



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-6751-TDI/636

**ANÁLISE DA CIRCULAÇÃO SUPERFICIAL OCEÂNICA NA
COSTA SUDESTE-SUL DO BRASIL, A PARTIR DA UTILIZAÇÃO
DOS DADOS DE DERIVADORES RASTREADOS POR SATÉLITES**

Arcilan Trevenzoli Assireu

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. Merritt
Raymond Stevenson, aprovada em março de 1998.

INPE
São José dos Campos
1998

Publicado por:

**Coordenação de Ensino, Documentação e
Programas Especiais - CEP**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 515

12201-970 - São José dos Campos - SP - Brasil

Fone: (012) 345.6911

Fax: (012) 345.6919

E-Mail: marciana@sid.inpe.br

- Solicita-se intercâmbio
- Exchange welcome
- Si sollecita intercambio
- Echange souhaité
- Mann bittet un Austausch
- Solicitamos intercambio
- Просим обмена
- 歡迎者呀交換
- 出版物的交換及郵寄

Publicação Externa - É permitida sua reprodução para interessados.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-6751-TDI/636

**ANÁLISE DA CIRCULAÇÃO SUPERFICIAL OCEÂNICA NA
COSTA SUDESTE-SUL DO BRASIL, A PARTIR DA UTILIZAÇÃO
DOS DADOS DE DERIVADORES RASTREADOS POR SATÉLITES**

Arcilan Trevenzoli Assireu

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. Merritt
Raymond Stevenson, aprovada em março de 1998.

INPE
São José dos Campos
1998

551.508.825 (815)

ASSIREU, A.T.

Análise da circulação superficial oceânica na costa sudeste-sul do Brasil, a partir da utilização dos dados de derivadores rastreados por satélites / A.T.Assireu. – São José dos Campos: INPE, 1998.

150p. – (INPE-6751-TDI/636).

1.Sistema ARGOS. 2.Bóias de deriva. 3.Sistema de aquisição de dados oceanográficos. 4.Satélites meteorológicos. 5.Oceanografia. 6.Escoamento turbulento. 7.Meandramentos. I. Título.

Aprovada pela Banca Examinadora em
cumprimento a requisito exigido para a
obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto.

Dr. Merritt Raymond Stevenson



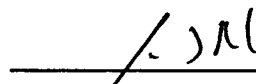
Presidente/Orientador

Dr. João Antonio Lorenzetti



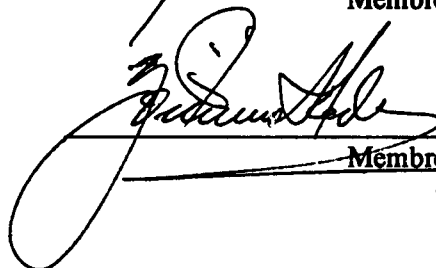
Membro da Banca

Dr. José Luiz Stech



Membro da Banca

Dr. Yoshimine Ikeda



Membro da Banca
Convidado


Candidato: Arcilan Trevenzoli Assireu

São José dos Campos, 18 de março de 1998

*A Deus, nas várias formas
como ele tem se manifestado,
e à memória do meu saudoso vô Arif.*

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Merritt Raymond Stevenson, pela credibilidade a mim depositada, pelos valiosos ensinamentos, pelas oportunidades e por ter sido muito mais do que apenas orientador, por ter sido amigo. O seu apoio e exemplo despertou a minha motivação pela Oceanografia.

Aos Drs. João Antônio Lorenzetti e José Luiz Stech pela atenção e pelas valiosas discussões durante a realização deste trabalho.

Ao Dr. Yoshimine Ikeda pelas importantes contribuições na fase final deste trabalho.

Ao Dr. Rajaram Purushotan Kane por ter me auxiliado em muito através de todo o seu conhecimento e experiência de longos anos no estudo de análises espectrais.

Aos meus pais e irmãos por terem compreendido a ausência e a minha Fátima pelo apoio e compreensão.

Agradeço profundamente os colegas Marlos Carneiro Baptista e Artur Justiniano pelas generosas contribuições nas preparações das figuras no “spring” e na programação FORTRAN.

Aos colegas da Oceanografia, Carlos Salles, Milton, Silvia, Hudson, Sydneá, Regina, Nico e Douglas... por terem permitido com que eu me sentisse “em casa”.

Ao pessoal da biblioteca, pela incansável e irrestrita atenção dispensada em todos os momentos.

Ao Dr. José Carlos Neves Epiphânio e à Etel pela maneira eficiente como vêm tratando os assuntos correlatos à coordenação acadêmica.

Ao SERE, na pessoa do Dr. Bernardo Friedrich Theodor Rudorff por ter me dado inteira liberdade de trabalho e acesso aos recursos deste departamento.

Agradeço também à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro indispensável à realização deste trabalho, e também à FAPESP (contrato Nº 91/0542-7) e CNPq (contrato Nº 403007/91-7) pelo suporte ao Projeto COROAS.

RESUMO

É apresentado neste trabalho um estudo sobre a circulação superficial oceânica no Atlântico Sudoeste, particularmente na costa Sudeste-Sul do Brasil (22°S,43°W a 38°S,53°W). Os dados utilizados são provenientes de 13 LCDs (Low Cost Drifters) padrão WOCE (World Ocean Circulation Experiment), lançados em 1993 e 1994 como parte do projeto COROAS (Circulação Oceânica na Região Oeste do Atlântico Sul). Devido ao fato destes derivadores terem sido lançados em grupos de cinco, a intervalos semestrais, foi possível analisar os valores médios semestrais associados às velocidades das correntes e TSM (Temperatura da Superfície do Mar), e assim analisar as variações nestes parâmetros entre o 1º semestre de 1993, 2º semestre de 1993 e 1º semestre de 1994. Os resultados mostraram haver regularidade, mesmo entre os diferentes semestres, quanto a tendência das correntes em fluírem sobre as isóbatas de 200 m, 1000 m e 2000 m. Porém, as velocidades médias destas correntes variaram bastante, tendo apresentado valores menores no 2º semestre. Entre o 1º semestre de 1993 e o 1º semestre de 1994 foram verificadas relevantes diferenças tanto no padrão médio da circulação quanto nos valores devidos a perturbações. Indica-se neste trabalho que estas variações deveram-se a anomalias nos regimes de sistemas meteorológicos verificadas no ano de 1993. A análise das Energias Cinéticas de Vórtices (ECV) e das Energias Cinéticas Médias (ECM) apontam para a grande importância das perturbações de meso-escala para a circulação das águas da região em questão. Foram observadas, também, variabilidades quanto às posições médias em que a Corrente do Brasil é defletida para o oceano aberto. Um dos grupos de derivadores foi defletido em posição que pode ser considerada atípica, em 30°S, e foi resultado da intrusão da Corrente das Malvinas ao longo da Plataforma Continental do Brasil. Os parâmetros associados aos vários vórtices detectados são apresentados e pôde-se observar a importância destes para a circulação local. A análise espectral dos dados evidenciou que as principais fontes de energia para as periodicidades detectadas são devidas a efeitos meteorológicos, juntamente com a passagem de vórtices e meandramentos da Corrente do Brasil.

SURFACE OCEANIC CIRCULATION ALONG THE S-SE COAST OF BRAZIL, OBTAINED BY SATELLITE TRACKED DRIFTERS

ABSTRACT

This study is about the surface oceanic circulation in the Southwest Atlantic, in particular along the South-Southeast coast of Brazil (22°S,43°W to 38°S,53°W). The data utilized are obtained from 13 WOCE (World Ocean Circulation) standard LCDs (Low Cost Drifters), launched in 1993 and 1994, as part of project COROAS (Oceanic Circulation in the Western Region of the South Atlantic). Due to the fact that these drifters had been launched in groups of 5, at semestral intervals, it was possible to analyse the mean semestral velocities of these parameters between the 1st semester of 1994. The results showed that there was uniformity, even between the different seasons, as well as the tendency of the currents to flow over the 200 m, 1000 m e 2000m isobaths. However, the mean velocities of these currents varied significantly, smaller values being observed in the 2nd semester. Between the 1st semester of 1993 and the 1st semester of 1994, relevant differences in both the mean conditions and perturbations of the circulation were verified. It is shown in this work that these variations were due to the anomalies in the regimes of the meteorological systems verified for the year of 1993. The analysis of the Kinetic Energy of Vortices (EKE) and the Mean Kinetic Energy (MKE) pointed to the great importance of the mesoscale perturbations on the circulation of the waters of the region in question. It was also observed that there was variability in regard to the mean position of the Brazil Current; sometimes the Brazil Current is deflected toward the open ocean. One of the groups of drifters exhibited an atypical deflection in position at 30°S, the result of the intrusion of the Malvinas Currentes northward, along the Continental Platform of Brazil. The parameters associated with the various vortices detected are presented; and one can observe the importance of these in the characterization of the local circulation. The spectral analysis of the data indicated that the principal sources of energy for the detected periodicities are due to meteorological effects, together with the passing of vortices and the meandering of the Brazil Current.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS.....	15
LISTA DE TABELAS.....	17
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	19
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	21
1.1 - Aspectos gerais.....	21
1.2 - Objetivos.....	24
1.3 - Relevância do trabalho e área de estudo.....	24
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	29
2.1 - Circulação oceânica.....	29
2.2 - A circulação no Atlântico Sul.....	30
2.3 – Métodos de medidas de correntes do mar.....	32
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS.....	35
3.1 - Dados dos derivadores.....	37
3.2 - O sistema Argos.....	39
3.2.1 - O segmento espacial.....	39
3.2.2 - Os satélites NOAA.....	40
3.2.3 - Características das órbitas dos satélites.....	42
3.2.4 - Zona de visibilidade para coleta de dados (área de visada).....	43
3.2.5 - Frequência de passagem e duração do campo de visada.....	46
3.2.6 - A PTT (Terminal de Transmissão da Plataforma).....	47
3.2.7 - Sistema ARGOS de localização e coleta de dados (SLCD).....	48
3.2.8 - Capacidade do sistema.....	48

3.2.10 - Cobertura regional.....	51
3.2.11 - Determinação do posicionamento da plataforma.....	52
3.2.12 - Minimizar erros para maximizar o desempenho.....	58
3.3 - O Derivador de Baixo Custo (Low Cost Drifter-LCD).....	61
3.3.1 - A estrutura do derivador.....	61
3.3.2 - Aplicabilidades do derivador.....	65
CAPÍTULO 4 - DADOS E METODOLOGIA.....	67
4.1 - Séries de tempo dos dados de posição.....	67
4.2 - Cálculo da corrente média.....	70
4.3 - Séries de tempo de velocidade instantânea.....	71
4.4 - Cálculo das energias cinéticas médias e de vórtices.....	72
4.5 - Análise dos vórtices.....	74
4.6 - Análise espectral dos dados de posição.....	76
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	81
5.1 – Descrição das correntes.....	81
5.1.1 – Correntes com sentido para Sul (1º sem. 1993).....	82
5.1.2 - Correntes com sentido para Norte (1º sem. 1993).....	85
5.1.3 - Correntes com sentido para Sul (2º sem. 1993).....	88
5.1.4 - Correntes com sentido para Norte (2º sem. 1993).....	90
5.1.5 - Correntes com sentido para Sul (1º sem. 1994).....	91
5.1.6 - Correntes com sentido para Norte (1º sem. 1994).....	94
5.2 – Influências semi-anuais verificadas no sistema de correntes.....	94
5.3 – Aplicação da matriz de transformação sobre os dados.....	99
5.4 – Análise da Energia Cinética de Vórtices (ECV) em termos de componentes.....	102
5.5 – Análise dos Vórtices.....	104
5.6 – Análise Espectral.....	113

5.6.1 – Correntes com sentido para Sul (1º sem. 1993).....	117
5.6.2 – Correntes com sentido para Norte (1º sem. 1993).....	120
5.6.3 - Correntes com sentido para Sul (2º sem. 1993).....	122
5.6.4 - Correntes com sentido para Sul (1º sem. 1994).....	124
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	129
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135
APÊNDICE A.....	143
APÊNDICE B.....	145
APÊNDICE C.....	147
APÊNDICE D.....	149
APÊNDICE E.....	151

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1.1 - Mapa da região correspondente à área de interesse deste trabalho.....	27
2.1 - Circulação oceânica superficial para o Atlântico Sul.....	30
3.1 - Mapa Superficial de salinidade e TSM	39
3.2 - O sistema de aquisição por telemetria ARGOS.....	40
3.3 - Vista expandida do satélite NOAA.....	41
3.4 - Área de visada do satélite.....	44
3.5 - A faixa “varrida” pelo satélite durante uma órbita.....	45
3.6 - A sobreposição de áreas para duas passagens consecutivas do satélite.....	45
3.7 - Esquema do modo de Recepção Regional.....	51
3.8 - Esquema no qual se baseia o Sistema ARGOS na localização das plataformas.....	52
3.9 - Os cones de localização e a esfera de altitude.....	54
3.10 - Possíveis posições para a PCD a partir da intersecção dos 4 cones de localização durante uma passagem.....	55
3.11 - Definição da acurácia do Sistema Argos.....	58
3.12 - Ilustração do Derivador de Baixo Custo (LCD).....	61
3.13 - Esquema do derivador de baixo custo quando à deriva.....	62
3.14 - A estrutura externa do derivador e seus sensores.....	64
3.15- Distribuição dos derivadores pelos oceanos e tipos de informações fornecidas por eles.....	65
4.1 - Trajetória de um dos derivadores.....	68
4.2 - Vórtice plotado no sistema geográfico e cartesiano.....	75
5.1 - Imagem AVHRR da região de estudo.....	82
5.2- Trajetória para Sul (1º sem. 1993).....	84

5.3 - Trajetória para Norte (1º sem. 1993).....	86
5.4 - Trajetória para Sul (2º sem. 1993).....	90
5.5 - Trajetória para Sul (1º sem. 1994).....	93
5.6 - Média mensal dos sistemas que atuaram na costa sul do Brasil.....	95
5.7 - Efeito da aplicação da matriz de transformação.....	100
5.8 - Componentes posicionais em quilômetros e TSM em função do tempo.....	101
5.9 - Vórtice semi-estacionário.....	106
5.10 - Vórtices detectados pelo primeiro grupo de derivadores.....	107
5.11 - Vórtices detectados pelo segundo grupo de derivadores.....	108
5.12 - Vórtices detectados pelos derivadores 3190 e 3192.....	110
5.13 - Vórtices detectados pelo derivador 3191.....	112
5.14 - Análise Espectral pelo MME	113
5.15 - Amplitudes estimadas pela ARM	114
5.16 - Espectro de amplitude da TSM (3178S, 3179S e 3180S).....	119
5.17 - Espectro de amplitude da TSM (3178N, 3179N e 3180N).....	122
5.18 - Espectro de amplitude da TSM para as trajetórias do 1º sem. 1994.....	127
6.1 - Vórtice antes e após subtraída a velocidade de translação.....	131

LISTA DE TABELAS

	Pág.
3.1 - Data de lançamento, localização e temperatura da superfície do mar na ocasião do lançamento dos derivadores.....	38
3.2 - As características mais significantes para as passagens dos dois satélites a cada 24 hs.....	46
3.3 - Condições mínimas para a localização em cada classe.....	57
3.4 - Erros devido a flutuações na frequência.....	60
5.1 - Valores associados a trajetória para Sul (1º semestre de 1993).....	83
5.2 - Valores de energia associados a trajetória para Sul (1º semestre de 1993).....	85
5.3 - Valores associados à trajetória para Norte (1º semestre de 1993).....	87
5.4 - Valores de energia associados a trajetória para Norte (1º semestre de 1993).....	87
5.5 - Valores associados a trajetória para Sul (2º semestre de 1993).....	88
5.6 - Valores de energia associados a trajetória para Sul (2º semestre de 1993).....	89
5.7 - Valores associados a trajetória para Sul (1º semestre de 1994).....	91
5.8 - Valores de energia associados a trajetória para Sul (1º semestre de 1994).....	92
5.9 - Valores médios semestrais.....	94
5.10 - Posições a partir das quais ocorreram deflexões (1º semestre de 1993).....	97
5.11 - Posições a partir das quais ocorreram deflexões (2º semestre de 1993).....	97
5.12 - Posições a partir das quais ocorreram deflexões (1º semestre de 1994).....	98
5.13 - Valores das ECVs antes e após a rotação.....	100
5.14 - Valores das componentes das ECVs.....	102
5.15 - Valores de energias cinéticas a partir de diferentes fontes.....	104
5.16 - Parâmetros associados ao primeiro grupo de vórtices.....	105
5.17 - Parâmetros associados ao segundo grupo de vórtices.....	108
5.18 - Parâmetros associados ao terceiro grupo de vórtices.....	109
5.19 - Periodicidades e amplitudes para os dados de posição.....	115

5.20 - Sistemas que atuaram nos meses de fevereiro, março e abril.....	117
5.21 - Análise espectral das trajetórias para Sul (1º sem. de 1993).....	118
5.22 - Análises espectrais das trajetórias para Norte (1º sem. de 1993).....	120
5.23 - Sistemas que atuaram nos meses de abril, maio, junho e julho de 1993.....	121
5.24 - Análises espectrais das trajetórias para Sul (2º sem. de 1993).....	123
5.25 - Sistemas que atuaram nos meses de julho, agosto, setembro e outubro	123
5.26 - Sistemas que atuaram nos meses de janeiro, fevereiro e março de 1994.....	125
5.27 - Análises espectrais das trajetórias para Sul (1º sem. de 1994).....	125

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ARM	- Análise de Regressão Múltipla.
AVHRR	- Advanced Very High Resolution Radiometer.
CB	- Corrente do Brasil.
CDA	- Command and Data Acquisition.
COROAS	- Circulação Oceânica da Região Oeste do Atlântico Sul.
ECV	- Energia Cinética de Vórtices.
ECM	- Energia Cinética Média.
ECT	- Energia Cinética Total.
FGGE do	- First GARP Global Experiment (Primeiro Experimento Global do GARP).
GARP	- Global Atmospheric Research Program.
GOES	- Geostationary Operational Environmental Satellite.
GPCs	- Centro Global de Processamento Argos.
HRPT	- High Resolution Picture Transmission.
ICSU	- International Council of Scientific Unions.
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
LCD	- Low Cost Drifter.
LPEF	- Length of the Prediction Error Filter. (Comprimento do Filtro de Previsão de Erro).
LUT	- Local User Terminal (Terminal de Usuário Local).
MME	- Método da Máxima Entropia.
NESDIS	- National Environmental Satellite Data, and Information Service.
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration.
PCD	- Plataforma de Coleta de Dados.
PTT	- Platform Transmitter Terminal.
REM	- Radiação eletromagnética.
RRS	- Estações de Recepção Regional.
SLCD	- Sistema de Localização e Coleta de Dados.
SVP	- Surface Velocity Programme.

TIROS	- Television Infrared Observation Satellite.
TSM	- Temperatura da Superfície do Mar.
UHF	- Ultra High Frequency (Frequência Ultra Alta).
USP	- Universidade de São Paulo.
VHF	- Very High Frequency (Frequência muito alta).
WMO	- World Meteorological Organization.
WOCE	- World Ocean Circulation Experiment.
XBT	- Expendible Bathythermograph (Batitermógrafo Descartável).

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - ASPECTOS GERAIS

A Oceanografia por satélite engloba todos os esforços que possibilitem estudar o mar através da utilização de dados recolhidos por meio de plataformas orbitais. Atualmente, dados sobre o mar podem ser obtidos através de vários satélites, os quais dispõem de sistemas sensores operando em diferentes faixas do espectro eletromagnético.

A partir da década de setenta, as séries de satélites meteorológicos Nimbus e TIROS/NOAA começaram a obter imagens nas faixas do visível e infravermelho de considerável valor para a Meteorologia. Em condições de ausência de nuvens, algumas informações sobre o mar podiam ser obtidas a partir dos padrões de reflexão solar nestas imagens. Alguns trabalhos oceanográficos envolvendo canais no infravermelho já eram desenvolvidos naquela época, como por exemplo, Stevenson e Miller (1972).

Mas foi com o aperfeiçoamento das resoluções espectral e espacial dos sistemas sensores à bordo dos satélites meteorológicos NOAA, a partir da metade da década de setenta, que os oceanógrafos começaram a dispor de informações potencialmente úteis sobre a temperatura superficial da água e a cor do mar (Robinson, 1985).

Como uma grande vantagem para a utilização de imagens de satélite para estudos oceanográficos, coloca-se que as informações obtidas através dos sensores orbitais cobrem, em geral, grandes áreas e são sinópticas. Este tipo de informação não é facilmente obtida através de técnicas convencionais de coleta de dados oceanográficos, nas quais um navio de pesquisa leva vários dias para cobrir uma área de extensões consideráveis realizando medidas *in situ*.

Além do mencionado, as imagens obtidas pelos sistemas orbitais podem fornecer informações relativas à áreas de difícil acesso por meios convencionais, e sua repetitividade de obtenção em tempo é muito útil para estudos multitemporais. A principal limitação à oceanografia por satélite reside no fato da radiação eletromagnética (REM) na faixa do infravermelho, registrada pelos sensores imageadores, ser proveniente

apenas de uma camada sub-milimétrica da superfície do mar, o que restringe os estudos a uma visão bidimensional. Esta é a maior limitação, visto que a estrutura vertical do oceano é muito importante em vários aspectos, e esta é facilmente acessada através de técnicas convencionais de coletas de dados oceanográficos *in situ*. No caso das faixas do visível e infravermelho, ainda existe o problema da interferência da atmosfera, principalmente pela cobertura de nuvens (Barnett e Hasselmann, 1979).

Com o desenvolvimento dos sistemas orbitais de coleta de dados, um novo ramo do Sensoriamento Remoto vem sendo amplamente utilizado pela oceanografia. Através de telemetria, plataformas automáticas têm sido empregadas com a finalidade de medir e transmitir a satélites, dados ambientais de diversos tipos e com diversas finalidades.

No mar, bóias oceanográficas vêm sendo eficientemente utilizadas como bases para plataformas de coletas de dados (PCDs), coletando e transmitindo a determinados satélites parâmetros físicos medidos *in situ*. Os parâmetros físicos medidos por estas bóias podem ser tomados desde a superfície até a várias profundidades, fornecendo informações importantes sobre diferentes extratos da coluna d'água, informações estas que não podem ser obtidas através do imageamento da superfície do oceano. Também, estas bóias quando à deriva na superfície do mar, fornecem, através de suas sucessivas posições, medidas langrangeanas de correntes, e ainda possibilitam a percepção de efeitos de determinadas forçantes sobre a superfície do mar, implícitas em suas trajetórias (Souza, 1992).

Medidas de correntes e temperatura fornecidas por bóias oceanográficas podem, além das finalidades mais diretas, serem utilizadas para estudos climáticos e como base para a calibração de modelos oceanográficos de circulação superficial marinha. Segundo Strong e McClain (1984), medidas de temperatura da superfície do mar, realizadas por bóias de deriva, tem mostrado ser os melhores meios para validação de cartas de temperatura da superfície do mar obtida por imageamento via satélite.

Durante os anos de 1965 a 1980, desenvolveu-se o programa Global Atmospheric Research Program (GARP), em caráter internacional e sob a responsabilidade conjunta do World Meteorological Organization (WMO) e do International Council of Scientific

Unions (ICSU). O First GARP Global Experiment, ou FGGE (1978-1979), foi criado para fornecer as condições básicas para a geração de modelos de circulação atmosférica para o planeta. As bóias de deriva, um dos instrumentos amplamente utilizados pelo FGGE, foram lançadas, em sua maioria, no hemisfério sul, ao sul de 20°S (Piola *et al.*, 1987).

Há, recentemente, um programa com o mesmo objetivo do FGGE, porém em dimensões bem mais amplas no que diz respeito a escalas temporais, espaciais, de recursos e de países envolvidos. Trata-se do World Ocean Circulation Experiment (WOCE). O WOCE constitui-se em um esforço de pesquisadores de mais de 30 nações no intuito de estudar a circulação oceânica em grande escala. Iniciado em 1990, o projeto emprega dados obtidos de vários satélites, utiliza dezenas de navios e emprega milhares de instrumentos na finalidade de obter uma descrição básica das propriedades físicas dos oceanos e da circulação global. O WOCE é suportado por projetos regionais em que cada uma das 30 nações participantes é responsável por seu projeto (WOCE Data Information Unit, 1997). O Brasil se faz presente neste experimento através do projeto Circulação Oceânica na Região Oeste do Atlântico Sul (COROAS).

O Projeto COROAS é o mais ambicioso e abrangente estudo da Corrente do Brasil e da circulação na Plataforma Continental externa, já realizado no país. A área de atuação do projeto está compreendida entre Ubatuba e Juréia, na costa, e entre as isóbatas de 20 e de 2000m. Dentre as atividades do projeto, pode-se destacar: fundeio de correntógrafos sobre as isóbatas de 100, 200 e 1000m, cruzeiros hidrográficos sazonais, instalação de marégrafo de fundo, fundeio de bóias meteorológicas, lançamento de derivadores monitorados por satélite, sensoriamento remoto do campo de temperatura superficial, e perfilação acústica de correntes com o sistema Pégasus. Um amplo estudo hidrográfico em mesoescala foi conduzido pelo COROAS durante o verão e o inverno de 1993, quando foram realizados experimentos no intuito de obter informações sobre as características das massas de água da região, a circulação geostrófica e o transporte associado a estas massas de água (Campos *et al.*, 1996). Os dados que serão utilizados neste trabalho foram obtidos a partir de 15 bóias integrantes deste projeto, e correspondem a informações entre 1993 e 1994.

1.2 - OBJETIVOS

Um dos subprojetos do projeto COROAS consistiu no lançamento, durante 1993 e 1994, de 15 derivadores de baixo custo (low cost drifters). Estes derivadores foram lançados em grupos de cinco, sendo o lançamento de cada grupo feito a intervalos semestrais. O Capítulo 3 traz uma descrição detalhada sobre este tipo de bóia. Inserido como uma das finalidades do projeto COROAS, este estudo tem como objetivos específicos tratar os seguintes aspectos:

- Estudar a variação em tempo e espaço do regime das correntes na costa sudeste-sul do Brasil, utilizando medidas *in situ* realizadas pelas bóias do projeto COROAS;
- Analisar os vórtices presentes nas trajetórias dos derivadores, a partir dos dados destes. A compreensão dos mecanismos destes vórtices fornece subsídios para estudos mais avançados que podem incluir, por exemplo, previsões climáticas, estimativas de transportes meridionais ou zonais de calor, e estudos de distribuição de organismos planctônicos de interesse comercial;
- Estimar as energias cinéticas média (ECM), de vórtices (ECV) e total (ECT), para avaliar a importância das perturbações de meso-escala dependentes do tempo sobre o fluxo médio da região.

1.3-RELEVÂNCIA DO TRABALHO E ÁREA DE ESTUDO

O Brasil é um país de grandes dimensões, e com uma costa muito extensa (cerca de 8.000 km). Apesar de apresentar um enorme potencial de riquezas marinhas, ainda se conhece muito pouco sobre o oceano territorial brasileiro. Por uma questão não só econômica, mas também estratégica, faz-se necessário intensificar os estudos sobre os nossos mares legais, particularmente em águas que vão além da isóbata de 200m, pois esta é uma área que apresenta um número muito reduzido de trabalhos científicos. Existem ainda muitas incertezas sobre a variação temporal e espacial da Corrente do Brasil (Peterson e Stramma, 1991).

Em Oceanografia física é muito importante o estabelecimento de condições médias, a partir das quais pode-se determinar ou avaliar o intervalo das variações e determinar escalas em tempo e espaço. Em face a esta importância, pode-se afirmar que é muito escasso o número de trabalhos que objetivam estudar a variabilidade temporal e espacial das águas da Plataforma Continental e adjacentes do Brasil. O satisfatório conhecimento dos processos dinâmicos da circulação da camada superficial fornece subsídios para uma melhor compreensão de outros fenômenos físicos e biológicos importantes, tais como: circulação de massas de água, frentes oceânicas, dispersão, difusão, fenômeno da ressurgência, além de fornecer informações importantes para pesquisas sobre distribuições, em tipo e época, de muitas espécies de peixe.

A área de estudo compreende a região definida pelos paralelos de 22°S a 34°S e pelos meridianos de 53°W a 43°W, estendendo-se desde a margem continental leste da América do Sul até a isóbata de 2000m. A borda leste do Continente Sul-Americano caracteriza-se por uma plataforma continental bem extensa e sobre a influência de fluxos relativamente intensos típicos das correntes de contorno oeste (Stommel, 1948). Essas correntes são caracterizadas pelo transporte meridional intensificado de momentum, calor e outras propriedades físicas e químicas (Olson *et al.*, 1988; Campos e Olson, 1991; Matano, 1991, 1993). A plataforma continental do Sudeste e do Sul, inserida neste contexto regional, contém os maiores e mais importantes portos do país, as principais bacias petrolíferas, além de possuir o maior fluxo naval. A orientação geral da linha da costa é NE-SW, com exceção para as regiões situadas imediatamente ao sul de Cabo Frio (23°S), onde a orientação é E-W, e ao norte do cabo de Santa Marta (28°40'S), onde a orientação é N-S. Esses dois cabos, Cabo Frio e Cabo de Santa Marta, delimitam uma das principais regiões geomorfológicas da plataforma continental brasileira: a Plataforma Continental Sudeste (PCSE), com forma aproximada de lua crescente.

A parte mais larga, com 230 km, está localizada em frente a Santos, e as partes mais estreitas nas proximidades de Cabo Frio, com 50 km, e Cabo de Santa Marta, com 70 km. O comprimento total da PCSE é de aproximadamente 1.000 km e apresenta topografia suave, com as isóbatas dispendo-se paralelamente à linha da costa. A exceção para algumas poucas ilhas grandes, geralmente situadas nas proximidades da costa, como

Ilha Grande, Ilha de São Sebastião, Ilha de São Francisco e Ilha de Santa Catarina, além de muitas ilhas pequenas, situadas geralmente no interior de baías. A profundidade de quebra da plataforma continental varia entre 120 m e 180 m, e a área total da PCSE é de cerca de 150.000 km² (Zembruski (1989), citado por Castro Filho *et al.*, 1994). Considerando uma profundidade média de 70 m pode-se estimar, numa primeira aproximação, o volume total da PCSE como cerca de 10.000 km³. A extensão da PCSE após o cabo de Santa Marta, em direção ao Chuí, define a extremidade sul da plataforma continental brasileira, a Plataforma Continental Sul (PCS). As mesmas condições de suavidade da topografia, e de largura acentuada da plataforma continental, projetam-se na PCS. O comprimento aproximado é de cerca de 750 km, a largura aproximada de 120 km. Usando uma profundidade média de 60 m, pode-se estimar um volume aproximado de 5.500 km³ para a PCS, ou um pouco mais que a metade do volume da PCSE (Castro Filho *et al.*, 1994).

A seguir é apresentado o mapa da região (Figura 1.1), onde se localiza a Plataforma Continental Sudeste-Sul. A figura indica também as posições iniciais, a partir das quais o primeiro conjunto de derivadores foi lançado bem como as isóbatas.

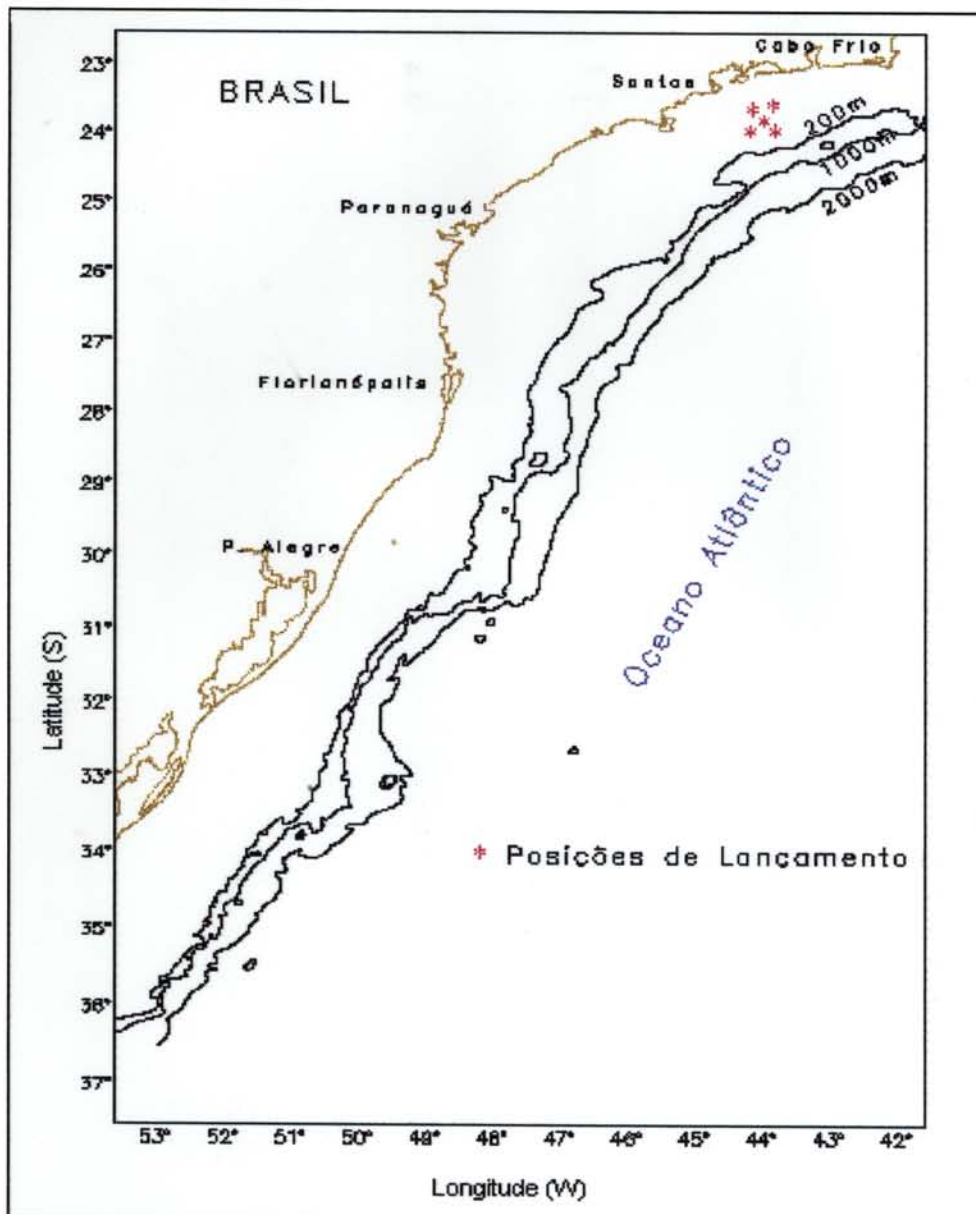


Fig. 1.1 - Mapa da região correspondente à área de interesse deste trabalho. São indicados também a posição aproximada de lançamento dos derivadores e as isóbatas de 200 m, 1000 m e 2000 m.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - CIRCULAÇÃO OCEÂNICA

O fator fundamental para a circulação oceânica e a distribuição e estratificação de massas de água é a energia fornecida pelo sol em forma de radiação solar. Processos físicos devido a interação ar-mar são, também, diretamente ou indiretamente responsáveis pelo comportamento dos oceanos. Entretanto, nem a circulação oceânica, nem a circulação atmosférica podem ser satisfatoriamente explicadas, sem que se leve em conta o complexo mecanismo de interação entre a hidrosfera e a atmosfera. A interação entre ar e água se dá, principalmente, através de efeitos radiativos e troca de calor, através da mudança de estado físico da água de vapor para líquido ou vice-versa (evaporação-precipitação) e troca de momentum (Neumann e Pierson, 1966).

A circulação atmosférica, em particular o sistema de ventos próximo à superfície do oceano, é a principal responsável pelas correntes na camada superficial do oceano. Mudanças em direção, velocidade e extensão das correntes oceânicas são consequências diretas de mudanças sazonais no sistema de ventos. O sistema de correntes oceânicas devidas ao vento interfere no movimento das águas mais profundas. Esta circulação devida ao vento afeta e modifica a distribuição de massas de água, as quais são determinadas pela distribuição de temperatura e salinidade (Neumann e Pierson, *op cit.*).

Por outro lado, diferenças entre o calor ganho e perdido pela superfície do oceano, juntamente com mudanças de salinidade, devido principalmente a diferença entre evaporação e precipitação e também a misturas, leva ao desenvolvimento de correntes termohalinas e a formação de tipos de águas características em diferentes regiões climáticas. A superposição da circulação devida ao vento e a circulação termohalina no oceano faz com que a análise das correntes oceânicas fique mais complicada. Como resultado de ser o oceano composto por águas em movimento, a observação tridimensional da temperatura, salinidade, oxigênio, nutrientes e outros fatores físico-químicos revelam distintas características em diferentes partes do oceano, que são

também sujeitas a flutuações periódicas e aperiódicas causadas pela interação atmosfera-hidrosfera.

2.2 - A CIRCULAÇÃO NO ATLÂNTICO SUL

A circulação superior do Atlântico Sul é caracterizada por um grande giro, que se estende, próximo ao equador, da superfície até cerca de 200m de profundidade, e até cerca de 800m, próximo do giro subtropical (Pickard, 1963). As diferentes correntes que compõem este giro possuem diferentes propriedades e são distinguidas conforme é apresentado na Figura 2.1.

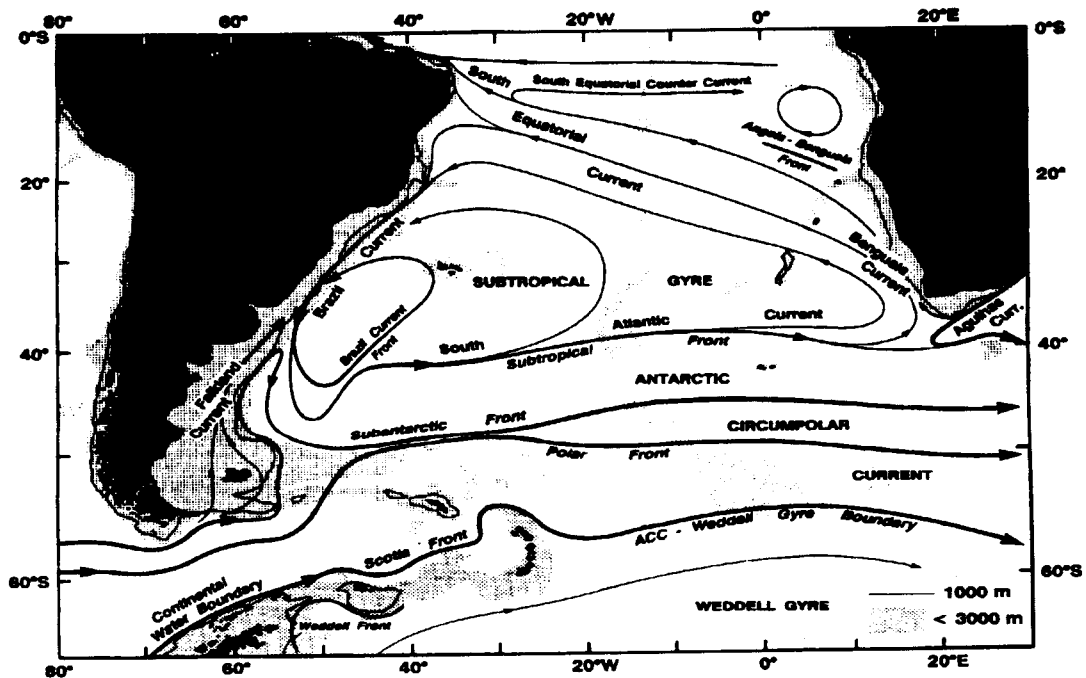


Fig. 2.1 - Circulação oceânica para o Atlântico Sul.

FONTE: Peterson e Stramma (1991, p.4).

A circulação geral do Atlântico Sudoeste é caracterizada pelo fluxo da Corrente do Brasil (CB) em direção ao pólo ao longo da margem continental da América do Sul e pelo fluxo da Corrente das Malvinas (CM) para norte sobre a quebra-da-plataforma argentina (Legeckis e Gordon, 1982). A corrente quente do Brasil (CB) encontra-se com a corrente fria das Malvinas nas proximidades do paralelo 36°S sobre o talude

continental da Bacia Argentina (Olson *et al.*, 1988), criando uma região com fortes gradientes térmicos (Gordon, 1986) conhecida como Confluência Subtropical, que é a região limítrofe entre as águas subtropicais e subantárticas; após isto a CB deflete-se para o largo e penetra no giro subtropical (Figura 2.1). Dados coletados a partir de navios têm sugerido que a Corrente do Brasil tem origem a partir da bifurcação da Corrente Sul Equatorial, próximo ao Cabo de São Roque (5°30'S) (Rennell, 1832, citado por Stramma *et al.*, 1990). Esta característica foi também observada a partir de dados de derivadores nesta latitude, rastreados por satélite (Molinari, 1983; Reverdin e McPhaden, 1986, citados por Stramma *et al.*, 1990). Segundo Garfield (1990), a média anual da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na Corrente do Brasil e a salinidade, a baixas latitudes (10-15° S), fica em torno de 23.9° C e 36.65 PSU. Em baixas latitudes, a Corrente do Brasil é composta basicamente por águas tropicais. Segundo este autor, entre 30-35° S a média anual da TSM e da salinidade baixa para 18.4° C e 35.53 PSU.

O cisalhamento do vento de sudeste sobre o mar, entre o equador e 10° a 15° S, é considerado como a principal causa da circulação no Atlântico Sul. Este campo de vento age sobre o oceano e causa a Corrente Sul Equatorial, a qual se desloca no sentido oeste em direção à costa da América do Sul. Parte desta corrente passa através do equador em direção ao Atlântico Norte onde torna-se a Corrente Norte do Brasil. A outra parte volta-se para o sul, onde recebe o nome de Corrente do Brasil. Esta então, como pode ser observado na Figura 2.1, volta-se para leste formando a Confluência Subtropical, e segue pelo Atlântico, até se voltar para o norte da África, onde se mistura a corrente de Benguela (Pickard, 1990).

Forçada pelos aliseos, a Corrente de Benguela flui paralelamente à costa oeste da África. Ela é uma corrente fria, relativamente pouco salina, que recebe contribuições de águas subantárticas e de ressurgências ao longo da costa africana. Em latitudes menores a mesma se une à Corrente Sul Equatorial, que é forçada pelos aliseos, e flui para oeste, através do Atlântico Sul. (Peterson e Stramma, 1991).

2.3 - MÉTODOS DE MEDIDAS DE CORRENTES DO MAR

Métodos diretos de medidas de correntes podem ser enquadrados em duas categorias:

- instrumentos estacionários, os quais respondem à passagem de água por um rotor ou sensor equivalente, o que permite aferições sobre velocidade e direção das correntes. Os correntômetros fundeados são enquadrados nesta categoria;

- instrumentos ou materiais flutuantes que movem-se com a água e são observados sobre um período de tempo, tendo-se como referencial um sistema de coordenadas. Os derivadores são enquadrados nesta categoria (Stevenson, 1966).

O primeiro método é conhecido como Medidas Eulerianas de correntes e o segundo como medidas Lagrangeanas. Medidas Lagrangeanas de correntes do mar constituem-se no acompanhamento temporal de determinada parcela de água ao longo de seu percurso. Ao contrário do método Euleriano, que mede temporalmente correntes em locais fixos no espaço, o método Lagrangeano tem a vantagem de oferecer, com menor quantidade de instrumentos, uma maior cobertura bidimensional (eixos x,y) em espaço. Este tipo de metodologia é muito útil na descrição em meso e grande escala das correntes do mar. Outra desvantagem do Método Euleriano em relação ao Lagrangeano é que o correntômetro fundeado é altamente sensível a variações em velocidade e direção da corrente com o tempo. Esta variabilidade (devido por exemplo, a turbulências) podem introduzir fortes níveis de ruídos sobre os dados. Os derivadores, em contrapartida, tendem a integrar os pequenos deslocamentos aleatórios de forma que estes não se fazem tão influentes sobre o deslocamento do derivador (Stevenson, 1966).

Um derivador lagrangeano, porém, sob qualquer forma geométrica, nunca segue perfeitamente uma parcela de água particular, porque seu tamanho, relativamente grande, tende a reagir a todas as partículas de água a seu redor, que constantemente estão se misturando ou se separando (Vachon, 1980). Devido a este fato, em realidade, um derivador lagrangeano é apenas um sensor quasi-lagrangeano. Apesar disso, estes derivadores já estão consagrados enquanto instrumentos que se prestam ao

monitoramento de correntes. Serão citados, a seguir, alguns trabalhos envolvendo estudos da circulação oceânica a partir do uso de derivadores rastreados por satélite.

Usando 9 bóias de deriva rastreadas via ARGOS entre 1986-1987, Stabeno e Reed (1991) mediram parâmetros lagrangeanos da Corrente do Alasca. Os dados de velocidade instantânea das bóias, interpolados e filtrados a intervalos regulares de 6 horas, foram correlacionados a dados de vento calculados a partir de medidas de pressão atmosférica nos mesmos intervalos de 6 horas. As máximas correlações indicaram coeficientes de 0,72 a 0,77, respectivamente, para direções de corrente a 25° e 30° à direita do vento. Baseado nos valores da Energia Cinética Média (ECM) e de Vórtices (ECV), os autores evidenciaram a alta estabilidade do fluxo da corrente do Alasca. Vale lembrar que valores baixos para a ECV em comparação com a ECM, sugerem estabilidade no ciclo das correntes.

Com o objetivo de estudar a coerência entre as velocidades das correntes superficiais e o regime dos ventos locais, Niiler e Paduan (1995) analisaram dados de 47 derivadores com elemento de arrasto a 15m, para o período entre 5 e 20 dias, no Pacífico nordeste. Os autores verificaram alta coerência entre as correntes e os ventos locais, com um deslocamento médio de 70 graus à direita da direção do vento. Eles constataram também que as velocidades das correntes são em torno de 0,5% da velocidade do vento e a 68 graus à direita deste.

Schmid *et al.* (1995) utilizaram dados de derivadores com elementos de arrasto a 100 m, para estudar um vórtice ciclônico detectado em 1991 no Atlântico sudoeste, mais precisamente no paralelo correspondente a cidade de Vitória-E.S. Os autores cruzaram dados dos derivadores com informações combinadas de CTD/XBT e imagens de satélite na faixa do termal, e indicaram haver alta complexidade naquela região.

Através do uso de nove derivadores lançados próximo a foz do Rio Amazonas, Limeburner *et al.* (1995) estudaram a pluma do Rio Amazonas ao longo do Atlântico. Os autores verificaram velocidades médias entre 41 e 128 cm/s e um valor máximo de 197 cm/s. Eles constataram também boas correlações visuais entre as velocidades dos derivadores ao longo da plataforma e o cisalhamento do vento ao longo da mesma. Este

fato suportou a idéia de que as flutuações devida a marés, na corrente superficial da Pluma do Amazonas ao longo da plataforma, é fortemente influenciada pelo vento.

Baseado em dados de 130 derivadores com elementos de arrasto a 100m lançados no Atlântico sul entre os anos de 1990 e 1993, Schäfer e Krauss (1995) promoveram estatísticas sobre os vórtices detectados, e compararam com uma base similar de dados sobre o Atlântico norte. Os autores concluíram, baseados na teoria de Taylor, que não há diferenças significantes, nestes aspectos, entre o Atlântico sul e o norte. Eles estimaram também as escalas típicas dos vórtices detectados, e afirmaram serem estas com média entre 37 km no eixo zonal e 28 km na direção meridional o que, segundo eles, é a média comum para todo o Atlântico.

Com vistas a estimar o transporte de calor na camada superficial a leste da passagem de Drake, Stevenson e de Souza (1994), utilizaram dados de um derivador de baixo custo (LCD), lançado durante a 12^a Expedição Brasileira à Antártica, em 1993. Os autores concluíram que a componente meridional do transporte de calor na camada superficial da região de estudo, é para norte com $3,13 \times 10^{11}$ W/m sobre a distância zonal de 2.950 km. Para o sentido zonal, o transporte de calor foi de $2,27 \times 10^{11}$ W/m entre 57,2°S e 44,2°S, para leste.

No intuito de estudar a recirculação da corrente do Brasil ao sul de 23°S, Stevenson (1996), utilizou dados de cinco LCDs lançados a oeste desta corrente. Os resultados preliminares indicaram a presença de vórtices movendo-se em direção a sul na fronteira oeste da Corrente do Brasil. O autor concluiu ainda que a recirculação para esta parte da Corrente do Brasil varia entre 115 e 161 dias. O autor apresenta também, estimativas para a energia Cinética média e residual para a área em questão.

Ainda dentro deste mesmo experimento, Campos *et al.*, 1996, observaram que a velocidade dos primeiros LCDs lançados ficou em torno de 17,1 cm/s para sudoeste, próximo a latitude de 29° S. Durante esta época, a temperatura superficial da água se manteve, em média, a 25,40°C ($\pm 0,6^\circ\text{C}$). Neste trabalho os autores constataram a penetração anômala de águas da confluência entre a corrente do Brasil e a corrente das Malvinas; observaram também uma possível bifurcação da Água Intermediária da

Antártica próxima a região de estudo, com um ramo seguindo para norte e outro para o sul ao longo do talude da América do Sul.

Otto e Van Aken (1996), utilizando dados de derivadores com elemento de arrasto entre 15 e 30 m, lançados no Atlântico nordeste, verificaram variações temporais tanto no fluxo médio das correntes quanto nos valores vorticiais. Os autores constataram que no inverno os derivadores tendiam a elevados valores de velocidade o que, segundo eles, provavelmente se deveu ao aumento da velocidade do vento para esta estação climatológica.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS

3.1 - DADOS DOS DERIVADORES

Os dados disponíveis para efetuar este trabalho foram provenientes de 15 Derivadores de Baixo Custo (LCDs) lançados entre 1993 e 1994, como parte de um experimento do projeto COROAS no limite oeste da Corrente do Brasil (CB). Estes dados, dentre os quais a maior parte pertence à classe 3 do padrão de qualidade ARGOS (conforme será explicado posteriormente), têm precisões próximas a 0,001 graus de latitude/longitude (111 m em latitude). O número médio de localizações por dia, como descrito na Tabela 3.2, é função da latitude em que se encontra a PCD (Plataforma de Coleta de Dados). Porém, esta tabela diz respeito ao caso de serem as transmissões intermitentes durante cada dia. Ao contrário disso, as PCDs do projeto COROAS transmitiram diariamente durante 8 horas e cessaram nas demais 16 horas a cada dia. Uma das consequências desejáveis disto é que as PCDs ganham em vida útil, pois suas baterias duram por mais tempo. Para a latitude média que diz respeito à área de estudo (entre 24° e 30°), o número médio de localizações por dia está entre 3 e 4. A fim de obter o perfil vertical da temperatura das águas nas posições de lançamento dos LCDs, foram utilizados XBTs (batitermógrafo descartável), sendo lançados um destes a cada posição.

A Tabela 3.1 apresenta as datas, as posições de lançamento e as temperaturas da superfície do mar na ocasião dos lançamentos. Os dados destes derivadores, após processados e analisados, constituem-se em uma base sobre a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e a relação entre posição e tempo (série de tempo) dos derivadores. Esta informação entre posição versus tempo permite, a partir do processamento dos dados, que se estime a velocidade média das correntes locais e suas variações sazonais em intensidade e direção.

**TABELA 3.1 - DATA DE LANÇAMENTO, LOCALIZAÇÃO E
TEMPERATURAS (TSM) NA OCASIÃO DOS LANÇAMENTOS DOS
DERIVADORES**

LCD	DATA DE LANÇAMENTO	Lat. (°S)	Long. (°W)	T (°C)
3178	17-02-93	24,590	44,317	25,57
3179	17-02-93	24,525	44,121	25,62
3180	17-02-93	24,485	43,892	25,33
3181	17-02-93	24,732	44,014	25,57
3182	17-02-93	24,389	44,159	24,29
3183	19-07-93	24,167	44,004	21,21
3184	19-07-93	24,332	44,001	22,20
3185	19-07-93	24,331	44,163	21,51
3186	19-07-93	24,253	44,083	20,97
3187	19-07-93	24,174	44,163	20,52
3188	19-01-94	24,586	44,402	25,37
3189	19-01-94	24,292	44,049	25,47
3190	19-01-94	24,419	44,453	25,62
3191	19-01-94	24,506	44,752	25,12
3192	19-01-94	24,166	44,387	24,92

Com o objetivo de localizar a frente termohalina associada com o limite oeste da Corrente do Brasil, foi utilizado um termosalinógrafo, a partir do Navio Oceanográfico *Professor W. Besnard* do IOUSP. A Figura 3.1 traz os mapas superficiais da TSM e salinidade obtidos a partir dos dados do termosalinógrafo na ocasião de lançamento do segundo grupo de derivadores. São apontadas também as regiões a partir das quais os

derivadores foram lançados. Localizada esta região, os derivadores foram lançados cinco a cinco, a intervalos sazonais (aproximadamente de seis em seis meses).

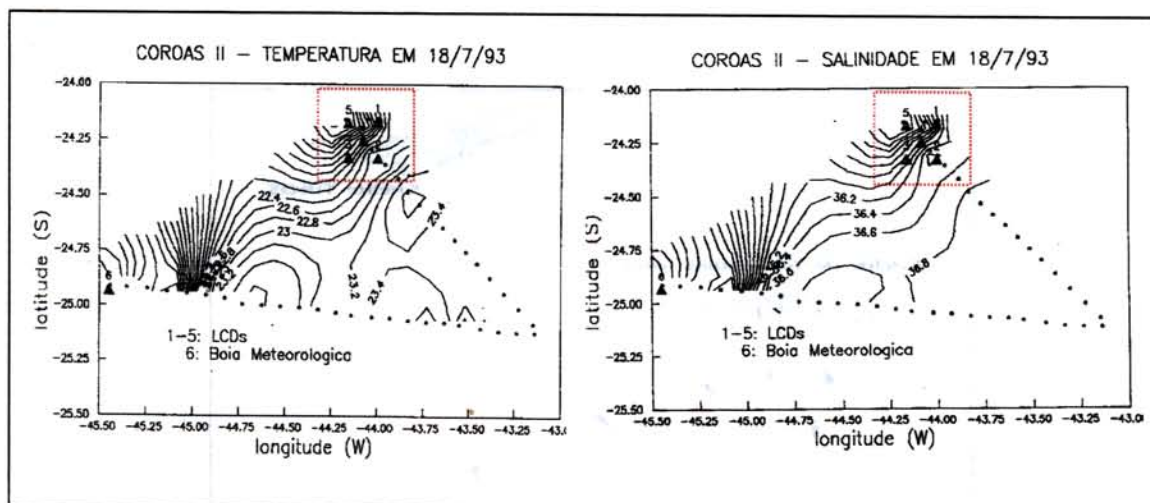


Fig. 3.1 - Mapas superficiais de salinidade e TSM plotados a partir dos dados do termosalinógrafo. A região delimitada pelo quadrado tracejado corresponde às posições de lançamento dos derivadores.

3.2 - O SISTEMA ARGOS

3.2.1 - O SEGMENTO ESPACIAL

O segmento espacial ARGOS constitui-se de dois satélites operacionais NOAA de órbita baixa. Cada satélite é equipado com o Sistema de Localização e Coleta de Dados (SLCD), o qual recebe e grava todas as transmissões das plataformas que estiverem dentro de seu “campo de visada” durante cada passagem. Campo de visada, neste contexto, diz respeito à área na Terra para a qual todas as plataformas que estiverem dentro desta área, serão “vistas” pelo satélite durante sua passagem. Em outras palavras, é a área na qual todas as plataformas que estiverem dentro conseguem ter suas mensagens recebidas pelo satélite. Posteriormente, será mostrado que o “campo de visada” pode ser classificado como total ou instantâneo.

Os dados recebidos pelos satélites são descarregados sobre uma das três estações terrestres, a que estiver mais ao alcance para aquela órbita do satélite. Os equipamentos à bordo possibilitam também que os dados sejam retransmitidos em tempo real. A

Figura 3.2, a seguir, esquematiza o processo pelo qual o satélite envia as informações para as estações receptoras, bem como apresenta a localização destas estações: Wallops Island (Virgínia, USA), Fairbanks (Alaska, USA) e Lannion (França) (Manual ARGOS, 1989).

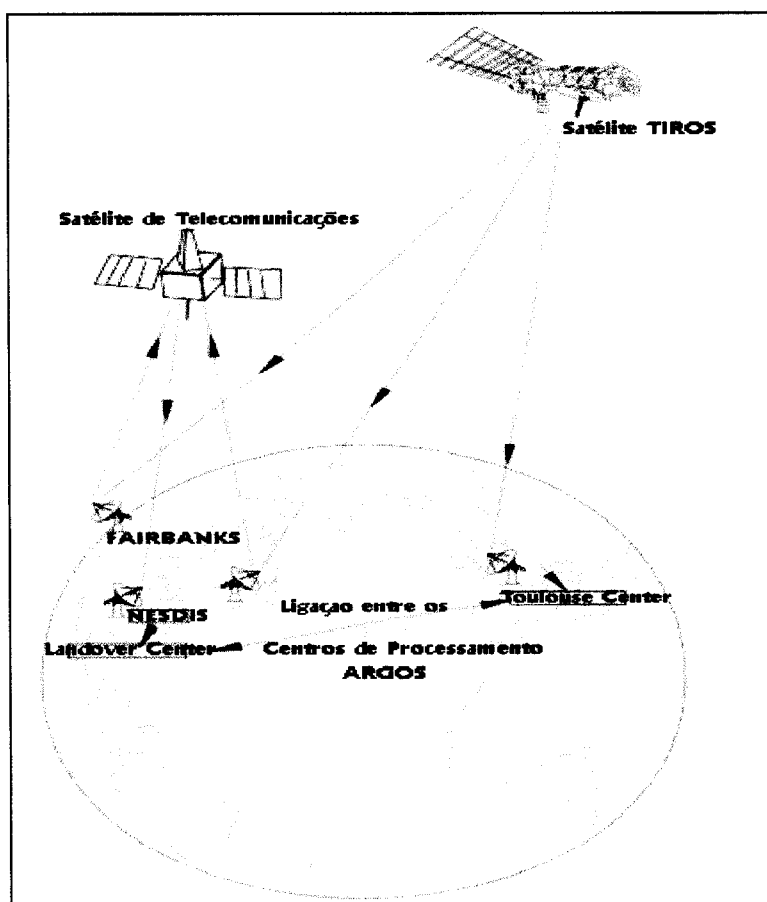


Fig. 3.2 - O sistema de aquisição por telemetria ARGOS.

FONTE: Adaptada de Manual ARGOS (1989, p. 3).

3.2.2 - OS SATÉLITES NOAA

O conjunto SLCD ARGOS viaja a bordo de satélites de órbita polar, desenvolvidos e lançados pela NASA, sob patrocínio da NOAA. Todo o processo que diz respeito aos “produtos” do satélite é gerenciado pela NOAA através do Serviço Nacional de Dados e Informações de Satélites Ambientais (NESDIS). O primeiro protótipo destes satélites, nomeado TIROS-N, foi lançado em 13 de Outubro de 1978. A partir daí, uma série de satélites foram desenvolvidos, cada um designado, a princípio, por uma letra, e, uma vez

atingido o sucesso no lançamento, passavam a ser designados por números. Assim, o NOAA-A tornou-se NOAA-6. Já o NOAA-C tornou-se NOAA-7, pois o lançamento do NOAA-B não foi bem sucedido.

A série atual, o Advanced TIROS-N (ATN), é uma extensão do programa original TIROS-N. O primeiro satélite da série ATN foi o NOAA-E, que foi lançado com sucesso, em 28 de março de 1983, recebendo então a denominação de NOAA-8. A Figura 3.3, a seguir, esquematiza um satélite NOAA, onde são enfocados seus principais componentes estruturais, e as antenas: UHF usada pelo SLCD para receber os dados das PCDs, a antena VHF, a qual retransmite os sinais oriundos das PCDs, do satélite para as estações em terra, e a antena em banda-S, usada na recepção dos comandos da Terra para o Satélite e retransmissão dos dados em altas taxas.

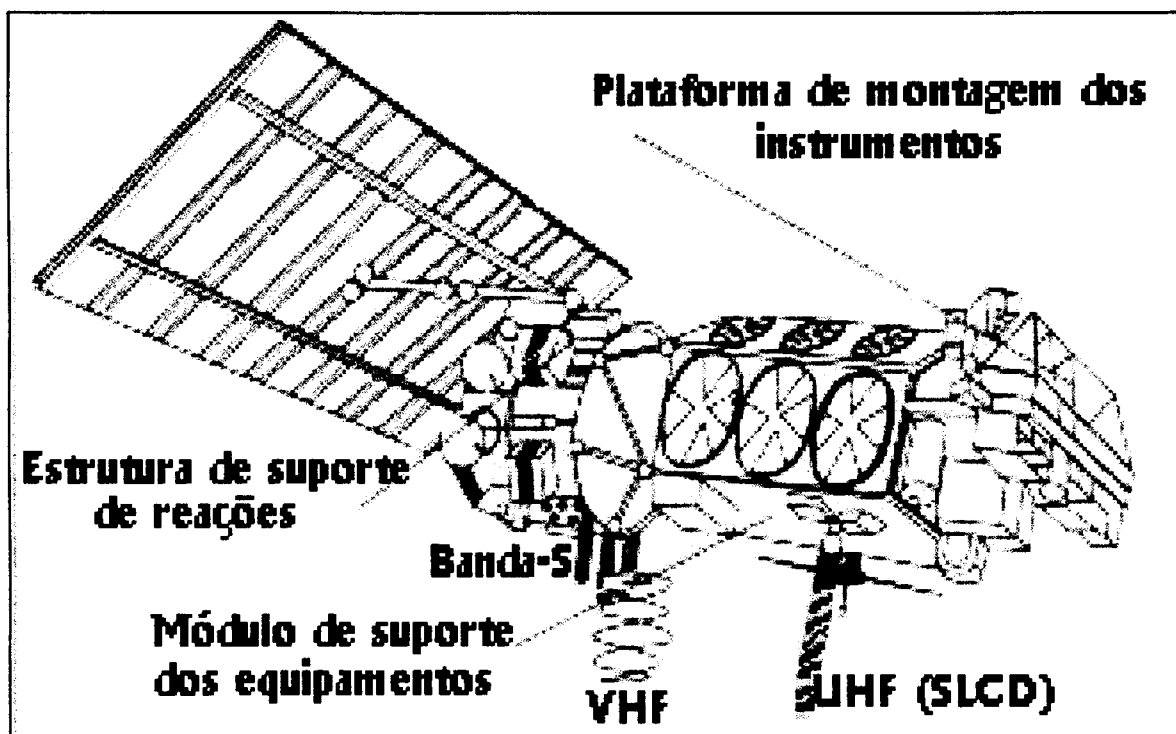


Fig. 3.3 - Vista expandida do satélite NOAA e em destaque os seus três principais componentes estruturais; juntamente as antenas.

FONTE: CLS/Service Argos (1989, p.5).

O Módulo que Suporta o Equipamento (ESM) possui uma estrutura em forma de uma caixa de cinco lados. O lado inferior (que fica voltado para a Terra), carrega as antenas e os sensores, incluindo a antena do SLCD.

A estrutura do suporte de reações, montada em uma das extremidades do ESM inclui o estágio final do motor de injeção, um sistema propulsor para controle de atitude, e o painel solar. A área deste painel é de $11,6 \text{ m}^2$, sendo acoplado a um sistema de direcionamento que o mantém sempre voltado para o Sol.

O componente montado sobre o outro lado da plataforma é um instrumento de alta estabilidade que suporta os sensores de controle de atitude e os principais instrumentos de observação da terra. O Subsistema de Controle e Determinação de Atitude (ADACS) gerencia o alinhamento do satélite nos três eixos, dentro de uma precisão de $0,2^\circ$. O peso total do satélite gira em torno de 725 Kg (CLS/Service Argos, 1989).

Uma vez recebidos, os dados são transmitidos pelo satélite às estações terrestres de duas formas: em Very High Frequency (VHF), na faixa de 137 77 Mhz a uma taxa de 8320 bits/s, e em banda-S (1698 Mhz), juntamente com o sinal das imagens do Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), a uma taxa de 665400 bits/s (Silva Jr., 1989). As PCDs enviam seus sinais para o satélite em UHF, dentro de uma faixa de 401,646 a 401,654 MHz.

3.2.3 - CARACTERÍSTICAS DAS ÓRBITAS DOS SATÉLITES

A órbita do satélite diz respeito a sua trajetória em torno da Terra. São as seguintes as características de órbita dos satélites NOAA:

-Configuração geral da órbita: circular, polar (o satélite “vê”, em cada órbita, tanto o Pólo Norte quanto o Pólo Sul). Esta configuração tem a vantagem de permitir que toda a superfície da Terra seja “imageada” pelo satélite; isto se deve ao fato de que, enquanto o satélite descreve uma trajetória latitudinal, as diferentes regiões da Terra deslocam-se, devido ao movimento de rotação do nosso planeta, longitudinalmente em relação ao satélite.

-Inclinação (ângulo entre o plano equatorial e o orbital): $98,7^\circ$.

-Inclinação (ângulo entre o plano equatorial e o orbital): $98,7^\circ$.

-Órbita heliossíncrona: o plano orbital gira em torno do eixo polar na mesma taxa em que a Terra gira em torno do Sol, ou seja, uma revolução completa por ano. Cada revolução orbital, portanto, intercepta o plano equatorial sempre na mesma hora solar. Para o usuário, isto significa que uma dada plataforma fixa fica dentro do ângulo de visada de um satélite sempre na mesma hora local a cada dia.

-Período (tempo que o satélite leva para completar uma revolução, ou seja, uma volta ao redor da terra): aproximadamente 101 minutos.

-Número de revoluções por dia: aproximadamente 14 para cada satélite.

-Altitude: 830 ± 18 km e 870 ± 18 km para os dois satélites, respectivamente.

-Uma órbita com estes aspectos assegura completa cobertura da superfície da Terra, inclusive as regiões polares. A partir do NOAA-12, o plano orbital dos dois satélites foram separados de 90° .

-A altitude orbital, como já foi dito, é diferente para cada um dos dois satélites, o que produz uma diferença de aproximadamente um minuto entre os períodos destes. Isto assegura que, por longos períodos de tempo, um dado ponto da Terra será visto em diferentes instantes pelos dois satélites (Manual Argos, 1989). Os satélites desta série, em atividade durante a época do experimento, foram o NOAA-11 e o NOAA-12.

3.2.4 - ZONA DE VISIBILIDADE PARA COLETA DE DADOS (ÁREA DE VISADA).

Como pode ser visto a partir da Figura 3.4, cada satélite “vê”, simultaneamente, todas as plataformas dentro de um círculo de diâmetro igual a 5000 km, para um ângulo mínimo de 5° entre a horizontal e a linha de visada do satélite.

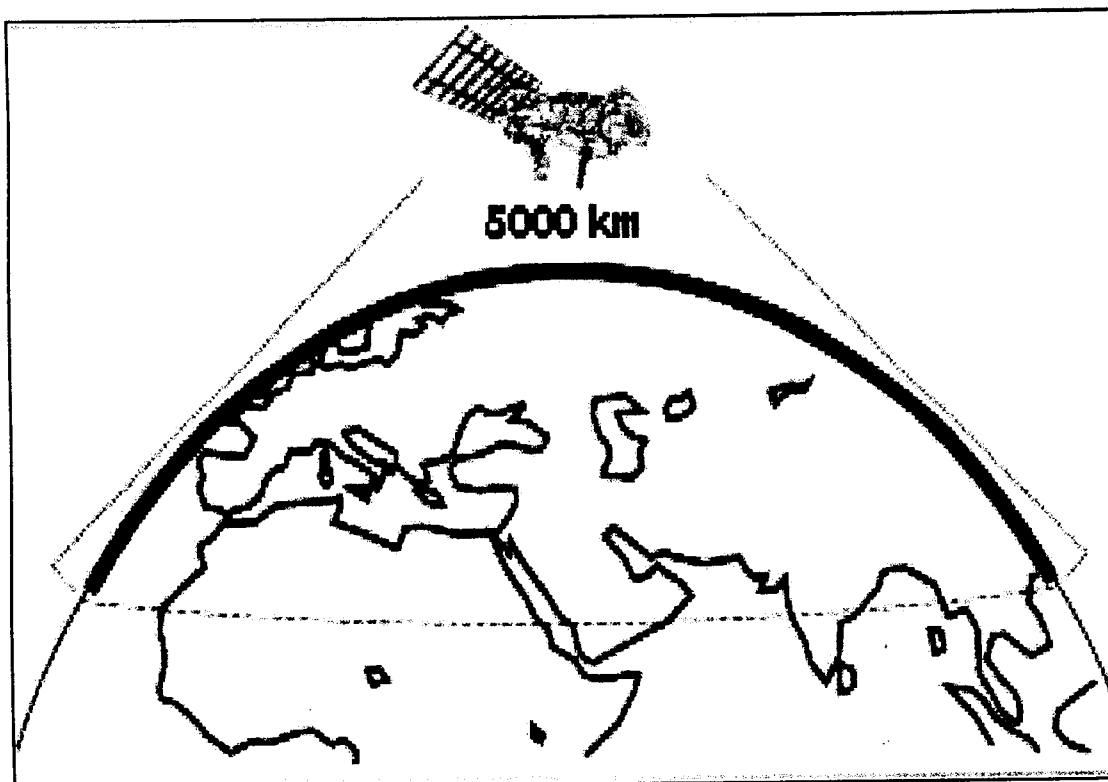


Fig. 3.4 - Área de visada do satélite.

FONTE: CLS/Service Argos (1989, p.7).

O satélite, em sua órbita, “varre” uma área na Terra correspondente a uma faixa de 5000 Km de largura na direção longitudinal, como mostra a Figura 3.5. Como resultado da rotação da Terra, a faixa “varrida” é deslocada a 25° para oeste (2800 km no Equador) em torno do eixo polar, em cada revolução. Existe, portanto, sobreposição entre sucessivas coberturas (Figura 3.6).

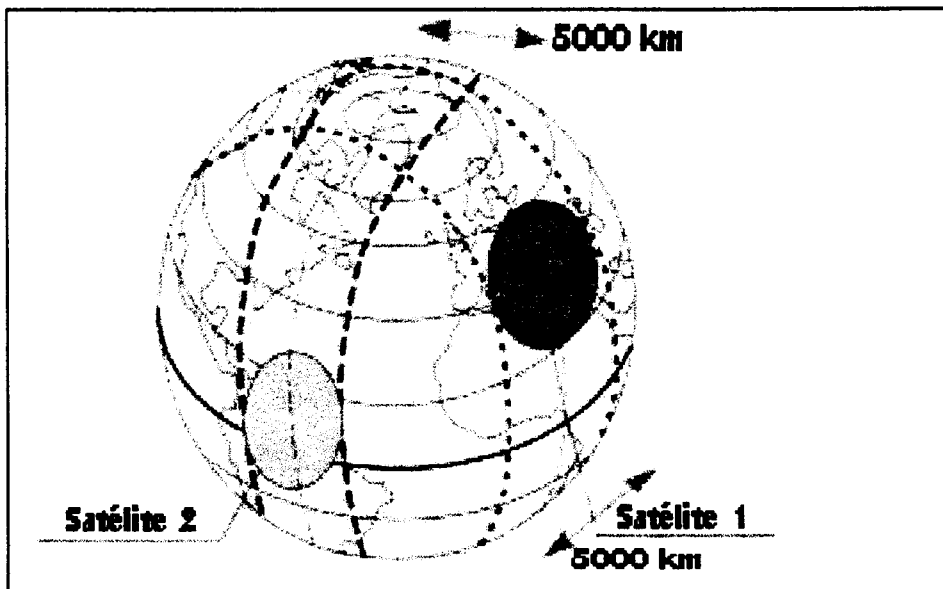


Fig. 3.5 - A faixa “varrida” pelo satélite durante sua órbita.

FONTE: CLS/Service Argos (1989, p. 8).

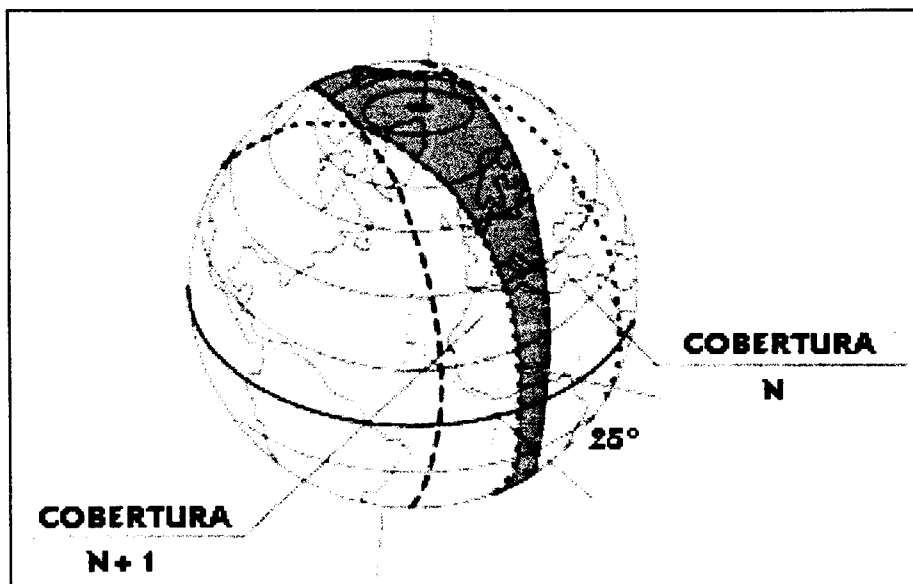


Fig. 3.6 - A sobreposição de áreas para duas passagens consecutivas do satélite.

FONTE: CLS/Service Argos (1989, p. 8).

3.2.5 - FREQUÊNCIA DE PASSAGEM E DURAÇÃO DO CAMPO DE VISADA

A sobreposição das faixas de “varredura” do satélite aumentam com a latitude e, conseqüentemente, o número de passagens sobre as plataformas também aumenta com a latitude. Na região próxima aos pólos, os dois satélites “vêm” todas as plataformas em cada passagem, ou seja, 28 vezes ao dia. As mais importantes características sobre as passagens, a cada 24 horas, são apresentadas na Tabela 3.2.

TABELA. 3.2 - AS CARACTERÍSTICAS MAIS SIGNIFICANTES PARA AS PASSAGENS DOS DOIS SATÉLITES A CADA 24 HORAS

Latitude da PTT (°)	Visibilidade acumulada sobre 24 horas	Número mínimo de passagens a cada 24 horas	Número médio de passagens a cada 24 horas	Número máximo de passagens a cada 24 horas
0 grau	80 min.	6	7	8
± 15 graus	88 min.	8	8	9
± 30 graus	100 min.	8	9	12
± 45 graus	128 min.	10	11	12
± 55 graus	170 min.	16	16	18
± 65 graus	246 min.	21	22	23
± 75 graus	322 min.	28	28	28
± 90 graus	384 min.	28	28	28

FONTE: CLS/Service Argos (1989, p. 9).

A duração média do campo de visada para passagens em baixa elevação, como 5°, é de 10 minutos; este valor sobe para 14 minutos quando a passagem é a Zenite. A duração, ao contrário do número de passagens, não depende da latitude.

3.2.6 - A PTT (TERMINAL DE TRANSMISSÃO DA PLATAFORMA)

Toda Plataforma de Coleta de Dados (PCD) ligada ao Sistema ARGOS deve portar uma PTT (Terminal de Transmissão da Plataforma). Toda PTT, para ser aprovada pelo Sistema ARGOS, deve ser fabricada dentro de um certo padrão de normas. Cada tipo deve ser, portanto, rigorosamente testada em laboratório para, então, ser homologada pelo Sistema ARGOS.

Para ser homologada, a PTT deve oferecer as seguintes garantias:

- proteção ao sistema, isto é, assegurar uma performance nominal em relação ao sistema (não causar ruídos ou interferências);

- ser compatível com os instrumentos à bordo dos satélites e os centros de processamento em terra.

A homologação, que é uma espécie de autorização para a PTT operar e que consiste nas várias etapas de testes a que estas devem ser submetidas, não deve ser confundida com o número de identificação ID, o qual permite ao serviço Argos identificar as PTTs. Além desta homologação pela ARGOS, as PTTs devem ser homologadas pelos órgãos competentes vinculados ao Ministério das Telecomunicações de cada país, o que autoriza seu uso dentro dos respectivos limites territoriais.

A frequência de transmissão para todas as PTTs deve ser situada entre 401, 646 a 401,654 Mhz. A frequência recebida pelo instrumento à bordo é medida, o que permite que se determine o deslocamento Doppler. Isto possibilita determinar a posição da plataforma. Na Seção 3.2.11 este tópico será detalhadamente tratado.

As mensagens transmitidas pelas PTTs seguem algumas restrições, sendo algumas destas:

- o comprimento máximo da mensagem deve ser de 256 bits;
- cada PTT pode ter de 1 a 32 sensores;

- cada sensor pode transmitir de 1 a 32 bits, embora o mínimo valor normalmente usado seja 8 bits. (CLS/Service Argos, 1989).

3.2.7 - SISTEMA ARGOS DE LOCALIZAÇÃO E COLETA DE DADOS (SLCD)

O SLCD recebe as mensagens transmitidas por todas as plataformas situadas dentro do campo de visada do satélite. O sinal de entrada é composto de dados que correspondem às mensagens recebidas de todas as plataformas situadas dentro do campo de visada do satélite. O processo utilizado para separar as mensagens baseia-se na discriminação entre o tempo de chegada do sinal, e a própria discriminação da frequência de transmissão. O tempo de chegada do sinal pode ser distinguido porque:

- o comprimento da mensagem é curto em relação ao período de repetição;
- as transmissões pelas diferentes plataformas são assíncronas;
- e, o Serviço ARGOS não permite, quando da homologação, que todas as PTTs possuam o mesmo período de repetição (CLS/Service Argos, 1989).

3.2.8 - CAPACIDADE DO SISTEMA

A capacidade de um sistema de localização e coleta de dados (SLCD) é convencionalmente definido como o número de plataformas de coleta de dados (PCDs) que podem ser monitoradas pelo sistema. Os sistemas de coletas de dados ambientais como GOES e METEOSAT, os quais fazem uso de satélites geoestacionários, têm capacidade de coletar dados de forma semelhante aos NOAAs, porém sem determinar o posicionamento. Os satélites geoestacionários constituem-se em sistemas mais simples, pois:

- todas as plataformas estão permanentemente dentro da área de visada do satélite;
- todas as plataformas são monitoradas regularmente a intervalos fixos;
- todas as plataformas monitoradas apresentam um número de transmissões constantes no tempo, e

- todas as plataformas são monitoradas a uma frequência escolhida ou a um canal fixo.

O tempo e a frequência da transmissão são escolhidas de forma a evitar interferências e garantir que toda PCD possua transmissões diferenciáveis.

O SLCD ARGOS, ao contrário, é muito diferente do sistema geostacionário, pois:

- somente plataformas dentro da área de visada do satélite podem ter suas transmissões recebidas pelo equipamento ARGOS à bordo, e, a cada dado instante, o satélite tem apenas 5,7% da superfície da terra dentro de sua área de visada;

- as transmissões ocorrem aleatoriamente, sendo estes sinais enviados aos satélites a intervalos (períodos) de 90 a 300 segundos;

- a duração das mensagens da plataforma depende do número de sensores ligados à PCD e varia entre 0,36 s e 0,92 s;

- as frequências recebidas são aleatoriamente distribuídas devido aos diferentes deslocamentos Doppler resultantes das diferentes distribuições geográficas das plataformas sobre a Terra.

O principal resultado deste tipo de sistema, ou seja, randômico (aleatório), é que a capacidade do sistema pode ser expressa apenas em termos de probabilidades de aquisição das mensagens.

Para um Usuário em uma dada área, a capacidade do sistema se traduz como o número máximo de plataformas dentro da área de visada do satélite para as quais as mensagens podem ser satisfatoriamente coletadas.

O SLCD pode operar a cada instante 920 PCDs somente para coleta de dados e 230 PCDs para coleta de dados e posicionamento, quando estas estão posicionadas dentro da área de visada do satélite (círculo com 5000 km de diâmetro). A capacidade global do Sistema ARGOS é de 4000 plataformas móveis e até 16000 plataformas fixas.

A probabilidade de aquisição de mensagens aumenta quando a mensagem é repetida várias vezes durante uma passagem do satélite. Por exemplo, para uma probabilidade nominal de 0,84 da mensagem ser adquirida, se as mensagens forem repetidas 3 vezes, a probabilidade de aquisição é: $1-(1-0,84)^3 = 0,996$. Explicando melhor: se a probabilidade de um evento ocorrer for 0,84, a probabilidade deste evento não ocorrer será $(1-0,84)$. A probabilidade desse evento não ocorrer é elevado ao número de vezes que o evento é repetido. Desta forma, a probabilidade de não aquisição para as 3 mensagens será: $(1-0,84)^3$. Logo, a probabilidade de aquisição será: $1-(1-0,84)^3 = 0,996$.

O desempenho do sistema pode ser também comprometido pelos erros intrínsecos à transmissão. Este tipo de erro pode ser diminuído consideravelmente pelo processamento de dados nas estações em terra, bastando para isto que várias mensagens idênticas sejam transmitidas e recebidas durante a mesma passagem do satélite. Por isso, é interessante para os usuários ARGOS que as mensagens, para uma mesma passagem de satélite, se repitam várias vezes (CLS/Service Argos, 1989).

3.2.9 - ESTAÇÕES TERRESTRES

A Figura 3.2 apresentou as localizações das estações terrestres de recepção e processamento para o modo cobertura global. A cada revolução orbital, os dados recebidos durante uma revolução completa são armazenados pelos gravadores à bordo e, posteriormente, descarregados em uma das três estações terrestres. As estações Wallops Island (Virginia, USA) e Fairbanks (Alaska, USA) transmitem os dados para a divisão de processamento de dados NESDIS em Suitland (Maryland, USA) através de um satélite comercial. Em Suitland, os dados ARGOS são separados dos demais dados gerados por outros equipamentos, e transmitidos ao Centro Global de Processamento ARGOS (GPCs) em Landover (Maryland, USA) e Toulouse (França).

A estação de Lannion envia os dados Argos diretamente para o GPC francês (FRGPC) em Toulouse, o qual encaminha, posteriormente, os dados para o GPC americano (USGPC) em Landover. Estes procedimentos descritos, referem-se ao modo cobertura global, que se baseia na coleta e gravação de dados em escala mundial (CLS/Service Argos, 1989).

3.2.10 - COBERTURA REGIONAL

O Serviço ARGOS também utiliza as estações de Fairbanks, Wallops Island e Lannion, que são chamadas estações Command and Data Acquisition (CDA), nas recepções regionais, as quais, portanto, atuam também como Estações de Recepção Regional (RRSs). As estações recebem, em tempo real, a telemetria transmitida pelos equipamentos ARGOS à bordo, e retransmitem para os centros de processamento Argos.

Na cobertura regional o satélite “vê” simultaneamente a estação e a plataforma. Em outras palavras, a plataforma e a estação receptora devem estar, simultaneamente, dentro do horizonte regional, como é mostrado na Figura 3.7.

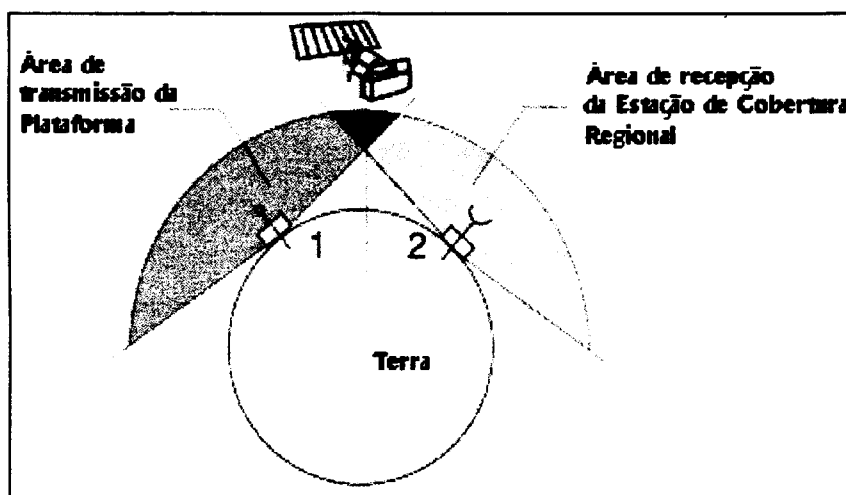


Fig. 3.7 - Esquema do modo de Recepção Regional.

FONTE: CLS/Service Argos (1989, p. 6).

Existem estações de cobertura regional espalhadas pelo mundo em várias universidades e centros de pesquisas, como no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Alguns usuários podem acessar seus dados em tempo real através de terminais locais conhecidos como Local User Terminals (LUTs), por meio de VHF ou banda-S. As LUTs recebem dados quando estas e as plataformas estiverem dentro do horizonte regional do satélite, isto é, teoricamente quando ambas estiverem dentro de 2500 km da linha do traçado do satélite. Um outro tipo de estação que se vale à recepção dos dados das PCDs, são as estações High Resolution Picture Transmission (HRPT), a qual

recebe, também, dados do sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). O INPE dispõe de uma destas estações, localizada em Cachoeira Paulista. O número de mensagens recebidas nesta forma é menor do que o modo de cobertura global, com este número diminuindo à medida que aumenta a distância entre plataforma e estação (CLS/Service Argos, 1989). Mas como vantagem, o modo cobertura regional permite que os dados sejam acessados em tempo real, ao passo que pela cobertura global este tempo varia entre 2 até 8 horas.

3.2.11 - DETERMINAÇÃO DO POSICIONAMENTO DA PLATAFORMA

A localização da plataforma é efetuada através do cálculo do efeito Doppler sobre a frequência recebida. O efeito Doppler é a mudança observada na frequência de uma onda devido ao movimento da fonte em relação ao observador (ou vice-versa).

Devido ao fato de que é aproximadamente constante a frequência transmitida por cada PTT, as frequências recebidas pelo satélite, dentro de um sobrevôo, podem ser usada para definir as possíveis posições da plataforma. O campo dentro do qual se localiza o sinal transmitido pela plataforma assume a forma de um semi-cone, com o satélite em seu ápice e o vetor velocidade do satélite fazendo o traçado de simetria. A Figura 3.8 esquematiza este processo.

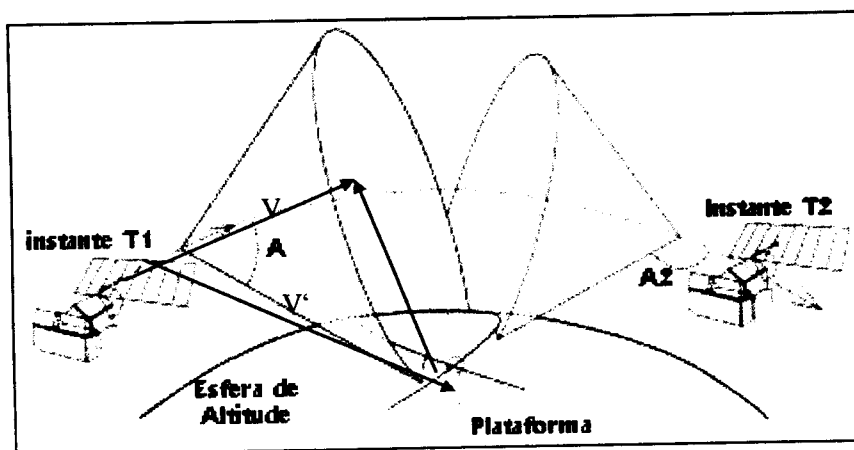


Fig. 3.8 - Esquema no qual baseia-se o Sistema Argos na localização das plataformas.

FONTE: Adaptada do CLS/Service Argos (1990, p. 10).

onde:

V = Velocidade do satélite

V' = Velocidade relativa do satélite para a plataforma

Através de uma simples inspeção da Figura 3.8, pode-se notar que V' (velocidade relativa do satélite à plataforma) pode ser dada pela relação:

$$V = V' \cos A \quad (3.1)$$

Lembrando que o efeito Doppler para a luz (onda eletromagnética, como o é o sinal das PCDs) é dado por (Halliday e Hesnick, 1991):

$$(\lambda_r - \lambda_e) / \lambda_e = \pm V / C \quad (3.2)$$

(Prevalece o sinal positivo se houver aproximação relativa entre a fonte (plataforma) e o detector (satélite), e prevalece o sinal negativo se houver afastamento relativo).

Onde:

λ_r = comprimento de onda recebido

λ_e = comprimento de onda emitido

C = velocidade da luz

A partir de procedimentos matemáticos triviais pode-se provar que:

$$\cos A = (C / V') \times (F_r - F_e) / F_r \quad (*)$$

Onde:

C = velocidade da luz

V' = velocidade relativa entre o satélite e a plataforma

F_e = frequência transmitida (401,646 a 401,654 MHz)

F_r = frequência recebida

Quando a altitude da PCD é conhecida, esta forma parte de uma esfera, a “esfera de altitude” (veja Figura 3.9).

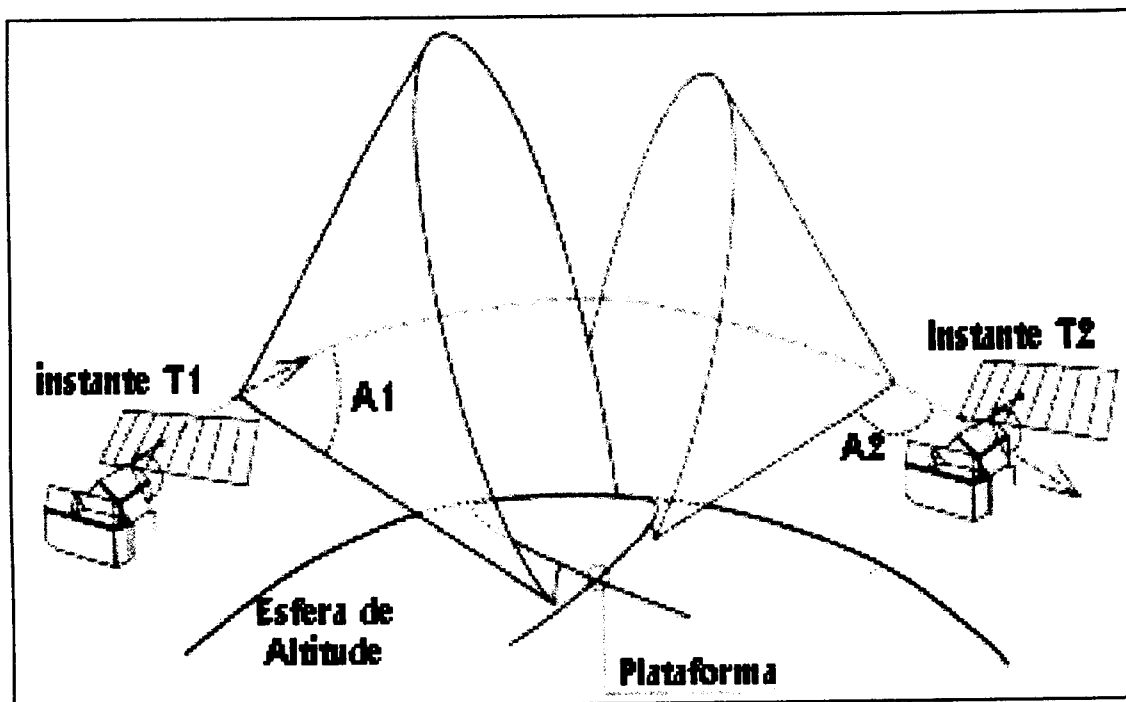


Fig. 3.9 - Os cones de localização e a esfera de altitude.

FONTE: CLS/Service Argos (1989, p.10).

Um cone de localização é obtido para cada medida Doppler (CLS/Service Argos, 1989). Os diferentes cones de localização interceptam a esfera de altitude, o que representa as possíveis posições da plataforma, as quais são simétricas em relação à trajetória do satélite (eixo de simetria), conforme pode ser observado nas Figura 3.9 e Figura 3.10, a seguir.

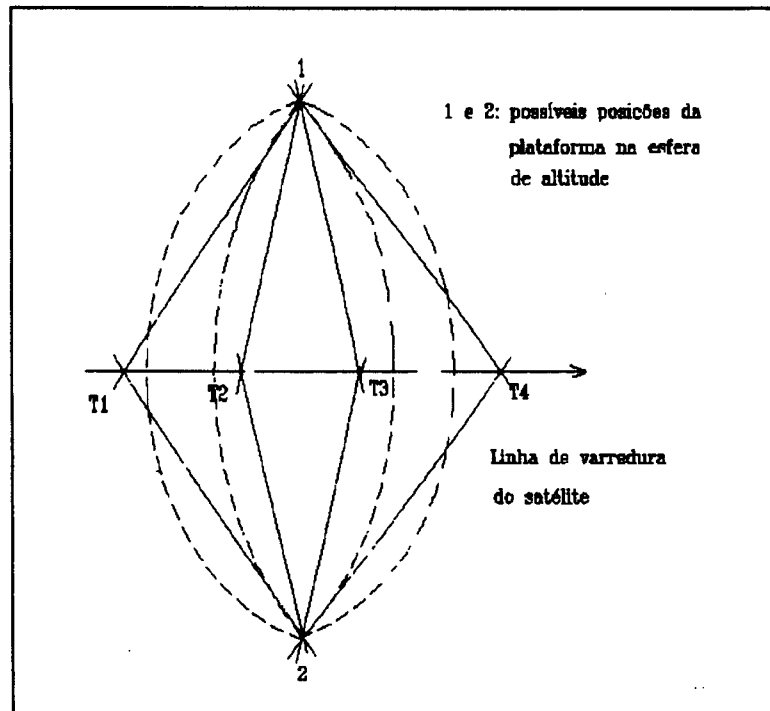


Fig. 3.10 - Possíveis posições para a PCD a partir da intersecção dos 4 cones de localização durante uma passagem. A diagonal do losângulo é a linha de traçado do satélite.

Para que seja possível determinar qual das duas posições é a correta são importantes algumas informações adicionais, como a previsão das velocidades possíveis da PCD, a posição inicial desta (baseado na localização anterior), parâmetros relacionados à órbita do satélite e precisas medições de tempo. O método assume que as posições do satélite são precisamente conhecidas a todo momento.

O sistema de processamento ARGOS calcula a posição da plataforma para as quais no mínimo quatro mensagens foram coletadas, e mais, que tenha havido um intervalo mínimo de 240 s entre a primeira e a última mensagem. Os cálculos compreendem três estágios:

- 1) iniciação geométrica: este procedimento é uma estimativa inicial da posição da plataforma. Um cálculo aproximado usa as medidas Doppler da primeira e última mensagem coletadas durante a passagem e a mais recente frequência do sinal anterior a estas.

Este processo de inicialização dá duas possíveis posições para a plataforma, sendo estas simétricas em relação à linha de passagem do satélite; a altitude da plataforma é assumida como sendo conhecida. No caso dos LCDs a altitude não é uma variante já que estes são posicionados na superfície do mar, para o qual o nível pode ser considerado, para este caso, como constante. Isto deixa de ser verdade quando a plataforma é, por exemplo, um balão meteorológico.

2) Os cálculos para a localização: um valor teórico para a frequência recebida (fth) é calculado para cada medida Doppler feita durante a passagem. Estes cálculos são feitos levando em consideração as possíveis posições previstas na iniciação geométrica.

O software de localização tenta, então, ajustar a longitude, a latitude e a frequência transmitida pela soma dos mínimos quadrados de $(frec - fth)^2$, onde:

frec é a frequência medida para cada desvio Doppler.

fth é função da latitude da plataforma, da longitude e frequência transmitida.

A posição correta pode agora ser escolhida entre as duas posições simétricas, onde uma é a correta e a outra virtual. Os critérios são:

-o menor dos valores entre os quadrados $(frec - fth)^2$;

-relativa continuidade com a última frequência calculada, se os cálculos foram feitos nas últimas doze horas;

-um teste para verificar a confiabilidade do resultado, baseado no quanto a plataforma se deslocou desde a última posição, computado entre 30 minutos e as 12 horas anteriores (Manual ARGOS, 1989).

3) Controle de qualidade na escolha da posição.

Este procedimento visa classificar os dados em termos de sua confiabilidade no que diz respeito a localização. Estes níveis de confiabilidade são classificados segundo classes, como é apresentado na Tabela 3.3, a seguir.

TABELA 3.3 - CONDIÇÕES MÍNIMAS PARA A LOCALIZAÇÃO EM CADA CLASSE

Classe	Número mínimo de mensagens	Intervalo mínimo entre a primeira e última mensagem recebida	Controle de qualidade
0	2	-	nenhum
1	4	240 s	baixo
2	5	420 s	padrão
3	5	420 s	rigoroso

FONTE: CLS/Service Argos (1989, p.14).

Certas localizações são, portanto, eliminadas pelo seguinte critério de rejeição:

- o valor do menor dentre os valores de $(frec - fth)^2$ é alto (maior do que 0,15 Hz para a classe 3 e maior do que 1,5 Hz para as outras classes), o que indica pobreza na estabilidade do oscilador;

- a velocidade da plataforma ser muito discrepante em relação ao valor esperado;

- a plataforma não estar dentro do alcance requerido para o satélite (separação angular) em relação à linha de traçado do satélite: 5° a 18° para a classe 3, 15° a 24° para outras classes;

- oscilação significativamente alta na frequência (maior do que 0,24 Hz por minuto) relativa a frequência prevista.

Para certas aplicações, em que a localização não seja tão importante, pode-se aceitar as informações fora dos limites mínimos das quatro passagens e fora do intervalo de 240 s. Isto constitui a classe 0.

As diferentes classes de localização definidas acima possuem diferentes desempenho, definidos em termos de acurácia. A distribuição de erros entre a posição calculada pelo ARGOS e a verdadeira posição m é assumida como sendo uma distribuição normal. Um valor p é definido verdadeiro, se 68% das posições calculadas estiverem dentro do intervalo $(m-p, m+p)$ (Figura 3.11).

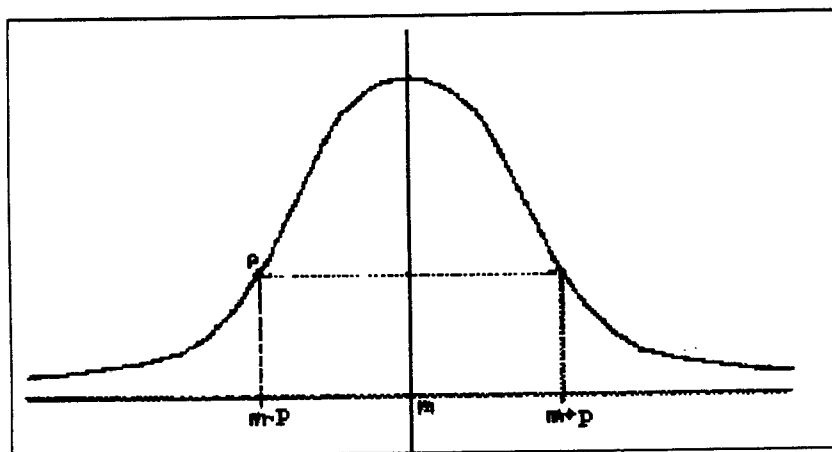


Fig. 3.11 - Definição da acurácia do Sistema ARGOS.

Cada classe apresenta uma acurácia, as quais seguem:

- a classe 3 oferece uma acurácia na localização de 150 m,
- a classe 2 oferece uma acurácia na localização de 350 m,
- a classe 1 oferece uma acurácia na localização de 1 km.

A classe 0 não oferece garantias quanto a acurácia na localização (CLS/Service Argos, 1989).

3.2.12 - MINIMIZAR ERROS PARA MAXIMIZAR O DESEMPENHO

O desempenho do sistema, como será descrito a seguir, pode ser melhorado ou piorado, dependendo dos erros que afetam os resultados. Para o propósito desta discussão, o Sistema ARGOS pode ser imaginado como uma corrente com dois elos principais. O primeiro elo, de responsabilidade do serviço ARGOS, compreende os cálculos da posição instantânea. Para que a qualidade dos dados de posicionamento se enquadrem

no padrão 3 de qualidade ARGOS, é necessário que o tempo medido pelo sistema possua precisão no mínimo igual a 0,01 segundos. O outro fator importante para o SLCD Argos, diz respeito ao nível de discretização das frequências recebidas. Para se ter uma idéia da importância deste requisito, uma incerteza de 0,02 Hz/min produz um erro na localização da PCD da ordem de 50 m, conforme pode ser extrapolado a partir da Tabela 3.5. O segundo elo, de responsabilidade do usuário, é a plataforma, a qual pode produzir três tipos de erros:

- inacurácia nos dados de altitude da plataforma: este é um erro que, obviamente, não incide sobre plataformas marítimas, mas que é muito significativo para balões, os quais frequentemente mudam de altitude. Um erro de 100m na altitude pode levar a erros de até 300 m na localização, principalmente em longitude;

- erros devido a deslocamentos acelerados: considerando que a velocidade de deslocamento de uma PCD móvel é muito pequena em relação ao satélite (a velocidade tangencial do satélite NOAA é de cerca de 7,4 km/s), ela é considerada estacionária. No entanto, se no momento da transmissão a PCD apresentar deslocamentos abruptos que resultem em velocidade, por exemplo de 1 m/s, isso poderá resultar em um erro de cerca de 200 a 300 metros na localização;

- erros devidos a instabilidade do oscilador: três intervalos de tempo devem ser considerados:

- * a instabilidade de “curto-termo”, na ordem de 100 ms, que é a duração da mensagem. A instabilidade de “curto-termo” causa incerteza no cálculo da frequência Doppler, além de erros aleatórios no processo de localização. Se a estabilidade ($\Delta F/F$) da transmissão for pior do que 2×10^{-9} , a mensagem é eliminada e a localização não é calculada. (ΔF é a variação da frequência, e F é a frequência nominal de transmissão);

- * “médio-termo”, em torno de 20 minutos, é a duração média da área de visada para cada passagem do satélite. A instabilidade de médio termo causa desvios na frequência durante a passagem do satélite, acarretando em incertezas no processo de localização da plataforma. O Serviço ARGOS exige estabilidade melhor do que 1,5

$\times 10^{-7}$ sobre 15 minutos. Entretanto, uma alta performance pode ser obtida para este valor, como mostra a Tabela 3.4, a seguir.

TABELA 3.4 - ERRO TEÓRICO DEVIDO A FLUTUAÇÕES DA FREQUÊNCIA NA ESTABILIDADE DE “MÉDIO-TERMO”

$\Delta F / F$ (sobre 15 min.)	em Hz / min.	Erro típico (em metros)
$1,5 \times 10^{-9}$	0,04	< 100
$3,5 \times 10^{-9}$	0,10	200
7×10^{-9}	0,20	400
$1,5 \times 10^{-8}$	0,40	1000
$3,5 \times 10^{-8}$	1,00	2000
7×10^{-8}	2,00	4000
$1,5 \times 10^{-7}$	4,00	10000
$> 1,5 \times 10^{-7}$	-	O software aborta

FONTE: CLS/Service Argos (1989, p. 19).

Faz-se importante comentar que a principal fonte destas oscilações é a flutuação da temperatura registrada pelas PTTs. Desta forma, este efeito é minimizado quando a plataforma estiver em situações que apresentem atenuados gradientes de temperatura (como ocorre, geralmente, na água do mar);

- “longo-termo”, é o intervalo entre duas passagens consecutivas do satélite (100 min.). O cálculo de localização é efetuado se a instabilidade de “longo-termo” não exceder 10^{-6} .

3.3 - O DERIVADOR DE BAIXO CUSTO (LOW COST DRIFTER - LCD)

3.3.1 - A ESTRUTURA DO DERIVADOR

A Figura 3.12a mostra a bóia de deriva juntamente com seu importante componente, a vela de arrasto. A Figura 3.12b mostra o derivador quando lançado ao mar.

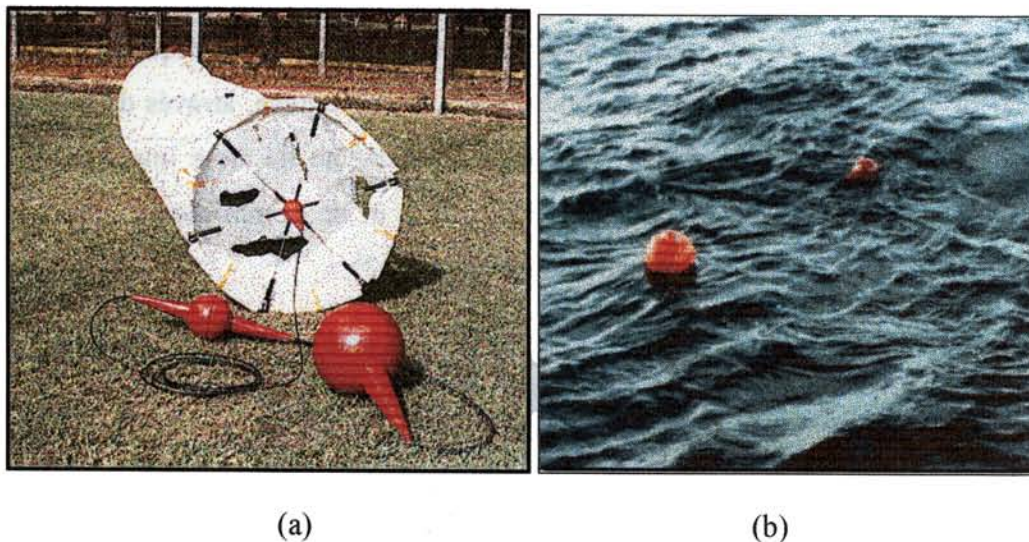


Fig 3.12 - Ilustração do Derivador de Baixo Custo (LCD).

Estes derivadores quando lançados no oceano seguem as correntes e coletam, através de seus sensores, parâmetros físicos da água. Eles são rastreados por satélites e transmitem, através destes, dados coletados *in situ* durante um longo período de tempo.

Os derivadores de baixo custo, assim chamados por apresentarem preço de no máximo R\$ 4.500, o que corresponde a quase 1/3 do valor das bóias convencionais, podem ser lançados a partir de navios ou aeronaves. Quando lançados a partir de navios, a chance destes derivadores não serem danificados é de 98%; essa taxa cai para 78% quando o lançamento é feito a partir de aeronaves (Global Drifter Center at NOAA/AOML, 1995).

Por várias razões, 50% dos derivadores perdem sua capacidade de comunicação com o satélite a partir de 440 dias após terem sido lançados. Isto equivale a dizer que a vida média dos LCDs gira em torno de 440 dias. Entretanto, alguns derivadores excedem, e excedem muito esta estimativa, como é o caso do LCD-3194 que foi lançado pelo Projeto Medica em novembro de 1993 e que enviou sinais por mais de 1200 dias (Stevenson e Assireu, 1997).

A parte do derivador que fica à tona (flutuador), consiste de uma esfera de aproximadamente 35 cm de diâmetro, feita em fibra de vidro e que contém em seu interior a PTT, baterias (fonte de alimentação), e uma antena, através da qual os dados são transmitidos para o satélite. Um outro componente bastante importante é a vela submersa, do tipo meia-furada, a qual possui 7 m de comprimento e se mantém a aproximadamente 15 m de profundidade (Figura 3.13).

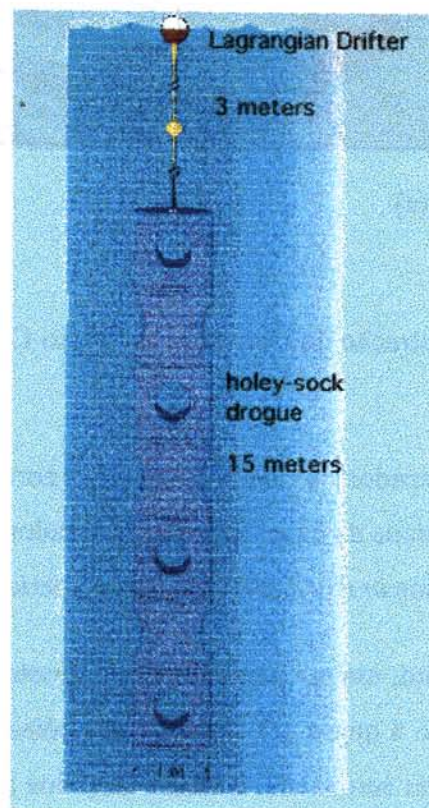


Fig. 3.13 - Esquema do Derivador de baixo custo quando à deriva.

FONTE: Adaptado de Global Drifter Center at NOAA/AOML (1995) e Sybrandy e Niiler (1991), p.4, respectivamente.

Há vários fatores que atuam como agentes no deslocamento do derivador. Uma vez que os derivadores são utilizados com a finalidade de se estudar determinadas massas de água, é importante, a fim de que seja garantida acurácia no processo, que a trajetória destes derivadores seja função apenas do deslocamento destas massas de água. Desta forma, faz-se importante minimizar efeitos indesejáveis que contribuem para o deslocamento do derivador, como: o deslocamento vertical da vela na coluna de água, força de arrasto do vento sobre o flutuador e ondas superficiais. Em busca da minimização destas contribuições indesejáveis, Niiler *et al.* (1987), recomendam alguns procedimentos a serem adotados quando da fabricação do derivador: simetria tridimensional tanto para a vela quanto para o flutuador, mínima tensão sobre o cabo que suporta a vela, e uma relação de área vela-flutuador na ordem de 40:1 ou mais. Portanto, a componente responsável pelo direcionamento do derivador segundo as correntes é a vela submersa.

A vela submersa tem a função de manter o derivador acoplado à corrente e minimizar o efeito do vento e outros fatores sobre a trajetória da bóia. Do tipo meia-furada, esta vela oferece a vantagem, devido a sua estrutura de construção, de atenuar, também, os efeitos da turbulência sobre o deslocamento do derivador. A relação entre a área da vela e a área do flutuador dos LCDs utilizados neste trabalho fica em torno de 40:1, o que se aproxima muito das condições ideais. Maiores informações sobre os LCDs podem ser obtidos no Lagrangian Drifter Construction Manual (Sybrandy e Niiler, 1991).

Outros componentes importantes são a PTT, que como já foi apresentado, é responsável pelo envio por telemetria dos dados coletados *in situ* pelos sensores que integram estes derivadores: termistor (medida da Temperatura da Superfície do Mar - TSM), sensor de submersão (acusa quando a bóia está totalmente submersa), como pode ser visto na Figura 3.14.

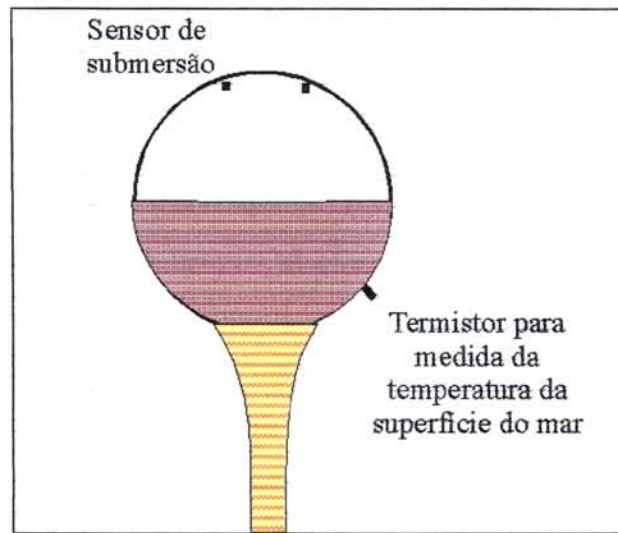


Fig. 3.14 - A estrutura externa do Derivador e seus sensores.

O derivador tem a capacidade de fornecer valores de temperaturas entre -5°C a 45°C . Os dados relativos à temperatura são transmitidos em 10 bits, o que resulta em uma resolução em $^{\circ}\text{C/bit}$ igual a:

$$\Delta T / 2^{10} = [45^{\circ}\text{C} - (-5^{\circ}\text{C}) / 2^{10}] = 50^{\circ}\text{C} / 1024 \cong 0,048^{\circ}\text{C/bit}.$$

Um exemplo típico de função de conversão para a temperatura é: $T(^{\circ}\text{C}) = 0,048 \times \text{ND} - 5,0$.

Assim, para um valor de ND (nível digital) = 0, a $T(^{\circ}\text{C}) = -5,0^{\circ}\text{C}$, que corresponde a menor temperatura que os termistores configurados para o Projeto COROAS são capazes de registrar.

Além do baixo custo, este tipo de derivador apresenta uma vantagem muito grande em relação à bóia convencional, uma vez que ele é lançado manualmente, não necessitando, portanto, de guinchos, como acontece no lançamento de algumas bóias convencionais.

Os derivadores de baixo custo (LCD) vêm sendo produzidos no INPE desde, aproximadamente, 1992. Os derivadores produzidos pelo INPE apresentam boa performance, o que faz destes um já consagrado instrumento da oceanografia por satélite.

3.3.2 - APLICABILIDADES DO DERIVADOR

As águas oceânicas estão em constante movimento. Devido a isto, as correntes oceânicas contribuem para o transporte de calor dos trópicos para os pólos, participando assim, da equalização (balanço) da temperatura na superfície terrestre. As correntes oceânicas seguem padrões complexos e são afetadas pelo vento, a salinidade da água e a distribuição de calor, pela topografia de fundo e pela rotação da Terra. Estas correntes oceânicas e o padrão destas circulações são de grande interesse da comunidade científica (Neumann e Pierson, 1966). O padrão de circulação oceânica influencia o clima e conseqüentemente as condições de vida de plantas e animais, inclusive os terrestres, além de interferirem nas rotas de navios. Os Derivadores do padrão WOCE-SVP (World Ocean Circulation Experiment - Surface Velocity Programme), têm sido amplamente utilizados no estudo da circulação oceânica.

Oceanógrafos de vários países, vide Figura 3.15, têm lançado centenas de LCDs no intuito de estudar os padrões de correntes. Dados destas bóias são usados para ajudar na compreensão das correntes oceânicas, do fenômeno El Niño e as demais influências do oceano sobre o clima (Potter e Johnson, 1995).

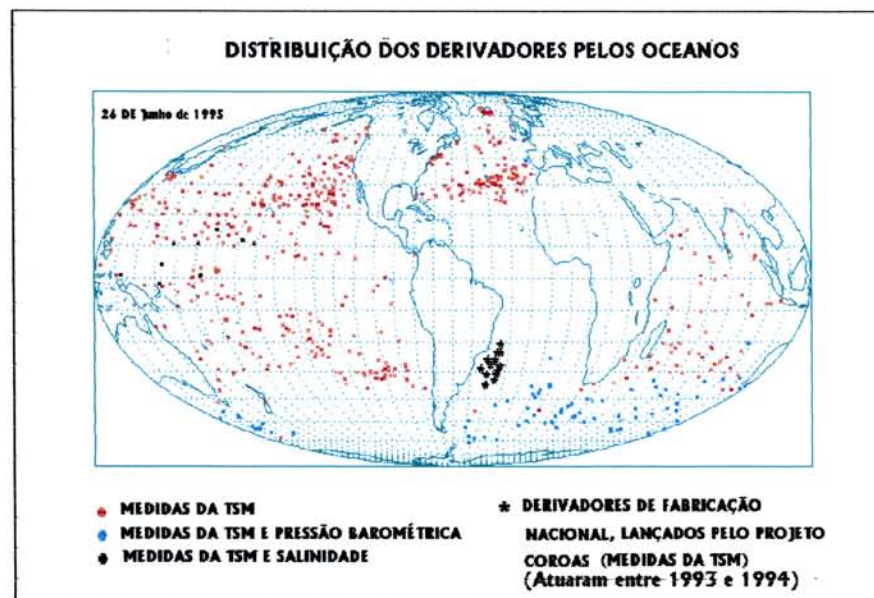


Fig. 3.15 - Distribuição dos Derivadores pelos oceanos.

FONTE: Adaptada de Global Drifter Center at NOAA/AOML (1995).

CAPÍTULO 4

DADOS E METODOLOGIA

4.1 - SÉRIES TEMPORAIS DOS DADOS DE POSIÇÃO

Os dados que dispusemos para efetuar este trabalho, como já descrito na seção 3.1, constituíram-se de séries temporais de posicionamento e temperatura. Os dados de posicionamento foram analisados em forma de séries de tempo, decompostos em suas componentes meridional (latitude) e zonal (longitude). A fim de atender aplicações que exigiam que os dados estivessem regularmente bem distribuídos, foi efetuada a média diária sobre as séries temporais. Desta forma, as análises espectrais e os cálculos de energias foram realizados tendo como intervalo 1 dia juliano, ou seja, 24 horas. Este intervalo foi escolhido baseado no fato de que os dados dizem respeito ao período entre 23:00h de um dia e 08:00h do dia seguinte. Portanto, a um intervalo de aproximadamente 1/3 de dia, o qual foi considerado como representativo do dia. Assim, os dados foram tratados em termos de médias diárias, tendo sido removidas, portanto, as flutuações de alta frequência. Outros intervalos de interpolação, por exemplo 0,1 dia juliano, poderiam introduzir erros, por isso optou-se pelo intervalo diário.

Assim, o tempo foi tratado na forma de dias julianos e as séries de tempo das componentes meridional e zonal da posição da bóia foram tratadas, dependendo de suas utilizações, na forma bruta ou em médias diárias. As séries de tempo em médias diárias, em suas componentes paralelas e ortogonais à costa, foram utilizadas nos procedimentos de análise espectral os quais serão descritos mais adiante. A Figura 4.1 representa uma das trajetórias que foram analisadas, estando bem evidenciados dois sentidos de deslocamento, um para Sul e outro para Norte. Além disso, pode-se perceber a influência marcante dos meandros na trajetória do derivador. A partir da análise da figura, percebe-se que os derivadores podem ter o sentido de suas trajetórias invertido com o tempo. Por exemplo, o derivador pode inicialmente apresentar uma trajetória para sul (conforme indica a seta na figura), e a partir de uma certa época reverter este sentido para norte, (vide seta na figura), ou vice-versa.

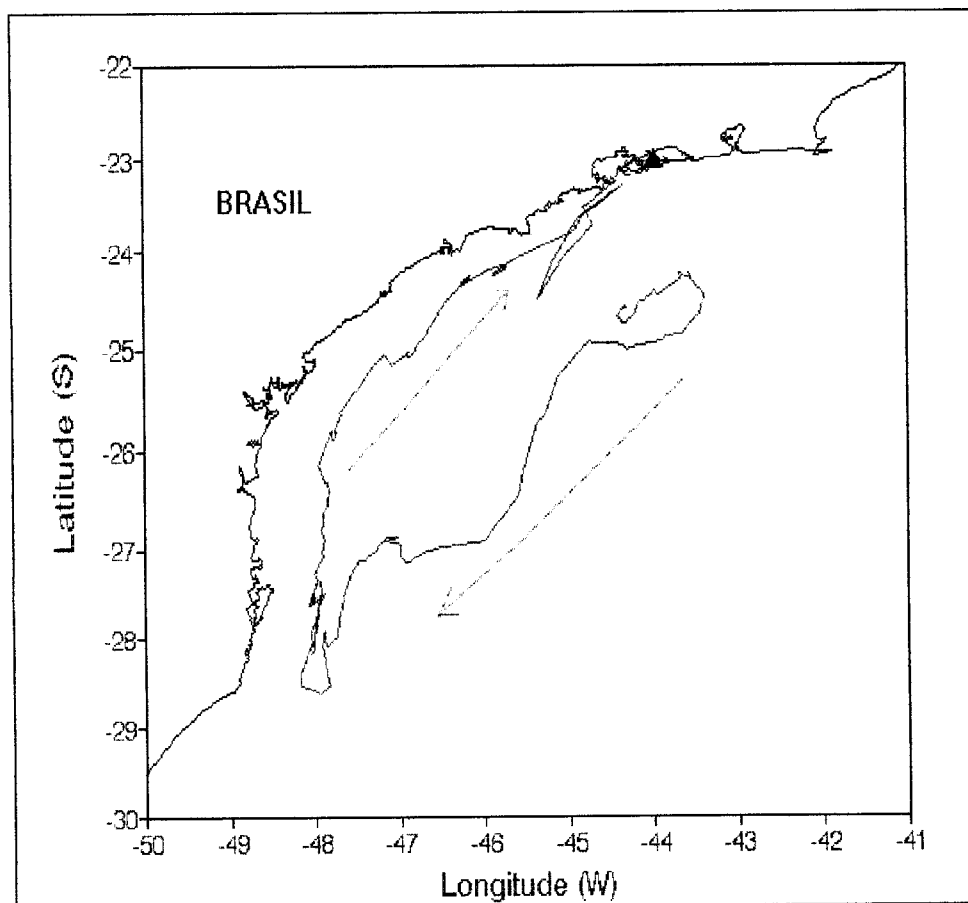


Fig. 4.1 - Trajetória de um dos derivadores.

FONTE: Stevenson *et al.* (1997)

No intuito de melhor descrever a trajetória dos derivadores, e conseqüentemente as correntes associadas, as trajetórias foram divididas em sentido para Sul e para Norte. O critério para esta diferenciação baseou-se na inspeção das séries de posição. O ponto mais meridional foi considerado o marco da separação, pois os derivadores foram lançados na Corrente do Brasil, a qual, na região de lançamento, apresenta sempre um sentido para sul, sendo posteriormente defletida ou para norte ou para o oceano aberto devido, provavelmente, ao encontro com a Corrente das Malvinas. Portanto, os derivadores tiveram o sentido inicial de sua trajetória para sul.

Um outro procedimento que foi adotado, e que visou dar maior representatividade às análises dos dados, consistiu em se assumir a linha média da costa brasileira como sendo o referencial. Lembrando que o Sistema ARGOS utiliza as linhas dos meridianos como

referencial, foi aplicada uma matriz de rotação sobre as séries de posição, para que os dados ficassem ajustados a este novo referencial. É a seguinte a matriz de rotação:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \text{sen}\theta \\ -\text{sen}\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

onde:

x' = os valores de posição ortogonais à costa (cm)

y' = os valores de posição ao longo da costa (cm)

$\theta = -48^\circ$, o que corresponde a girar os eixos em 42° no sentido horário

x = valores de posição originais da série (cm)

y = valores de posição originais da série (cm)

Antes de aplicar os dados à matriz de transformação, estes foram convertidos para o plano cartesiano(cm) através das seguintes equações:

$$\Delta X \text{ (cm)} = (\pi \cdot 6400 \times 10^5 / 180) \cdot [(\cos(\text{lat}_f) \cdot \cos(\text{lat}_i) \cdot (\text{long}_f - \text{long}_i)^2)^{1/2} \cdot \text{Sinal}(\text{long}_f - \text{long}_i)]$$

$$\Delta Y \text{ (cm)} = (\pi \cdot 6400 \times 10^5 / 180) \cdot [(\text{lat}_f - \text{lat}_i)^2]^{1/2} \cdot \text{Sinal}(\text{lat}_f - \text{lat}_i)$$

Estas equações fornecem, em centímetros, os sucessivos deslocamentos dos derivadores;

- feito isso, obteve-se as posições em centímetro, a partir das seguintes equações:

$$X_f = X_i + \Delta X$$

$$Y_f = Y_i + \Delta Y$$

onde:

X_i, X_f, Y_i, Y_f = sucessivas posições.

Assim, os resultados das análises espectrais e das análises de energia foram expressas em função do paralelismo ou ortogonalidade em relação à costa do Brasil, que apresenta inclinação média, para as latitudes em questão, de 42° .

4.2 - CÁLCULO DA CORRENTE MÉDIA

Para o cálculo das velocidades médias das correntes, assim como das direções destas, foi utilizado o método estatístico de regressão linear simples sobre as séries de tempo zonal e meridional dos dados brutos de posição da bóia. O tempo(t) foi considerado como sendo a variável independente, e as componentes zonal (X) e meridional (Y) da posição, como sendo as variáveis dependentes. Desta forma:

$$\begin{aligned} Y &= \alpha_1 \cdot t + b_1 \\ X &= \alpha_2 \cdot t + b_2 \end{aligned} \tag{4.1}$$

onde:

b_1, b_2 = coeficiente linear da reta de regressão (posição onde a reta de regressão intercepta o eixo da variável dependente).

α_1, α_2 = coeficiente de inclinação da reta de regressão.

O coeficiente de inclinação (α) da reta de regressão representa o intervalo de distância (latitude ou longitude) pelo tempo (dia juliano decimal), o que equivale a deslocamento por tempo, que fisicamente é a velocidade média. Assim tem-se:

$$\begin{aligned} \bar{v} &= \alpha_1 = dy/dt \\ \bar{u} &= \alpha_2 = dx/dt \end{aligned} \tag{4.2}$$

onde \bar{v} e \bar{u} são as componentes meridional e zonal respectivamente, da velocidade média de corrente (\bar{V}).

A partir de princípios básicos de trigonometria chega-se que a velocidade média da corrente resultante é dada por:

$$\bar{V} = (u^2 + v^2)^{1/2} \tag{4.3}$$

As posições de latitude (y) e longitude (x) foram dadas em graus geográficos, logo \bar{v} e \bar{u} foram obtidos em unidades de graus/dia. Lembrando que 1' de grau corresponde a 1 milha náutica, que por sua vez corresponde a 1852 m, logo cada grau de latitude corresponde a $1,111 \times 10^5$ metros. Devido a convergência meridional, esta relação varia, para a longitude, com o Cosseno da latitude média. Assim, 1 grau de longitude corresponde a $1,007 \times 10^5$ metros na latitude média de 25° . Aplicando os valores acima, e lembrando que 1 dia equivale a 86400 segundos, \bar{v} e \bar{u} foram transformados em unidades de m/s. Buscou-se seguir, neste trabalho, as recomendações da comunidade oceanográfica, publicadas pela UNESCO em 1981, com as unidades sendo expressas no sistema MKS. Porém, a fim de facilitar comparações com resultados de outros trabalhos, algumas unidades poderão estar expressas em unidades comumente utilizadas na literatura.

A direção da corrente média (θ), dada em graus trigonométricos, foi obtida por:

$$\theta = \text{arc tang} (\bar{v}/\bar{u}) \quad (4.4)$$

Por convenção, (θ) é determinado a partir do sinal de \bar{v} e \bar{u} em relação ao círculo trigonométrico. Posteriormente, será efetuada a conversão de ângulo trigonométrico (referencial o círculo trigonométrico) para ângulo geográfico (referencial os pontos cardiais).

4.3 - SÉRIES DE TEMPO DE VELOCIDADE INSTANTÂNEA

As velocidades instantâneas, para as séries de tempo de posição após passarem pela matriz de transformação, foram calculadas da seguinte forma:

$$u_i = (x_{i+1} - x_{i-1}) / (t_{i+1} - t_{i-1}) \quad (i = 2, 3, 4, \dots, n-1) \quad (4.5)$$

$$v_i = (y_{i+1} - y_{i-1}) / (t_{i+1} - t_{i-1})$$

onde:

u = velocidade instantânea ortogonal à linha da costa;

v = velocidade instantânea ao longo da costa;

x = posição do derivador no eixo x (cm);

y = posição do derivador no eixo y (cm);

t = tempo (dias julianos decimais), correspondentes à posição dos derivadores.

Os valores de velocidade instantânea foram portanto obtidos em cm/dia juliano e convertidos para cm/s.

4.4 - CÁLCULO DAS ENERGIAS CINÉTICAS MÉDIAS E DE VÓRTICES

Para o cálculo das Energias Cinéticas Médias (ECM) e das Energias Cinéticas de Vórtices (ECV) assumiu-se que a velocidade da parcela de fluido, em um determinado momento de sua trajetória é igual à velocidade do derivador.

A Energia Cinética de Corrente Média (ECM) por unidade de massa foi calculada a partir da estimativa da velocidade de corrente média (\bar{V}) através da relação:

$$ECM = 1/2 \cdot \bar{V}^2 \quad (4.6)$$

Portanto, a Energia Cinética da Corrente Média (ECM) por unidade de massa foi obtida em cm^2/s^2 que é a unidade convencionalmente encontrada na literatura. Para que se calcule a Energia Cinética de Vórtices (das perturbações) - ECV - é necessário que se retire a tendência das séries de tempo de posição dos derivadores. Esta destendencição foi efetuada através das seguintes equações:

$$Y_{(i)} = y_{(i)} - [a_1 \cdot t_{(i)} + b_1] \quad (4.8)$$

$$X_{(i)} = x_{(i)} - [a_2 \cdot t_{(i)} + b_2]$$

onde (a) e (b) são, respectivamente, coeficientes angulares e lineares das retas de regressão.

$Y_{(i)}$ e $X_{(i)}$ representam os resíduos da trajetória do derivador em suas componentes ao longo e ortogonal à costa, respectivamente.

Após este processo, cada série residual foi considerada normalizada, isto é:

$$\sum_{i=1}^n Lat(i) = 0 \quad (4.9)$$

$$\sum_{i=1}^n Long(i) = 0$$

Para o cálculo das velocidades instantâneas destendenciadas foram utilizadas as seguintes expressões:

$$u'_{(i)} = (X_{i+1} - X_{i-1}) / (t_{i+1} - t_{i-1}) \quad (i = 2, 3, 4, \dots, n-1) \quad (4.10)$$

$$v'_{(i)} = (Y_{i+1} - Y_{i-1}) / (t_{i+1} - t_{i-1})$$

A partir de (4.10) calculou-se a ECV média por unidade de massa para as séries destendenciadas ao longo e ortogonal a costa através de:

$$ECV (//) = (0,5/n-2) \sum_{i=2}^{n-1} [v'(i)]^2 \quad (4.11)$$

$$ECV (\perp) = (0,5/n-2) \sum_{i=2}^{n-1} [u'(i)]^2$$

A Energia Cinética de Vórtices resultante (ECV) é dada pela soma de suas contribuições nas direções ao longo e ortogonal à costa, na forma:

$$ECV = ECV(//) + ECV(\perp) \quad (\text{cm}^2/\text{s}^2) \quad (4.12)$$

Com base nas estimativas de ECM e ECV calculou-se as Energias Cinéticas Total (ECT) indicadas pelas trajetórias dos derivadores através de:

$$ECT = ECM + ECV \quad (\text{cm}^2/\text{s}^2) \quad (4.13)$$

A estimativa da razão ECV/ECT dá uma boa idéia da importância das perturbações de mesoescala (vórtices) implícitas nas trajetórias dos derivadores.

4.5 - ANÁLISE DOS VÓRTICES

As trajetórias dos derivadores apontaram vários vórtices, os quais foram tratados seguindo a seguinte metodologia:

- os dados correspondentes a cada “loop” foram separados, e as análises efetuadas sobre estes dados;
- os valores de TSM ao longo dos dados destes vórtices e os respectivos desvios padrões foram obtidos através da utilização destas funções contidas no software “Excel”;
- as estimativas de dimensão dos vórtices foram efetuadas seguindo os seguintes procedimentos:
 - os valores posicionais (lat, long) foram convertidos para o plano cartesiano (km) através das seguintes equações:

$$\Delta X \text{ (km)} = (\pi \cdot 6400 / 180) \cdot [(\cos(\text{lat}_f) \cdot \cos(\text{lat}_i) \cdot (\text{long}_f - \text{long}_i)^2)^{1/2} \cdot \text{Sinal}(\text{long}_f - \text{long}_i)]$$

$$\Delta Y \text{ (km)} = (\pi \cdot 6400 / 180) \cdot [(\text{lat}_f - \text{lat}_i)^2]^{1/2} \cdot \text{Sinal}(\text{lat}_f - \text{lat}_i)$$

Estas equações fornecem, em quilômetros, os sucessivos deslocamentos dos derivadores;

- feito isso, obteve-se as posições em quilômetro, a partir das seguintes equações:

$$X_f = X_i + \Delta X$$

$$Y_f = Y_i + \Delta Y$$

onde:

X_i, X_f, Y_i, Y_f = sucessivas posições.

E, 6400 km nas equações acima, dizem respeito ao raio médio da Terra.

A Figura 4.2 representa o exemplo de uma das trajetórias em (lat, long) e a sua correspondente após efetuada a transformação;

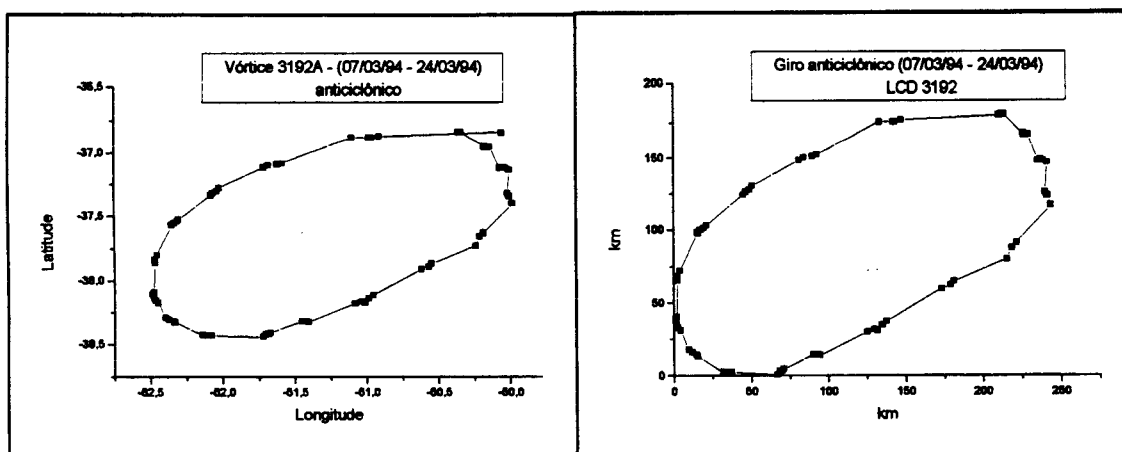


Fig. 4.2 - Vórtice 3192A no sistema geográfico e cartesiano, respectivamente.

- após este procedimento, foi calculada a média sobre as colunas contendo os valores de X e Y, sendo estas médias tomadas como sendo os semi-eixos dos vórtices;

- em algumas trajetórias foram feitas interpolações a fim de homogeneizar a distribuição de pontos, evitando assim que a média fosse tendenciada para valores com maiores números de dados;

- vórtices cujo eixo maior apresentaram orientação muito oblíqua em relação aos paralelos foram alinhados a estes, a fim de que se tivesse assegurada uma maior precisão da estimativa de suas dimensões;

- estimados os semi-eixos, calculou-se então os perímetros destes vórtices a partir da expressão:

$$P = 2\pi \cdot [(a^2 + b^2)/2]^{1/2}$$

onde:

a e b são os semi-eixos.

- O passo seguinte consistiu no cálculo da velocidade tangencial a partir da seguinte expressão:

$$V = P/T$$

T (tempo gasto para fechar o loop) é um valor tirado diretamente dos dados;

- o centro do vórtice (lat,long) foi determinado a partir da utilização do software “origin”, que facilita a determinação do ponto de intersecção dos semi-eixos, os quais foram tomados como respectivo centro;

- para o cálculo da velocidade de translação dos vórtices, assumiu-se que estes transladam à mesma taxa que o seu centro; portanto, a velocidade foi estimada a partir da taxa de translação do centro;

- a orientação do eixo-maior em relação aos paralelos foi feita a partir da aplicação de uma regressão linear sobre os pontos que compunham os semi-perímetros da elipse, tendo o eixo maior como marco da separação.

4.6 - ANÁLISE ESPECTRAL DOS DADOS DE POSIÇÃO

A análise do espectro de energia é uma importante técnica no estudo de séries de tempo. O propósito desta análise é encontrar periodicidades eventualmente presentes nestas séries e as amplitudes correspondentes a estas periodicidades. Os métodos mais comumente utilizados neste tipo de análise são: Análise de Fourier, Método de Blackman e Tukey (1958) baseado na auto-correlação e o Método da Máxima Entropia (MME). Será feita uma breve descrição sobre cada método, a fim de demonstrar o porque escolheu-se utilizar, neste trabalho, o Método da Máxima Entropia (MME).

A Análise de Fourier apresenta a desvantagem de exigir estimativas para as periodicidades. Desta forma, o período fundamental é a própria extensão dos dados. Assim, para dados amostrais relativos, por exemplo, a 100 anos, as periodicidades estudadas seriam: $T=100$, $100/2=50$, $100/3=33.3$, $100/4=25$ e assim sucessivamente; o método fica restrito, pois, a estimar amplitudes apenas de valores discretos de periodicidades. Se a amostra possui periodicidade diferente destas, por exemplo, $T=40$, o método não detecta. Maiores detalhes sobre a Análise de Fourier podem ser encontrados em Blackman e Tukey (1958).

Estes dois supracitados autores apresentaram uma alternativa a este problema. O método proposto, baseado na auto-correlação e que leva o nome dos autores, assume a escolha de um intervalo (m), e então as energias podem ser estimadas para frequências $1/(2m)$, $2/(2m)$, $3/(2m)$ etc. Assim, frequências não necessariamente associadas a extensão dos dados podem ser estudadas. Por exemplo, para dados amostrais equivalentes a 100 anos, ao se escolher $m=18$ poderia-se estudar os seguintes valores de frequências: $1/36$, $2/36$, $3/36$ até $18/36$ correspondendo a periodicidades de 36, 18, 12 até 2 anos. Entretanto, somente valores de (m) em torno de 20% da extensão dos dados são recomendados, já que valores acima deste levam a instabilidades. Assim, para 100 anos de dados amostrais, é recomendável $m=20$ e a menor frequência estudada seria $1/40$ correspondendo ao período máximo de 40 anos. Desta forma, períodos acima de 40 anos não seriam detectados (Kane,1985).

Burg (1967), citado por Ulrich e Bishop (1975), desenvolveu o Método da Máxima Entropia (MME). O MME tem como principal mérito a capacidade de localizar periodicidades até mesmo maiores do que a extensão dos dados. Mas, por outro lado, apresenta o desmérito de não oferecer estimativas confiáveis para as amplitudes associadas aos períodos. Kane e Trivedi (1982) propõem a seguinte alternativa para contornar este problema, sendo esta metodologia utilizada neste trabalho:

- a) localizar as periodicidades pela aplicação do Método da Máxima Entropia;
- b) estimar os picos de energia a partir das periodicidades localizadas T_1, T_2 e etc, aplicados a Análise de Regressão Múltipla, segundo a seguinte expressão:

$$f(t) = A_0 + \sum_{i=1}^n [a_i \sin(2\pi t/T_i) + b_i \cos(2\pi t/T_i)] + E$$

$$= A_0 + \sum_{i=1}^n r_i \sin(2\pi t/T_i + \phi_i) + E$$

onde:

$f(t)$ é a série observada e E um fator de erro. Foi efetuada a Análise de Regressão Múltipla, a qual fornece as melhores estimativas para os parâmetros A_0 , a_i , b_i e seus desvios padrões σ_{a_i} e σ_{b_i} . A partir destes parâmetros pode-se calcular r_i e ϕ_i (amplitude e fase, respectivamente) e o desvio padrão σ associado a estes. Amplitudes r_i que excedem 2σ são consideradas significantes a um nível de 95%. Assim, foram consideradas relevantes, somente as amplitudes que se encaixaram neste requisito. Maiores detalhes sobre a Análise de Regressão Múltipla podem ser encontrados em Davis (1973). Os procedimentos numéricos do MME e maiores discussões sobre aplicações e comparações com outros métodos de análise espectral, podem ser obtidas nos trabalhos de Radoski *et al.* (1975); Ulrych e Bishop (1975); Kantor e Trivedi (1980); Kane e Trivedi (1982); Press *et al.* (1989); Kane e Trivedi (1993).

Uma inspeção visual de dados espectrais mostra que o espectro de energia é altamente irregular. Isto pode mascarar e causar erros nas estimativas espectrais onde as energias são menores. Assim, é necessário a aplicação de filtros digitais para que se possa analisar estas energias e as frequências associadas a elas (Jenkins e Watts, 1968). As séries de tempo de posição zonal e meridional foram, portanto, previamente filtradas. Para isso, foi feito uso do Filtro de Previsão de Erro (M), o qual representa um parâmetro que varia entre 0 e n , onde n é o número de dados da série. Para valores baixos de M , somente periodicidades pequenas são detectadas. A utilização de maiores valores de M permite que se detecte periodicidades mais altas, até mesmo correspondentes ao comprimento da série. Isto porém, pode levar ao surgimento de peak-splitting (picos de pouca significância existentes nos picos detectados em menor resolução). Segundo a literatura, valores de M igual a 10% de n (Press *et al.*, 1989) até M igual a 50% de n

(Kane e Trivedi, 1982) são usuais. Neste trabalho, foram utilizados 5 valores de (M) , 20%, 30%, 40%, 50% e 60% de n . A partir da análise entre os picos existentes nos quatro casos, definiu-se quais os mais relevantes.

Buscou-se neste trabalho estimar também as variações semi-anuais no padrão de deslocamento dos derivadores e conseqüentemente das correntes, e também estas variações no campo térmico. Para esta análise as trajetórias foram agrupadas segundo os correspondentes semestres de lançamento dos derivadores. As médias semestrais foram comparadas e buscou-se, de forma qualitativa, relacionar as variações nestes parâmetros com as condições climáticas verificadas no ano de 1993 e 1994.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo está estruturado em cinco seções, onde serão apresentados os resultados das análises dos dados dos derivadores bem como as discussões destes resultados. Na primeira seção serão apresentadas as trajetórias dos derivadores e os parâmetros associados a estas trajetórias como: velocidade média, direção média, TSM média e os valores de Energia Cinética. Na segunda seção buscou-se analisar qualitativamente as variações nos parâmetros das trajetórias verificadas entre cada um dos três semestres relativos aos lançamentos dos derivadores, ou seja, as influências semi-anuais sobre este processo. Na terceira seção serão analisadas as Energias Cinéticas de Vórtices (ECV) em termos de suas componentes ortogonais e paralelas à costa, sendo apresentada também uma discussão onde procurou-se evidenciar a importância da forçante vento para o processo. O efeito de se aplicar a matriz de transformação sobre os dados e consequentemente assumir a linha da costa como condição de contorno é descrito na quarta seção. Na seção cinco serão apresentados os parâmetros associados aos vórtices detectados pelos derivadores e finalmente, na seção seis, serão discutidos os resultados das análises espectrais.

5.1 - DESCRIÇÃO DAS CORRENTES MEDIDAS PELAS DIFERENTES TRAJETÓRIAS DOS DERIVADORES.

As trajetórias dos derivadores foram analisadas segundo direções predominantes. Desta forma estarão sendo analisadas correntes com direção ao longo da costa, podendo estas apresentarem sentido para sul e para norte. Estas análises serão feitas distintamente para os três semestres relativos aos lançamentos dos derivadores. A Figura 5.1 consiste de uma imagem AVHRR da TSM, a partir da qual pode-se observar a Corrente do Brasil se deslocando aproximadamente sobre o talude continental (vermelho) e o ramo costeiro da Corrente das Malvinas sobre a Plataforma Continental (azul).

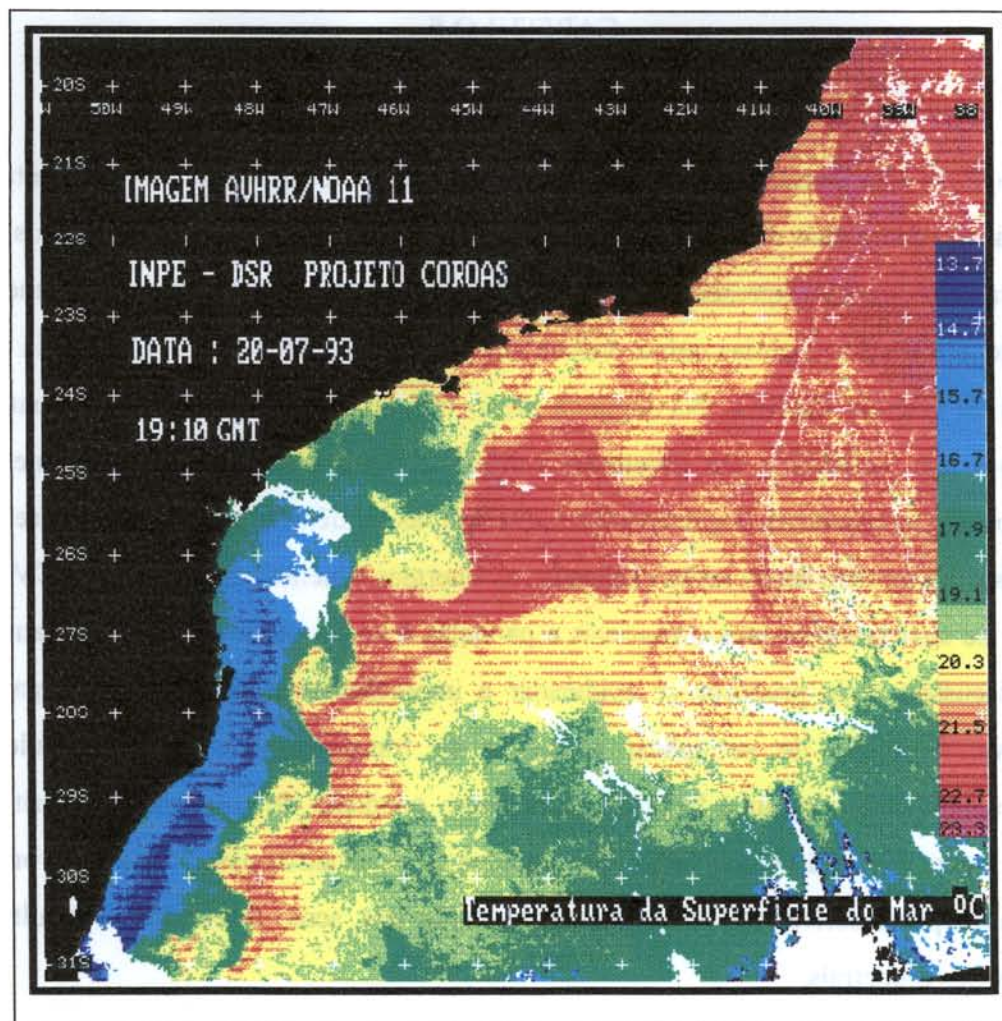


Fig. 5.1 - Imagem AVHRR da região por onde os derivadores fluíram.

As trajetórias para Sul se fizeram sobre a região correspondente a Corrente do Brasil (vermelho), e as para Norte sobre a região correspondente a Corrente das Malvinas (azul). A partir da figura percebe-se o elevado grau de meandramento da corrente do Brasil e a presença de vórtices.

5.1.1 - CORRENTES COM SENTIDO PARA SUL (1º SEMESTRE DE 1993)

Os valores que serão apresentados dizem respeito ao primeiro semestre de 1993, mais precisamente entre os dias 17/02 e 21/05. Com o objetivo de assegurar consistência em termos de média, os dados utilizados dizem respeito às trajetórias indicadas pelos derivadores 3178, 3179 e 3180, já que os dados dos derivadores 3181 e 3182 resultaram

em valores muito discrepantes em relação à média. A Figura 5.2, na página seguinte, traz as trajetórias seguidas por estes derivadores. O primeiro mapa traz as trajetórias conjuntas dos três derivadores e os seguintes apresentam as trajetórias individuais de cada um dos derivadores. Percebe-se que os derivadores apresentaram deslocamentos aproximadamente paralelos à costa e sobre as isóbatas de 200 m, 1000 m e 2000 m.

A velocidade média das correntes, registrada por estes derivadores, ficou em 17,0 cm/s, com direção média de 219,4°. Os respectivos desvios foram: 1,4 cm/s e 4,6°. A Temperatura da Superfície do Mar(TSM) média ao longo destas trajetórias foi 25,1°C com desvio de 0,5°C. Estes valores encontram-se na Tabela 5.1, abaixo.

TABELA 5.1 - VALORES ASSOCIADOS ÀS TRAJETÓRIAS PARA SUL DOS DERIVADORES LANÇADOS NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 1993

Derivador	Período das transmissões		Duração em dias	Velocidade média (cm/s)	Direção média (graus)	Temperatura média (°C)
3178	17/02/93	06/04/93	47	17,6	225,7	25,8
3179	17/02/93	26/04/93	50	18,4	217,9	24,8
3180	17/02/93	21/05/93	92	15,0	214,7	24,7
Valores médios				17,0	219,4	25,1
Desvio padrão				1,4	4,6	0,5

Procedendo a conversão da direção média das correntes de ângulo geográfico (referencial os pontos cardiais) para trigonométrico (referencial o círculo trigonométrico), obtém-se: $270^\circ - 219,4^\circ = 50,6^\circ$. Considerando que a costa brasileira possui, para a região em análise, inclinação média de 42°, pode-se perceber que estas correntes fluíram com direção, aproximadamente, paralela à linha de costa.

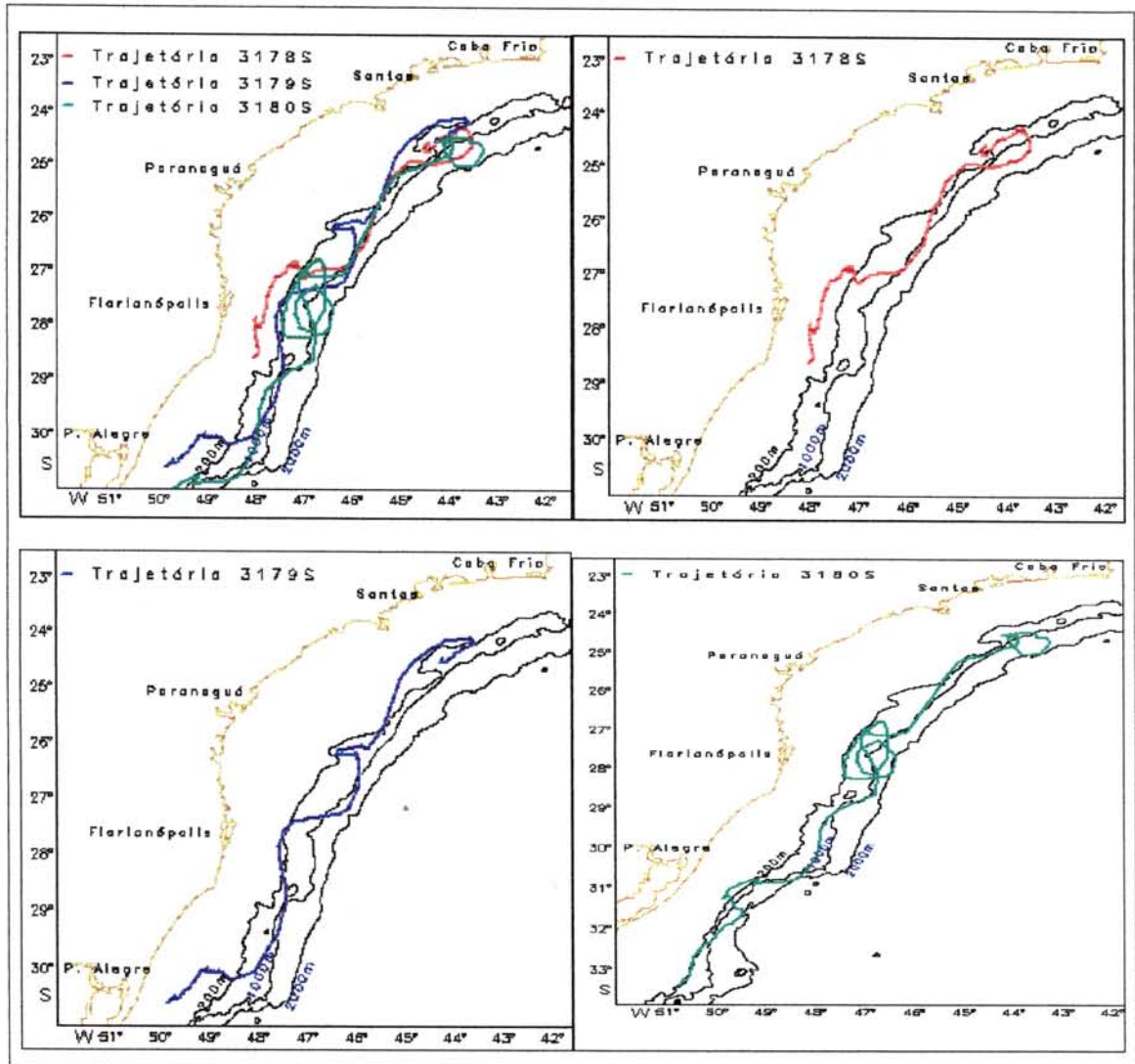


Fig. 5.2 - Trajetória para sul dos derivadores lançados no primeiro semestre de 1993.

As energias cinéticas calculadas a partir do processamento dos dados estão relacionadas na Tabela 5.2 a seguir. ECM, ECV e ECT significam, respectivamente: Energia Cinética Média, Energia Cinética de Vórtices e Energia Cinética Total por unidade de massa. A partir da observação da Tabela 5.2, percebe-se que praticamente 70% da ECT é devida às flutuações representadas pela ECV. Isto pode ser verificado a partir da relação percentual entre ECV/ECT. Tal fato evidencia a importância das flutuações de meso-escala para a circulação das águas superficiais locais. Esta relação permite concluir que, apesar das correntes terem sido predominantemente para sul, estas foram pouco estáveis, ou seja, apresentaram fortes perturbações ou variabilidades ao longo de seu deslocamento.

**TABELA 5.2 - VALORES DE ENERGIA ASSOCIADOS ÀS TRAJETÓRIAS
PARA SUL NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 1993**

Derivador	ECM (cm ² /s ²)	ECV (cm ² /s ²)	ECT (cm ² /s ²)	ECV/ECT (%)
3178	155	212	367	58
3179	170	418	588	71
3180	112	388	500	78
Valores médios	146	340	485	69
Desvio padrão	25	111	110	10

5.1.2 - CORRENTES COM SENTIDO PARA NORTE (1º SEMESTRE DE 1993)

Os valores que serão apresentados dizem respeito ao primeiro semestre de 1993, mais precisamente entre os dias 06/04 e 30/07. Somente três derivadores dos cinco lançados nesta época sofreram deflexão que caracterizasse um sentido preponderantemente para norte. O derivador 3181 parou de transmitir antes que pudesse sofrer tal efeito. O derivador 3182 foi defletido, porém assumiu trajetórias altamente indefinidas e constituídas por sucessivos “loops”. Portanto, analisando-se as correntes para norte registradas pelos derivadores 3178, 3179 e 3180, vide Figura 5.3 na página seguinte, obteve-se o seguinte valor para velocidade média: 12,2 cm/s, com direção média de 32,3°. Os respectivos desvios foram 3,4 cm/s e 1,9°. A TSM média, ao longo das trajetórias foi de 20,3°C com desvio de 2,3°C.

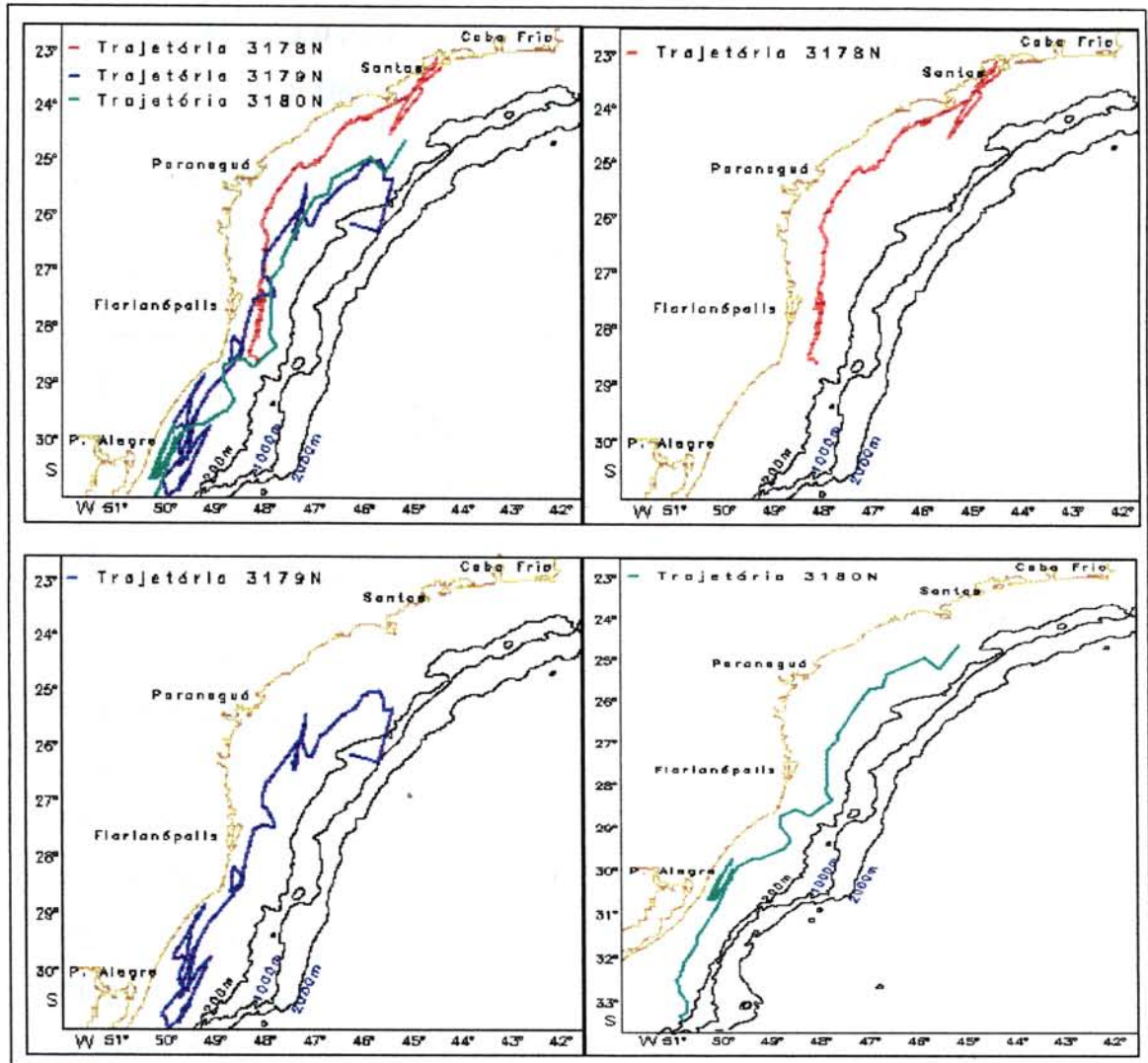


Fig. 5.3 - Trajetória para norte dos derivadores lançados no primeiro semestre de 1993.

Analisando-se a direção média destas correntes em termos de ângulo trigonométrico, encontra-se um valor igual a $90^\circ - 32,3^\circ = 57,7^\circ$. Vê-se que tratam-se de trajetórias que seguem, razoavelmente, a linha da costa, conforme pode ser observado na figura acima, a qual mostra também que estas correntes fluíram internamente em relação à isóbata de 200 m. Os parâmetros associados as estas trajetórias são citados na Tabela 5.3, a seguir:

**TABELA 5.3 - VALORES ASSOCIADOS ÀS TRAJETÓRIAS PARA NORTE
DOS DERIVADORES LANÇADOS NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 1993**

Derivador	Período das transmissões		Duração em dias	Velocidade de média (cm/s)	Direção média (graus)	Temperatura média (°C)
3178	06/04/93	03/07/93	88	10,0	34,8	23,3
3179	08/04/93	19/07/93	101	9,5	30,7	19,9
3180	21/05/93	30/07/93	70	17,0	31,0	17,6
Valores médios				12,2	32,3	20,3
Desvio padrão				3,4	1,9	2,3

As energias calculadas a partir do processamento dos dados, para estas trajetórias, estão listadas na Tabela 5.4. Pela análise dessa tabela, pode-se perceber o quanto as correntes com sentido para norte estão condicionadas às flutuações de meso-escala. A relação percentual entre ECV/ECT indica que, embora estas correntes tenham apresentado sentido predominantemente para norte, apresentaram comportamento altamente instáveis, o que indica fortes variabilidades ao longo de seu deslocamento. Note que a relação ECV/ECT é maior para estas correntes do que para as correntes para sul, anteriormente discutidas.

**TABELA 5.4 - VALORES DE ENERGIA ASSOCIADOS ÀS TRAJETÓRIAS
PARA NORTE NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 1993**

Derivador	ECM (cm ² /s ²)	ECV (cm ² /s ²)	ECT (cm ² /s ²)	ECV/ECT (%)
3178	50	317	367	86
3179	45	390	435	89
3180	144	780	924	84
Valores médios	79	495	575	86
Desvio padrão	45	249	303	2,5

5.1.3 - CORRENTES COM SENTIDO PARA SUL (2º SEMESTRE DE 1993)

Os valores que serão apresentados dizem respeito ao segundo semestre de 1993, mais precisamente entre os dias 19/07 e 30/12. Dos cinco derivadores lançados no segundo semestre de 1993, dois apresentaram problemas operacionais. Dos outros três, o derivador 3183 apresentou trajetória altamente irregular e constituída, basicamente, por “loops”. Assim, somente os derivadores 3185 e 3187 apresentaram trajetórias explicitamente para sul. Tais correntes apresentaram velocidade média de 10,1 cm/s e direção média igual a 230,1°. Os respectivos desvios foram 1,0 cm/s e 24,3°. A TSM ao longo destas trajetórias foi 20,9°C com desvio de 0,7°C. Estes valores encontram-se listados na Tabela 5.5, a seguir.

TABELA 5.5 - VALORES ASSOCIADOS ÀS TRAJETÓRIAS PARA SUL DOS DERIVADORES LANÇADOS NO SEGUNDO SEMESTRE DE 1993

Derivador	Período das transmissões		Duração em dias	Velocidade média (cm/s)	Direção média (graus)	Temperatura média (°C)
3185	19/07/93	31/10/93	103	11,2	205,8	20,3
3187	23/08/93	30/12/93	128	9,1	254,5	21,6
Valores médios				10,1	230,1	21,0
Desvio padrão				1,0	24,3	0,7

A Figura 5.4, apresenta as trajetórias conjuntas para sul dos derivadores 3185 e 3187 e estas trajetórias individuais. O derivador 3187, conforme pode ser visto, fluiu ao longo da borda interna da isóbata de 200 m tendendo a afastar-se para leste a partir de 33°S. Ambas as trajetórias fluíram no sentido de afastamento da costa a partir de 33°S. A direção média destas correntes, expressas em ângulo trigonométrico, foi 39,9° o que, praticamente, caracteriza a condição de paralelismo com a linha média da costa brasileira. As energias calculadas para estas trajetórias, a partir do processamento dos dados, estão listadas na Tabela 5.6, a seguir.

TABELA 5.6 - VALORES DE ENERGIA ASSOCIADOS ÀS TRAJETÓRIAS PARA SUL NO SEGUNDO SEMESTRE DE 1993

Derivador	ECM (cm ² /s ²)	ECV (cm ² /s ²)	ECT (cm ² /s ²)	ECV/ECT (%)
3185	63	310	373	83
3187	41	518	559	93
Valores médios	52	414	466	88
Desvio padrão	11	147	131	7

Pela análise dessa tabela e observando os baixos valores de velocidades médias associados a estas correntes neste período, pode-se constatar que as mesmas apresentam-se mais instáveis quando comparadas com aquelas analisadas no primeiro semestre. Isto pode ser observado a partir do fato que as ECVs destas trajetórias foram visivelmente maiores do que para as correntes para sul do primeiro semestre. Isto parece indicar que a circulação, para esta região, nesta época do ano, apresenta comportamento intensamente instável, indicado pelas fortes variabilidades ao longo do deslocamento dos derivadores.

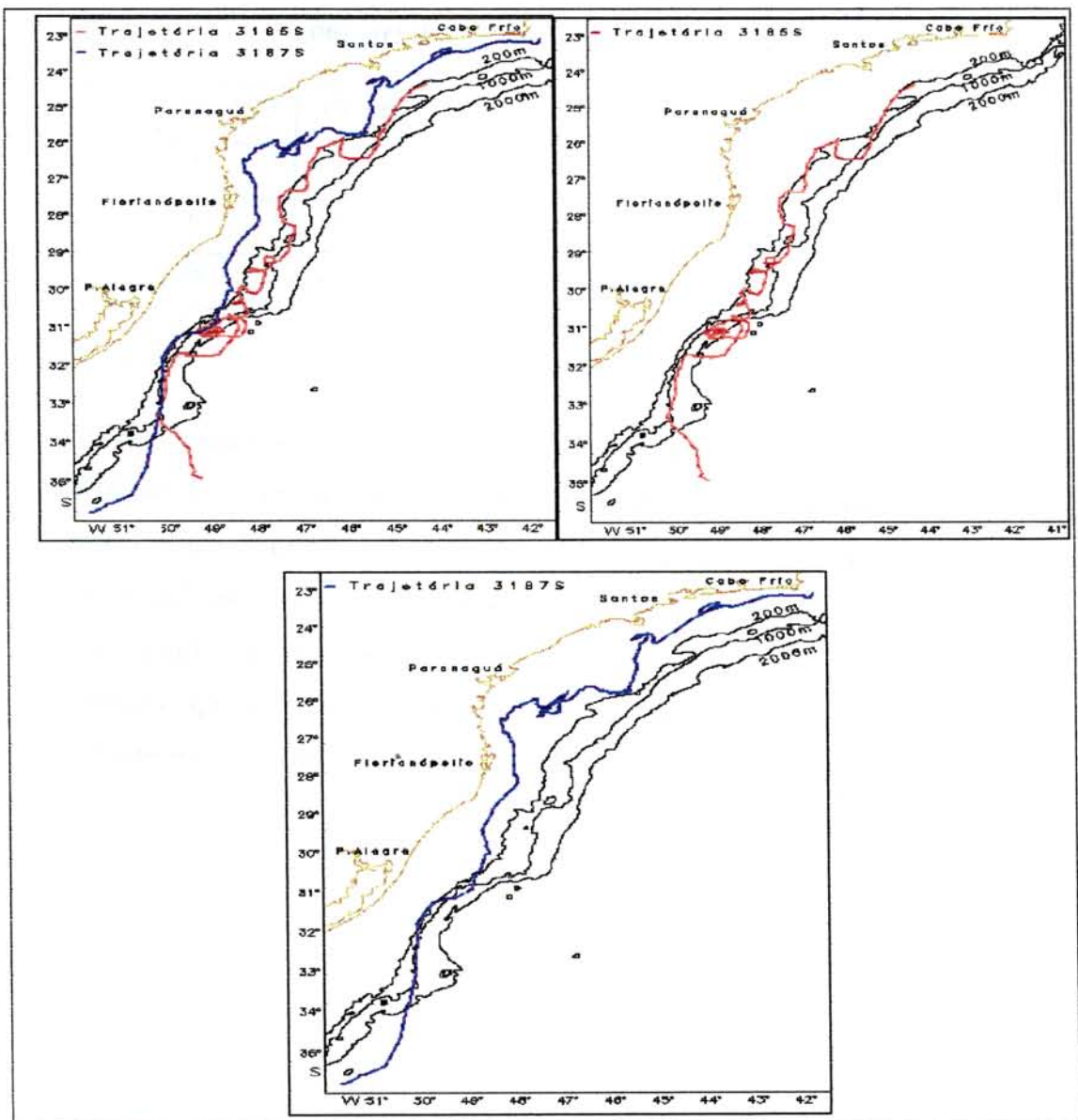


Fig. 5.4 - Trajetória para sul dos derivadores lançados no segundo semestre de 1993.

5.1.4 - CORRENTES COM SENTIDO PARA NORTE (2º SEMESTRE DE 1993)

Nenhum dos derivadores lançados no segundo semestre de 1993 apresentou trajetória definitivamente para norte. As deflexões resultaram em correntes constituídas por sucessivos “loops”, os quais serão analisados isoladamente na Seção 5.5.

5.1.5 - CORRENTES COM SENTIDO PARA SUL (1º SEMESTRE DE 1994)

Os valores que serão apresentados dizem respeito ao primeiro semestre de 1994, mais precisamente entre os dias 19/01 e 29/03. Todos os derivadores lançados nesta época do ano apresentaram trajetórias preponderantemente para sul, e altamente perturbadas. Isto será visto adiante, quando forem observadas as relações ECV/ECT. A velocidade média destas correntes ficou em 44,8 cm/s com direção média de 210,0°. Os respectivos desvios foram: 6,1 cm/s e 2,2°. A TSM média ao longo destas trajetórias foi de 24,6°C com desvio de 0,3°C. A Tabela 5.7 abaixo, traz estes parâmetros.

TABELA 5.7 - VALORES ASSOCIADOS ÀS TRAJETÓRIAS PARA SUL DOS DERIVADORES LANÇADOS NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 1994

Derivador	Período das transmissões		Duração em dias	Velocidade média (cm/s)	Direção média (graus)	Temperatura média (°C)
3188	19/01/94	01/03/94	40	40,3	213,0	25,1
3189	19/01/94	29/03/94	69	35,3	206,2	24,1
3190	19/01/94	02/03/94	41	47,2	210,0	24,6
3191	19/01/94	28/02/94	39	49,9	209,2	24,7
3192	19/01/94	27/02/94	38	51,6	211,0	24,3
Valores médios				44,8	210,0	24,6
Desvio padrão				6,1	2,2	0,3

A Figura 5.5 na página seguinte, apresenta estas trajetórias. Pela análise desta figura percebe-se que as trajetórias apresentam boa correlação visual entre si, com os derivadores fluindo predominantemente sobre a isóbata de 1000 m. Percebe-se também que o deslocamento se fez aproximadamente seguindo a linha da costa. A direção média destas correntes, expressas em ângulo trigonométrico é 60°, e foram estas as trajetórias que apresentaram maior homogeneidade entre si, com desvio de apenas 2,2°.

**TABELA 5.8 - VALORES DE ENERGIA ASSOCIADOS ÀS TRAJETÓRIAS
PARA SUL NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 1994**

Derivador	ECM (cm ² /s ²)	ECV (cm ² /s ²)	ECT (cm ² /s ²)	ECV/ECT (%)
3188	812	525	1337	39
3189	623	690	1313	52
3190	1116	275	1391	20
3191	1243	203	1445	14
3192	1330	280	1610	17
Valores médios	1024	395	1419	
Desvio padrão	266	205	118	16

Um aumento significativo de ECM foi observado para este período. Para os derivadores 3190, 3191 e 3192, a contribuição da energia cinética turbulenta para a Energia Cinética Total é pequena, mostrando a estabilidade do escoamento. Para os derivadores 3188 e 3189, nota-se uma maior contribuição da ECV para a energia total. Estes dois derivadores estiveram predominantemente na fronteira oeste da Corrente do Brasil (CB), região com alta instabilidade.

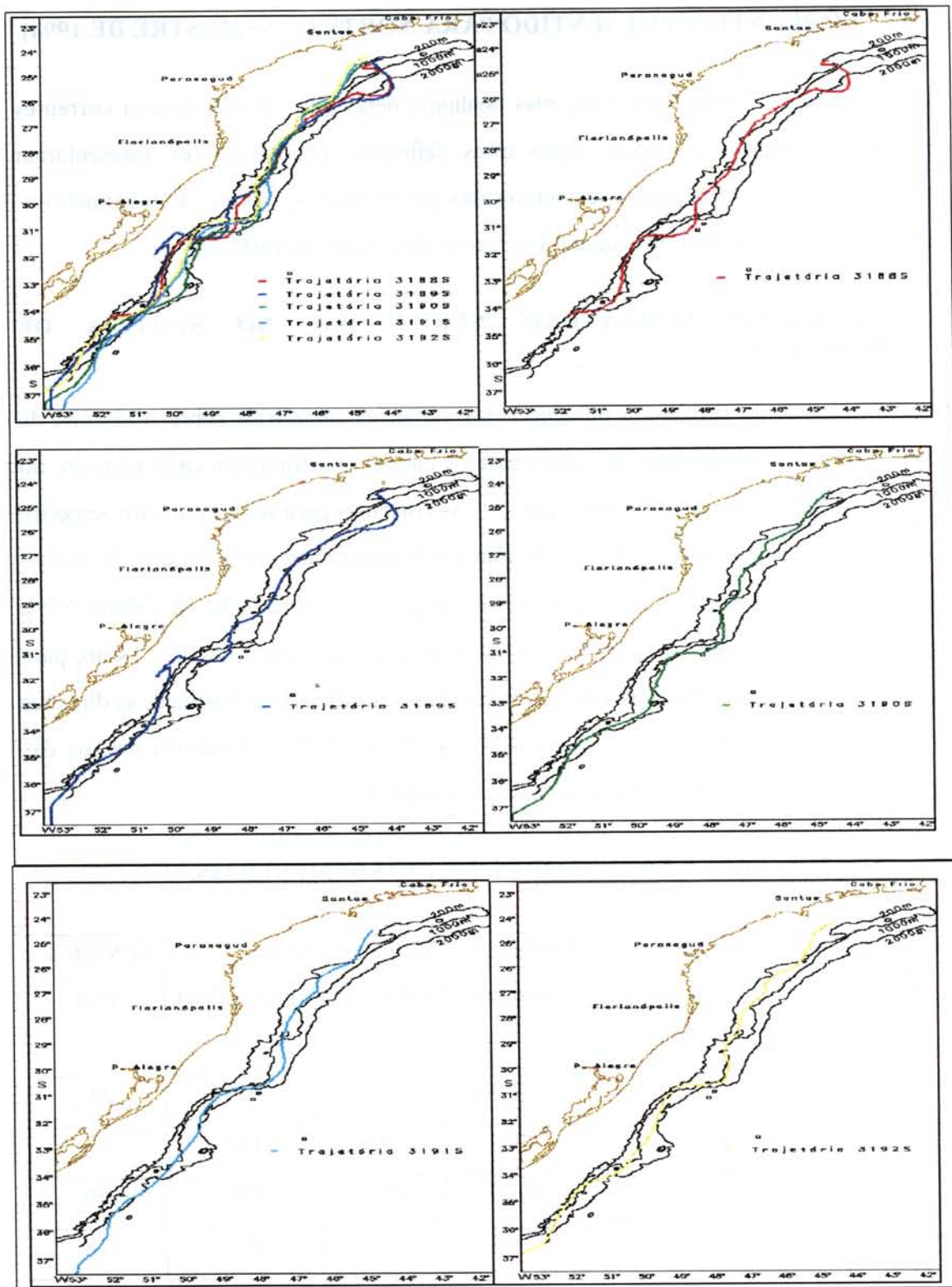


Fig. 5.5 - Trajetória para sul dos derivadores lançados no primeiro semestre de 1994.

5.1.6 - CORRENTES COM SENTIDO PARA NORTE (1º SEMESTRE DE 1994)

Os derivadores sofreram deflexões, mas nenhuma delas que caracterizassem correntes preponderantemente para norte. Após estas deflexões, os derivadores apresentaram trajetórias altamente irregulares, caracterizadas por sucessivos “loops”. Estas trajetórias serão particularmente analisadas quando se estiver discutindo os vórtices.

5.2-INFLUÊNCIAS SEMI-ANUAIS VERIFICADAS NO SISTEMA DE CORRENTES

Com o objetivo de verificar a influência das variações semestrais sobre o sistema de correntes, foram comparados os valores obtidos para as trajetórias em cada semestre do mesmo ano com o semestre do ano seguinte. As correntes para sul no primeiro semestre de 1993 apresentaram valores médios de velocidade quase duas vezes maiores do que as do segundo semestre do mesmo ano, conforme pode ser observado na Tabela 5.9 a seguir. As direções médias destas correntes variaram pouco, cerca de 10°. Assim, para este período sazonal, embora as velocidades médias tenham variado bastante, as direções se mantiveram aproximadamente inalteradas. A Tabela 5.9 traz os valores médios das velocidades, direção, TSM, ECV e a relação (ECV/ECT)%.

TABELA 5.9 - VALORES MÉDIOS SEMESTRAIS.

Semestre / Ano	Sentido das correntes	Média das velocidades (cm/s)	Média das direções (°)	Média da TSM (°C)	Média da ECV(cm ² /s ²)	ECV/ECT (%)
1º - 1993	S	17,0 cm/s	219,4	25,1	340	69
2º - 1993	S	10,1 cm/s	230,1	21,0	414	88
1º - 1994	N	12,2 cm/s	32,27	20,3	495	86
1º - 1994	S	44,8 cm/s	210,0	24,6	395	28

A relação ECV/ECT indica que as correntes no segundo semestre apresentaram-se muito mais irregulares e instáveis. Isto pode ser um indício de que nesta época do ano as correntes de superfície sofrem maiores efeitos de forçantes externas, quando comparadas

com o primeiro semestre. Estudos teóricos, tais como Ekman (1905) e Sverdrup *et al.* (1947), demonstram a importância do campo de vento de superfície para a circulação superficial oceânica. Através de diagramas, Stech (1990) demonstra que os ventos predominantes na região em estudo são os de nordeste/norte, com estes passando a serem de sul/sudeste com a entrada dos sistemas meteorológicos.

A Figura 5.6, a seguir, apresenta a distribuição mensal dos sistemas frontais que atuaram nas regiões B, C e D, as quais representam, respectivamente, 35°S/25°S, 25°S/20°S e acima de 20°S.

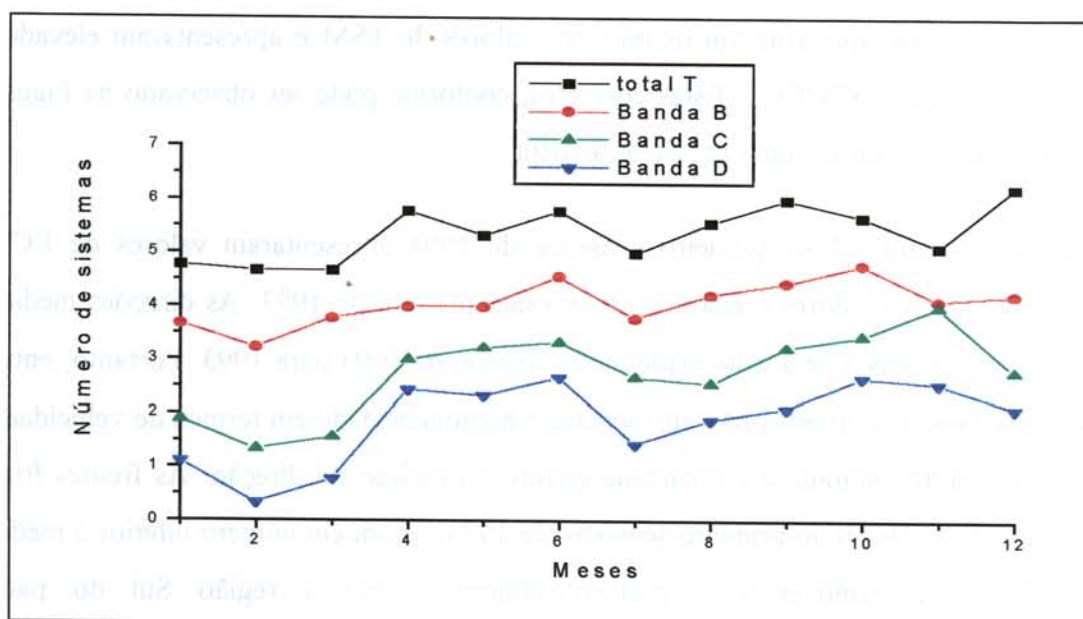


Fig. 5.6 - Média mensal dos sistemas que atuaram na costa do Brasil entre 1987 e 1995.

FONTE: Lemos e Calbete (1996, p.132).

A partir da análise do gráfico, verifica-se que durante os meses de abril a dezembro, para as latitudes entre 35° e 25°S (região B), o número de entradas de frentes frias é superior ou igual a quatro.

Para as latitudes entre 25° e 20°S (região C), nos meses de abril a junho e setembro a novembro, a média é de três sistemas. Nos meses de abril a junho e de outubro a novembro, dois a três sistemas frontais atingem latitudes acima de 20°S (região D).

Portanto, como pode ser observado no gráfico, é entre agosto e novembro que ocorreram as maiores frequências de frentes frias na costa sudeste-sul do Brasil. Este fato está de acordo com Castro Filho (1985), onde o autor cita que a frequência de ocorrência de frentes frias tende a aumentar durante o inverno, alcançando pico na primavera (outubro e novembro). Isto pode ter sido a causa das maiores instabilidades verificadas no regime de correntes para esta época do ano. No campo térmico, foi verificada significativa mudança na TSM, com as águas no 2º semestre apresentando temperatura quase 5°C menor do que no 1º semestre o que, em grande parte, pode ser devido a mudança de estação de verão para inverno. As correntes no segundo semestre com sentido norte apresentaram os menores valores de TSM e apresentaram elevados valores na relação ECV/ECT. Estas correntes, conforme pôde ser observado na Figura 5.3 foram as que fluíram mais próximas à costa.

As correntes para sul no primeiro semestre de 1994 apresentaram valores de ECV maiores do que os valores registrados no mesmo período de 1993. As direções médias variaram em apenas 3° e a velocidade média dobrou de 1994 para 1993. Portanto, entre estes dois anos, as correntes não apresentaram homogeneidade em termos de velocidade média, mas apresentaram alta fidelidade quanto ao padrão de direção. As frentes frias que atingiram o Brasil no primeiro semestre de 1993, foram em número inferior à média climatológica e mantiveram-se, preferencialmente, sobre a região Sul do país, Climanálise (1993). Isto pode ser uma indicação de que a intensa variação na ECV média destas correntes, entre estes dois anos, seja consequência da anomalia no regime de frentes ocorrida no ano de 1993. Não foi verificada, entre estes dois anos, variação significativa da TSM, ficando esta em 0,5°C.

Por razões evidenciadas nas Seções 5.1.4 e 5.1.6, não dispõe-se de dados que viabilizem análises semi-anuais ou interanuais das correntes para norte. Será feita, a seguir, uma análise sobre as posições a partir das quais as trajetórias, inicialmente para sul, foram defletidas.

TABELA 5.10 - POSIÇÕES A PARTIR DAS QUAIS OCORRERAM AS DEFLEXÕES (1º semestre de 1993)

Derivador	Data	Latitude (graus-S)	Longitude (graus-W)
3178	03/07/93	-28,6	-48,0
3179	07/04/93	-30,4	-49,6
3180	21/05/93	-33,4	-50,7
3182	29/03/93	-31,1	-48,2
Posição média		-30,9	-49,1
Desvio padrão		1,7	1,1

Conforme pode ser observado na tabela anterior estas trajetórias foram defletidas, aproximadamente, por volta do Rio Grande do Sul. Como indicado na Figura 5.2, estas deflexões resultaram em correntes preponderantemente para norte.

TABELA 5.11- POSIÇÕES A PARTIR DAS QUAIS OCORRERAM AS DEFLEXÕES (2º semestre de 1993)

Derivador	Data	Latitude (graus-S)	Longitude (graus-W)
3185	31/10/93	-34,0	-49,0
3187	30/12/93	-35,7	-51,6
Posição média		-34,8	-50,3
Desvio padrão		0,8	1,3

A Tabela 5.11 indica que estas trajetórias foram defletidas por volta da costa uruguaia. Estas deflexões levaram a correntes com direções altamente irregulares e marcadas por sucessivos “loops”.

A Tabela 5.12, na página seguinte, mostra as posições a partir das quais ocorreram as deflexões dos derivadores lançados no primeiro semestre de 1994. Os valores mostram que estas trajetórias alcançaram a costa argentina. Após serem defletidas, estas correntes fluíram com direção altamente irregular constituindo-se, basicamente, em sucessivos “loops”

TABELA 5.12 - POSIÇÕES A PARTIR DAS QUAIS OCORRERAM AS DEFLEXÕES (1º semestre de 1994)

Derivador	Data	Latitude (graus-S)	Longitude (graus-W)
3189	29/03/94	-39,3	-51,8
3190	02/03/94	-37,5	-53,5
3191	28/02/94	-37,8	-52,8
3192	27/02/94	-37,0	-53,6
Condições médias		-37,9	-52,9
Desvio padrão		0,8	0,7

Fazendo-se uma análise global destas tabelas, os dados indicam que não há regularidade quanto a posição de deflexão das correntes. Os diferentes limites sul das deflexões verificadas nos três semestres sugere uma variação interanual nesta posição, porém não se dispunha de dados que permitissem especular sobre a natureza deste comportamento. O que ficou bem evidente é que as correntes, tanto para sul quanto para norte, tendem em média a fluírem paralelamente à costa, como pôde ser observado a partir das Figuras 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5.

Campos *et al.* (1996) constataram a penetração de águas provenientes da Região da Confluência das Correntes do Brasil e das Malvinas. Os autores relataram a presença, no inverno de 1993, de águas com valores relativamente baixos de temperatura e salinidade entre a costa da região Sul e Sudeste e a Corrente do Brasil. As deflexões ocorridas no 1º semestre de 1993, e que resultaram em correntes preponderantemente para norte, indicam que estas foram devidas à penetração das águas relatadas pelos supra citados autores. Estas correntes para norte, supostamente devidas a inserção de águas das Malvinas, alcançaram latitudes médias de 23°S, o que vai ao encontro do resultado obtido pelos referidos autores.

Porém, este parece ser um fenômeno condicionado a outros eventos. Em outras palavras, a inserção de águas oriundas da confluência das correntes do Brasil e das Malvinas se estendendo ao longo da costa, como indicado pelo primeiro grupo de derivadores, não apresentou regularidade. Isto pode ser constatado a partir do fato de que as trajetórias

seguidas pelos demais grupos de derivadores apresentaram direções altamente indefinidas com sentido, preponderantemente, para fora da costa. Pela posição em que ocorreram estas deflexões, vide Tabelas 5.11 e 5.12, parece evidente que os derivadores quando não sofrem o efeito da penetração de Águas das Malvinas, seguem até a Região de Confluência da Corrente do Brasil e das Malvinas, onde são defletidos para fora da costa, por influência talvez, do giro subtropical (Olson *et al.*, 1988).

5.3 - APLICAÇÃO DA MATRIZ DE TRANSFORMAÇÃO SOBRE OS DADOS

O efeito de se aplicar a matriz de transformação, apresentada no Capítulo 4, será agora discutido. Na Figura 5.7, os gráficos da esquerda representam as componentes originais da posição em quilômetros e os da direita representam os respectivos dados após passarem pela matriz de transformação e serem, portanto, referenciados à linha da costa. Lembrando que para as estimativas das Energias Cinéticas de Vórtices (ECV) é promovida uma destendenciamento sobre os dados, e que estes valores destendenciados serão tanto maiores quanto maior for a dispersão das posições em torno da média, o que estatisticamente é o Desvio padrão(σ), como consequência, maior desvio padrão implica em maiores valores de ECV.

A comparação entre o gráfico da componente zonal do deslocamento com a correspondente componente ortogonal, mostra que o (σ) diminuiu do primeiro para o segundo caso. A comparação entre os gráficos indica que oscilações de grande amplitude e baixa frequência estão registrados principalmente ao longo da costa, enquanto sinais de mais alta frequência e mais baixas amplitudes estão registrados na componente ortogonal.

Os dois últimos gráficos da Figura 5.7 mostram que o desvio padrão aumentou para a componente paralela à costa em comparação à componente meridional. Isto equivale dizer que a matriz de transformação aplicada sobre a componente meridional do deslocamento realçou a contribuição da componente paralela à linha da costa, para a estimativa das Energias Cinéticas. O maior valor da componente paralela à costa da ECV

evidencia que as perturbações de mesoescala responsáveis pela maior transferência de energia para as correntes do Brasil e seu refluxo, ocorrem ao longo da costa.

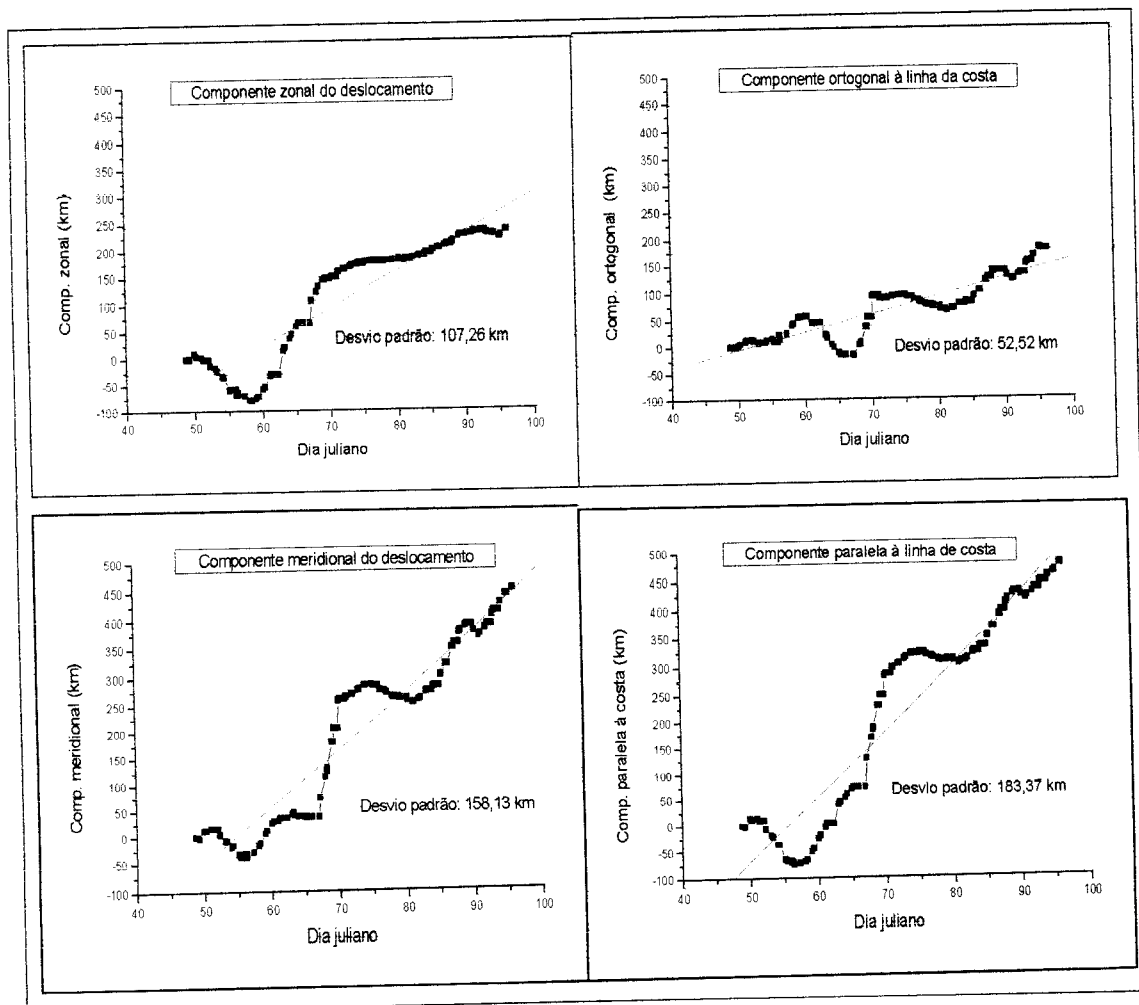


Fig. 5.7 - Efeito da aplicação da matriz de transformação para a trajetória 3178S.

Embora se tenha utilizado apenas a trajetória 3178S para ilustrar esta análise, as considerações ora apresentadas são válidas para todas as trajetórias, pois todas apresentaram este comportamento. A tabela abaixo apresenta os valores das componentes da ECV antes e após ser aplicada a matriz de transformação.

TABELA 5.13 - VALORES DAS ECVs ANTES E APÓS A ROTAÇÃO DO EIXO

Trajetória 3178S			
	ECV(\perp) (cm^2/s^2)	ECV(\parallel) (cm^2/s^2)	ECV (cm^2/s^2)
Antes	101	108	209
Depois	63	149	212

A Tabela 5.13 mostra a consistência da aplicação da matriz de transformação pois, embora os valores das componentes tenham variado, a resultante manteve-se aproximadamente constante. A diferença entre as resultantes se deve as inúmeras operações matemáticas e consequentes arredondamentos, quando da aplicação da matriz de transformação. A Figura 5.8, traz as componentes posicionais em quilômetros e os valores de TSM em função do tempo (3178S). O primeiro gráfico traz estes valores antes de ser aplicada a matriz de transformação, e o segundo após ter sido aplicada a matriz. Pela análise da figura percebe-se que ao se considerar a linha média da costa como referencial, o componente ortogonal apresenta menor variação quando comparado ao componente zonal, evidenciando a tendência destas trajetórias em fluírem paralelamente à costa.

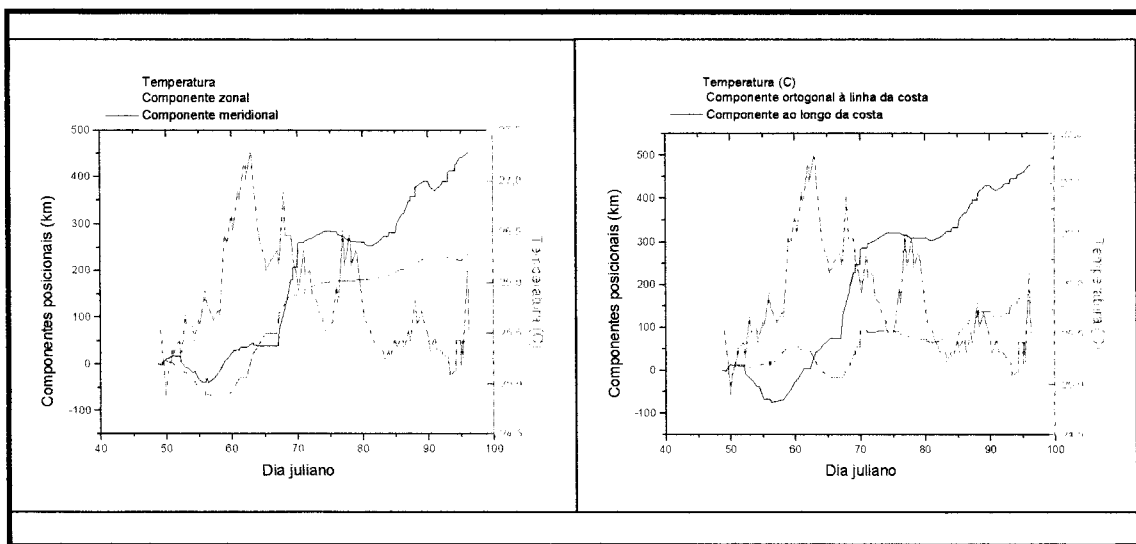


Fig. 5.8 - Componentes posicionais antes e após a aplicação da matriz de transformação para a trajetória 3178S.

5.4 - ANÁLISE DA ECV EM TERMOS DE SUAS COMPONENTES AO LONGO E ORTOGONAL À LINHA DE COSTA

TABELA 5.14 - VALORES DAS COMPONENTES DAS ECVs

Derivador	ECV(\perp) (cm ² /s ²)	ECV($//$) (cm ² /s ²)	ECV (cm ² /s ²)	ECV(\perp)/ECV (%)	ECV($//$)/ECV (%)
3178S	63	149	212	29	71
3179S	146	272	418	35	65
3180S	108	280	388	28	72
3178N	107	210	317	34	66
3179N	112	278	390	29	71
3180N	230	550	780	29	71
3185S	150	160	310	48	52
3187S	150	368	518	29	71
3188S	240	285	525	45	55
3189S	320	370	690	46	54
3190S	115	160	275	42	58
3191S	54	149	203	27	73
3192S	70	210	280	25	75

Nesta tabela, ECV(\perp), ECV($//$), ECV representam, respectivamente, a componente ortogonal à linha de costa da Energia Cinética de Vórtices por unidade de massa, a componente paralela e a soma destas componentes.

Conforme pode ser observado nas últimas duas colunas desta tabela, a ECV concentra-se, preponderantemente, na componente paralela à linha de costa. Esta colocação permite especular que a principal fonte motriz das ECVs, é a tensão de cisalhamento do vento atuando sobre estas águas, que fluíram sobre a Plataforma Continental. Outro fato que vem a reforçar esta hipótese é que, para a região em estudo, a componente do vento paralela à costa contem mais energia que a componente perpendicular (Stech e

Lorenzetti, 1992). Segundo Castro Filho (1990), tanto os ventos predominantes no verão (janeiro, fevereiro e março) quanto os predominantes de inverno (julho, agosto e setembro), apresentam componentes paralelas à costa, sendo de NE para SW no inverno e de SW para NE no verão. A tensão de cisalhamento média indica a possibilidade de movimentos forçados das águas da plataforma continental durante todo o ano (Castro Filho, 1996).

O expressivo valor da relação $ECV(//)/ECV$, verificado nas trajetórias para Norte, pode se dever também a influências topográficas. Estas correntes fluíram mais próximas à costa, conseqüentemente em profundidades menores, o que aumenta a influência do fundo sobre o deslocamento destas correntes. As correntes para sul também apresentaram elevados valores de $(ECV/ECT)\%$, indicando que as interações entre atmosfera-hidrosfera são expressivas também para águas que fluem sobre as isóbatas de 1000 m e 2000 m.

A Tabela 5.15 na página seguinte, traz os valores de energias cinéticas calculadas por Piola *et al.*(1987) e Garraffo *et al.*(1992), a qual baseou-se em modelos e dados de altimetria a partir do Geosat. As diferenças nos valores de energias presentes na Tabela 5.15 parecem ser devidos às diferenças de resolução espacial. Os dados de altimetria em geral apresentam resolução horizontal entre 1 e 5 km, e os dados dos derivadores FGGE apresentavam precisão em torno de 1 km, ao passo que os utilizados neste trabalho apresentam precisão entre 110 m e 300 m. Estas diferenças fazem com que os vórtices detectados em menor resolução sejam apenas os de maior escala, como por exemplo os vórtices em balanço geostrófico. Assim, os derivadores padrão WOCE-SVP apresentam maior sensibilidade para registrar as perturbações de meso-escala atuantes sobre as correntes.

**TABELA 5.15 – VALORES DE ENERGIAS CINÉTICAS A PARTIR DE
DIFERENTES FONTES (cm²/s²)**

ORIGEM	REGIÃO	ECM	ECV
Piola <i>et al.</i> (1987)	Corrente do Brasil	200	500
Garraffo <i>et al.</i> (1992) Modelo/Geosat	Confluência Brasil- Malvinas	500-2000 / -	0-200 / 200-500
Este trabalho	Corrente do Brasil	52-1024	340-495

5.5 - ANÁLISES DOS VÓRTICES

A partir das relações entre Energia Cinética de Vórtices (ECV) e Energia Cinética Total (ECT), discutidos em seções anteriores, foi verificado o alto grau de instabilidade da Corrente do Brasil e dos refluxos desta, para a região em estudo. Estas instabilidades, normalmente associadas a meandros, são altamente favoráveis à formação de vórtices. Os derivadores detectaram vários vórtices, os quais serão agora descritos.

A fim de facilitar as análises, estes vórtices serão agrupados em três conjuntos, cada um correspondente aos três grupos de derivadores. Assim, o primeiro conjunto de vórtices a ser analisado diz respeito aos derivadores 3178, 3179, 3180, 3181 e 3182, e assim sucessivamente. A tabela 5.16, a seguir, apresenta os parâmetros associados aos vórtices detectados pelo primeiro grupo de derivadores. A partir desta tabela percebe-se que o período destes vórtices (o tempo para fechar o loop) variou entre 6,2 dias e 16,85 dias. O giro 3179 apresenta algumas características que indicam não se tratar de um vórtice. A partir do σ (°C) percebe-se que a temperatura ao longo do perímetro deste giro variou bastante, o que é um indicativo de que este derivador não foi aprisionado por uma única e mesma massa de água. Isto parece sugerir que o derivador 3179 não foi capturado por um giro, mas provavelmente entrou num pequeno jato ou filamento de água entre dois vórtices adjacentes. As demais trajetórias indicam pequena variabilidade no campo da TSM o que é um forte indicativo de que estes giros representem vórtices.

TABELA 5.16 - PARÂMETROS ASSOCIADOS AO PRIMEIRO GRUPO DE VÓRTICES

LCD	Semi-eixo maior(km)	Semi-eixo menor(km)	Orientação do eixo-maior (graus)	Tempo para fechar o loop(dias)	V(cm/s)	TSM (°C)	σ (°C)
3179	108	78	36	10,0	69,5	20,6	1,4
3180A	19	17	26	11,0	12,2	26,0	0,3
3180B	85	60	21	6,0	45,0	26,0	0,1
3180C	71	50	31	13,7	33,6	25,8	0,3
3182A	59	33	53	13,0	18,0	25,2	0,3
3182B	88	70	22	16,9	40,0	24,7	0,3
3182C	35	23	154	6,2	29,6	24,2	0,3

Embora estimar as dimensões dos vórtices seja algo altamente complexo, pois estes apresentam, além de rotação, movimento de translação, estimativas fornecidas pelos derivadores vem sendo amplamente utilizadas pela comunidade oceanográfica. Kirwan *et al.* (1984,1988) e Glenn *et al.* (1990), fazem uso dos dados de derivadores para determinar os parâmetros de modelos que visam descrever o movimento dos derivadores em um vórtice elíptico em translação. São dados importantes para estes modelos: a localização e a velocidade de propagação do centro dos vórtices, o comprimento e orientação dos eixos menor e maior e a velocidade tangencial. A TSM ao longo do perímetro dos vórtices detectados neste trabalho ficou entre 20,6°C e 26,0°C, e as velocidades tangenciais variaram desde 12,1 cm/s a 45,0 cm/s. As dimensões variaram entre 38 km e 176 km no eixo-maior e 34 km e 140 km no eixo-menor. Conforme pode ser visto na Figura 5.10, na página a seguinte, os derivadores foram capturados por vórtices cujos centros variaram entre 27°S, 45°W e 28°S, 47°W. Os vórtices apontados por estes derivadores apresentaram forma preponderantemente elíptica com orientação predominantemente meridional conforme pode ser observado na Tabela 5.16. As trajetórias citadas como vórtices 3180A, 3180B e 3180C, na Figura 5.10, parece representar um mesmo vórtice em movimento de translação, conforme pode ser observado na Figura 5.9 abaixo. Uma estimativa para a velocidade de translação deste vórtice aponta o valor de 2,30 cm/s com sentido para sudoeste.

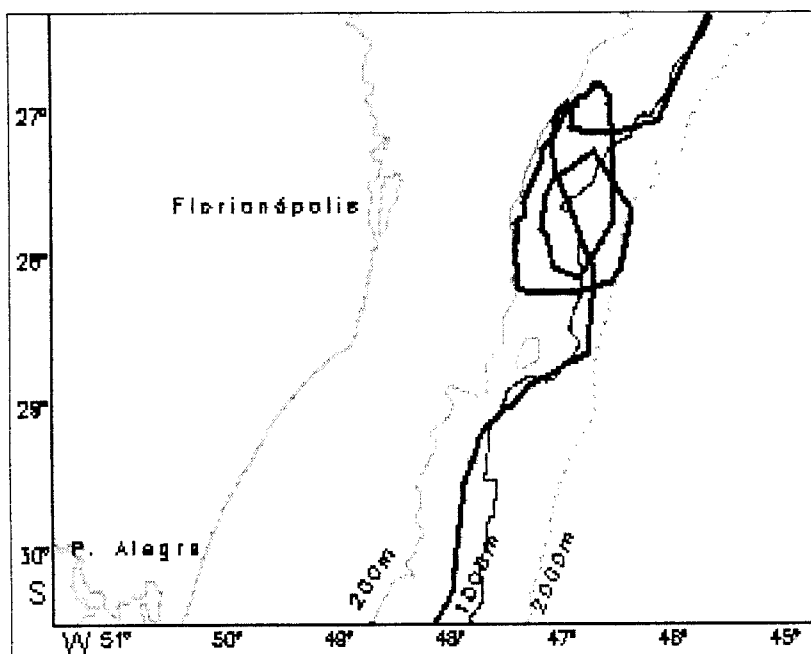


Fig. 5.9 - Vórtice semi-estacionário.

A partir das trajetórias dos derivadores lançados nos primeiros semestres de 1993, vide Figura 5.2, percebe-se a presença de meandramentos de grandes amplitudes na região onde foram detectados os vórtices no ano de 1993, Figuras 5.10 e 5.11. Isto parece indicar a presença de vórtices semi-estacionários na altura de Florianópolis. Embora as causas típicas para os vórtices semi-estacionários seja a interação da corrente com a topografia submarina e também a presença de cabos ou mudanças bruscas no contorno da costa, estas não parecem ser as únicas causas para os vórtices em questão, já que estes não foram detectados pelos derivadores no ano de 1994. Os vórtices semi-estacionários da região de Florianópolis foram detectados entre março e setembro de 1993.

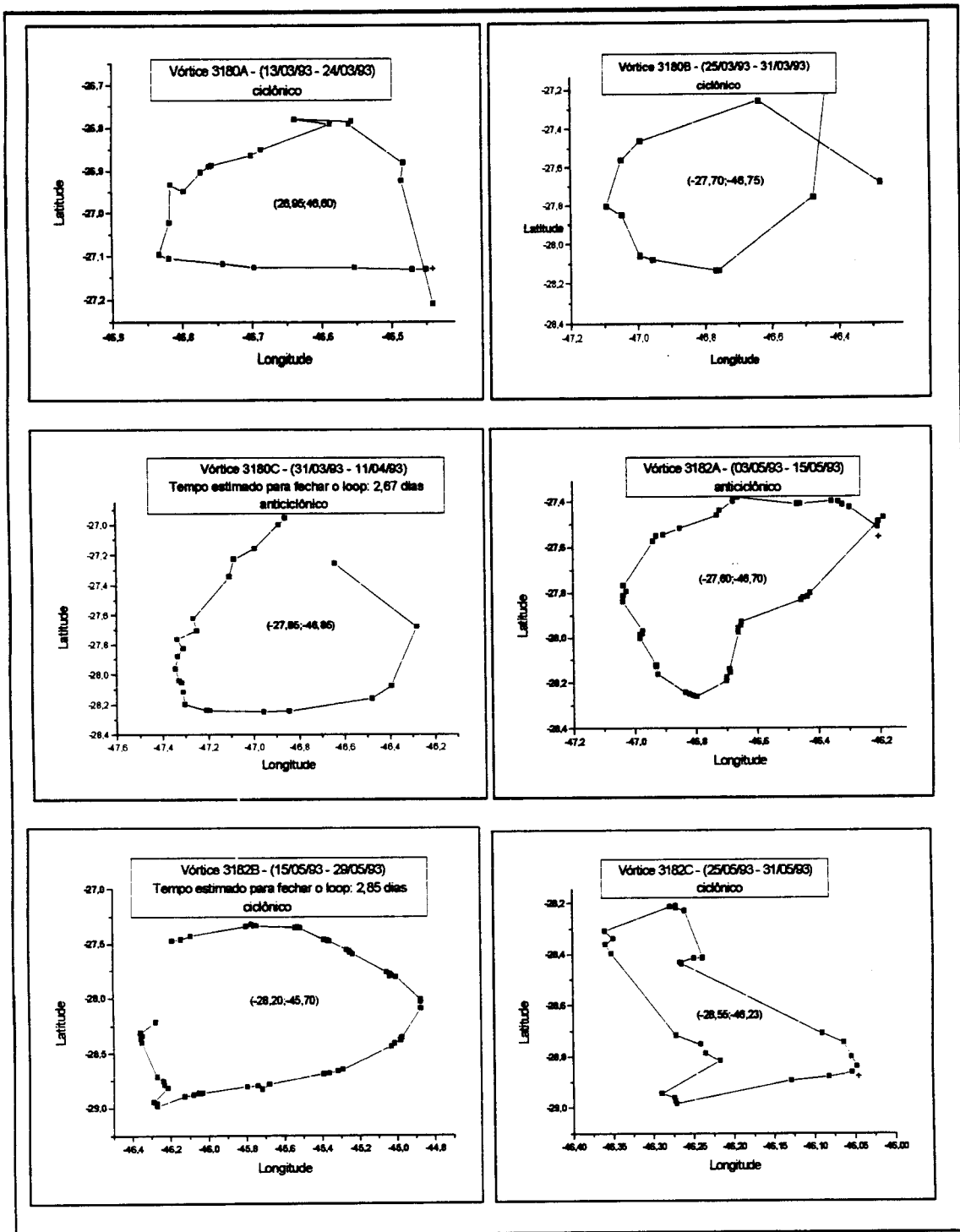


Fig. 5.10 - Vórtices detectados pelo primeiro grupo de derivadores.

A seguir serão descritos os vórtices detectados pelos derivadores 3183, 3185 e 3187, ou seja, o segundo grupo.

TABELA 5.17 - PARÂMETROS ASSOCIADOS AO SEGUNDO GRUPO DE VÓRTICES

LCD	Semi-eixo maior(km)	Semi-eixo menor(km)	Orientação do eixo-maior (graus)	Tempo para fechar o loop(dias)	V(cm/s)	TSM (°C)	σ (°C)
3183	76	65	32	25,0	20,6	20,3	0,8
3185A	73	52	57	12,0	38,0	22,0	0,5
3185B	59	33	142	23,0	14,8	23,2	0,7
3187	100	60	77	23,0	27,2	17,0	0,5

Conforme pode ser constatado na tabela anterior e na Figura 5.11, os vórtices detectados por estes derivadores apresentaram forma aproximadamente elíptica com períodos entre 12 e 25 dias. A Figura 5.11 ilustra a forma dos vórtices detectados pelo segundo grupo de derivadores.

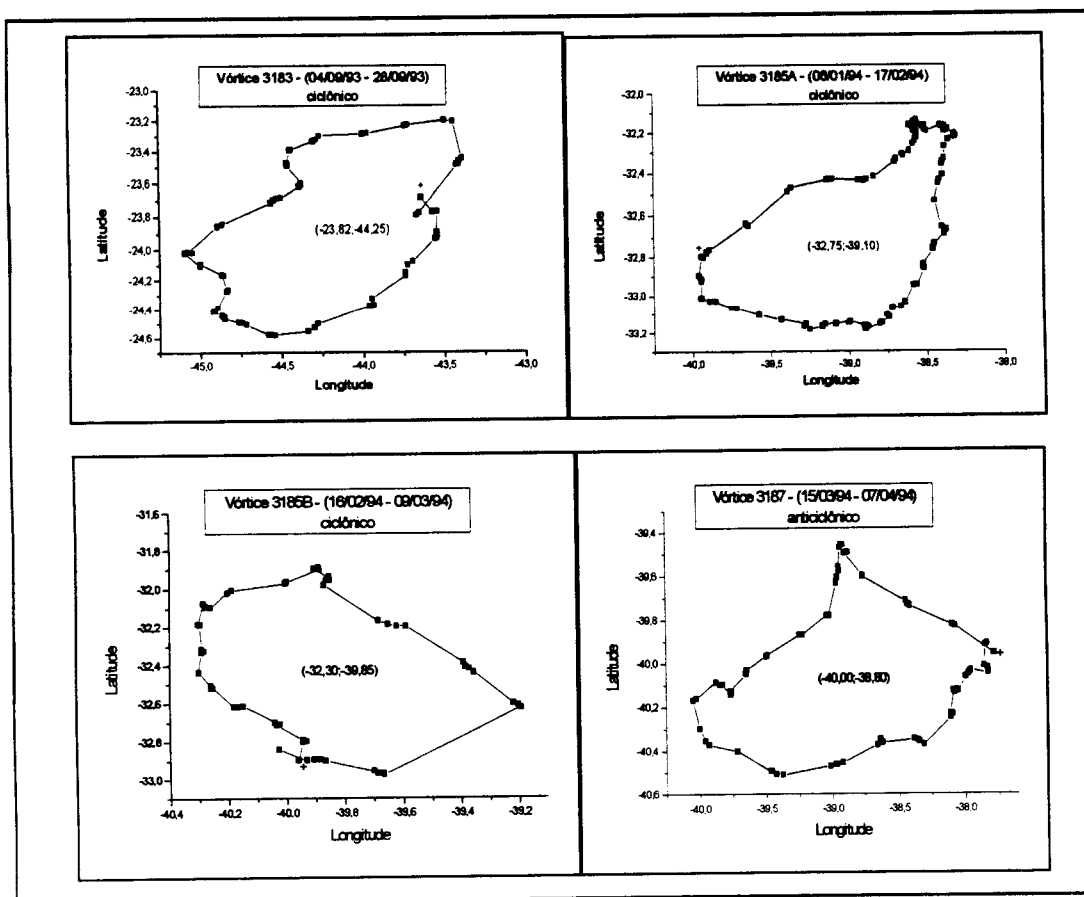


Fig. 5.11 - Vórtices detectados pelo segundo grupo de derivadores.

Os vórtices 3185B e 3187 apresentaram orientação preponderantemente zonal com dimensões entre 146 km e 200 km para o eixo-maior e 104 km e 120 km para o eixo menor. Os vórtices 3183 e 3185A apresentaram orientação predominantemente meridional com dimensões entre 118 km e 152 km para o eixo-maior e 66 km e 130 km para o eixo-menor. A TSM ao longo do perímetro destes vórtices ficou entre 17,0°C e 23,2°C e a velocidade tangencial média ficou entre 14,8 cm/s e 38,0 cm/s. Conforme pode ser observado na Figura 5.11, com excessão do vórtice 3183, todos foram detectados em latitudes mais altas, acima de 31°S. Portanto, em média, estes vórtices foram detectados mais ao sul quando comparados com os detectados pelo primeiro grupo de derivadores. O terceiro grupo de derivadores detectou oito vórtices, os quais serão agora descritos.

TABELA 5.18 - PARÂMETROS ASSOCIADOS AO TERCEIRO GRUPO DE DERIVADORES

LCD	Semi-eixo maior(km)	Semi-eixo menor(km)	Orientação do eixo-maior (graus)	Tempo para fechar o loop(dias)	V(cm/s)	TSM (°C)	σ (°C)
3190	31	30	74	8,0	27,9	21,4	0,2
3190	49	31	26	9,0	33,5	14,4	0,8
3191	90	70	38	23,0	25,5	21,9	0,3
3191	70	50	32	17,0	26,0	19,1	0,3
3191	108	90	141	23,0	32,8	17,1	0,4
3191	164	130	46	17,0	63,3	16,3	0,6
3192	130	64	60	9,0	43,8	21,8	0,2
3192	85	55	138	15,0	34,7	16,7	0,2

A tabela acima mostra que o período destes vórtices ficou entre 8 e 23 dias, com estes apresentando forma aproximadamente elíptica e com orientação predominantemente

meridional. Suas dimensões ficaram entre 62 km e 328 km para o eixo-maior e 61 km e 260 km para o eixo-menor. Os valores da TSM ao longo do perímetro destes vórtices ficou entre 16,7°C até 21,9°C. As velocidades tangenciais variaram desde 25,5 cm/s até 63,3 cm/s. A partir das Figuras 5.12 e 5.13, percebe-se que os derivadores detectaram estes vórtices centrados em latitudes entre 36,00°S, 43,25°W e 40,30°S, 52,50°W.

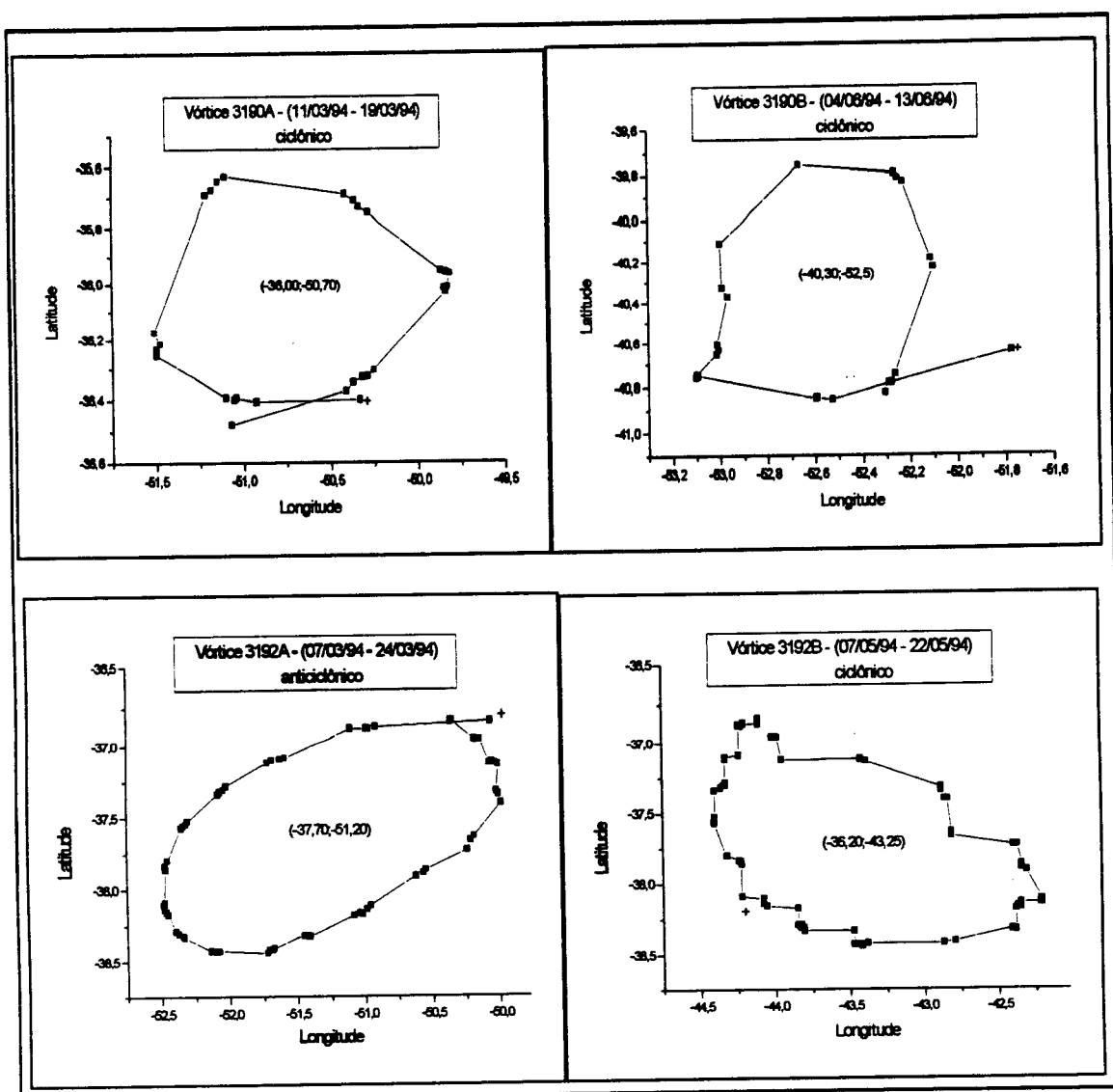


Fig. 5.12 - Vórtices detectados pelos derivadores 3190 e 3192.

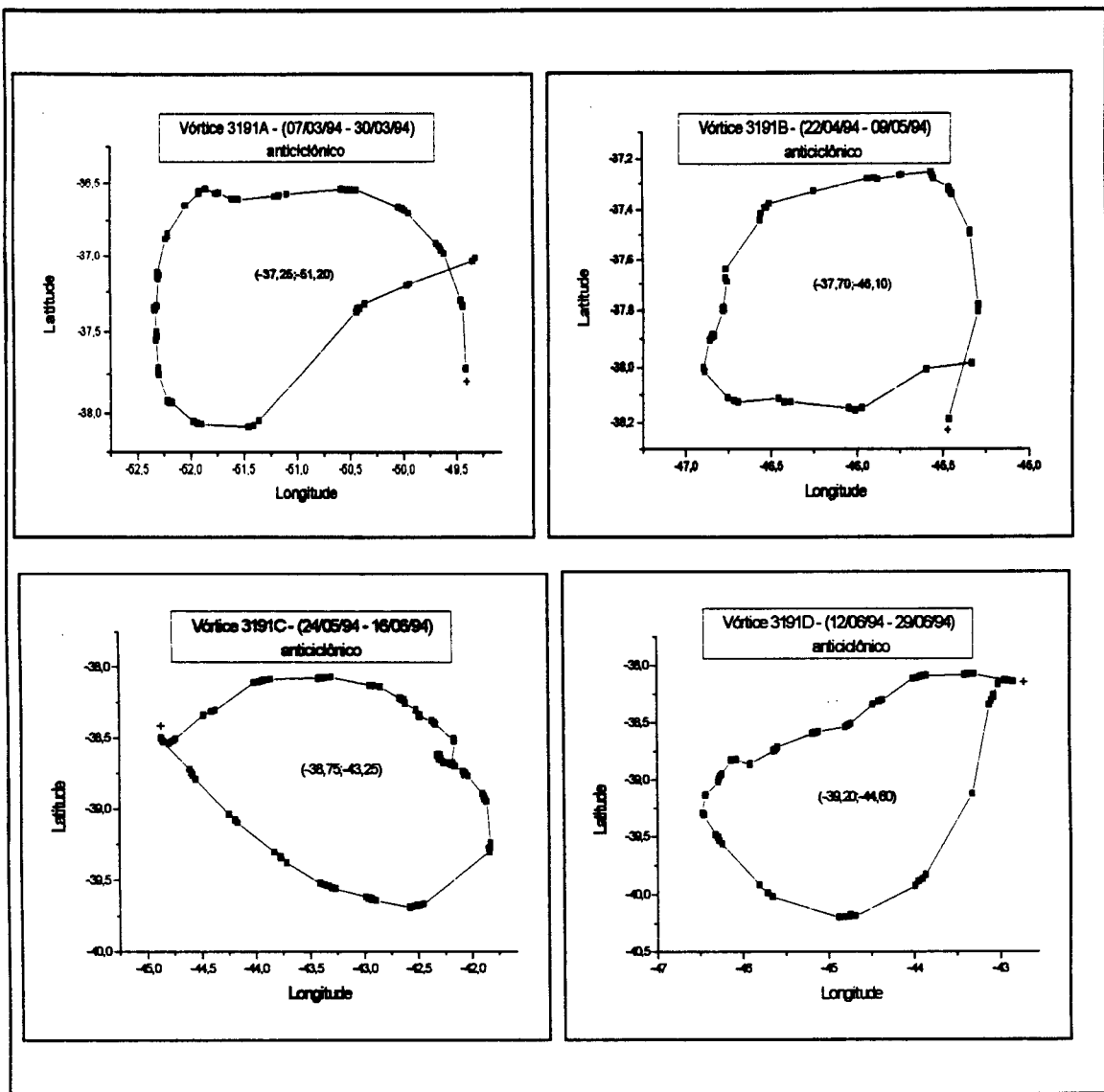


Fig. 5.13 - Vórtices detectados pelo derivador 3191.

5.6 - ANÁLISE ESPECTRAL

Os resultados das Análises Espectrais serão agora apresentados e discutidos. Conforme já foi citado no Capítulo 4 (Seção 4.6), equivalentemente ao lag (m) no método de Blackman e Tukey (1958), o Método da Máxima Entropia (MME) possui uma variável chamada comprimento do filtro de previsão de erro (LPEF) (Length of the Prediction Error Filter). Como também já discutido, a escolha do apropriado LPEF é assunto cheio de controvérsias. Neste trabalho, motivados pelas justificativas que seguem, optou-se pelo uso de 40% para o LPEF.

Baixos valores de LPEF resolvem picos somente em regiões de baixa periodicidades. Valores mais elevados de LPEF resolvem periodicidades altas, mas produz “Peak-splitting” nos picos resolvidos em menor resolução. A Figura 5.14 apresenta uma análise espectral pelo MME, em que se utilizou valores de 30 e 40% para o LPEF.

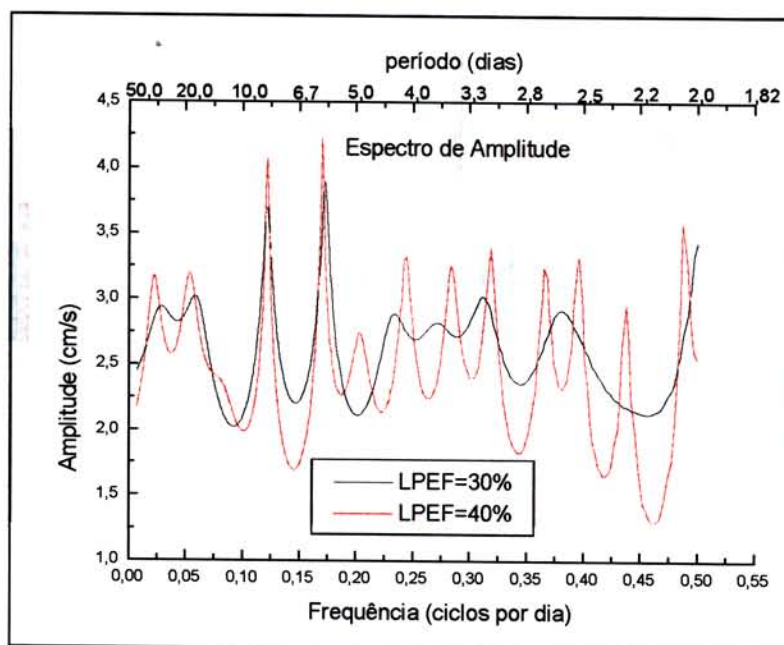


Fig. 5.14 - Análise espectral pelo MEM utilizando-se dois valores de LPEF.

A utilização de valores de LPFE iguais a 50 ou 60 não se mostrou adequada para os tipos de dados que dispusemos por ter levado a abundância de picos sem significância e, particularmente para este trabalho, porque busca-se investigar periodicidades baixas, tais

como devidas a passagem de frentes meteorológicas. Assim, utilizou-se LPEF igual a 40%, obtendo-se com isto menor largura de banda na periodicidade detectada, ou seja, maior resolução, porém sem se expor ao risco de considerar picos de pouca significância.

Conforme discutido no Capítulo 4 (Seção 4.6), as amplitudes estimadas pelo MME não são confiáveis, por isso, como sugerido em Kane (1977), Utilizou-se o MME somente para detectar as possíveis periodicidades T_i ($i = 1$ até n) sendo estas aplicadas na Análise de Regressão Múltipla (ARM), onde obteve-se as respectivas amplitudes. A Figura 5.15 apresenta as amplitudes de várias periodicidades detectadas pelo MME e aplicadas na ARM bem como os desvios padrões (σ) associados. É oportuno lembrar que amplitudes superiores ao dobro de σ são significantes a um nível de 95%.

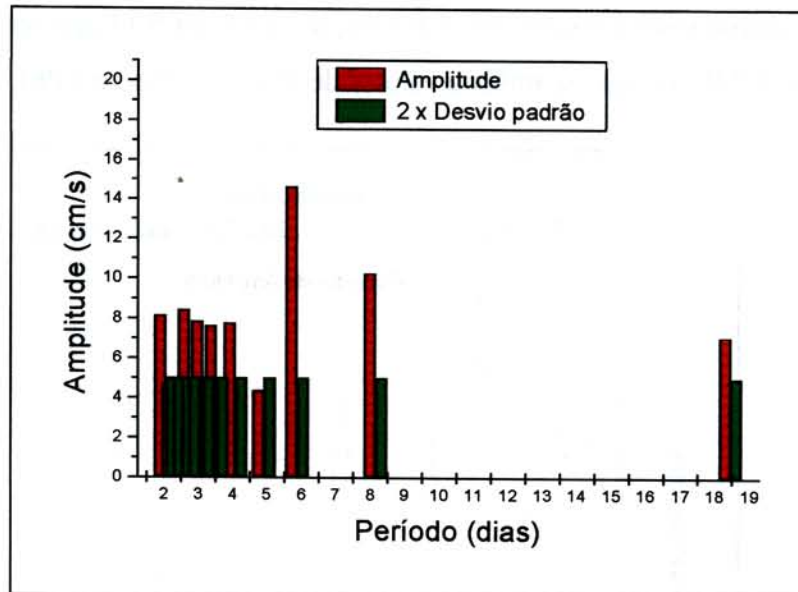


Fig. 5.15 - Amplitudes estimadas pela ARM.

Para esta ilustração foram utilizados os dados de velocidades destendenciadas da componente paralela à costa da trajetória 3180N. A PVE (porcentagem da variância explicada), presente nas tabelas que seguem, representa a porcentagem da variância total que é explicada pelas respectivas amplitudes. Os picos relativos a cada amplitude r_i contribuem com $r_i^2/2$ para a variância. Assim, a porcentagem de variância explicada (PVE) por cada r_i foi dada por $50 (r_i^2/\sigma^2)$, onde σ^2 é a variância da série. Nas tabelas, (\perp) e ($//$) significam, respectivamente, componente ortogonal e paralelo à costa.

TABELA 5.19 - PERIODICIDADES E AMPLITUDES PARA OS DADOS DE POSIÇÃO

Trajetória - Componente	Período (dias)		Amplitude (cm/s)	PVE
	intervalo	centro		
3180N - (\perp)	2,9 - 3,2	3,2	7,4	8,0
	4,2 - 5,0	5,0	6,0	9,0
	7,0 - 8,5	8,0	13,1	16,0
		11,0	8,8	2,5
		18,5	6,0	6,0
		46,0	12,0	5,0
3180N - (\parallel)	2,0 - 2,8	2,7	8,4	8,0
	3,1 - 4,0	5,0	7,3	16,0
	5,9 - 8,2	6,0	15,2	28,0
		19,6	8,7	7,0
		47,0	47,0	10,0

Através da Tabela 5.19 percebe-se que as componentes paralelas e ortogonais apresentaram as maiores amplitudes nos períodos de 6 e 8 dias respectivamente. Os picos para estes períodos explicaram 28% e 16% da variância, respectivamente. No caso do deslocamento paralelo à costa 42% da variância é explicada por picos com períodos entre 2 e 8,2 dias, enquanto que para a componente ortogonal à costa 54% da variância é explicada por estes picos. Percebe-se também que as amplitudes para a componente paralela são sempre maiores que para a componente ortogonal, evidenciando que a transferência de energia na direção paralela à costa é mais intensa.

Devido ao intervalo dos dados ser de um dia, picos de alta frequência com intervalos entre eles menor ou igual a este período, são considerados de uma mesma frequência. Assim os períodos com centro em 2,7 e 3,4 detectados na componente paralela, provavelmente são picos de uma mesma frequência.

Através de modelos numéricos e dados sobre o nível do mar, Stech (1990) detectou Ondas de Plataforma forçadas (OPF) com períodos em torno de 5 dias, na região em questão. Adams e Buchwald (1969) indicaram que o cisalhamento do vento é a forçante mais importante na geração das Ondas de Plataforma, embora estas dependam de outros parâmetros como, topografia de fundo, geometria da linha de costa, característica espacial e temporal da forçante e tempo de ajuste friccional da plataforma. Especula-se que os períodos entre 4 e 6 dias observados nas análises espectrais dos dados dos derivadores sejam relacionados a estas ondas.

Os períodos de 6, 8 e 11 dias parecem estar associados à entrada de frentes meteorológicas, as quais transferem energia ao sistema de ventos. Stech e Lorenzetti (1991), ao analisarem dados de vento, constataram dois picos de energia: um centrado em 6,5 dias e um secundário em 11 dias. Os autores associaram estes picos à entrada de sistemas meteorológicos. Os períodos encontrados a partir da análise dos dados da trajetória 3180N parecem estar associados as mesmas causas.

Os períodos de 19,6 e 47 na componente paralela e de 18,5 e 46 na componente ortogonal, podem estar associados à passagem de vórtices de meso-escala na Corrente do Brasil. Esta afirmação é calcada nos seguintes fatos: Sarukhanyan (1987), mostrou que as passagens de vórtices de meso-escala no oceano Austral levam a oscilações na velocidade de correntes com períodos de 20 a 60 dias, ou mais. Os vórtices analisados na seção 5.4 deste capítulo, possuem as mesmas características quanto a escalas horizontais e de velocidades que os detectados no Oceano Austral. Outros autores como Campos e Olson (1991) e Stevenson e Lorenzetti (1996) indicaram a presença de picos energéticos com períodos entre 50 e 60 dias no Atlântico Sudoeste.

As periodicidades detectadas pelo MME e as respectivas amplitudes obtidas pela ARM para todas as trajetórias estão dispostas nas tabelas que seguem. Nas discussões acima optou-se pela análise da trajetória 3180N por ter esta apresentado períodos que foram detectados nas demais trajetórias. Desta forma, as discussões feitas até aqui estendem-se para os períodos similares detectados nas demais trajetórias, os quais serão agora

afirmação é calcada nos seguintes fatos: Sarukhanyan (1987), mostrou que as passagens de vórtices de meso-escala no oceano Austral levam a oscilações na velocidade de correntes com períodos de 20 a 60 dias, ou mais. Os vórtices analisados na seção 5.4 deste capítulo, possuem as mesmas características quanto a escalas horizontais e de velocidades que os detectados no Oceano Austral. Outros autores como Campos e Olson (1991) e Stevenson e Lorenzetti (1996) indicaram a presença de picos energéticos com períodos entre 50 e 60 dias no Atlântico Sudoeste.

As periodicidades detectadas pelo MME e as respectivas amplitudes obtidas pela ARM para todas as trajetórias estão dispostas nas tabelas que seguem. Nas discussões acima optou-se pela análise da trajetória 3180N por ter esta apresentado períodos que foram detectados nas demais trajetórias. Desta forma, as discussões feitas até aqui estendem-se para os períodos similares detectados nas demais trajetórias, os quais serão agora apresentados. Os resultados das análises espectrais serão apresentados para cada conjunto de trajetórias, relativas a cada grupo de derivadores.

5.6.1 - CORRENTES COM SENTIDO PARA SUL (1º SEMESTRE DE 1993)

A Tabela 5.20 traz as periodicidades e as respectivas amplitudes detectadas para as trajetórias para sul dos derivadores lançados no 1º semestre de 1993. Nesta tabela são apresentados apenas os valores com os maiores PVE. A Tabela 1, no apêndice A traz todos os valores.

Pela análise da Tabela 5.20 percebe-se que as amplitudes para as componentes paralelas são maiores que para as componentes ortogonais, evidenciando que a transferência de energia na direção paralela à costa foi mais intensa. Comum a todas as trajetórias, os períodos entre 7,0 dias e 10,0 dias figuram entre os mais importantes em termos de PVE. As frequências correspondentes a estes períodos parecem estar diretamente associadas à frequência dos sistemas frontais que atuaram na região no período relativo a estas trajetórias.

TABELA 5.20 - RESULTADOS DA ANÁLISE ESPECTRAL DAS TRAJETÓRIAS PARA SUL DO 1º SEMESTRE DE 1993

Trajétoria - Componente	Extensão dos dados (dias)	Período (dias)	Amplitude (cm/s)	PVE
3178S - (⊥)	47	2,3	10,8	11,5
		4,6	9,6	9,0
		8,4	9,7	9,5
		12,0	9,13	6,0
		17,3	12,6	16,0
3178S - (//)	47	2,3	7,2	4,1
		4,1	5,9	2,8
		9,0	12,4	12,0
		11,9	13,7	19,0
		23,0	16,0	45,0
3179S - (⊥)	50	2,5	5,5	3,6
		9,9	13,6	23,0
		12,5	12,9	20,0
		18,3	9,8	12,0
3179S - (//)	50	4,6	11,4	8,6
		10,0	11,8	9,3
		15,9	13,45	12,0
		23,0	12,9	11,5
3180S - (⊥)	92	2,1	9,1	2,0
		5,7	8,3	4,0
		7,1	16,4	19,0
		10,9	12,5	11,0
		19,8	11,0	8,0
		30,4	10,5	7,0
3180S - (//)	92	2,6	15,3	6,5
		10,0	14,7	6,0
		12,7	17,6	11,0
		21,0	17,8	11,8
		40,4	12,8	9,0

A Tabela 5.21 traz a média mensal dos sistemas que atuaram entre 25°S e 35°S nos meses de fevereiro a abril de 1993, período médio de duração das trajetórias deste semestre.

TABELA 5.21 - SISTEMAS QUE ATUARAM NOS MESES DE FEVEREIRO, MARÇO E ABRIL EM 1993

	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL
Frequências (p/ mês)	3,0	4,0	4,0
Períodos (dias)	10	7,5	7,5

A Figura 5.16, na página seguinte, traz o resultado das análises espectrais para as séries de TSM relativas às trajetórias para sul dos derivadores lançados no primeiro semestre de 1993. Pela análise desta figura pode-se perceber a presença de relevantes amplitudes com períodos entre 7,5 dias e 8,5 dias, ou seja, com períodos na faixa relacionada a frentes meteorológicas. Picos importantes entre 9 dias e 16 dias também foram detectados. Os picos com períodos superiores a 20 dias talvez se devam ao início da mudança de estação climatológica, e ou a mudanças de posicionamento geográfico dos derivadores. Amplitudes correspondentes a períodos menores, entre 2 e 5 dias, foram detectadas, porém com valores abaixo da condição de 95% de confiança.

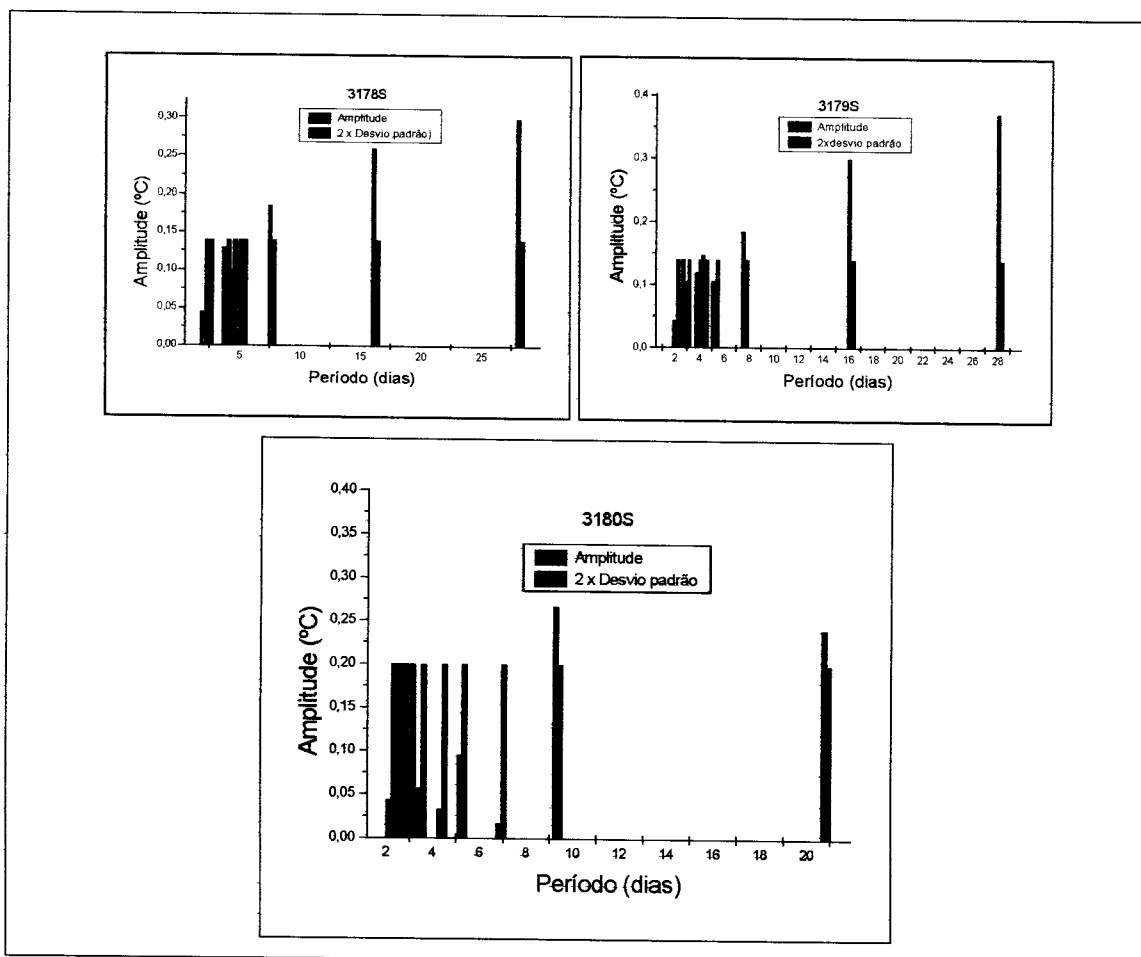


Fig. 5.16 - Espectros de amplitude da TSM para as trajetórias 3178S, 3179S e 3180S.

5.6.2 - CORRENTES COM SENTIDO PARA NORTE (1º SEMESTRE DE 1993)

A Tabela 5.22 apresenta apenas as periodicidades mais expressivas detectadas nas trajetórias para Norte. A Tabela 2, no apêndice A, traz todas as periodicidades detectadas. A partir da análise da Tabela 5.21 percebe-se que as amplitudes, para todos os períodos, é maior na componente paralela à costa, evidenciando que, também para as correntes para Norte, é na componente paralela que se dá a maior transferência de energia.

TABELA 5.22 - RESULTADOS DA ANÁLISE ESPECTRAL DAS TRAJETÓRIAS PARA NORTE DO 1º SEMESTRE DE 1993

Trajétoria - Componente	Extensão dos dados (dias)	Período (dias)	Amplitude (cm/s)	PVE
3178N - (⊥)	88	3,5	5,2	7,8
		4,6	4,0	4,7
		7,2	5,2	8,1
		12,0	6,9	14,2
		27,6	4,6	6,2
3178N - (//)	88	2,5	11,0	15,0
		5,0	12,5	13,0
		8,0	17,5	26,0
		11,0	8,8	6,0
		19,0	11,0	9,0
3179N - (⊥)	101	3,8	5,0	3,7
		6,7	5,5	2,9
		11,0	5,5	2,8
		12,6	6,5	3,9
		22,0	6,5	3,9
3179N - (//)	101	2,3	9,5	3,5
		4,1	8,6	3,2
		6,7	12,0	4,8
		11,3	9,5	3,6
		15,0	11,0	4,0
3180N - (⊥)	70	3,2	7,4	3,0
		4,2	6,0	5,0
		5,0	13,1	4,0
		7,0	8,8	5,0
		8,5	6,0	9,0
3180N - (//)	70	18,5	12,0	7,0
		46,0	14,0	6,0
		2,0	8,4	6,0
		4,0	6,8	5,0
		5,9	15,2	20,0
3180N - (//)	70	8,2	9,5	8,0
		19,6	8,7	7,0
		47,0	47,0	10,0

Os picos com períodos entre 6 e 8 dias chamam a atenção por estarem presentes na maioria das trajetórias e em ambas componentes, e ainda por apresentarem expressivos valores de amplitude. Estas frequências parecem estar associadas à entrada de sistemas frontais que atuaram na região na época correspondente a das trajetórias. Estas trajetórias, vide Tabela 5.3, são relativas aos meses de abril a julho de 1993. A Tabela 5.23 traz os períodos médios dos sistemas que atuaram entre 25°S e 35°S na época correspondente a das trajetórias 3178N, 3179N e 3180N.

TABELA 5.23 - SISTEMAS QUE ATUARAM NOS MESES DE ABRIL, MAIO, JUNHO E JULHO (1993)

	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO
Frequências (p/ mês)	4,0	3,0	5,0	4,0
Períodos (dias)	7,5	10,0	6,0	7,5

FONTE: Climanálise (1993).

Os períodos entre 6 e 10 dias detectados nas trajetórias para Norte parecem estar intimamente associados com a frequência de entrada dos sistemas frontais, apresentada na Tabela 5.23 acima. Pela análise desta tabela percebe-se que os períodos de atuação destes sistemas variou entre 6,0 e 10,0 dias. Outros picos que se mostraram bastante significativos são os com períodos entre 11 e 15 dias. Também estas trajetórias apresentaram periodicidades entre 18 e 40 dias, as quais supostamente se devam a vórtices e meandramentos da Corrente do Brasil. Os períodos entre 4,1 e 6 dias, supostamente devidos às OPFs, também aparecem nestas trajetórias.

A Figura 5.17 traz os espectros de amplitude da TSM para as trajetórias 3178N, 3179N e 3180N. Picos com períodos em torno de 7,5 dias foram detectados em todas as trajetórias, o que parece indicar que há relevante resposta da TSM ao regime das frentes meteorológicas. Porém, as maiores amplitudes correspondem a períodos de 27,5 dias, 28 dias e 46 dias, os quais poderiam ser explicados pela progressiva mudança espacial dos derivadores ou pelas variações sazonais. Estes períodos podem estar relacionados, também, às periodicidades de rotação dos vórtices. A partir das Tabelas 5.15, 5.16 e

5.17 vê-se que o tempo para fechamento dos loops (períodos) é próximo destes períodos obtidos na análise espectral.

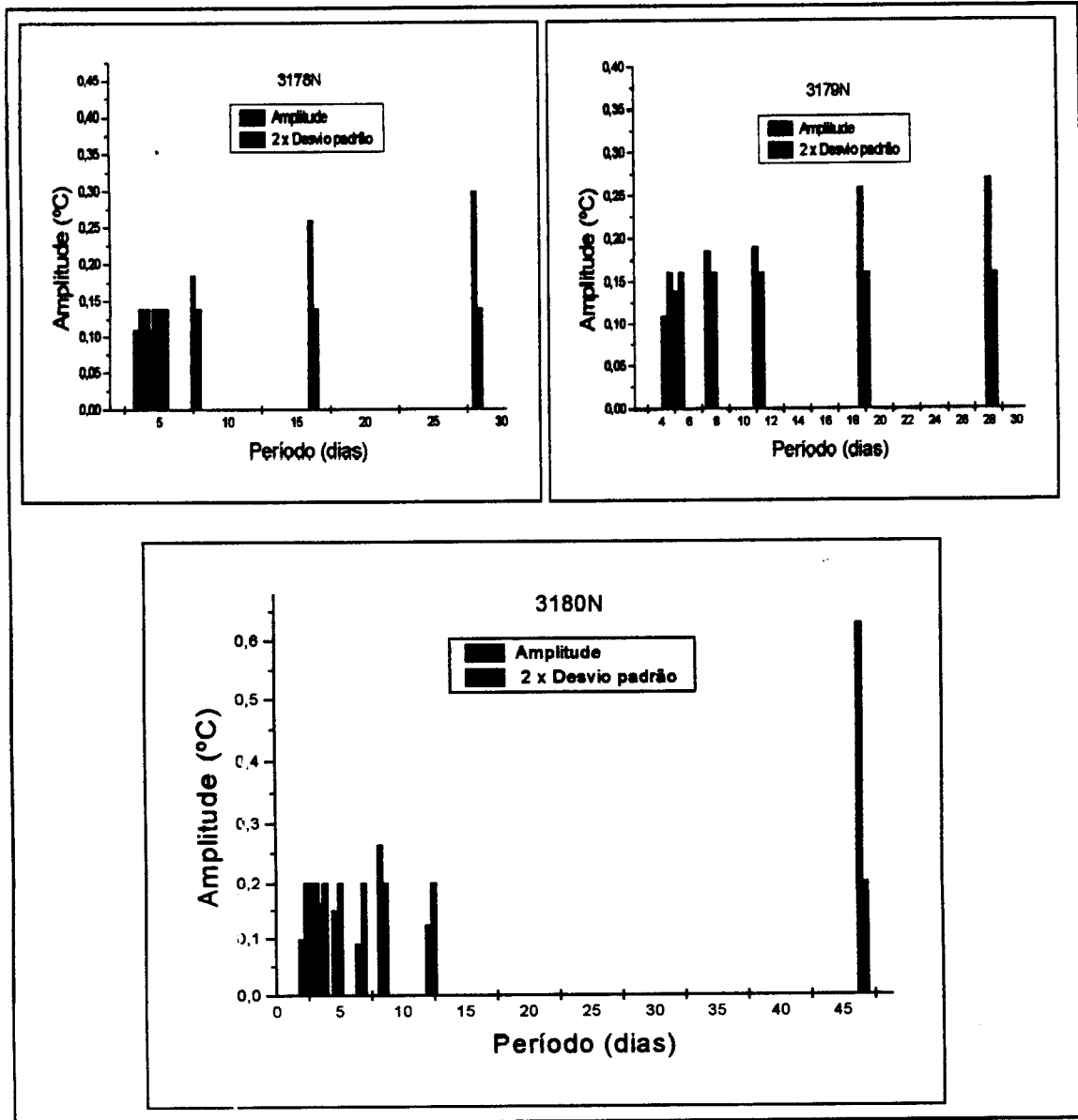


Fig. 5.17 - Espectros de amplitude da TSM para as trajetórias 3178N, 3179N e 3180N.

5.6.3 - CORRENTES COM SENTIDO PARA SUL (2º SEMESTRE DE 1993)

Serão apresentados e discutidos, nesta seção, o resultado das análises espectrais para os dados de velocidade das trajetórias para Sul dos derivadores lançados no segundo semestre de 1993. A Tabela 5.24, a seguir, traz os resultados destas análises.

**TABELA 5.24 - RESULTADOS DA ANÁLISE ESPECTRAL DAS
TRAJETÓRIAS PARA SUL DO 2º SEMESTRE DE 1993**

Trajétoria - Componente	Extensão dos dados (dias)	Período (dias)	Amplitude (cm/s)	PVE
3185S - (⊥)	103	4,9	11,0	8,0
		5,7	9,6	6,0
		11,0	9,2	5,6
		13,7	8,9	5,4
		23,3	11,7	9,6
		72,0	12,0	10,1
3185S - (//)	103	3,2	12,6	8,5
		5,1	10,5	5,8
		8,8	11,0	6,6
		32,2	11,5	7,0
		88,0	11,1	6,5
3187S - (⊥)	128	2,3	14,2	6,0
		5,4	13,2	5,0
		6,5	16,0	8,0
		17,3	16,0	16,0
		32,0	18,0	24,0
		61,0	16,9	19,0
3187S - (//)	128	4,1	20,5	7,5
		8,3	18,0	19,0
		31,2	21,8	31,0
		66,0	16,0	17,0

As amplitudes associadas às componentes paralelas se apresentaram maiores também para estas trajetórias, como pode ser visto na tabela acima. Picos consequentes da entrada de sistemas meteorológicos também se fazem presentes. Os sistemas frontais que atuaram na região no período relativo a estas trajetórias, ou seja, julho a outubro, apresentaram períodos entre 5 e 7,5 dias, conforme pode ser observado na Tabela 5.25, abaixo.

**TABELA 5.25 - SISTEMAS QUE ATUARAM NOS MESES DE JULHO,
AGOSTO, SETEMBRO E OUTUBRO DE 1993**

	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO
Frequências (p/ mês)	4,0	4,0	6,0	5,0
Períodos (dias)	7,5	7,5	5,0	6,0

FONTE: Climanálise (1993).

Assim, os picos com períodos entre e 5 e 7,5 dias presentes nestas trajetórias seriam explicados pelo fato anteriormente exposto. Os dois picos com períodos iguais a 8,3 dias e 8,8 dias, curiosamente aparecem apenas na componente paralela. Para estas trajetórias os picos mais energéticos correspondem aos períodos entre 17 e 35 dias, o que seria explicado pelas progressivas variações sazonais ou pelas mudanças regionais dos derivadores. Os períodos entre 4,1 dias e 5,4 dias estariam associados às OPFs.

5.6.4 - CORRENTES COM SENTIDO PARA SUL (1º SEMESTRE DE 1994)

As análises espectrais que serão agora apresentadas e discutidas dizem respeito às trajetórias para Sul dos derivadores lançados no 1º semestre de 1994. A Tabela 5.27 na página seguinte, traz as periodicidades que apresentaram os maiores PVEs, ou seja, as periodicidades cujas amplitudes explicam a maior parte da variância. Conforme pode ser observado a partir desta tabela, quase que comum a todas as trajetórias, amplitudes com períodos entre 6,0 dias e 7,5 dias figuram como responsáveis por explicar grande parte da variância dos dados. Estes períodos parecem ter uma relação direta com a frequência de entrada de sistemas meteorológicos, conforme pode ser constatado a partir da Tabela 5.26, abaixo. Esta tabela traz a frequência mensal de entrada de sistemas frontais para o período relativo às trajetórias.

TABELA 5.26 - SISTEMAS QUE ATUARAM NOS MESES DE JANEIRO A FEVEREIRO E MARÇO DE 1994

	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO
Frequências (p/ mês)	5,0	5,0	4,0
Períodos (dias)	6,0	6,0	7,5

FONTE: Climanálise (1994).

**TABELA 5.27 - RESULTADOS DA ANÁLISE ESPECTRAL DAS
TRAJETÓRIAS PARA SUL DO 1º SEMESTRE DE 1994**

Trajétoria - Componente	Extensão dos dados (dias)	Período (dias)	Amplitude (cm/s)	PVE
3188S - (⊥)	40	2,9	19,6	5,5
		5,3	33,5	18,0
		7,6	36,6	21,0
		17,8	39,5	23,0
3188S - (//)	40	2,6	34,7	10,0
		6,7	32,2	9,0
		10,0	31,4	8,0
		19,0	56,0	25,0
3189S - (⊥)	69	5,4	13,2	5,0
		6,5	16,0	8,0
		8,4	13,0	5,0
		17,3	23,0	16,0
		32,0	28,0	24,0
3189S - (//)	69	4,1	20,5	7,5
		8,3	33,0	19,0
		15,6	24,4	10,0
		31,2	41,8	31,0
3190S - (⊥)	41	3,5	10,1	6,1
		4,3	9,8	5,7
		7,3	12,8	9,8
		10,5	25,8	40,0
		15,8	16,5	16,3
3190S - (//)	41	4,1	25,1	26,0
		5,2	11,0	5,0
		6,5	20,3	17,0
		11,3	16,7	12,0
		22,8	15,4	10,0
3191S - (⊥)	39	2,6	17,7	7,0
		9,2	36,5	30,0
		14,4	30,3	21,0
3191S - (//)	39	3,5	21,2	10,5
		5,3	29,3	21,0
		8,6	23,9	14,0
		17,1	21,9	12,0
3192S - (⊥)	38	2,9	20,7	8,0
		4,9	23,9	11,0
		10,0	31,0	18,0
3192S - (//)	38	2,7	30,0	11,9
		4,1	32,0	12,5
		7,6	31,5	11,8
		13,8	21,0	5,5

Os períodos em torno de 5 dias e os maiores, entre 10 e 15 dias talvez se devam a modificações no campo da pressão atmosférica causadas pelas passagens destes sistemas. Devido ao fato de serem estas séries curtas, as periodicidades associadas aos vórtices

somente foram detectadas pelas trajetórias 3188 e 3189, que são um pouco mais extensas. Outro fato bem salientado na Tabela 5.27 é que as componentes paralelas são mais energéticas do que as ortogonais. Isto vem novamente evidenciar que as transferências de energia para a Corrente do Brasil se faz sobretudo na componente paralela à costa. Todas as trajetórias mostraram periodicidades entre 4,1 dias e 5,4 dias as quais especula-se estarem associadas às OPFs.

A Figura 5.18, na página seguinte, traz os espectros de amplitude da TSM para as trajetórias 3188S, 3189S, 3190S, 3191S e 3192S. Vê-se que picos com períodos entre 7,5 dias e 9 dias estão presentes em todas as trajetórias. Estes picos estariam diretamente associados à entrada de sistemas frontais. As amplitudes mais altas dizem respeito às periodicidades maiores, em torno de 30 dias, as quais podem estar relacionadas a progressivas mudanças de estação climatológica ou aos gradientes horizontais de temperatura devidos às variações espaciais dos derivadores.

Fazendo-se uma análise global, percebe-se que os picos associados aos períodos correspondentes aos sistemas meteorológicos acompanharam a tendência de variação destes ao longo do ano. Nota-se também que as amplitudes foram sensivelmente mais elevadas no primeiro semestre de 1994.

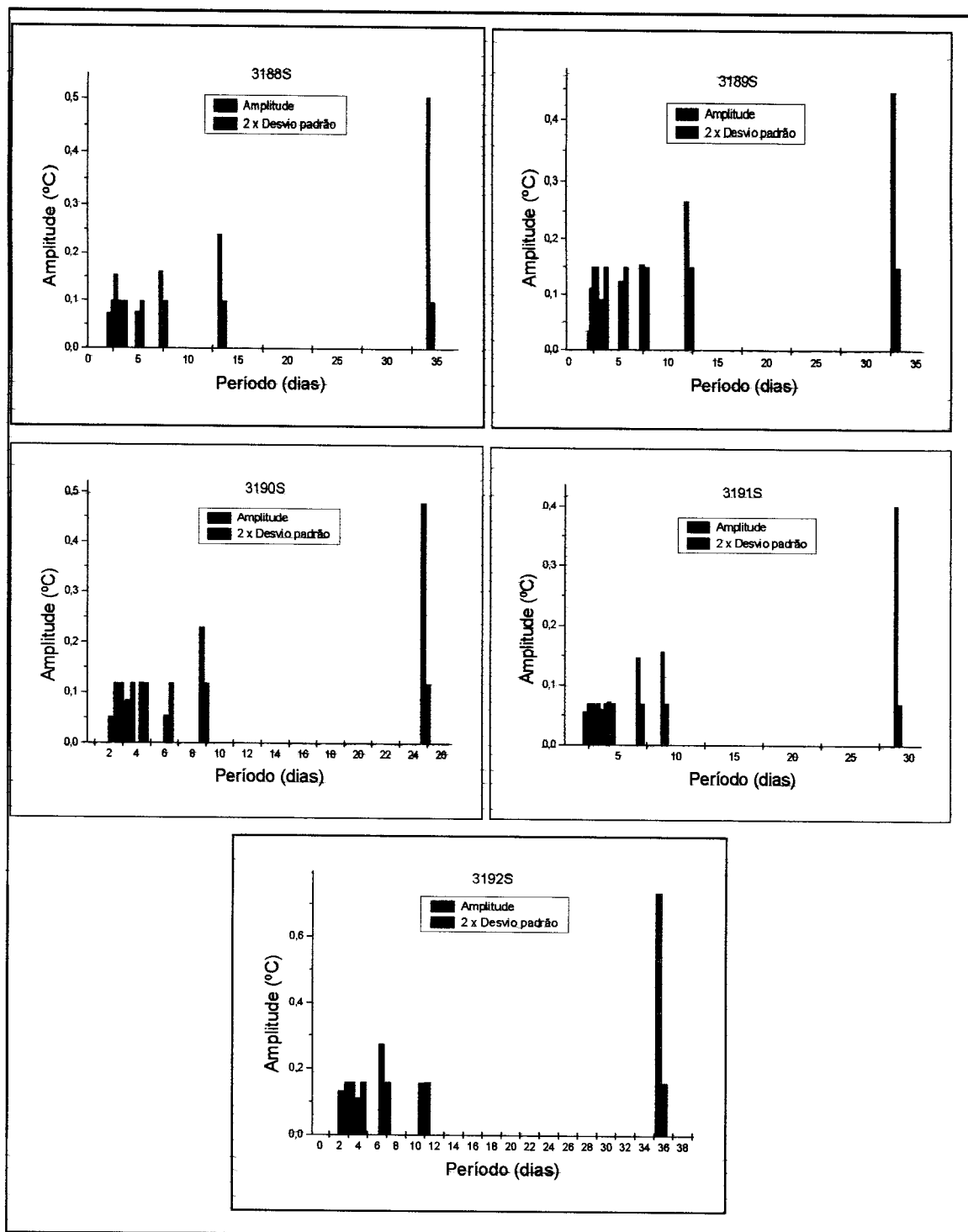


Fig. 5.18 - Espectros de amplitude da TSM para as trajetórias 3189S, 3190S, 3191S e 3192S.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Um dos objetivos deste trabalho foi observar os parâmetros associados às trajetórias para sul dos derivadores lançados na Corrente do Brasil e suas deflexões. As análises foram feitas por grupo de derivadores lançados na mesma época para que ficasse assegurada, ainda que de forma aproximada, correspondência espacial entre os derivadores de cada grupo. Os resultados foram expressos em termos de condições médias relativas aos semestres nos quais foram lançados os derivadores. Não se assumiu a opção de fazer estas análises segundo as estações do ano (sazonalidade), devido ao seguinte fator:

-os derivadores foram lançados em datas que não correspondiam a meses iniciais das duas estações marcantes (verão-inverno), vide Tabela 3.1. Desta forma, se fossem analisados os subconjuntos de dados referentes aos meses tipicamente de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) os mesmos seriam apenas de fevereiro. E da mesma forma, se fossem analisados os subconjuntos de dados referentes aos meses tipicamente de inverno (junho, julho e agosto), os mesmos seriam para poucos dias de julho e para agosto. Assim, os resultados deste trabalho referem-se às condições médias observadas nas correntes para sul e para norte verificadas no primeiro e segundo semestre de 1993 e primeiro semestre de 1994. A partir destas análises pôde-se verificar que a borda oeste da Corrente do Brasil, seja no primeiro semestre, seja no segundo semestre, apresenta uma tendência bastante uniforme quanto ao fato de se deslocar sobre as isóbatas de 200 m, 1000 m e 2000 m. Quanto aos valores de velocidade média, estas parecem estar altamente condicionadas à época do ano. No segundo semestre, período no qual a frequência de entrada de sistemas meteorológicos é maior, o fluxo médio da Corrente do Brasil mostrou-se mais perturbado o que reflete em menores valores de velocidades médias. Isto parece indicar que as perturbações de meso-escala, representadas pela passagem de frentes meteorológicas interferem no deslocamento médio da borda oeste da Corrente do Brasil. Este fato reflete também sobre a TSM média, a qual apresentou-se, em média, 5°C menor no segundo semestre. As observações feitas entre o primeiro semestre de 1993 e 1994, mostraram uniformidade quanto à direção de deslocamento, porém as velocidades médias variaram muito. O ano de 1993 foi um ano anômalo quanto

ao regime de sistemas meteorológicos, o que pode ter sido a causa das variações observadas no padrão médio da velocidade da Corrente do Brasil verificada entre os anos de 1993 e 1994. Isto parece reforçar a hipótese da significativa influência das perturbações de meso-escala para o regime de deslocamento da Corrente do Brasil.

Os valores de energias cinéticas apresentaram variações semi-anuais, com acentuadas diferenças entre o primeiro semestre de 1993 e primeiro semestre de 1994, o que aponta para prováveis diferenças interanuais no padrão de circulação. Em geral, os valores de energias encontrados neste trabalho estiveram de acordo com os valores comumente encontrados na literatura. Atualmente o programa de oceanografia do INPE está lançando derivadores programados para transmitir continuamente durante todo o dia, isto é, não somente no intervalo de 0:00 e 08:00 horas como utilizado nos derivadores deste trabalho. Com os dados obtidos através destes novos derivadores será possível observar as flutuações de altas frequências, removidas neste trabalho.

As deflexões observadas no primeiro semestre de 1993, devidas a intrusão da Corrente das Malvinas, não foram verificadas pelos derivadores no primeiro semestre de 1994. Isto parece sugerir que a penetração da Corrente das Malvinas ao longo da costa brasileira não ocorre todo ano, e sua ocorrência, verificada no primeiro semestre de 1993, coincide com um ano anômalo quanto ao regime médio climatológico.

Dois grupos de derivadores, os lançados no segundo semestre de 1993 e os lançados no primeiro semestre de 1994, foram defletidos em latitudes médias de 34,9°S e 37,9°S, respectivamente, e após isto apresentaram trajetórias predominantemente para fora da costa. Este fato está de acordo com os resultados de Olson *et al.* (1988) e Gordon e Greengrove (1986). Porém, um dos grupos, os lançados no primeiro semestre de 1993, foi defletido em latitudes mais baixas, em torno de 30°S. Estes derivadores foram os que, após as deflexões, fluíram para norte ao longo da Plataforma Continental Brasileira (PCB) por influência da Corrente das Malvinas. Dos três grupos de derivadores lançados, apenas este lançado no primeiro semestre de 1993 detectou a penetração da extensão da Corrente das Malvinas. Isto coincide com o fato de terem sido estes os que sofreram deflexões em menores latitudes. Este conjunto de fatos dá margem a seguinte

especulação: A penetração do ramo costeiro da Corrente das Malvinas ao longo da PCB não apresenta uma ocorrência regular e quando ocorre, faz com que a região de encontro das águas quentes da Corrente do Brasil com as águas frias das Malvinas seja deslocada para latitudes menores, de 36°S para 30°S. Brandhorst e Castello (1971) e Zyryanov e Severov (1979), atribuíram as variações na posição média de deflexão da Corrente do Brasil, às mudanças de pequena escala no campo de vento ao longo da costa da América do Sul.

Os derivadores foram capturados por vários vórtices cujos períodos de rotação variaram desde 6,0 dias até 25,0 dias. Estes vórtices apresentaram forma elíptica com orientação predominantemente meridional. Os semi-eixos maiores e menores variaram, respectivamente, de 19 km a 164 km e 17 km a 130 km. Eles apresentaram velocidades tangenciais que variaram desde 12,2 cm/s até 63,3 cm/s e a TSM na periferia destes vórtices variou entre 16,7°C e 26,0°C. Os vórtices detectados entre 37,5°S e 40°S são anticiclônicos, o que coincide com os resultados de Legeckis e Gordon (1982), enquanto os vórtices detectados em latitudes mais baixas, entre 23,5°S e 32,7°S são ciclônicos.

Um procedimento que confere um padrão morfológico mais realístico e que permite maior confiabilidade nas dimensões dos vórtices detectados pelos derivadores, consiste em se extrair das séries relativas aos vórtices as velocidades de translação destes, como utilizado por Sanderson (1995). A Figura 6.1, a seguir, mostra o efeito de tal procedimento.

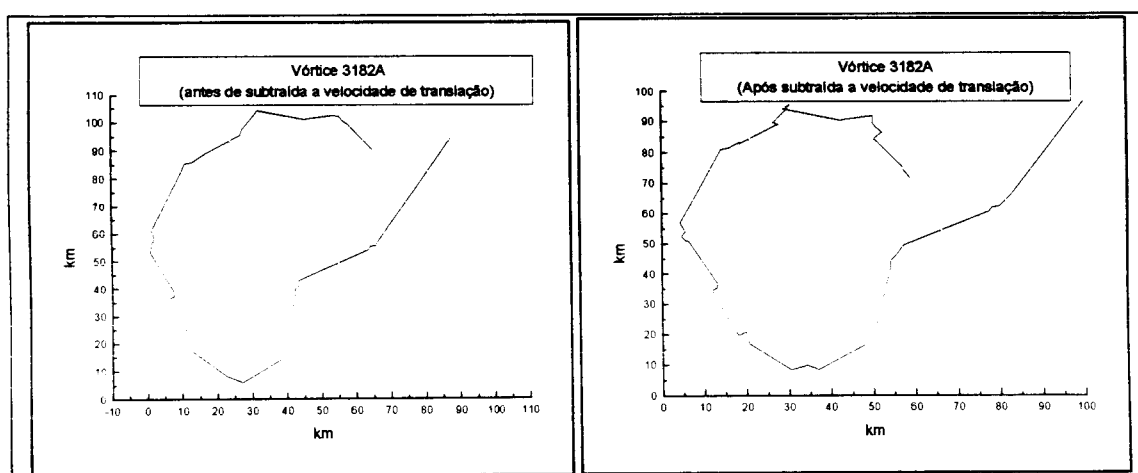


Fig 6.1 – Vórtice antes e após subtraída a velocidade de translação.

Pela Figura 6.1, percebe-se que o procedimento de subtração da velocidade de translação confere ao vórtice uma forma mais circular. Isto tem consequências diretas sobre as estimativas de dimensão de tais vórtices, sobretudo no sentido meridional. Pela figura percebe-se que os semi-eixos no sentido zonal e meridional são respectivamente, 33 km e 59 km antes de subtraída a velocidade de translação e 29 km e 45 km após subtraída a velocidade de translação. A importância deste procedimento foi verificada nos dias do fechamento deste trabalho o que, devido a restrições de tempo, não permitiu que se introduzisse tais modificações nos vórtices apresentados neste trabalho. Assim, as dimensões apresentadas na seção 5.5 devem superestimar, sobretudo no sentido meridional, os eixos dos vórtices. Portanto, para trabalhos futuros que visem estudar os vórtices utilizando dados de derivadores, sugere-se a aplicação do procedimento de extração da velocidade de translação das séries relativas aos vórtices.

A análise espectral pelo MEM (Método da Máxima Entropia) associado ao ARM (Análise de Regressão Múltipla) mostrou-se bastante eficiente em fornecer indicações do conteúdo espectral contido nas séries temporais dos LCDs. Os resultados mostraram que a principal fonte de energia para os períodos observados são os efeitos meteorológicos juntamente com as energias transferidas pelos vórtices e meandramentos do Atlântico Sudoeste. Os sinais de alta frequência não foram detectados em função do intervalo utilizado ter sido de um dia. A maior parte da variância dos dados foi explicada por picos entre 6 e 10 dias, seguidos por picos entre 20 e 50 dias. De uma forma geral, os resultados das análises espectrais confirmaram a alta influência das perturbações de meso-escala sobre o fluxo médio da borda oeste da Corrente do Brasil. Picos com períodos entre 4 e 6 dias também se fizeram significativos, os quais sugerem estar associados a Ondas de Plataforma forçadas. Isto aponta para a aplicabilidade dos derivadores para estudos de fenômenos costeiros que até então vêm sendo estudados sobretudo através de correntômetros.

Embora para este trabalho não se dispusesse de dados que permitissem uma profunda análise quantitativa da influência das condições atmosféricas para a Corrente do Brasil, as análises qualitativas apresentadas parecem evidenciar a importância de se promover estudos que visem correlacionar dados meteorológicos com dados de correntes. Isto

justificaria a utilização de LCDs equipados com sensores de pressão ou anemômetros complementado pelo acompanhamento da frequência e intensidade das entradas de sistemas meteorológicos, o que viabilizaria este tipo de estudo a nível quantitativo. Técnicas de análise espectral cruzada como utilizadas por Lorenzetti (1976) e Souza (1992), poderiam fornecer informações importantes nestes aspectos.

A constante presença dos vórtices na Corrente do Brasil bem como suas dimensões, verificadas neste trabalho, apontam a grande importância destas feições oceanográficas para a circulação local. Este fato já foi levantado por vários autores, dentre eles Ikeda e Stevenson (1985), Olson *et al.* (1988) e Lorenzetti *et al.* (1994). Isto justificaria a necessidade de se promover futuros estudos que conjuguem dados de LCDs, CTDs, XBTs e imagens AVHRR, para que se busque uma melhor compreensão dos mecanismos geradores destes vórtices.

A exemplo do que vem ocorrendo em todos os oceanos, aponta-se aqui a necessidade de se promover lançamentos de derivadores em maior número, e em escala temporal e espacial que forneça dados suficientes para que se possa conhecer de forma ampla as variações em tempo e espaço das águas do Atlântico Sudoeste. Existem ainda poucos estudos que fizeram uso de derivadores nas águas da região em questão, e este realizado pelo Projeto COROAS consistiu no primeiro idealizado pelo Brasil. As informações obtidas a partir destes estudos têm importância que vão desde a geração de subsídios para uma melhor compreensão e previsão do clima no Brasil, até impactos diretos para a indústria pesqueira local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, J.K.; Buchwald, V.T. The generation of continental shelf waves. **Journal Fluid Mechanics**, v.35, n.7, p. 815-826, 1969.
- Collecte, Localisation, Satellites (CLS/Service Argos). Service Argos. Guide to the Argos System. Toulouse, France, 1989.
- Collecte, Localisation, Satellites (CLS/Service Argos). Service Argos. Guide to the Argos System. Toulouse, France, 1991.
- Barnett, T.P.; Hasselmann, K. Techniques of linear prediction with application of oceanic and atmospheric fields in the tropical Pacific. **Journal of Geophysical**, v.17, n.8, p. 949-968, 1979.
- Blackman, R.B.; Tukey, J.W. **The measurement of power spectra**. New York: Dover Publications, 1958. 190 p.
- Brandhorst, W.; Castello, J.P.; Evaluación De Los Recursos De Anchoíta (*Engraulis anchoíta*) Frente a La Argentina y Uruguay. In: Simpósio de Conhecimento atual sobre a Anchoíta, e os planos para sua avaliação. **Proyeto de Desarrollo Pesquero**. Buenos Ayres, 1971, 63 p. (Série Informe Técnico, 29).
- Brown, J.; Colling, A.; Park, D.; Phillips, J.; Rothery, D.; Wright, J. **Ocean currents in ocean circulation**. Oxford: The Open University/ Pergamon Press, 1991. v.1, cap. 2, p. 31-72.
- Campos, E. J. D.; Olson, D. B.; Stationary Rossby Waves in western boundary currents extensions. **Journal of Physical Oceanography**, v.21, n.8, p. 1202-1224, 1991.
- Campos, E.J.D.; Ikeda, Y.; Castro Filho, B.M.; Gaeta, S. A.; Lorenzzetti, J.A.; Stevenson, M. R.; Experiment studies circulation in the Western South Atlantic. **EOS, Transactions, American Geophysical Union**, v.77, n.27, p. 253-259, 1996.
- Castro Filho, B. M.; Campos, E.J.D.; Mascarenhas Jr., A.S.; Ikeda, Y.; Lorenzzetti, J.A.; Garcia, C.A.E.; Möller Jr., O.O. **Diagnóstico ambiental oceânico e costeiro das regiões Sul e Sudeste do Brasil**. São Paulo, FUNDESPA, 1994. v.3. p. 04-214.
- Castro Filho, B. M.; **Subtidal response to wind forcing in the south Brazil bight during winter**. Miami, 211p.. (Ph.D. Dissertation in Ocean Physics). Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science University of Miami. Miami, Flórida. 1985.
- Castro Filho, B. M.; **Correntes e massas de água da plataforma continental norte de São Paulo**. São Paulo. 248 p. Tese (Livre Docência em Oceanografia). Universidade de São Paulo, 1996.

- Chhabra, N. K.; Dahlen, J.M. and Scholten, J.R.; Calibration of the Draper Lab. Low Cost Drifter (LCD). **Charles Stark Draper Lab. CSDL-R1906**, 1987. 137p.
- Climanálise**: boletim de monitoramento e análise climática. São José dos Campos, V. 8, n. 1-12, 1993.
- Climanálise**: boletim de monitoramento e análise climática. São José dos Campos, V. 9, n. 1-12, 1994.
- Davis, J.C. **Statistics and data analysis in geology**. New York: John Wiley, 1973. 533 p.
- D'Asaro, E.A. Estimation of velocity from Argos-tracked surface drifters during OCEAN STORMS. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 9, n. 5, p. 680-686, 1992.
- Ekman, V.W. On the influence of the earth's rotation on ocean currents. **Astronomy and Ocean Fysic**, v. 2, n.11, p. 1-53, 1905.
- Garfield, N. **The Brazil current at subtropical latitudes**. Rhode Island. 122 p. (PH.D. Dissertation in Ocean Physics). University of Rhode Island, 1990.
- Garraffo, Z.; Garzoli, S.L.; Haxby, W.; Olson, D. Analysis of a General Circulation Model 2. Distribution of Kinetic Energy in the South Atlantic and Kuroshio/Oyashio Systems. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n.C12, p. 20, 139-20,153, 1992.
- Glenn, S. M.; Forristall, G. Z.; Cornillon, P.; Milkowski, G. Observations of Gulf Stream Ring 83-E and their interpretation using feature models, **Journal of Geophysical**, v. 95, n. 13, p. 43-63, 1990.
- Glenn, S. M.; Ebbesmeyer, C. C. Drifting Buoy Observations of a Loop Current Anticyclonic Eddy. **Journal of Geophysical Research**, v. 98, n. C11, p. 20.105-20.119, 1993.
- Global Drifter Center at NOAA/AOML [Online]**
< URL:<http://inspire.ospi.wednet.edu:8001/curric/oceans/drifters/drifters.html>>.
20 de fev. 1997
- Gordon, A. L. Brazil-Malvinas Confluência. **Deep-Sea Research**, v.36, n.4, p. 359-384, 1984.
- Gordon, A.L.; Greengrove, C.L. Geostrophic circulation of the Brazil-Falkland Confluence. **Deep-Sea Research**, v. 33, n.5, p. 573-585, 1986.
- Halliday, D.; Resnick, R. **Fundamentos de física**. 3 ed. Rio de janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991.v.4. 296 p.

- Hoffer, R.; Njoku, E.G.; Waters, J.W. Microwave radiometric measurements of sea surface temperature from the seasat satellite: first Results. *Science*, v.212, p. 1385 - 1387, ago. 1981.
- Hoerner, S. H.F., **Fluid dynamics drag**, 2. ed., New York: Dover Publications, 1965. 442p.
- Ikeda, Y.; Stevenson, M. R. Estimation of Annual Heat Flux Balance at the Sea Surface From SST (NOAA-SATELLITE) and Ships Drift Data off Southeast Brazil. *Boletim do Instituto Oceanográfico da USP*, v.33, n.2. p. 99-104, 1985.
- Jenkins, G.M.; Watts, D.G. **Spectral analysis and its applications**. San Francisco, CA: Holden-Day, 1968. 525 p.
- Kane, R.P.; Trivedi, N.B. **Comparison of maximum entropy spectral analysis (MESA) and least-squares linear prediction (LSLP) methods for some artificial samples**. São José dos Campos: INPE, 1982. 6 p. (INPE-2044-RPI/051).
- Kane, R.P. **Merits and demerits of the maximum entropy spectral analysis (MESA) method**. São José dos Campos: INPE, 1985. 10 p. (INPE-3590-PRE/787).
- Kane, R. P. Relationship between QBOs of stratospheric winds, ENSO variability and Other atmospheric parameters. *International Journal of Climatology*, v. 14, n.12, p. 435-447, 1992.
- Kane, R.P.; Trivedi, N.B. **Maximum entropy spectral analysis of the geological time series of the oxygen isotope record from deep-sea colors**. São José dos Campos: INPE, 1993. 25 p. (INPE-5465-PRE/1773).
- Kantor, I.J.; Trivedi, N.B. Espectro de potência do campo magnético pelo método da entropia máxima. *Revista Brasileira de Física*, v.10, n.3, p. 569-590, 1980.
- Kirwan, A. D.; Jr., W. J.; Merrill, Jr.; Lewis, J. K.; Whitaker, R. E.; Legeckis, R. A model for the analysis of drifter data with an application to a warm core ring in the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, v.89, n. C5, p. 3425-3438, 1984.
- Kirwan, A. D.; Lewis, A. W.; Reinersman, P.; Quintero, I. Observed and simulated kinematic properties of Loop Current rings. *Journal of Geophysical Research*, v. 93, n. C2, p. 1189-1198, 1988.
- Krauss, W. On the slippage of deep-drogued drifters. *Journal Of Geophysical Research*, v. 101, n. C1, p. 1309-1319, 1996.
- Legeckis, R.; Gordon, A. L.; Satellite Observations of the Brazil and Falkland Currents, 1975 to 1976 and 1978. *Deep-Sea Research*, v.36, n. 3, p. 359-384, 1982.

- Lemos, C. F.; Calbete, N. O.; Sistemas frontais que atuaram no litoral do Brasil (Período 1987-1995). In: **Climanálise Especial**. V. 11 p.131-134, Ago. 1996. Edição comemorativa de 10 anos. Centro de Previsão de Tempo e estudos Climatológicos-CPTEC. Resumos
- Limeburner, R.; Beardsley, R.C.; Soares, I.D.; Lentz, S.J.; Candela, J.; Lagrangian flow observations of the Amazon River discharge into the North Atlantic. **Journal of Geophysical Research**, v.100, n.C2, p. 2401-2415, 1995.
- Lorenzetti, J. A. **Aplicação da técnica de análise espectral cruzada ao estudo da correlação entre oscilações do nível do mar observadas em Cananéia e Bom Abrigo**. São Paulo. 118 p. Tese (Mestrado em Oceanografia Física) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976.
- Lorenzetti, J.A.; Stevenson, M. R.; Silva, C.L. da; de Souza, R.B.; Behavior of a Semi Permanent Eddy as Observed from AVHRR Images and WOCE Drifters. **The South Atlantic: Present and past Circulation**, Bremen, Germany. 15-19 August, 1994.
- Mackas, D.L.; Crawford, W.R.; Niiler, P.P. A performance comparison for two Lagrangian drifter designs. **Atmosphere-Ocean**. v.27, n.2, p.443-456, 1989.
- MacNally, G.L.; Patzert, W.C.; Kirwan Jr., A.D.; Vastano, A.C.; The Near-surface circulation of the North Pacific using satellite tracked drifting buoys. **Journal of Geophysical Research**, v. 88, n.C7, p. 4355-4367, 1983.
- Matano, R. P. **A Numerical study of the circulation in the South Atlantic Ocean**. (Ph.D. Dissertation in Ocean Physics), 177 p. Princetown University, 1991.
- Matano, R. P. On the separation of Brazil current from the coast. **Journal of Physical Oceanography**, v.23, n.1, p.79-90, 1993.
- Neumann, G.; Pierson, N. W. **Principles of physical oceanography**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1966. 544 p.
- Niiler, P. P.; Davis, R.E.; White, H.J. Water-following characteristics of a mixed layer drifter. **Deep-Sea Research**, v.34, n. 11, p. 1867-1881, 1987.
- Niiler, P.P.; Paduan, J.D.; Wind-driven motions in the northeast Pacific as measured by Lagrangian drifters. **Journal of Physical Oceanography**. v.25, n.12, p. 2819-2830, 1995.
- Olson, D. B.; Podestá, G. P.; Evans, R. H.; Brown, O. B.; Temporal Variations in the Separation of Brazil and Malvinas Currents. **Deep-Sea Research**, v.35, n.12, p. 1971-1990, 1988.
- Otto, L.; Van Aken, H.M.; Surface Circulation in the northeast Atlantic as observed with drifters. **Deep-Sea Research**. I, v.43, n.4, p. 467-499, 1996.

- Patterson, S.L. Surface circulation and kinetic energy distributions in the Southern Hemisphere Oceans from FGGE Drifting Buoys. **Journal of Geophysical Research**, v. 15, n. C1, p. 865-884, 1985
- Peterson, R. G.; Stramma, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v.26, n.1, p. 1-73, 1991.
- Pickard, G.L. **Descriptive physical oceanography**. Oxford: Pergamon Press, 1963. 192 p.
- Pickard, G.L. **Descriptive physical oceanography: an introduction**. 5 ed. Oxford: Pergamon Press, 1990. 230 p.
- Piola, A. R.; Figueiroa, H. A.; Bianchi, A. A. Some Aspects of the Surface Circulation South of 20°S Revealed by First Garp Global Experiment drifters. **Journal of Geophysical Research**, v.92, n.C5, p. 5101-5114, May, 1987.
- Potter, D.W.; Johnson, L. **The oceans currents, 1995**. [Online]
<URL: <http://inspire.ospi.wednet.edu:8001/curric/oceans/drifters/ocecur.html>>
20 de fev. 1997.
- Press, W.H.; Flannery, B.P.; Teukolsky, S.A.; Vetterling, W.T. Fourier transform spectral methods. In: **Numerical recipes in - the art of scientific computing**. Cambridge, CA, University Press, 1989. cap. 12, p. 430-435.
- Radosky, H.R.; Fougere, P.F.; Zawalick, E.J. A comparison of power spectral estimates and applications of the maximum entropy method. **Journal of Geophysical Research**, v.80, n.C4, p.619-625, 1975.
- Richardson, P.L. Eddy kinetic energy in the North Atlantic from surface drifters. **Journal of Geophysical Research**, v. 88, n.C7, p. 4355-4367, May 1983.
- Robinson, I.S. **Satellite oceanography: an introduction for oceanographers and remote-sensing scientists**. Chichester: Ellis Horwood, 1985. 455 p.
- Sanderson, B.G. Structure of an eddy measured with drifters. **Journal of Geophysical Research**, v.100, n.C4, p. 6761-6776, 1995.
- Sarukhanyan, E.I. **Structure and variability of the Antarctic Circumpolar Current**. New Delhi: Balkema/ Rotterdam, 1987. 108p.
- Schäfer, H.; Krauss, W. Eddy statistics in the South Atlantic derived from drifters drogued at 100m. **Journal of Marine Research**, v.53, n. C7, p.403-431, 1995.
- Schmid, C.; Schäfer, H.; Podestá, G.; Zenk, W.; The Vitória eddy and its relation to the Brazil Current. **Journal of Physical Oceanography**, v.25, n. 11, p.2532-2546, 1995.

- Silva Jr., C.L.; **Comparação da circulação obtida através da trajetória de uma bóia de deriva rastreada por satélite e de dados hidrográficos no estreito de Bransfield.** São José dos Campos. 155 p. (INPE-4946 -TDL/387). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989.
- Silva Jr., C.L.; Stevenson, M.R.; Carvalhais, H.B.; Souza, R.B. Evaluation of the surface layer circulation in Bransfield Strait utilizing hydrographic data and drifting buoys tracked by NOAA 10 and 11 satellites. In: Simposio Latinoamericano de Percepcion Remota, 5., Cuzco, Peru, 28 out. - 01 nov. de 1991. São José dos Campos, INPE, 1991, v.2, p. 980-1000.
- Souza, R.B. **Estudo da circulação superficial ao norte do Estreito de Bransfield, Antártica.** São José dos Campos. 161 p. (INPE-5472-TDI/503). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992.
- Stabeno, P.L.; Reed, R.K. Recent Lagrangian measurements along the Alaska Stream. **Deep-Sea Research**, v.38, n.3, p. 289-296, 1991.
- Stech, J. L. **Um estudo comparativo da dinâmica da circulação de inverno entre as plataformas continentais das costas sudeste do Brasil e dos Estados Unidos utilizando um modelo numérico.** São Paulo, 227 p. Tese (Doutorado em Oceanografia)– Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 1990.
- Stech, J. L.; Lorenzetti, J. A. The subtidal wintertime dynamics of the South Brazilian Bight as seen through a barotropic circulation model. **Física de la Tierra** n.3, p. 283-306, 1991.
- Stech, J. L.; Lorenzetti, J. A. The Response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n.C6, p. 9507-9520, 1992.
- Stevenson, M. R. **Subsurface Currents off the Oregon Coast.** Corvallis, OR. 140 p. (Ph.D. Dissertation). Oregon State University, June, 1966.
- Stevenson, M.R.; Miller, F.R. **Application of High Resolution Infrared and Visual data to investigate changes and the relationship between sea surface temperatures and cloud patterns over the Eastern Tropical Pacific.** La Jolla, CA: Inter-American Tropical Tuna Comission, 1972. 84p.
- Stevenson, M.R.; Souza, R.B.; Silva Jr., C.L. Comparison of positional data from two anchored buoys with the atmospheric pressure field at Ubatuba, SP - Brazil. in **Simpósio sobre Oceanografia**, 2., São Paulo, 21 - 25 out., 1991a.(Não publicado).

- Stevenson, M.R.; Silva Jr., C.L.; Carvalhais, H.B.; Arlino, P.R.A. Intercomparison of trajectories of 3 drifting buoys tracked by satellites in the Strait of Bransfield, Antarctica. In: Simpósio Latinoamericano de Percepção Remota, 5., Cuzco, Peru, 28 out. - 01 nov. 1991. **Anais. São José dos Campos, INPE, 1991b, v.2, p. 1012-1027.**
- Stevenson, M.R.; Souza, R.B. Heat transport in the surface layer East of the Drake Passage estimated from a WOCE drifter - first results. In: Medrano-B, R.A.; Pereira, E.B. ed. **Ciências espaciais e da atmosfera na Antártica.** São Paulo: Transtec, 1994. p. 117-129.
- Stevenson, M.R. Recirculation of the Brazil Current South of 23°S. **International WOCE Newsletter**, n.22, p. 30-32, 1996.
- Stevenson, M.R.; Castro Filho, B.M. Comparisons of surface layer currents determined by satellite tracked drifters and *in situ* anchored current meters off Southeast Brazil. In: International Symposium on Resource and Environmental Monitoring - ISPRS; Viena, P. 86 – 93. maio, 1996
- Stevenson, M.R.; Lorenzetti, J. A. Use of the S-Transform for Obtaining Spectra from Drifter Time Series. **International WOCE Newsletter**, 146/96: 14-17, 1996.
- Stevenson, M.R.; Assireu, A.T. Medição da corrente circumpolar Antártica durante a XV Expedição à Antártica. **Informativo CIRM**, v.8, n.2, p. 10, 1997.
- Stevenson, M.R.; Dias-Brito, D.; Stech, J.L.; Kampel, M. How do cold water biota arrive in a tropical bay near Rio de Janeiro, Brazil? Submetido à **Continental Shelf Research**, 1997.
- Sybrandy, A. L.; Niilen, P.P.; WOCE/TOGA **Lagrangian drifter-construction manual.** Califórnia, CA. University of Califórnia, 1991. 92 p.
- Stommel, H. The westward intensification of wind-driven ocean currents. **Trans. American Geophysics Union**, v.29, n.4, p. 202-206, 1948.
- Stramma, L.; Ikeda, Y.; Peterson, R.G. Geostrophic transport in the Brazil Current region north of 20°S. **Deep-Sea Research**, v.37, n.12, p. 1875-1886, 1990.
- Strong, A.E.; McClain, E.P. Improved ocean surface temperatures from space-comparisons with drifting buoys. **Bulletin American Meteorological Society**, v.65, n.2, p. 138-142, 1984.
- Sverdrup, H. U.; Johnson, M.W.; Fleming, R.H. **The Oceans.** Englewood Cliffs, N.J.:Prentice-Hall, 1947. 1060 p.
- Ulrych T. J.; Bishop T.N. Maximum Entropy Spectral analysis and autoregressive decomposition, **Review of Geophysical. Space Physical**, v.13, p.183-192, 1975.

Vachon, W.A. Drifters In: Dobson, E.; Hasse, L. ; Davis, R.; ed. **Air-sea Interaction instruments and methods**. New York: Plenum, 1980. cap. 11, p. 201-218.

Vuolo, J.H. **Fundamentos da teoria de erros**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 241p.

WOCE Data. Information Unit. [Online] < URL: <http://www.ocean.tamu.edu/woce/General/Synopsis/purpose.html>. > 20 de fev. 1997.

Zyryanov, V.N.; Severov, D.N.; Water Circulation in the Falkland-Patagonia Region and its seasonal variation. **Oceanology**, v.19, n. 12, p. 518-522, 1979.

APÊNDICE A

**TABELA 1 - RESULTADOS DA ANÁLISE ESPECTRAL DAS TRAJETÓRIAS
PARA SUL DO 1º SEMESTRE DE 1993**

Trajectoria Componente	Extensão dos dados (dias)	Período (dias)	Amplitude (cm/s)	PVE
3178S - (L)	47	2,3	10,8	11,5
		3,5	8,2	6,0
		3,9	7,2	5,0
		4,6	9,7	9,5
		6,2	8,6	7,5
		8,4	9,6	9,0
		12,0	9,3	6,0
		17,3	12,6	16,0
3178S - (//)	47	2,3	7,2	4,1
		3,1	5,7	2,7
		4,1	5,9	2,8
		6,6	6,2	3,0
		9,0	12,4	12,0
		11,9	13,7	19,0
		23,0	16,0	45,0
		3179S - (L)	50	2,5
3,5	5,2			3,3
9,9	13,6			23,0
12,5	12,9			20,0
18,3	9,8			12,0
38,8	14,0			24,0
3179S - (//)	50	4,6	11,4	8,6
		5,3	11,0	8,0
		6,4	9,5	6,5
		10,0	11,8	9,3
		15,9	13,45	12,0
		23,0	12,9	11,5
3180S - (L)	92	2,1	9,1	2,0
		3,0	6,9	3,0
		3,9	7,3	3,0
		5,7	8,3	4,0
		7,1	16,4	19,0
		10,9	12,5	11,0
		19,8	11,0	8,0
		30,4	10,5	7,0
3180S - (//)	92	2,2	14,3	6,0
		2,6	15,3	6,5
		4,8	11,5	4,0
		5,8	8,7	3,0
		7,4	9,8	3,5
		10,0	14,7	6,0
		12,7	17,6	11,0
		21,0	17,8	11,8
		40,4	12,8	9,0

APÊNDICE B

**TABELA 2 - RESULTADOS DA ANÁLISE ESPECTRAL DAS TRAJETÓRIAS
PARA NORTE DO 1º SEMESTRE DE 1993**

Trajectoria - Componente	Extensão dos dados (dias)	Período (dias)	Amplitude (cm/s)	PVE
3178N - (L)	88	2,3	4,6	6,1
		3,2	4,6	6,2
		3,5	5,2	7,8
		4,6	4,0	4,7
		5,6	3,6	3,0
		7,2	5,2	8,1
		12,0	6,9	14,2
		27,6	4,6	6,2
3178N - (//)	88	2,5	11,0	15,0
		5,0	12,5	13,0
		8,0	17,5	26,0
		11,0	8,8	2,5
		19,0	11,0	6,0
		46,0	15,8	9,0
3179N - (L)	101	2,3	4,9	2,3
		2,7	4,9	2,5
		3,8	5,0	3,7
		6,7	5,5	2,9
		11,0	5,5	2,8
		12,6	6,5	3,9
		22,0	6,5	3,9
3179N - (//)	101	2,1	8,0	2,8
		2,3	9,5	3,5
		2,7	8,4	3,0
		4,1	8,6	3,2
		6,7	12,0	4,8
		11,3	9,5	3,6
		15,0	11,0	4,0
		23,6	10,2	4,5
3180N - (L)	70	2,9	11,4	3,0
		3,2	7,4	5,0
		4,2	6,0	4,0
		5,0	13,1	5,0
		7,0	8,8	9,0
		8,5	6,0	7,0
		18,5	12,0	6,0
		46,0	14,0	5,0
		3180N - (//)	70	2,0
2,7	8,4			2,0
3,1	7,4			6,0
3,5	7,3			5,0
4,0	6,8			5,0
5,9	15,2			20,0
8,2	9,5			8,0
19,6	8,7			7,0
47,0	47,0			10,0

APÊNDICE C

**TABELA 3 - RESULTADOS DA ANÁLISE ESPECTRAL DAS TRAJETÓRIAS
PARA SUL DO 2º SEMESTRE DE 1993**

Trajétoria - Componente	Extensão dos dados (dias)	Período (dias)	Amplitude (cm/s)	PVE
3185S - (⊥)	103	3,2	2,6	2,5
		3,9	7,0	3,5
		4,9	11,0	8,0
		5,7	9,6	6,0
		7,5	6,2	4,0
		11,0	9,2	5,6
		13,7	8,9	5,4
		23,3	11,7	9,6
3185S - (//)	103	72,0	12,0	10,1
		3,2	12,6	8,5
		3,6	10,6	5,9
		5,1	10,5	5,8
		8,8	11,0	6,6
		13,6	7,3	3,0
		32,2	11,5	7,0
		88,0	11,1	6,5
3187S - (⊥)	128	2,3	14,2	6,0
		4,2	9,8	3,0
		5,4	13,2	5,0
		6,5	16,0	8,0
		8,4	13,0	5,0
		10,8	8,7	2,0
		17,3	16,0	16,0
		32,0	18,0	24,0
3187S - (//)	128	61,0	16,9	19,0
		2,2	12,3	3,0
		4,1	20,5	7,5
		8,3	18,0	19,0
		15,6	14,4	10,0
		31,2	21,8	31,0
66,0	16,0	17,0		

APÊNDICE D

**TABELA 4 - RESULTADOS DA ANÁLISE ESPECTRAL DAS TRAJETÓRIAS
PARA SUL DO 1º SEMESTRE DE 1994**

	Extensão dos dados (dias)	Período (dias)	Amplitude (cm/s)	PVE
3188S - (L)	40	2,1	18,5	5,0
		2,9	19,6	5,5
		5,3	33,5	18,0
		7,6	36,6	21,0
		17,8	39,5	23,0
3188S - (//)	40	2,6	34,7	10,0
		6,7	32,2	9,0
		10,0	31,4	8,0
		19,0	56,0	25,0
3189S - (L)	69	2,3	14,2	6,0
		4,2	9,8	3,0
		5,4	13,2	5,0
		6,5	16,0	8,0
		8,4	13,0	5,0
		10,8	8,7	2,0
		17,3	23,0	16,0
32,0	28,0	24,0		
3189S - (//)	69	2,2	12,3	3,0
		4,1	20,5	7,5
		8,3	33,0	19,0
		15,6	24,4	10,0
		31,2	41,8	31,0
3190S - (L)	41	2,9	7,6	3,6
		3,5	10,1	6,1
		4,3	9,8	5,7
		7,3	12,8	9,8
		10,5	25,8	40,0
		15,8	16,5	16,3
3190S - (//)	41	2,2	13,9	8,0
		3,0	10,7	5,0
		4,1	25,1	26,0
		5,2	11,0	5,0
		6,5	20,3	17,0
		11,3	16,7	12,0
		22,8	15,4	10,0
3191S - (L)	39	2,3	23,4	12,0
		2,6	17,7	7,0
		9,2	36,5	30,0
		14,4	30,3	21,0
3191S - (//)	39	3,1	20,8	11,0
		3,5	21,2	10,5
		5,3	29,3	21,0
		8,6	23,9	14,0
		17,1	21,9	12,0
3192S - (L)	38	2,3	19,4	4,5
		2,9	20,7	8,0
		4,9	23,9	11,0
		10,0	31,0	18,0
3192S - (//)	38	2,7	30,0	11,9
		4,1	32,0	12,5
		7,6	31,5	11,8
		13,8	21,0	5,5

APÊNDICE E

FONTES DE ERROS

Derivadores rastreados por satélite são instrumentos já consagrados para o monitoramento e quantificações de valores relativos às correntes de superfície no oceano aberto, plataformas continentais e mares adjacentes. Porém, como toda técnica de medição é passível de erro, os derivadores também apresentam imprecisões em suas medidas as quais serão agora estudadas. Nesta seção serão analisadas as duas principais espécies de erros para os valores calculados a partir dos dados dos derivadores: erros de posicionamento e amostragem do padrão ARGOS e os erros devidos às diferenças entre as trajetórias horizontais dos derivadores (flutuador) e a componente horizontal da velocidade efetivamente atuante sobre a vela submersa (correntes). Este último tipo de erro será tratado com a denominação de “velocidade de deslizamento”. Há vários estudos que objetivaram analisar a velocidade de deslizamento dos derivadores na camada de mistura, como por exemplo Chhabra *et al.*(1983); Richardson (1983); Niiler *et al.* (1987); Geyer (1988), dentre outros.

A primeira parte desta seção consiste da análise dos erros devidos à velocidade de deslizamento.

1 - ERROS DEVIDOS À VELOCIDADE DE DESLIZAMENTO

Os erros devidos à velocidade de deslizamento são causados principalmente pela ação do vento sobre o derivador (flutuador) e pela atuação de ondas superficiais, o que mantém dependência com a relação de área entre flutuador e vela submersa. Krauss (1996) mostrou que sob condições de tempestades, o efeito combinado de vento e da corrente de Ekman sobre os derivadores produzem uma velocidade de deslizamento menor do que 2,0 cm/s. Segundo Geyer (1988), informações baseadas em observações suportam a idéia de que a deriva devida ao vento teria pronunciada influência sobre o flutuador, mas esta influência sobre a vela submersa seria consideravelmente reduzida, por uma relação de decaimento exponencial do impacto do vento com a profundidade.

esta influência sobre a vela submersa seria consideravelmente reduzida, por uma relação de decaimento exponencial do impacto do vento com a profundidade.

Seguindo as idéias de Geyer (1988) buscar-se-à analisar quantitativamente a velocidade de deslizamento dos derivadores utilizados no presente trabalho. Baseado na lei quadrática de arrasto para o flutuador e para a vela (Hoerner, 1965) e considerando um sistema (derivador e massa de água adjacente) em deslocamentos relativos à velocidade da corrente que arrasta a vela submersa, as forças horizontais sobre o flutuador e a vela são dadas por:

$$F_f = \rho_w \cdot C_f / 2 \cdot A_f (U_s - U)^2 \quad (E.1)$$

$$F_v = \rho_w \cdot C_v / 2 \cdot A_v \cdot U^2 \quad (E.2)$$

onde o índice f e v referem-se ao flutuador e a vela, respectivamente, F é a força horizontal, ρ_w é a densidade da água, C é o correspondente coeficiente de arrasto, A é a projeção horizontal da área dos componentes (flutuador e vela), U_s é a velocidade das correntes de superfície (correntes produzidas pelo vento), e U é a velocidade de deslizamento. Usando manipulações matemáticas em (1) e (2) e fazendo:

$$r = (C_f \cdot A_f) / (C_v \cdot A_v) \quad (E.3)$$

a razão entre a velocidade de deslizamento e a velocidade das correntes de superfície será dada por:

$$U/U_s = r^{1/2} / (1 + r^{1/2}) \quad (E.4)$$

Como a relação A_f / A_v para os derivadores utilizados neste trabalho é 1/40, conforme foi apresentado na seção 3.3.1, o que equivale a $r \cong 0,02 < 1$, isto permite reescrever (E.4) como:

$$U/U_s \cong r^{1/2}$$

arrasto do vento na superfície. Segundo Krauss (1996), a resposta das águas de superfície à ação do vento são deslocamentos com velocidades que ficam em torno de 1,5% da velocidade do vento. Assumindo uma velocidade média de 15 nós \cong 25,5 km/h \cong 7,0 m/s para os ventos na costa do Brasil, isto equivale a uma velocidade superficial das águas de 1,5% de 7,0 m/s \cong 0,10 m/s. E portanto teria-se uma velocidade de deslizamento igual a $0,14 \cdot 0,10$ m/s \cong 1,4 cm/s. Portanto, a magnitude do erro na velocidade do derivador depende expressamente da geometria e tamanho do tipo de bóia de deriva sendo usado. A seguir serão tratados os erros devidos ao posicionamento via ARGOS.

2 - ERROS DEVIDOS AO PADRÃO DE AMOSTRAGEM ARGOS

Os erros randômicos de posicionamento dos derivadores são também um dos importantes fatores de erros para as velocidades computadas a partir dos dados destes. O Serviço ARGOS assume um erro de posicionamento em torno de 150 m para os dados com padrão de qualidade 3, utilizados neste trabalho. Outra fonte considerável de erro resulta do padrão de amostragem. Os dados utilizados neste trabalho apresentam uma lacuna de 16 hs a cada 24 hs, já que os derivadores do Projeto COROAS transmitiam por 8 hs e cessavam nas demais 16 hs. Devido a ausência de informações durante este intervalo, energias com períodos iguais ou menores do que 16 hs não podem ser resolvidas. D'Asaro (1992) traz um estudo quantitativo sobre este tipo de erro.

Portanto, incertezas no posicionamento introduzem erros na velocidade. Um erro randômico em torno de 150 m, que é a precisão média de posicionamento dos derivadores utilizados neste trabalho, levam a imprecisões médias de 1,7 cm/s na velocidade. Para o cálculo desta estimativa considerou-se um intervalo médio de 4,8 hs ((24 hs / 5 (nº máximo de posições por dia) entre sucessivas posições e como as velocidades médias foram calculadas pelo método da regressão simples é válida a relação:

$$V = 1/n \sum(\Delta X \pm \Delta E) / \Delta t$$

onde:

$$V = 1/n \sum(\Delta X \pm \Delta E) / \Delta t$$

onde:

n = nº de velocidades computadas

ΔX = espaço entre sucessivas posições

ΔE = erro de posicionamento

Δt = intervalo de tempo entre sucessivas posições

Fazendo $\Delta E = 2 \times 150 \text{ m} = 300 \text{ m}$, pois tanto a posição final quanto a inicial possuem a imprecisão de 150 m, tem-se:

$$E_v = (3000 \text{ cm} / 4,8 \times 3600 \text{ s}) \cong 1,7 \text{ cm/s.}$$

Portanto, a incerteza média nas velocidades apresentadas fica em torno de 1,7 cm/s.

Portanto, a incerteza média nas velocidades apresentadas fica em torno de 1,7 cm/s. Percebe-se, a partir desta análise, a importância do número de localizações por dia para o erro na velocidade computada a partir dos dados dos derivadores. Este tipo de erro independe, pois, do tipo de derivador sendo usado. Os usuários do CLS (Serviço de Localização e Coleta de dados) ARGOS tem opção de terem suas plataformas transmitindo ao longo do dia ou por apenas uma determinada fração de dia (como foi o caso dos derivadores do Projeto COROAS). A escolha do primeiro caso assegura maior precisão nos valores numéricos mas oferece uma possibilidade de análises em escala espaciais e temporais menores, pois suas baterias duram entre duas ou três vezes menos quando comparado ao modo de transmissão por fração de dia.

Para a estimativa de erro na ECM (Energia Cinética Média), partiu-se da fórmula de propagação de incertezas, cuja demonstração encontra-se em Vuolo (1992):

$$W = W(x,y,z) \Rightarrow \delta^2 W = (\delta W / \delta X)^2 + (\delta W / \delta Y)^2 + (\delta W / \delta Z)^2 \quad (\text{E.5})$$

Lembrando que matematicamente a ECM por unidade de massa é dada por :

$$\text{ECM} = \frac{1}{2} V^2 \quad (\text{E.6})$$

Aplicando E.6 em E.5, fica:

$$\sigma_{ECM}^2 = (2/2 V)^2 \sigma_V^2$$

Dividindo ambos os membros por ECM^2 :

$$(\sigma_{ECM}/ECM)^2 = (V/0,5 V)^2 \sigma_V^2 \Rightarrow (\sigma_{ECM}/ECM)^2 = (2/V)^2 \sigma_V^2 = (2\sigma_V / V)^2$$

Aplicando o conceito de incerteza relativa:

$$E_V = \sigma_V/V \tag{E.7}$$

$$\Rightarrow E_{ECM} = 2 \times E_V = 2 \times 1,7 = 3,4$$

Portanto, a incerteza média nos valores de ECM apresentados neste trabalho estão em torno de $3,4 \text{ cm}^2/\text{s}^2$.

Para a estimativa dos erros intrínsecos ao cálculo da Energia Cinética de Vórtices (ECV) partiu-se do fato de que, matematicamente, ECV representa a variância no campo da velocidade. Usando metodologia próxima à utilizada por Patterson (1985), foi empregada a distribuição χ^2 (qui-quadrada) para as estimar os limites de confiança para as variâncias (ECV). À fim de assegurar consistência com o nível de confiança assumido pelo serviço ARGOS (vide pág. 58), o nível de confiança utilizado nesta análise será de 68%. Assim, o limite superior (Ls) será dado por:

$$Ls = (N-1) ECV / \chi^2 (\alpha/2)[N]$$

e o limite inferior (Li) será:

$$Li = (N-1) ECV / \chi^2 (1-\alpha/2)[N]$$

onde:

$$1-\alpha=0,68 \quad \Rightarrow \quad \alpha=0,32 \quad e$$

Como para o cálculo das ECVs foram utilizadas médias diárias de posições:

$N = n^\circ$ de dias de transmissão de dados.

Expressando os resultados em termos de intervalo, tem-se:

$$L_s - L_i = \Delta L = (N-1) \text{ ECV} (1/\chi^2(0,16)[N] - 1/\chi^2(0,84)[N]) \quad (\text{E.8})$$

A título de exemplo será feita a análise sobre o valor da ECV calculada para a trajetória 3178S (vide Tabela 5.2).

Verificando os valores na tabela de distribuição χ^2 chega-se a:

$$\Delta L = (47 \times 1304 \times (1/38 - 1/58)) = 90 \text{ cm}^2/\text{s}^2$$

Portanto, a ECV em cm^2/s^2 para a trajetória 3178S é:

$$\text{ECV} = 212 \pm 90 \text{ cm}^2/\text{s}^2$$

A Tabela E.1, a seguir, apresenta todos os valores de ECV por unidade de massa apresentados no Capítulo 5, com as respectivas incertezas obtidas a partir de (E.8).

TABELA E.1 - VALORES DE ECVs E OS RESPECTIVOS ERROS

TRAJETÓRIA	duração das transmissões (dias)	ECV (cm ² /s ²)
3178S	47	212 ± 90
3179S	50	418 ± 178
3180S	91	388 ± 104
3178N	88	317 ± 83
3179N	101	390 ± 118
3180N	70	780 ± 273
3185S	103	310 ± 95
3187S	128	518 ± 198
3188S	40	525 ± 191
3189S	69	690 ± 238
3190S	41	275 ± 102
3191S	39	203 ± 86
3192S	38	280 ± 96

A partir da comparação entre as duas espécies de erros analisados, na ausência de tempestades, tanto os erros na velocidade devido ao posicionamento quanto os erros devidos à velocidade de deslizamento apresentam a mesma magnitude. Na presença de tempestades o erro devido à velocidade de deslizamento passa a ser preponderante.

**PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS
EDITADAS PELO INPE**

RELATÓRIOS DE PESQUISA

- Reportam resultados de pesquisa tanto de natureza técnica quanto científica.

PUBLICAÇÕES DIDÁTICAS

- Apostilas, notas de aula e manuais didáticos

NOTAS TÉCNICO-CIENTÍFICAS

- Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, software, sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados e atlas, e documentação de projetos de engenharia.

TESES E DISSERTAÇÕES

- Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

MANUAIS TÉCNICOS

- Descrevem normas, procedimentos, instruções e orientações.

PUBLICAÇÕES SERIADAS

- Periódicos Técnico-Científicos:
Boletim de Sensoriamento Remoto,
Climanálise: Boletim de
Monitoramento e Análise
Climática.
- Anais de Eventos

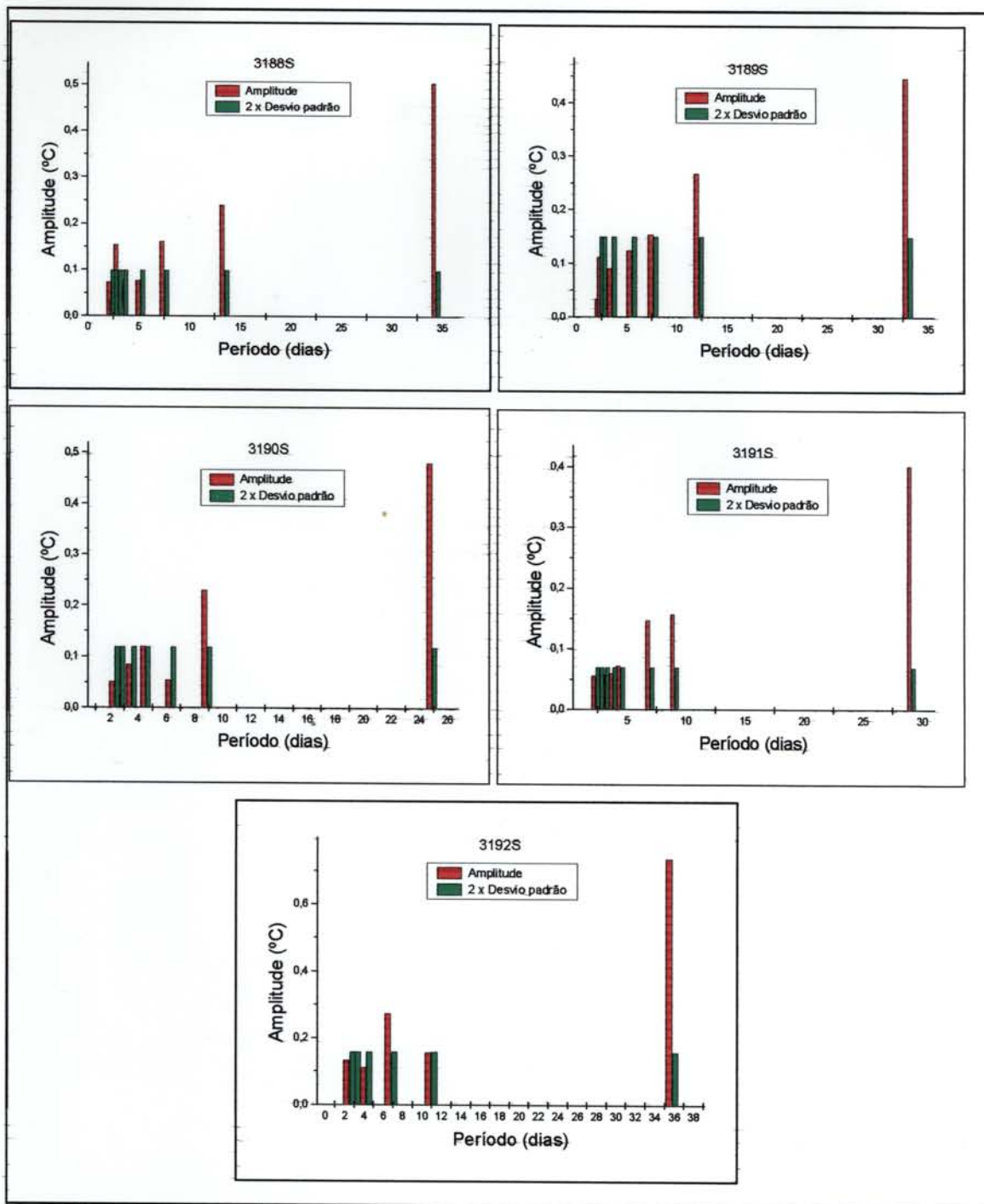


Fig. 5.18 - Espectros de amplitude da TSM para as trajetórias 3189S, 3190S, 3191S e 3192S.