da ondaleta e a pseudofrequência do sinal foi explicitada no item 4.4.5 (Parâmetros para aplicação de ondaletas), por meio da equação 28. Desta forma, podemos indicar os maiores coeficientes de similaridade, ao longo da frente, com os comprimentos de onda de interesse, que estão em torno de 222 km e 444 km.

Observando-se a série de gráficos, identifica-se claramente o padrão espacial da frente da CB, com predominância de comprimentos de onda acima de 300 quilômetros na região de Cabo Frio. Por outro lado, percebe-se que os maiores coeficientes para comprimentos de onda em torno de 200 quilômetros foram identificados na região do Cabo de São Tomé e Macaé.

Nas Figuras 41 a 43, podem ser observados os valores de coeficientes, ao longo da frente, para comprimentos de onda específicos: 222 quilômetros (cor vermelha) e 444 quilômetros (cor azul). O mesmo padrão pode ser observado, ressaltando que este tipo de gráfico pode ser útil na decomposição de sinais, ao longo da frente, de comprimentos de onda de interesse. As localizações das radiais do Cabo de São Tomé, Macaé e Cabo Frio estão marcadas sobre os gráficos, com cores magenta, verde e preto, respectivamente.

Os resultados aqui apresentados e as análises feitas podem e devem ser detalhados, procurando otimizar o uso de ondaletas para análise de séries temporais. Evidencia-se a necessidade de se aplicar um tratamento mais estatístico às análises, procurando embasar as discussões e conclusões levantadas ao longo do texto. A rápida avaliação do potencial das ondaletas mostra que deve ser investido mais tempo no estudo desta técnica.

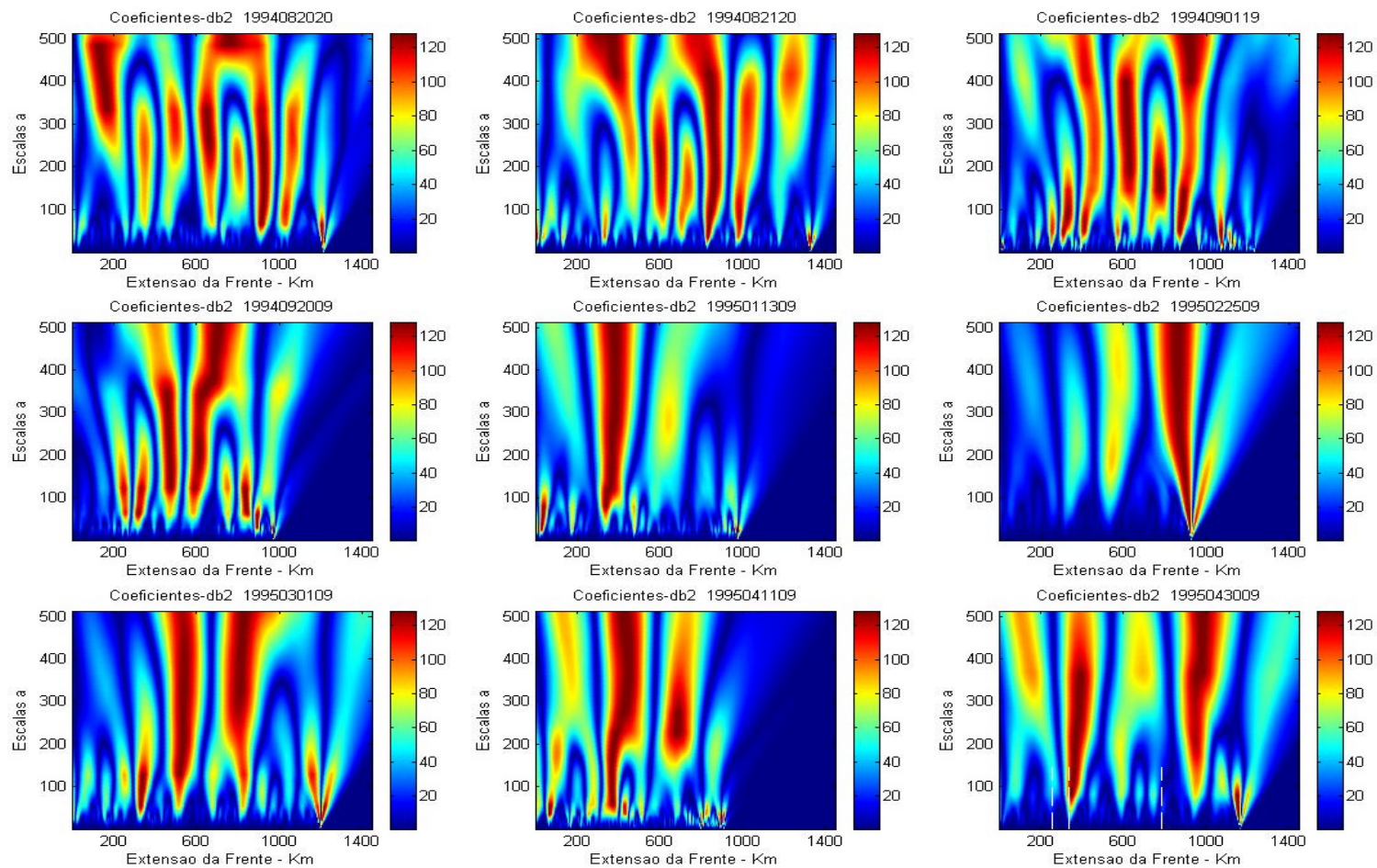


Figura 38 - Coeficientes das ondaletas aplicadas nas frentes dos dias 20 de agosto de 1994 a 30 de abril de 1995.

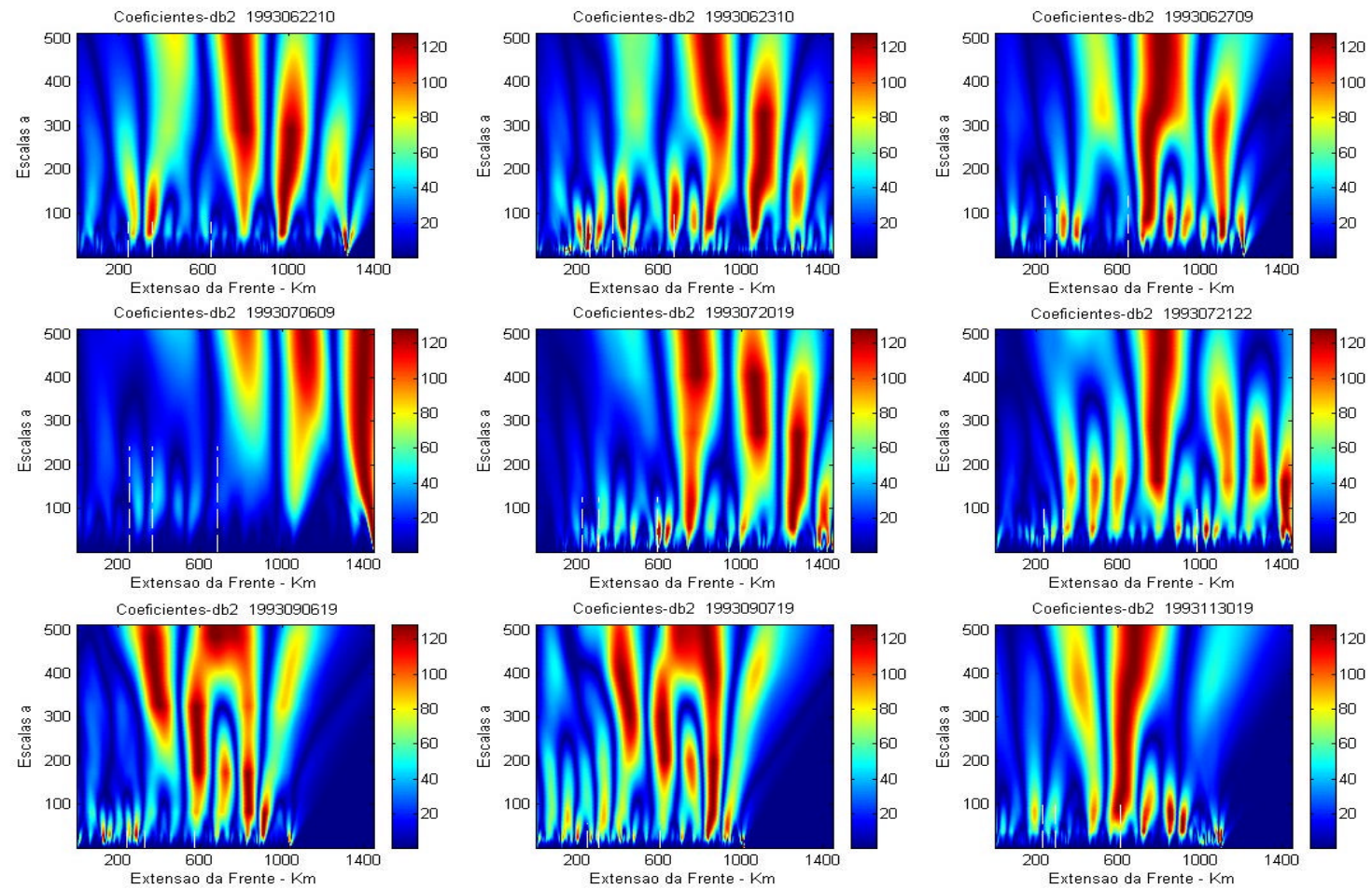


Figura 39 - Coeficientes das ondaletas aplicadas nas frentes dos dias 22 de junho de 1993 a 30 de novembro de 1993.

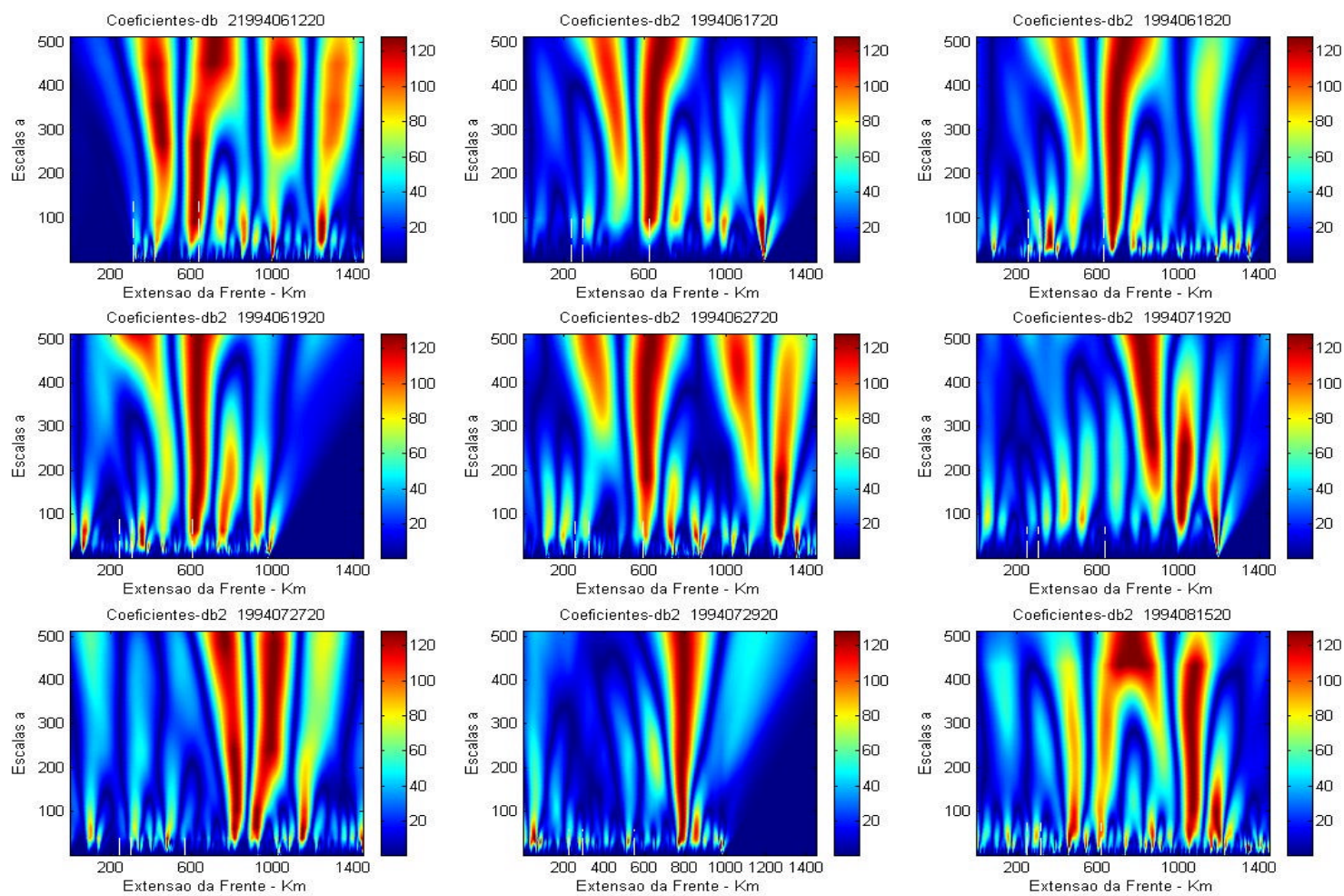


Figura 40 - Coeficientes das ondaletas aplicadas nas frentes dos dias 12 de junho de 1994 a 15 de agosto de 1994.

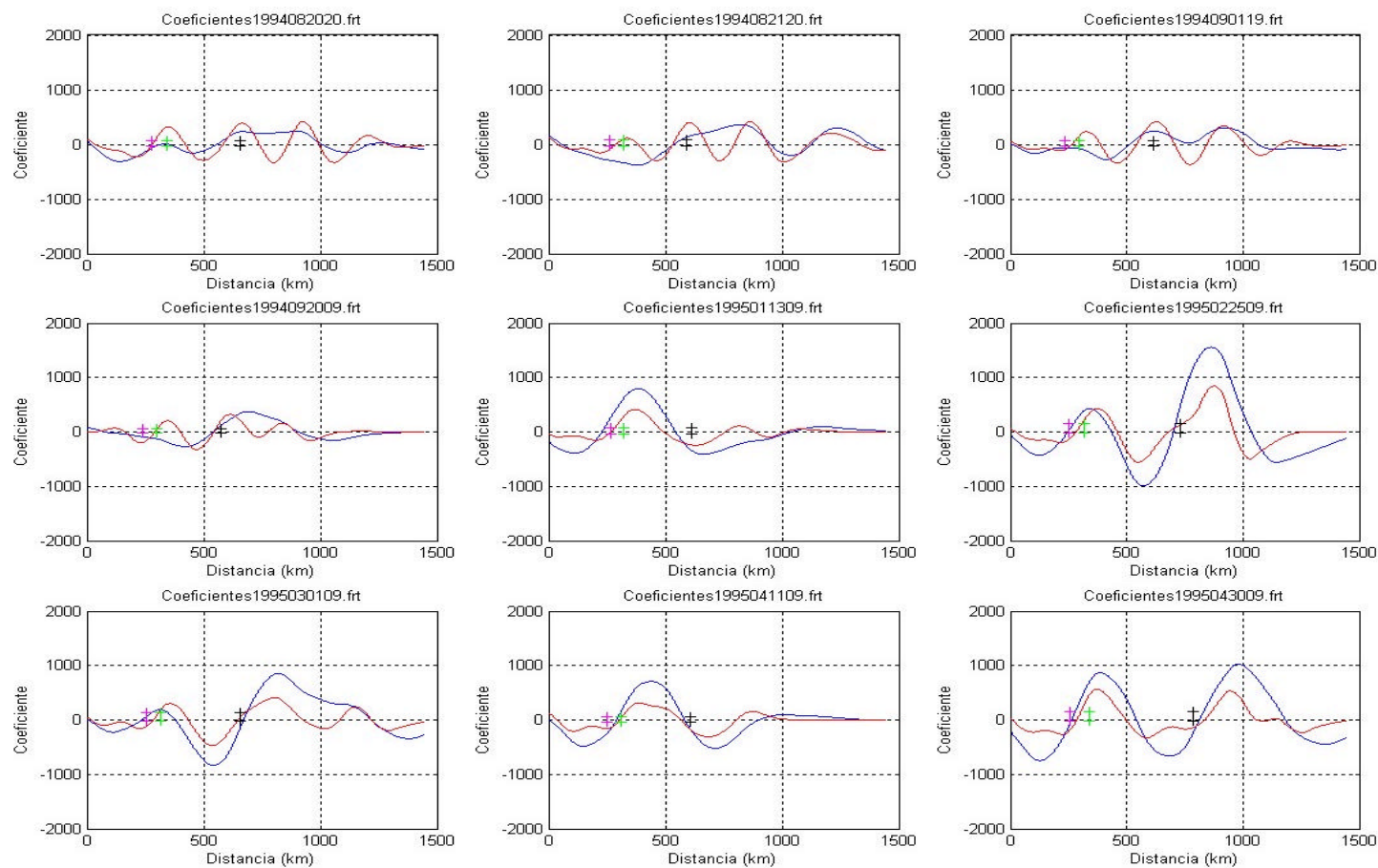


Figura 41 - Coeficientes das ondaletas por comprimento de onda de interesse (vermelho 222 Km e azul 444 km) - Frentes dos dias 20 de agosto de 1994 a 30 de abril de 1995.

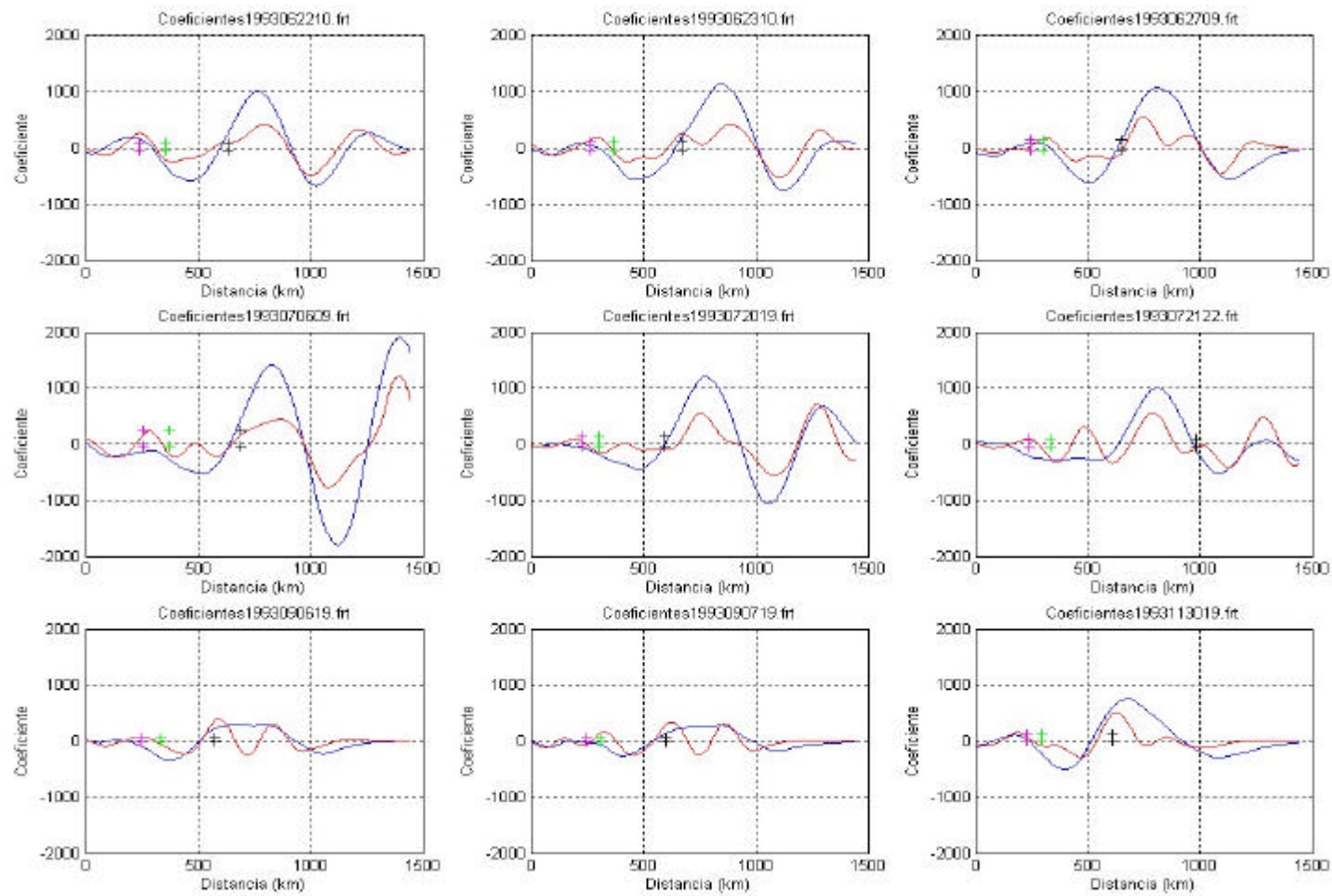


Figura 42 - Coeficientes das ondaletas por comprimento de onda de interesse (vermelho 222 Km e azul 444 km) - Frentes dos dias 22 de junho de 1993 a 30 de novembro de 1993.

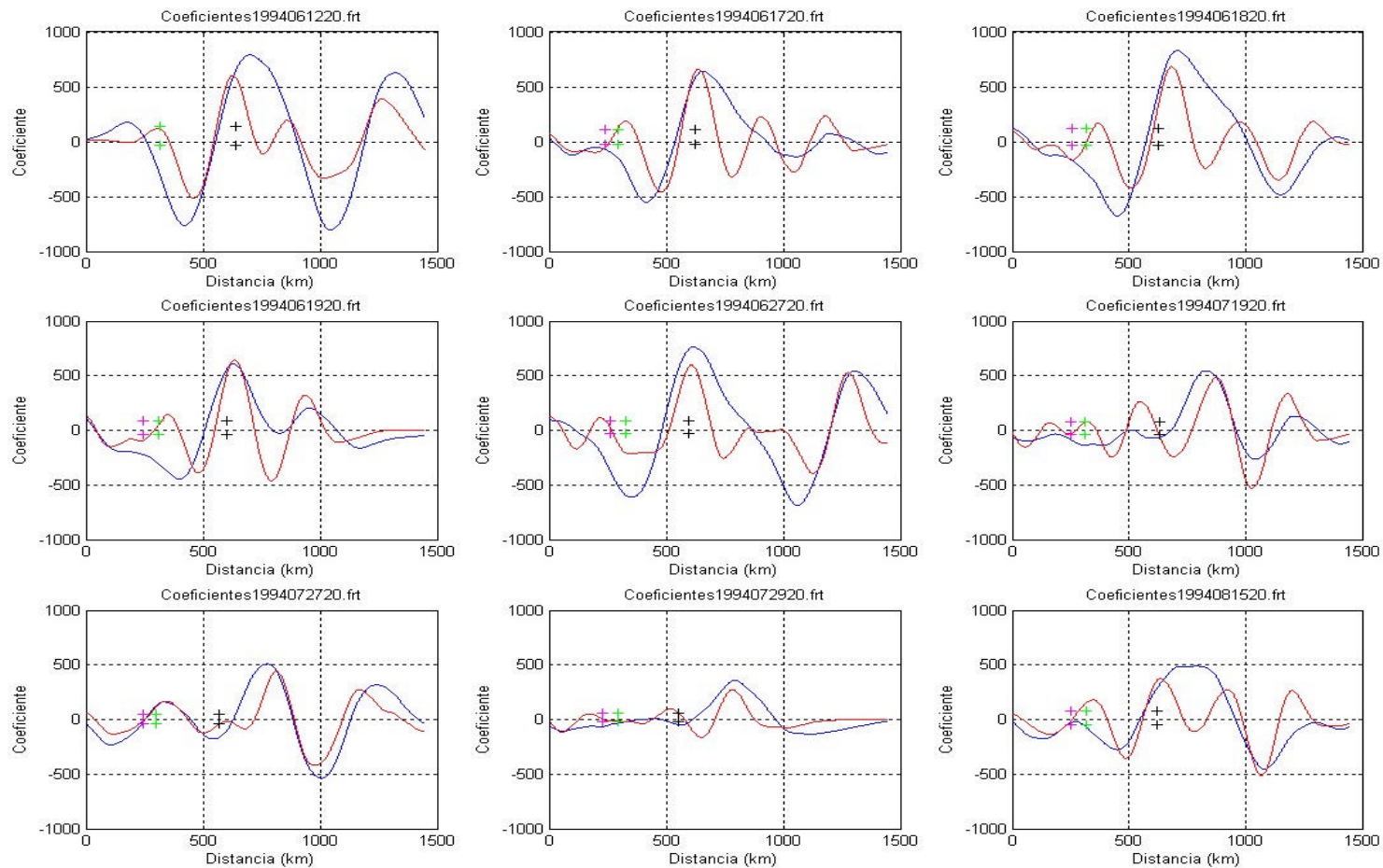


Figura 43 - Coeficientes das ondaletas por comprimento de onda de interesse (vermelho 222 Km e azul 444 km) - Frentes dos dias 12 de junho de 1994 a 15 de agosto de 1994.

6. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como principais objetivos:

- o estudo da variabilidade espacial de meandros e vórtices observados na costa sudeste brasileira e associados à Corrente do Brasil;
- avaliar técnicas de análise de séries temporais, como a Transformada Rápida de Fourier (FFT), para estimar picos espectrais dos números de onda mais significativos.

O método baseiou-se na identificação e digitalização das frentes térmicas da Corrente do Brasil, utilizando imagens obtidas por sensores AVHRR, os quais operam na faixa do infravermelho termal, a bordo dos satélites da série NOAA. Foi utilizado um total de 371 imagens, abrangendo os anos de 1993 a 2001. Desse total, foram selecionadas 105 imagens para discretizar as frentes, eliminando-se as imagens com excesso de recobrimento de nuvens, interrupção da visualização da frente térmica em função da contaminação atmosférica ou com gradiente térmico difuso que dificultava a sua localização. As frentes foram digitalizadas, em tela do computador, sobre as imagens georreferenciadas, calculando-se as distâncias euclidianas de cada ponto da frente às isóbatas de 200 metros e 1000 metros. Em seguida, aplicou-se o algoritmo da FFT nos arquivos contendo as distâncias calculadas, obtendo-se os espectros de amplitude associados aos números de onda. A análise espectral foi realizada no domínio do espaço, adaptando-se o algoritmo para execução dessa tarefa. As distâncias da

frente, em relação à isóbata de 200 metros, foram calculadas em três radiais localizadas em pontos notáveis do litoral sudeste brasileiro: Cabo de São Tomé, Macaé e Cabo Frio.

Como principais conclusões podem ser citadas as que se seguem:

- a limitação do comprimento da frente digitalizada nas proximidades da latitude de 26° S, verificada em algumas imagens, pode ter influenciado o desempenho do algoritmo em detectar com eficiência comprimentos de onda em baixa frequência;
- no entanto, conclui-se que a técnica de FFT é bastante robusta para o objetivo proposto neste trabalho, revelando-se uma ferramenta eficiente e útil na determinação dos números de onda significativos;
- os comprimentos de onda mais frequentes estão entre 200 e 400 quilômetros, corroborando as hipóteses que procuram explicar fisicamente o aparecimento dos meandros e estruturas vorticais, assim como experimentos numéricos executados por diversos autores;
- os deslocamentos das frentes nas radiais citadas (Cabo de São Tomé, Macaé, Cabo Frio) mostram que eles são crescentes à medida que a Corrente do Brasil flui para Sul;
- as estimativas de momento dos espectros indicam que esse parâmetro está associado com o grau de meandramento da Corrente e com o afastamento da borda oeste da CB do talude.
- a utilização de ondaletas, ainda que de forma preliminar, demonstra a capacidade desta técnica na determinação dos comprimentos de onda de interesse, bem como o local em que eles ocorrem.

7. RECOMENDAÇÕES

Algumas recomendações são aqui propostas com vistas ao aperfeiçoamento da metodologia empregada, bem como procurando identificar novas linhas de pesquisas relacionadas ao tema. São as que se seguem:

- aperfeiçoar e refinar o processo de digitalização da frente térmica, procurando melhorar a precisão na sua identificação e captura, evitando-se a contaminação por ruídos que possam configurar eventos em alta frequência;
- desenvolver e testar métodos para identificar automaticamente a frente térmica possibilitando maior rapidez ao processo;
- utilizar técnicas de remoção de nuvens das imagens, objetivando melhorar o aproveitamento das imagens e obter uma amostra que seja temporalmente mais regular;
- investigar com mais detalhes os critérios de seleção dos picos espectrais significativos e realizar testes de sensibilidade, procurando otimizar e aperfeiçoar a aplicação da FFT para as análises propostas neste trabalho.
- aprofundar o estudo sobre ondaletas, definindo metodologia para escolha da ondaleta apropriada para análise e empregar técnicas mais detalhadas e de multiresolução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIREU, A.T., LORENZZETTI, J. A., ARAÚJO, C. E. S., ROSA, R. R. Distinção quantitativa de feições oceanográficas observadas nas imagens termais a partir do operador de fragmentação assimétrica: indicações preliminares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, Foz do Iguaçu, PR: **Anais ...** São José dos Campos , INPE, 2001. (CD ROOM)
- BARTON, I. J. Satellite-derived sea surface temperatures: current status. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. c5, p. 8777-8790, 1995.
- BERNSTEIN, R. L. Sea surface temperature estimation using the NOAA 6 satellite Advanced Very High Resolution Radiometer. **Journal of Geophysical Research**, v. 87, n. c12, p. 9455-9465, 1982.
- BEISL, C. H., MIRANDA, F. P., SILVA JÚNIOR, C. L. Combined use of RADARSAT-1 and AVHRR data for the identification of mesoscale oceanic features in the Campos Basin, Brazil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, Foz do Iguaçu, PR: **Anais ...** São José dos Campos , INPE, 2001. (CD ROOM)
- CALADO, L. **Dinâmica da formação dos meandros e vórtices da Corrente do Brasil ao largo do sudeste brasileiro.** São Paulo, SP: IO/USP, 2001. 96p. Dissertação de Mestrado (Instituto Oceanográfico) Universidade de São Paulo, 2001
- CAMPOS, E. J. D., GONÇALVES, J. E., IKEDA, Y. Water mass structure and geostrophic circulation in the South Brazil bight – summer of 1991. **Journal of Geophysical Research**, v.100, n. C9, p. 18537-18550, 1995.

- CHEN, S. Space -time variations of the TOPEX/POSEIDON-derived heat storage anomaly over the Kuroshio upstream regions. **Remote Sensing of Environment**, v.89, p. 128-137. 2004.
- CIOTTI, A.M., KAMPEL, M. Concurrent observations of ocean color and sea surface temperature between Cabo Frio e Cabo São Tomé In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, Foz do Iguaçu, PR: **Anais ...** São José dos Campos , INPE, 2001. (CD ROOM)
- COOLEY, J. W., TUKEY, J. W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. **Mathematics Computer**, v.19, p.297-301, 1965.
- DAUBECHIES, I. **Ten lectures on wavelets**. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics/SIAM, 1992. 357p.
- EMERY, W. J., IKEDA, M. Ocean current meanders and eddies seen in infrared satellite imagery. In: 9th CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 1984, Vancouver, Canadá: **Anais ...** 1984.
- ERDAS **Erdas Field Guide**. Atlanta: Erdas, Inc., 1999. 672p.
- GONÇALVES, J. E. **Características e circulação das massas de água no limite oeste do Atlântico Sul entre 20° S e 30° S**. São Paulo, SP: IO/USP, 2000. 133p. Dissertação de Doutorado (Instituto Oceanográfico) Universidade de São Paulo, 2000.
- GARFIELD, N. **The Brazil Current at subtropical latitudes**. Rhode Island: URI, 1990. 122p. Dissertação de Doutorado (University of Rhode Island), 1990.
- IKEDA, M., EMERY, W. J. Satellite observations and modeling of meanders in the California Current system off Oregon and northern California. **Journal of Physical Oceanography**, v. 14, n. 9, p. 1434-1450. 1984.
- IKEDA, M., MYSAK, L. A., EMERY, W. J. Observation and modeling of satellite-sensed meanders and eddies off Vancouver Island. **Journal of Physical Oceanography**, v.14, n.1, p. 3-21. 1984.
- JENKINS, G. M., WATTS, D. G. **Spectral analysis and its applications**. San Francisco: Holden-day, 1968. 525p.
- KIDDER, S. Q., HAAR, T. V. **Satellite meteorology: an introduction**. London: Academic Press, 1995. 466p.

- LIMA, J. A. M. **Oceanic circulation on the Brazilian shelf break and Continental slope at 22° S**. Sidney: UNSW, 1997. 164p. Dissertação de Doutorado (University of New South Wales), 1997.
- MELO FILHO, E. **Investigações sobre a análise da agitação marítima**. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ/COPPE, 1982. 138p. Dissertação de Mestrado (Engenharia Oceânica) Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1982.
- MIDDLETON, G. V. **Data analysis in the earth sciences using MatLab**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000. 260p.
- MORETTIN, P. A. **Ondas e ondaletas: da análise de Fourier à Análise de ondaletas**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo – Edusp, 1999. 272p.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA
Advanced Very High Resolution Radiometer – AVHRR. 2002.
(DOWNLOAD DA INTERNET: www.noaa.gov)
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA
NOAA KLM User's guide – section 3.1 2002b. (DOWNLOAD DA INTERNET: www.noaa.gov)
- PETROLEO BRASILEIRO – PETROBRAS **Relatório de Monitoramento Ambiental da Bacia de Campos**. Rio de Janeiro, 1994.
- ROBINSON, I. S. **Satellite oceanography: an introduction for oceanographers and remote sensing scientists**. 3 ed. England: John Wiley and Sons, 1997. 455p.
- SILVEIRA, I. C. A., SCHMIDT, A. C., CAMPOS, E. J. D., GODOI, S. S., IKEDA, Y. A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171-183. 2000.
- TANRÉ, D, HOLBEN, B. N., KAUFMAN, Y. Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: theory and application. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, n. 2, p. 231-248. 1992.
- THE MATHWORKS **Signal Processing TOOLBOX for use with MatLab** – User's Guide. Massachussets: The MathWorks, Inc., 1992.
- THE MATHWORKS **Wavelet toolbox for use with MatLab** - User's Guide. Massachussets: The MathWorks, Inc., 2002.

- THE OPEN UNIVERSITY **Ocean circulation**. Oxford: Pergamon Press, 1993. 283p.
- TORRENCE, C., COMPO, G. P. A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 79, n.1, p. 61-78. 1998.
- VALENS, C. A really friendly guide to wavelets. (DOWNLOAD DA INTERNET:
<http://perso.wanadoo.fr/polyvalens/clemens/wavelets/wavelets.html>)
- WALTON, C. C. Nonlinear multichannel algorithms for estimating sea surface temperature with AVHRR satellite data. **Journal of Applied Meteorology**, v. 27, n. 2, p. 115-124. 1998.
- YU, Y., EMERY, W. J. Satellite derived sea surface temperature variability in the Western Tropical Pacific Ocean, 1992-1993. **Remote Sensing of Environment**, v. 58. n. 3, p. 299-310. 1996.
- ZHENGMING, W., DOZIER, J. Land surface temperature measurement from space: physical principles and inverse modeling. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 27, n. 3, p. 268-277. 1989.

APÊNDICE

APÊNDICE 1 - Arquivo com extensão .frt - frente digitalizada

% longitude	latitude	dist200	comp200	dis1000	comp1000
-39.789635	-20.095519	-0.108050	0.169631	-0.293454	0.419046
-39.826168	-20.186850	-0.096513	0.267998	-0.267817	0.517413
-39.844434	-20.314713	-0.076860	0.397159	-0.229315	0.646575
-39.880966	-20.424311	-0.095416	0.512685	-0.217426	0.762100
-39.917499	-20.625239	-0.039135	0.716908	-0.150132	0.966323
-39.935765	-20.716570	0.025361	0.810048	-0.089671	1.059463
-40.008830	-20.826168	0.019783	0.941767	-0.127697	1.191182
-40.063629	-20.917499	0.003531	1.048277	-0.146980	1.297692
-40.063629	-20.990564	0.076238	1.121342	-0.128586	1.370757
-40.100161	-21.136693	0.094314	1.271969	-0.133001	1.521384
-40.118427	-21.209758	0.109590	1.347282	-0.146199	1.596697
-40.136693	-21.392421	0.133703	1.530856	-0.161363	1.780271
-40.100161	-21.483752	0.139568	1.629222	-0.109939	1.878637
-40.118427	-21.611615	0.095984	1.758384	-0.184811	2.007799
-40.081895	-21.702946	0.140553	1.856751	-0.171408	2.106166
-40.045362	-21.776011	0.131730	1.938440	-0.162418	2.187855
-40.045362	-21.830810	0.113587	1.993238	-0.148084	2.242653
-40.008830	-21.940407	0.112213	2.108764	-0.135770	2.358179
-39.990564	-22.031738	0.153169	2.201904	-0.116785	2.451319
-40.008830	-22.123070	0.142213	2.295044	-0.141111	2.544459
-40.063629	-22.141336	0.106178	2.352807	-0.192661	2.602222
-40.100161	-22.159602	0.076613	2.393651	-0.215186	2.643066
-40.191492	-22.177868	0.023065	2.486791	-0.276323	2.736206
-40.282823	-22.177868	-0.078664	2.578122	-0.353192	2.827537
-40.374154	-22.214401	-0.127624	2.676489	-0.410064	2.925904
-40.465485	-22.250933	-0.186382	2.774855	-0.461361	3.024270
-40.556817	-22.269199	-0.259759	2.867995	-0.501768	3.117410
-40.648148	-22.305732	-0.299070	2.966362	-0.522631	3.215777
-40.702946	-22.342264	-0.289964	3.032222	-0.523348	3.281637
-40.757745	-22.415329	-0.271030	3.123553	-0.497921	3.372968
-40.776011	-22.506660	-0.231749	3.216693	-0.431917	3.466108
-40.776011	-22.579725	-0.183328	3.289757	-0.376829	3.539173
-40.812544	-22.744121	-0.097181	3.458164	-0.300294	3.707579
-40.830810	-22.871985	-0.040799	3.587325	-0.209886	3.836741
-40.903875	-23.018115	0.041168	3.750704	-0.170677	4.000119
-40.958674	-23.109446	0.041206	3.857213	-0.172147	4.106628
-41.013472	-23.237309	0.066027	3.996324	-0.142084	4.245740
-41.086537	-23.292108	0.052020	4.087656	-0.171880	4.337071
-41.177868	-23.419972	0.067219	4.244788	-0.175373	4.494203
-41.323998	-23.620900	0.178309	4.493235	-0.196006	4.742650
-41.524927	-23.767030	0.286930	4.741683	-0.159487	4.991098
-41.597991	-23.821828	0.342810	4.833014	-0.123710	5.082429
-41.689323	-23.931426	0.435379	4.975678	-0.033619	5.225093
-41.780654	-24.022757	0.498286	5.104839	0.078005	5.354254
-41.908517	-24.095822	0.530365	5.252106	0.108854	5.501521
-41.981582	-24.168887	0.587523	5.355436	0.169179	5.604851
-42.091180	-24.205419	0.588409	5.470961	0.223974	5.720377
-42.200777	-24.260218	0.583698	5.593495	0.284421	5.842910
-42.200777	-24.260218	0.583698	5.593495	0.284421	5.842910
-42.310374	-24.260218	0.550651	5.703092	0.244360	5.952507
-42.383439	-24.315017	0.582250	5.794423	0.297193	6.043839
-42.419972	-24.369815	0.625788	5.860283	0.305073	6.109698
-42.511303	-24.388081	0.630564	5.953423	0.266870	6.202838
-42.657432	-24.479413	0.686963	6.125746	0.330838	6.375161
-42.730497	-24.534211	0.710414	6.217077	0.341312	6.466493
-42.876627	-24.552477	0.690224	6.364344	0.328502	6.613760
-42.986225	-24.570744	0.700027	6.475453	0.322699	6.724869
-43.114088	-24.570744	0.702281	6.603317	0.311295	6.852732
-43.241952	-24.643809	0.747809	6.750584	0.305065	6.999999
-43.406348	-24.643809	0.701791	6.914980	0.245149	7.164395
-43.534211	-24.625542	0.663396	7.044142	0.197301	7.293557
-43.589010	-24.552477	0.588869	7.135473	0.124458	7.384888
-43.662075	-24.406348	0.450316	7.298851	-0.124549	7.548266
-43.735140	-24.296750	0.335766	7.430571	-0.226196	7.679986

APÊNDICE 1 - continuação

-43.808205	-24.260218	0.259942	7.512260	-0.279281	7.761675
-43.954334	-24.241952	0.185946	7.659527	-0.371569	7.908942
-44.063932	-24.241952	0.103949	7.769124	-0.451366	8.018539
-44.173529	-24.278484	0.093836	7.884650	-0.514698	8.134065
-44.264860	-24.278484	0.002811	7.975981	-0.578128	8.225396
-44.319659	-24.296750	-0.054988	8.033744	-0.608155	8.283159
-44.392724	-24.333283	-0.051059	8.115433	-0.647590	8.364848
-44.520587	-24.406348	-0.147420	8.262700	-0.718275	8.512115
-44.611919	-24.442880	-0.233040	8.361066	-0.776425	8.610482
-44.758048	-24.479413	-0.365607	8.511694	-0.864169	8.761109
-44.831113	-24.662075	-0.367660	8.708427	-0.799224	8.957842
-44.867646	-24.753406	-0.313499	8.806794	-0.768223	9.056209
-44.867646	-24.917802	-0.207862	8.971190	-0.622714	9.220605
-44.904178	-24.990867	-0.159085	9.052879	-0.581170	9.302294
-44.958977	-25.210062	-0.059493	9.278819	-0.408753	9.528234
-45.013775	-25.319659	-0.038638	9.401353	-0.345624	9.650768
-45.050308	-25.429256	0.016901	9.516879	-0.282775	9.766294
-45.105107	-25.593652	0.079586	9.690167	-0.176891	9.939582
-45.159905	-25.703250	0.141733	9.812701	-0.125625	10.062116
-45.214704	-25.776315	0.199826	9.904032	-0.104021	10.153447
-45.269503	-25.867646	0.270564	10.010541	-0.073325	10.259957
-45.360834	-25.958977	0.318261	10.139703	-0.060953	10.389118
-45.452165	-26.013775	0.358112	10.246213	-0.070859	10.495628
-45.616561	-26.050308	0.330689	10.414619	-0.177792	10.664034
-45.707892	-26.086840	0.331916	10.512986	-0.218591	10.762401
-45.762691	-26.123373	0.338810	10.578845	-0.227999	10.828260
-45.835756	-26.178172	0.333175	10.670176	-0.255330	10.919592
-45.963619	-26.232970	0.339486	10.809288	-0.319443	11.058703
-46.018418	-26.287769	0.332424	10.886785	-0.331438	11.136200
-46.073217	-26.342568	0.304171	10.964282	-0.333324	11.213697
-46.109749	-26.379100	0.281023	11.015947	-0.331339	11.265362
-46.146281	-26.433899	0.276488	11.081806	-0.327502	11.331222
-46.219346	-26.525230	0.250628	11.198767	-0.344708	11.448182
-46.201080	-26.543496	0.276117	11.224600	-0.318877	11.474015
-46.274145	-26.616561	0.279426	11.327929	-0.332512	11.577344
-46.365476	-26.671360	0.241873	11.434439	-0.367797	11.683854

APÊNDICE 2 - Arquivos com extensão .1Km - frente interpolada

% x(km) dfront200(km)

0.0	0.000
1.0	-0.124
2.0	-0.248
3.0	-0.372
4.0	-0.496
5.0	-0.621
6.0	-0.745
7.0	-0.869
8.0	-0.993
9.0	-1.117
10.0	-1.241
11.0	-1.365
12.0	-1.489
13.0	-1.614
14.0	-1.738
15.0	-1.862
16.0	-1.986
17.0	-2.110
18.0	-2.234
19.0	-2.358
20.0	-2.482
21.0	-2.607
22.0	-2.731
23.0	-2.855
24.0	-2.979
25.0	-3.103
26.0	-3.227
27.0	-3.351
28.0	-3.475
29.0	-3.600
30.0	-3.724
31.0	-3.848
32.0	-3.972
33.0	-4.096
34.0	-4.220
35.0	-4.344
36.0	-4.468
37.0	-4.593
38.0	-4.717
39.0	-4.841
40.0	-4.965
41.0	-5.089
42.0	-5.213
43.0	-5.337
44.0	-5.461
45.0	-5.586
46.0	-5.710
47.0	-5.834
48.0	-5.958
49.0	-6.082
50.0	-6.206
51.0	-6.330

APÊNDICE 3 - Arquivos com extensão .ESP - Espectros estimados da frente.

% No.Onda	Sp_frente
0.0000000	0.0000
0.0006916	39.5763
0.0013831	32.3576
0.0020747	20.2371
0.0027663	11.4933
0.0034578	6.4975
0.0041494	8.4131
0.0048409	8.2594
0.0055325	6.0785
0.0062241	3.3327
0.0069156	2.8311
0.0076072	3.1250
0.0082988	1.8553
0.0089903	1.8290
0.0096819	1.0756
0.0103734	1.1935
0.0110650	0.8676
0.0117566	0.8469
0.0124481	0.8972
0.0131397	1.0676
0.0138313	0.9862
0.0145228	0.7602
0.0152144	0.4177
0.0159059	0.4738
0.0165975	0.4868
0.0172891	0.5862
0.0179806	0.5308
0.0186722	0.5267
0.0193638	0.2659
0.0200553	0.4037
0.0207469	0.4400
0.0214385	0.4690
0.0221300	0.3029
0.0228216	0.2719
0.0235131	0.2563
0.0242047	0.3201
0.0248963	0.3256
0.0255878	0.3905
0.0262794	0.3551
0.0269710	0.3278
0.0276625	0.2719
0.0283541	0.2921
0.0290456	0.2840
0.0297372	0.2370
0.0304288	0.1679
0.0311203	0.1620
0.0318119	0.1268
0.0325035	0.2441
0.0331950	0.2406
0.0338866	0.3447
0.0345781	0.2898
0.0352697	0.2931

APÊNDICE 4 – Arquivo com extensão . OUT contendo os resultados da análise espectral.

dia	Mes	Ano	Hora	d200SaoTome	d200Macao	d200CaboFrio	compO1	ampO1	compO(1	ampO(1	compO2	ampO2	compO3	ampO3	momentoF	Ltotal
22	6	1993	10	15.45	-28.08	61.26	723.00	24.01	723	24.01	180.75	3.21	0	0	0	0.10355 1445
23	6	1993	10	8.31	-14.63	100.21	180.75	5.27	0	0	180.75	5.27	0	0	0	0.11684 1445
27	6	1993	9	12.37	30.78	96.7	241.00	8.41	0	0	241.00	8.41	0	0	0	0.12801 1445
6	7	1993	9	15.02	-11.62	122.5	723.00	40.5	723	40.5	206.57	6.72	0	0	0	0.14114 1445
20	7	1993	19	5.6	-0.39	89.39	723.00	31.29	723	31.29	160.67	4.74	0	0	0	0.12117 1445
21	7	1993	22	-12.05	-26.28	16.7	96.40	2.15	0	0	96.40	0	0	0	0	0.12808 1445
6	9	1993	19	-10.03	-18.02	56.04	289.20	8.45	0	0	289.20	8.45	0	0	0	0.073671 1445
7	9	1993	19	-4.42	18.88	52.62	289.20	8.72	0	0	289.20	8.72	0	0	0	0.071804 1445
30	11	1993	19	11.86	9.77	110.66	144.60	1.79	0	0	0.00	0	0	0	0	0.10857 1445
12	6	1994	20	0	-7.88	79.22	482.00	23.04	482	23.04	0.00	0	0	0	0	0.12454 1445
17	6	1994	20	-7.55	16.36	101.89	361.50	14.5	361.5	14.5	131.45	3.42	0	0	0	0.12545 1445
18	6	1994	20	-25.82	-5.68	109.85	103.29	1.43	0	0	0.00	0	0	0	0	0.11879 1445
19	6	1994	20	-15.1	-5.36	90.34	289.20	14.29	0	0	289.20	14.29	0	0	0	0.10169 1445
27	6	1994	20	-27.32	-19.7	82.41	482.00	21.67	482	21.67	0.00	0	0	0	0	0.11153 1445
19	7	1994	20	-6.06	15.25	21.67	361.50	13.73	361.5	13.73	131.45	3.35	0	0	0	0.12646 1445
27	7	1994	20	14.18	32.18	23.58	482.00	14.31	482	14.31	0.00	0	0	0	0	0.079786 1445
29	7	1994	20	5.83	11.52	23.83	361.50	5.39	361.5	5.39	180.75	3.41	0	0	0	0.06029 1445
15	8	1994	20	10.87	15.52	70.41	361.50	12.3	361.5	12.3	0.00	0	0	0	0	0.09431 1445
20	8	1994	20	21.97	32.33	58.82	289.20	12.49	0	0	289.20	12.49	0	0	0	0.10413 1445
21	8	1994	20	-22.32	3.74	61.79	289.20	12.38	0	0	289.20	12.38	0	0	0	0.12513 1445
1	9	1994	19	-7.43	26.2	57.16	289.20	12.01	0	0	289.20	12.01	0	0	0	0.082993 1445
20	9	1994	9	-22.22	17.59	52.11	241.00	8.14	0	0	241.00	8.14	0	0	0	0.06802 1445
13	1	1995	9	48.41	68.16	-34.63	206.57	3.13	0	0	206.57	3.13	0	0	0	0.092214 1445
25	2	1995	9	19.46	63.47	134.81	160.67	5.07	0	0	160.67	5.07	0	0	0	0.22391 1445
1	3	1995	9	1	35.08	101.33	144.6	3.67	0	0	144.60	3.67	0	0	0	0.14849 1445
11	4	1995	9	4.06	44.92	-39.24	723	16.63	723	16.63	180.75	4.23	0	0	0	0.074553 1445
30	4	1995	9	64.5	130.78	105.46	96.40	1.64	0	0	0.00	0	0	0	0	0.15751 1445
11	6	1995	9	-4.45	3.86	11.21	144.60	6.1	0	0	144.60	6.1	0	0	0	0.31854 1445
16	7	1995	9	-21.53	-9.37	96.66	111.23	1.54	0	0	0.00	0	0	0	0	0.091294 1445
14	8	1995	9	15.15	62.41	126.18	120.50	2.15	0	0	0.00	0	0	0	0	0.13624 1445
2	9	1995	9	61.36	47.38	61.33	80.33	1.05	0	0	0.00	0	0	0	0	0.094655 1445
11	9	1995	9	10.26	36.84	70.32	206.57	5.14	0	0	206.57	5.14	0	0	0	0.10287 1445
27	10	1995	9	-2.21	14.93	84.86	206.57	5.32	0	0	206.57	5.32	0	0	0	0.098628 1445
9	11	1995	9	-7.86	12.53	2.64	206.57	4.35	0	0	206.57	4.35	0	0	0	0.05374 1445
27	1	1996	9	13	57.8	80.49	206.57	7.79	0	0	206.57	7.79	0	0	0	0.12117 1445
31	1	1996	9	-1.97	41.55	117.97	68.86	0.9	0	0	0.00	0	0	0	0	0.1398 1445
30	5	1996	9	-2.36	26.14	42.68	723.00	10.02	723	10.02	241.00	7.92	0	0	0	0.097986 1445
6	2	1997	9	2.97	-28.31	31.9	361.50	7.86	361.5	7.86	131.45	3.48	0	0	0	0.071557 1445
14	2	1997	9	-21.19	-44.44	47	120.50	1.34	0	0	0.00	0	0	0	0	0.08726 1445
24	3	1997	9	-14.86	-46.64	-16.35	289.20	9.97	0	0	289.20	9.97	0	0	0	0.077788 1445
14	4	1997	9	-14.37	-10.96	0.11	361.50	9.11	361.5	9.11	160.67	3.62	0	0	0	0.069742 1445
15	4	1997	9	-20.12	-24.59	-14.82	361.50	9.28	361.5	9.28	0.00	0	0	0	0	0.073012 1445
25	4	1997	10	-24.4	-15.93	12.89	289.20	7.92	0	0	289.20	7.92	0	0	0	0.060119 1445
30	4	1997	9	-13.34	-40.51	3.79	482.00	16.38	482	16.38	0.00	0	0	0	0	0.11076 1445
3	5	1997	10	-24.01	-27.92	45.01	361.50	12.63	361.5	12.63	0.00	0	0	0	0	0.11059 1445
9	5	1997	10	-4.65	-37.19	45.71	361.50	12.82	361.5	12.82	0.00	0	0	0	0	0.095954 1445
21	5	1997	9	-11.65	-22.51	3.26	361.50	10.01	361.5	10.01	0.00	0	0	0	0	0.069597 1445
7	7	1997	9	-26.92	2.47	83.52	289.20	9.7	0	0	289.20	9.7	0	0	0	0.096269 1445
29	7	1997	9	-33.86	-14.99	-34.66	482.00	8.45	482	8.45	144.60	3.97	0	0	0	0.0876 1445
8	9	1997	9	-4.39	-24.66	55.93	361.50	12.07	361.5	12.07	0.00	0	0	0	0	0.095295 1445
22	12	1997	9	-20.41	13.64	-7.95	241.00	7.34	0	0	241.00	7.34	0	0	0	0.065512 1445
24	12	1997	9	1.86	15.87	-17.04	482.00	7.22	482	7.22	0.00	0	0	0	0	0.057802 1445
23	1	1998	21	-9.39	28.83	76.33	65.73	0.8	0	0	0.00	0	0	0	0	0.1014 1445
29	1	1998	21	-0.77	25.92	15.05	361.50	7.39	361.5	7.39	0.00	0	0	0	0	0.059535 1445
2	2	1998	9	5.11	40.34	70.64	289.20	8.13	0	0	289.20	8.13	0	0	0	0.084101 1445
3	2	1998	21	-12.35	14.96	25.16	241.00	6.83	0	0	241.00	6.83	0	0	0	0.063356 1445
11	5	1998	2	52.84	-9.96	3.6	361.5	10.1	361.5	10.1	160.67	3.73	0	0	0	0.06261 1445
18	1	1999	6	4.96	18.43	-24.51	723.00	4.82	723	4.82	180.75	4.79	0	0	0	0.048259 1445
19	1	1999	16	-12.31	21.87	20.22	206.57	6.29	0	0	206.57	6.29	0	0	0	0.062226 1445
21	3	1999	15	-4.63	3.17	5.76	361.50	2.53	0	0	0.00	0	0	0	0	0.034278 1445
29	6	1999	9	-1.73	23.53	63.19	289.20	8.12	0	0	289.20	8.12	0	0	0	0.12533 1445
2	8	1999	20	-10.22	13.72	87.19	180.75	4.11	0	0	180.75	4.11	0	0	0	0.14621 1445
10	8	1999	19	3.09	5.06	99.96	144.60	1.81	0	0	0.00	0	0	0	0	0.12369 1445
23	8	1999	8	2.49	19.18	35.02	241.00	3.34	0	0	241.00	3.34	0	0	0	0.040641 1445
24	8	1999	8	3.33	16.21	27.7	241.00	2.81	0	0	0.00	0	0	0	0	0.044868 1445
26	8	1999	6	3.38	19.27	34.64	241.00	4.06	0	0	241.00	4.06	0	0	0	0.054869 1445
26	8	1999	9	4.83	21.47	34.5	241.00	4.44	0	0	241.00	4.44	0	0	0	0.053985 1445
27	8	1999	9	2.82	21.17	45.76	289.20	5.48	0	0	289.20	5.48	0	0	0	0.072463 1445
1	9	1999	8	7	5.39	49.12	103.29	1.59	0	0	0.00	0	0	0	0	0.090889 1445
2	9	1999	7	5.57	14.64	65.01	160.67	2.66	0	0	0.00	0	0	0	0	0.099187 1445
3	9	1999	6	3.54	19.51	48.1	144.60	2.94	0	0	0.00	0	0	0	0	0.08206 1445
22	12	1999	5	4.55	2.88	0.1	241.00	2.9	0	0	0.00	0	0	0	0	0.045494 1445
28	12	1999	16	-5.86	-30.03	-15.11	241.00	3.86	0	0	241.00	3.86	0	0	0	0.05391 1445
29	12	1999	3	5.4	-44.18	-24.71	289.20	5.63	0	0	289.20	5.63	0	0	0	0.070473 1445
14	1	2000	6	2.99	34.39	41.47	289.20	6.62	0	0	289.20	6.62	0	0	0	0.066914 1445
28	2	2000	14	-4.6	10.25	55.08	160.67	4.04	0	0	160.67	4.04	0	0	0	0.069017 1445
28	2	2000	17	-9.49	-6.88	65.26	180.75	4.99	0	0	180.75	4.99	0	0	0	0.08167 1445
1	3	2000	16	-11.88	-17.82	-17.21	361.50	4.3	361.5	4.3	0.00	0	0	0	0	0.055636 1445
24	3	2000	16	-2.74	-30.75	36.47	289.20	10.71	0	0	289.20	10.71	0	0	0	0.071469 1445
11	4	2000	8	-27.84	-7.13	19.59	241.00	9.91	0	0	241.00	9.91	0	0	0	0.080132 1445
25	4	2000	20	47.95	-21.75	-14.4	361.50	16.25	361.5	16.25	160.67	3.11	0	0	0	0.