



COPPE/UFRJ

**ANÁLISE AMBIENTAL ESTATÍSTICA MULTI-VARIADA PARA USO EM
ATIVIDADES OFFSHORE**

Luis Manoel Paiva Nunes

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientadores: Nelson Francisco Favilla Ebecken

Carlos Guedes Soares

Rio de Janeiro
Março de 2009

**ANÁLISE AMBIENTAL ESTATÍSTICA MULTI-VARIADA PARA USO EM
ATIVIDADES OFFSHORE**

Luis Manoel Paiva Nunes

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada por:

Prof. Nelson Francisco Favilla Ebecken, D.Sc.

Prof. Carlos Guedes Soares, Ph.D.

Prof. Luis Volnei Sudati Sagrilo, D.Sc.

Prof. Gilberto Carvalho Pereira, D.Sc.

Dr. José Antonio Moreira Lima, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2009

Nunes, Luis Manoel Paiva

Análise Ambiental Estatística Multi-variada para Uso
em Atividades Offshore/ Luis Manoel Paiva Nunes – Rio
de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009

VIII, 159 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Nelson Francisco Favilla Ebecken
Carlos Guedes Soares

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de
Engenharia Civil, 2009.

Referencias Bibliográficas: p. 147-153.

1. Análise de séries temporais . 2. Redes neurais 3.
Análise de ondas. 4. Corrente de deriva I. Ebecken,
Nelson Francisco Favilla *et al.*. II. Universidade Federal
do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil.

III. Titulo.

À Valéria e Camila, principais motivos de minha caminhada até aqui

Agradecimentos

Aos meus pais, aos quais só tenho a agradecer por tudo que me deram e que, com muita luta e dedicação permitiram que eu chegassem até aqui.

Aos novos amigos, meus orientadores, Prof. Nelson Ebecken, que sempre acreditou no meu trabalho e Prof. Guedes Soares que tão bem me acolheu e orientou durante minha permanência no IST de Lisboa.

Aos grandes amigos José Antonio e Rosa, que muito me incentivaram e ajudaram com dicas sempre muito úteis.

Ao Eric e Renato pela paciência com um iniciante em MatLab.

À Petrobras pela oportunidade do doutorado e aos Gerentes que me apoiaram nesta etapa, Álvaro Maia e Levy.

À Marinha do Brasil, que através do Instituto de Pesquisas Almirante Paulo Moreira (IEAPM) e do Comandante Ricardo estabeleceram uma parceria com a Petrobras que tornou possível se dispor dos dados de onda em Arraial do Cabo.

A todos os colegas da oceanografia e da meteorologia do CENPES por assumirem parte das minhas funções para que eu pudesse terminar este trabalho.

A todos os outros amigos da Petrobras, da COPPE e do IST que me apoiaram e incentivaram, aos quais peço desculpas por não citá-los nominalmente.

À minha família, meus irmãos Carlos Joel e Paulo Roberto e minha irmã Márcia Regina pela amizade de sempre.

Ao grande Araken (*in memorian*), exemplo de perseverança e dedicação ao próximo.

E finalmente a Deus, por tudo que Ele tem me reservado.

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

**ANÁLISE AMBIENTAL ESTATÍSTICA MULTI-VARIADA PARA USO EM
ATIVIDADES OFFSHORE**

Luis Manoel Paiva Nunes

Março/2009

Orientadores: Nelson Francisco Favilla Ebecken
Carlos Guedes Soares

Programa: Engenharia Civil

Este trabalho desenvolve um conjunto de técnicas para tratamento de dados individuais de vento, onda e corrente superficial e propõe uma forma de agrupar estas informações de acordo com um forçante ambiental comum, que é o campo de pressão atmosférica. As técnicas de tratamento dos dados foram desenvolvidas para: separação e acompanhamento temporal de mares multimodais, estimativa de ondas *offshore* a partir de dados próximos à costa, interpolação otimizada de dados de vento e onda e estimativa da componente de deriva da corrente superficial. Estas técnicas foram testadas com um conjunto de dados reais e montado um pequeno banco de dados com o agrupamento pela metodologia proposta.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

**ENVIRONMENTAL STATISTICAL ANALYSIS FOR USE IN OFFSHORE
ACTIVITIES**

Luis Manoel Paiva Nunes

March/2009

Advisors: Nelson Francisco Favilla Ebecken
Carlos Guedes Soares

Department: Civil Engineering

This work develops a set of techniques for the treatment of individual data sets of wind, wave and surface current and proposes a way to relate this information with a common environmental forcing, which is the atmospheric pressure. The techniques have been developed for: separation and temporal monitoring of multimodal sea, offshore waves estimative from nearshore information, optimized interpolation of wind and wave data and estimation of the surface current drift component. The techniques were tested with a set of real data and assembled a small database with the proposed clustering methodology.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
3. DESCRIÇÃO GERAL DO AMBIENTE
 - 3.1. VENTO
 - 3.2. ONDA
 - 3.3. CORRENTE SUPERFICIAL
4. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA
5. ABORDAGEM ATUAL E PROPOSTA DE NOVA METODOLOGIA
6. DADOS UTILIZADOS E TRATAMENTO DOS MESMOS
 - 6.1. PADRONIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES
 - 6.2. REVISÃO DE ALGUNS CONCEITOS DE ESTATÍSTICA
 - 6.3. PROGRAMA RAI/OX
 - 6.4. PRESSÃO ATMOSFÉRICA
 - 6.5. VENTO
 - 6.6. ONDA
7. SEPARAÇÃO DOS MARES PELA ENERGIA DO ESPECTRO E SEQUENCIA TEMPORAL
8. AJUSTE DE DADOS PRÓXIMOS À COSTA PARA ONDAS EM ÁGUAS PROFUNDAS
9. RETIRADA DA CORRENTE DE DERIVA DO CONJUNTO DE DADOS
10. RESULTADOS E DISCUSSÃO

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. CARACTERÍSTICAS DOS MEDIDORES DE ONDA
- B. SIGLAS E DEFINIÇÕES
- C. FLUXOGRAMA DO PROGRAMA SEGUE4MARES

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas nos estudos que envolvem dados de meteorologia e oceanografia é a falta de informações em quantidade e qualidade necessárias à uma análise mais abrangente do assunto, o que se torna cada vez mais necessário nas regiões oceânicas de produção de petróleo, principalmente na Bacia de Campos, que concentra o maior número de plataformas e operações oceânicas em todo o Brasil, tendo por este motivo sido escolhida para desenvolvimento deste trabalho.

A Bacia de Campos é, e continuará sendo ainda por vários anos, a principal fonte do petróleo brasileiro. Ela responde por aproximadamente 80% da produção nacional e pelo maior volume das reservas provadas da empresa. O restante vem das bacias do Espírito Santo e de Santos, também no sudeste, e dos campos terrestres do Norte e Nordeste do país.

A Bacia de Campos concentra 45 plataformas, entre fixas e flutuantes, espalhadas por 38 campos em produção. Ao todo, são 55 campos economicamente viáveis, se considerarmos os que estão em fase de desenvolvimento da produção. Na Bacia de Campos está concentrada, também, a maior frota de helicópteros e embarcações de apoio que integram o complexo logístico da companhia.

Os maiores campos em produção no país estão na Bacia de Campos. Embora correspondam a 15% do total de campos em operação, eles são responsáveis por mais de 80% de tudo o que é produzido no território nacional, e dos 13,7 bilhões de barris de óleo equivalente (boe) que formavam as reservas provadas da companhia no Brasil, em dezembro de 2006, aproximadamente 90% estavam nessa bacia.

Um exemplo de aplicação de dados simultâneos, dentre muitos outros, é no controle e quantificação de movimentos angulares dos navios em operação na Bacia de Campos, que ficam sujeitos a grandes oscilações transversais (os chamados movimentos de roll) quando ondas incidem transversalmente à embarcação. O navio se alinha com a resultante do vento e da corrente, e se ondas chegam ao mesmo com ângulos próximos a 90 graus (α na Figura 1.1), pode haver problemas na operação. Esta situação não é tão rara, e pode ocorrer em quase 1 % do tempo para ondulações com altura significativa maior que 2,5 metros (MATOS, 2006).

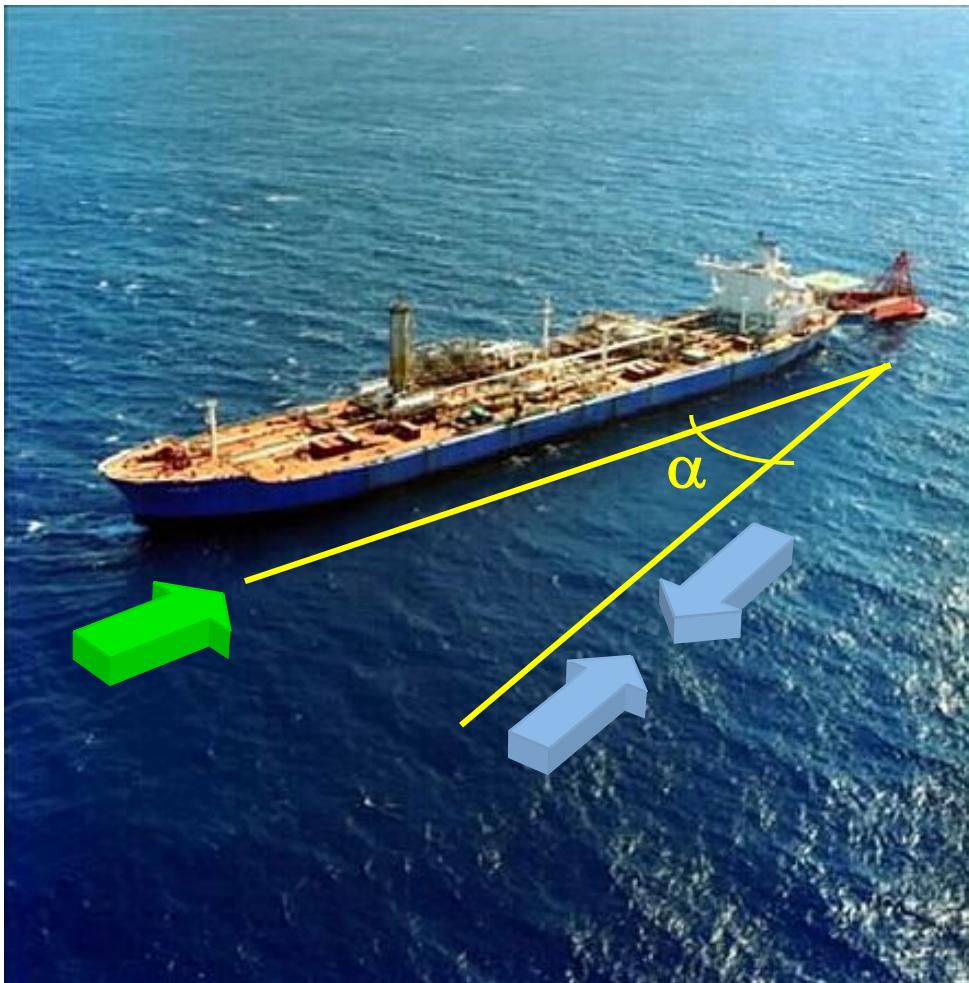


Figura 1.1 – Incidência de ondas transversais à um navio

Para que se tenha resultados confiáveis sobre as ocorrências simultâneas de vento, onda e corrente é preciso um grande conjunto contínuo (sem falhas) destes dados para o mesmo período, pois a falta de qualquer um deles compromete todo o estudo. Isto na prática é muito difícil, pois a coleta de dados além de cara está sujeita a inúmeros problemas operacionais, desde falha nos equipamentos até o vandalismo de barcos pesqueiros.

Desta forma, o que nos propomos neste trabalho é desenvolver metodologias e ferramentas para tratamento dos dados disponíveis, visando aumentar este conjunto de dados simultâneos, aplicar estas novas ferramentas em um conjunto de dados de teste e, finalmente, classificar os dados trabalhados com base num forçante ambiental comum, que é o campo de pressões atmosféricas. Acreditamos que esta classificação irá ajudar no entendimento dos fenômenos físicos que geram ventos, ondas e correntes e no estudo de distribuições conjuntas destes dados.

Acreditamos que esta forma de ver e classificar as informações meteo-oceanográficas, quando aplicada à um grande conjunto de dados, irá permitir avaliar melhor inter-relações entre as variáveis, possíveis alterações de padrão em função de mudanças climáticas e melhorar as análises conjuntas destes dados, principalmente quanto a valores extremos e para aplicação em operações *offshore*.

Nosso intuito inicial era já chegar às distribuições conjuntas de vento, onda e correnteza, mas como veremos ao longo do texto, o desenvolvimento das ferramentas de análise demandou um grande esforço e dispêndio de tempo, e alguns conjuntos de dados individuais se mostraram insuficientes para aplicação imediata de estatísticas de distribuição conjunta.

Ao todo foram desenvolvidos e utilizados 5 programas de análise de dados cujos detalhes serão mostrados ao longo dos capítulos. São eles:

- programa para teste e aplicação de técnicas de preenchimento de *gaps* em séries temporais de dados meteorológicos e oceanográficos (programa *raiox*);
- programa para estimativa de ondas em águas profundas a partir de medições próximas à costa utilizando redes neurais (programas *cluster1* e *cluster2*);
- programa para reclassificar os parâmetros de onda hs, tp e dir de espectros multimodais e seguir temporalmente sequências de mares reais (programa *segue4mares*);
- programa para estimativa da corrente de deriva a partir de medições simultâneas de vento e corrente superficial (programa *corrvec*);
- programa para extrair os valores de pressão atmosférica e coordenadas de reanálises globais (programa *pressao*);

O texto foi organizado em capítulos seqüenciais de forma a facilitar o entendimento do problema e as soluções encontradas. Alguns destes capítulos podem ser lidos independentemente e outros, dependendo do conhecimento do leitor, podem ser suprimidos. A Figura 1.2 indica a ordem dos capítulos e a interconexão entre os mesmos. As linhas tracejadas são uma sugestão de ordem de leitura para aqueles que já dispõem de conhecimento prévio no tratamento de dados meteo-oceanográficos e conhecem a climatologia da Bacia de Campos.

Os capítulos que estão em caixas “soltas” servem mais como referência, não sendo necessários para o entendimento do texto como um todo.

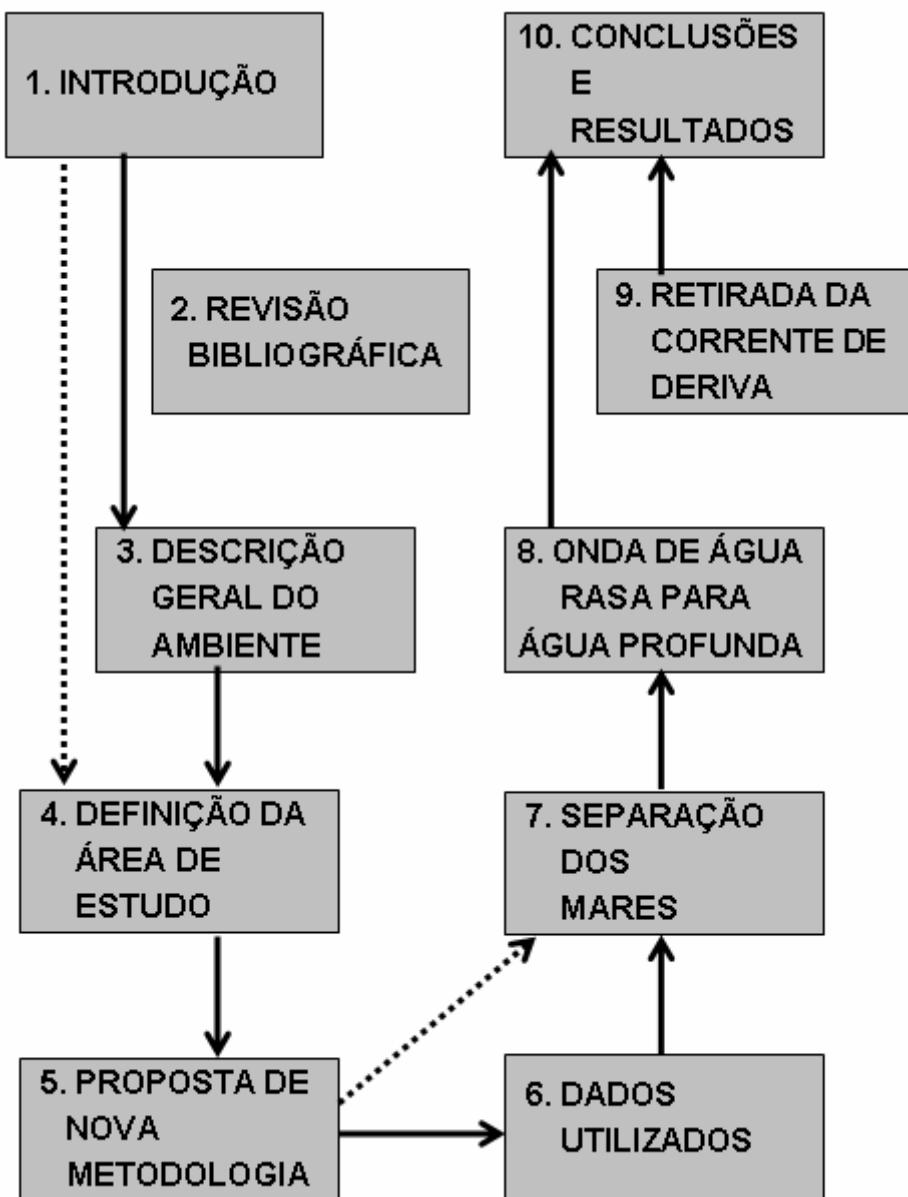


Figura 1.2 – interconexão entre os capítulos

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dividimos este capítulo em 4 tópicos:

- Meteorologia
- Onda
- Corrente Superficial
- Análise de Sinais e Redes Neurais

METEOROLOGIA

Alguns aspectos da climatologia sinótica são discutidos por VIANELLO e ALVES (2002), onde eles descrevem a influência das altas do Atlântico e do Pacífico sobre o clima da América do Sul e a presença da Baixa do Chaco, principalmente no verão. A circulação atmosférica na América do Sul é descrita com detalhes por FOUZAR (1994), onde a autora relaciona todos os sistemas e subsistemas regionais que atingem o continente, estudando sua gênese, posição e trajetórias. Já ANDRADE (2007) em sua dissertação de mestrado fez um estudo da climatologia dos sistemas frontais sobre a América do Sul no período 1980-2002, dos sistemas frontais que afetam o Brasil em várias áreas, e foram destacados os padrões atmosféricos em relação ao deslocamento das frentes pelo Brasil e sul da América do Sul.

SILVA (2008) e CAMPOS (2009) discutem a formação de ondas distantes a partir de ciclones e anticiclones no sul da América do Sul estudando aspectos da dinâmica destes sistemas, mas o trabalho mais completo sobre ciclones no Atlântico Sul é o de REBOITA (2008), em sua Tese de Doutorado, onde a autora estuda 10 anos de ciclones extratropicais no Atlântico Sul e os padrões atmosféricos associados.

Os ventos predominantes na área de estudo são discutidos por SILVA (2008), encontrando-se uma quantificação e análise de valores extremos nos trabalhos de LIMA e NUNES (1999) e NUNES *et al.* (2006). Efeitos de mesoescala são estudados teoricamente por PIELKE (1986) considerando o diferencial de aquecimento entre o mar e o continente. BARRY e CHORLEY (2003) colocam como ordem de grandeza do alcance destes ventos a distância de 50 km, o que se confirma no trabalho de NUNES *et al.* (2006).

ONDA

Restringimos nossa pesquisa neste tópico a trabalhos realizados na Bacia de Campos. O primeiro trabalho sistemático de caracterização das ondas na região foi o de SOUZA (1988) que estudou cerca de 1 ano de dados medidos por ondógrafo na Bacia de Campos. A autora processa os dados e chega à primeira climatologia de ondas da região. Após este trabalho pioneiro, novas campanhas de medição foram realizadas e vários pesquisadores como SEIXAS (1997), e CARVALHO (1998) analisaram estas informações aperfeiçoando a climatologia anterior.

PARENTE (1999) elabora uma nova técnica para análise de dados de onda, que juntamente com um excelente gráfico de visualização temporal destes dados vem contribuindo muito para a melhoria do conhecimento das ondas no litoral do Rio de Janeiro. Seguindo a metodologia criada por PARENTE, alguns pesquisadores estudaram situações específicas de ondulação na Bacia de Campos, PINHO (2003) analisou ondulações geradas a grandes distâncias na presença de tempo bom, MENDES (2005) estudou as características do espalhamento angular (spread) de acordo com as características de formação das ondas, SILVA (2008) avança na questão da chegada de ondulações longínquas incorporando análise de valores extremos. Finalmente CAMPOS (2009) estuda ondas geradas por ciclones no Atlântico Sul incluindo estudo sinótico dos ciclones e análise de valores extremos.

CORRENTE SUPERFICIAL

Nosso interesse foi em trabalhos sobre a circulação superficial na Bacia de Campos e na corrente local devido ao vento (corrente de deriva). SIGNORINI (1978) estuda a circulação superficial e o transporte da Corrente do Brasil, entre o Cabo de São Tomé e a Baía de Guanabara, REID (1989) faz uma análise sobre a circulação geostrófica no Oceano Atlântico Sul incluindo a Corrente do Brasil e STRAMMA (1990) faz um estudo aprofundado sobre o transporte geostrófico da Corrente do Brasil.

STEVENSON (1996) analisa dados de derivadores lançados dentro do projeto COROAS, contribuição brasileira ao projeto WOCE de estudo da circulação mundial, e analisa a recirculação da Corrente do Brasil. MULLER (1998) analisa várias medições de fundeios oceanográficos e analisa as correntes de contorno oeste encontradas, dentre elas a Corrente do Brasil, LIMA (1998) em sua Tese de Doutorado estuda a circulação oceânica na quebra da plataforma e no talude continental na região sudeste do Brasil através da análise de dados *in loco* e do uso do modelo da Princeton University (POM). STRAMMA (1999) publica um excelente trabalho sobre massas d'água e circulação no Atlântico Sul e compara resultados de medições do WOCE com resultados de modelo. O trabalho mais completo é o de SILVEIRA (2006) que em sua Tese de Livre Docência aplica todos os conhecimentos anteriores ao estudo da Corrente do Brasil na região da Bacia de Campos.

A Corrente de Deriva é estudada no litoral do Rio de Janeiro no trabalho pioneiro de SILVA (1972), que compara medições próximas à cidade do Rio de Janeiro com a espiral teórica de Ekman, chegando à uma expressão para estimar corrente de deriva nesta região. As expressões analíticas de Ekman são encontradas em POND e PICKARD (1983), CHERESKIN (1995) estima a corrente de deriva na costa da Califórnia e NUNES (1997) cria uma nova técnica para estimativa da corrente de deriva utilizando apenas valores de corrente superficial e vento medidos.

ANÁLISE DE SINAIS E REDES NEURAIS

Na parte de análise de sinais nosso interesse é em séries temporais. Um marco e referência obrigatória no assunto é o livro de BOX e JENKINS (1976) onde os autores colocam de forma sistemática como ajustar séries temporais de dados a modelos do tipo ARMA e outros. Outro bom texto é de EHLERS (2005) que explica adequação de dados reais a modelos autoregressivos e fala sobre as principais transformações nas variáveis antes da adequação aos modelos.

Guedes Soares faz uma série de estudos com modelos autoregressivos aplicados a ondas. No primeiro deles GUEDES SOARES *et al.* (1994) analisa dados de onda de 3 locações (Sines, Figueira da Foz e Faro) e ajusta modelos ARMA aos mesmos. CUNHA e GUEDES SOARES (1995) estudam o melhor método de preenchimento de lacunas e previsão de dados de altura significativa de ondas, aplicando

transformações para estabilizar a variância e a média das ondas e testando também o uso de informações medidas em outros locais próximos como alternativa de preenchimento das falhas.

Uma ótima referência para escolha do tipo e a ordem de modelos ARMA é encontrada no trabalho de FARIAS *et al.* (2000), que explica como selecionar um modelo adequado pelas funções de autocorrelação e autocorrelação parcial. Técnicas mais abrangentes, que não necessitam estabilizar a média e a variância da série podem ser encontradas em OLIVEIRA e FAVERO (2003).

Na parte de redes neurais um bom resumo das principais técnicas é encontrado em SIMPSON (1995) e em CALÔBA (2002). PAES (2006) faz um ótimo trabalho de descrição das técnicas de redes neurais no reconhecimento de feições oceanográficas de meso-escala na costa sul-sudeste brasileira, descrevendo técnicas de compactação e principais componentes das redes neurais.

HSIEH e TANG (1998) descrevem problemas e soluções no uso de redes neurais aplicados à oceanografia e RAO e MANDAL (2005) fazem uma reconstituição de ondas geradas a partir de grandes tempestades ciclônicas usando os valores de pressão no centro das mesmas, o gradiente de pressão e a velocidade de deslocamento do ciclone.

3. DESCRIÇÃO GERAL DO AMBIENTE

Neste capítulo fazemos uma descrição dos principais parâmetros de interesse em projetos e operações *offshore* que são o vento, a onda e a corrente. O campo de pressões influí diretamente na intensidade e direção do vento e da onda e, indiretamente, em parte da corrente superficial, estando indicado na Figura 3.1 as principais feições do campo de pressões que interessam ao nosso estudo. Outras feições de menor escala podem localmente influenciar os valores de vento, onda e corrente, mas com menor intensidade, e não serão aqui analisadas.

CAMPOS (2009) classifica as feições presentes na Figura como:

- AAS: Anticiclone semi-estacionário do Atlântico Sul, está relacionado ao movimento descendente da célula de Hadley, em torno de 30 graus sul (ver Figura 3.2).
- CE: Ciclone Extratropical, braço ascendente da célula de Ferrel. Migra para leste.
- AE: Anticiclone Extratropical, normalmente aparece à oeste do CE, sendo neste caso chamado de alta da retaguarda. Também migra de oeste para leste.

Estes sistemas sofrem variações sazonais acompanhando a migração da ZCIT (Zona de Convergência Inter-Tropical) e do Equador térmico.

Os valores de vento e onda são função da presença e da posição de 1 ou mais destes centros de pressão. No caso da corrente, CAMARGO (1994) usa o campo de pressões para reconstituir correntes na plataforma continental com um modelo barotrópico, mas outros fatores além da pressão influenciam na corrente, sendo mais difícil sua associação direta à este único forçante, e por este motivo não vamos tentar fazer a correlação da corrente com a pressão atmosférica.

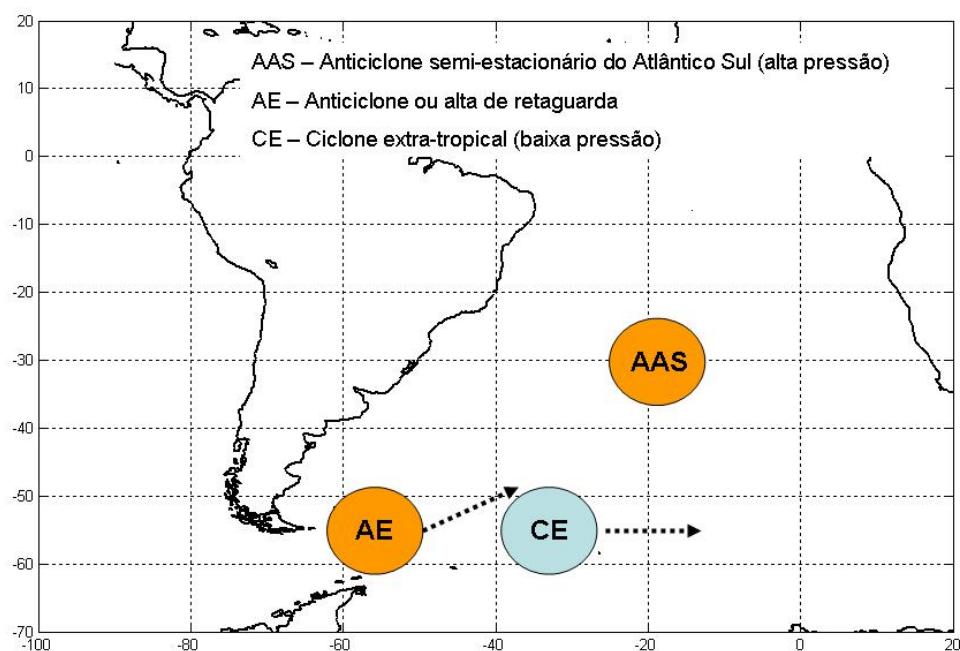


Figura 3.1 – Principais centros de pressão atmosférica presentes no Atlântico Sul e capazes de influenciar os ventos e as ondas na Bacia de Campos.

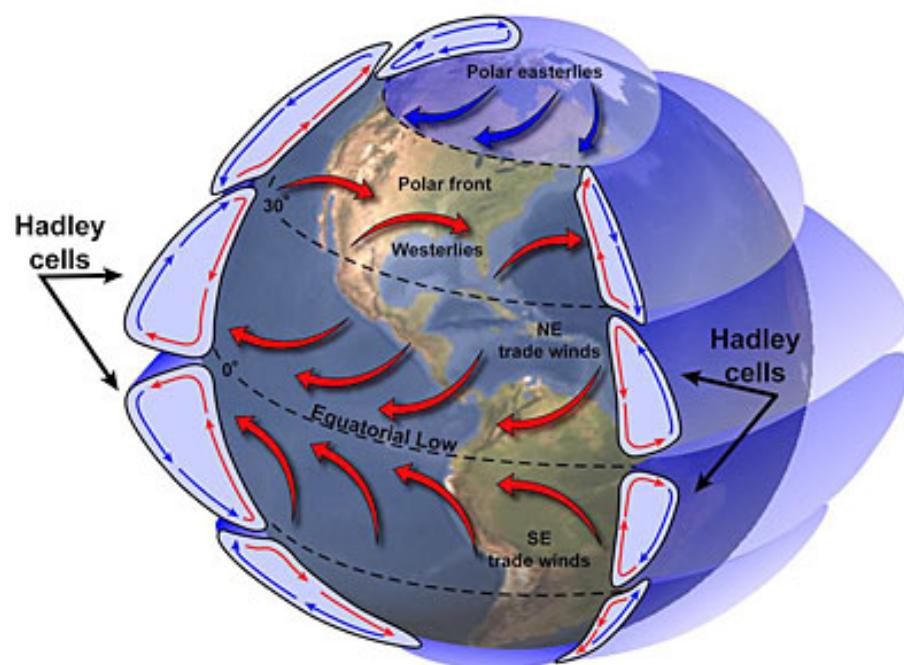


Figura 3.2 – Circulação geral da atmosfera.
Retirado de http://www.ufrgs.br/geociencias/cporcher/Atividades%20Didaticas_arquivos/Geo02001/Ciclo%20Hidrologico.htm

3.1 VENTO

A região de produção da Bacia de Campos situa-se na zona intertropical, em torno de 22 graus sul de latitude, afastada cerca de 150 km do litoral do Rio de Janeiro, apresentando clima quente e úmido. Pelo seu afastamento da costa, a região dificilmente sofrerá os efeitos das brisas marinha e terrestre, cujo alcance é da ordem de 50 km (BARRY e CHORLEY, 2003). Isto facilita a montagem de um conjunto de dados de vento para a região, pois como todos os pontos de medição encontram-se a mais de 100 km da costa, pode-se considerar que todos eles estão fora da influência das brisas, verificando-se que apresentam a mesma climatologia de ventos, conforme trabalho de NUNES *et al.* (2006) que compara o vento em várias plataformas diferentes na Bacia de Campos.

O vento predominante na Bacia de Campos (66 % do tempo) está associado à um Centro de alta pressão atmosférica semi-estacionário localizado no Atlântico Sul, entre a América do Sul e a África, o que proporciona características de estabilidade atmosférica e bom tempo na região (SILVA, 2008). Os ventos saem deste centro girando no sentido anti-horário, chegando à Bacia de Campos com direções predominantes entre norte e leste. Na Figura 3.1.1 indicamos este centro e o sentido dos ventos saindo do mesmo.

O centro de alta pressão do Atlântico Sul é chamado de semi-estacionário porque o mesmo, apesar de permanente, varia um pouco sua posição em função das temperaturas do mar e do continente e da intensidade de outros centros de pressão e dos sistemas frontais no sul da América do Sul.

Centros de alta pressão geram movimentos anti-ciclônicos (anti-horários) no hemisfério sul enquanto que baixas pressões geram movimentos em sentido contrário (horário). Um centro de baixa pressão situado próximo à Bacia de Campos pode influenciar no padrão dos ventos locais, alterando sua direção e intensidade.

Existe um balanço de forças entre os centros de pressão em toda a superfície da terra, assim um valor alto de outro centro de pressão pode alterar a posição do centro semi-estacionário do Atlântico, trazendo como consequência mudanças nos valores de intensidade e direção do vento. Na Figura 3.1.1 os centros A2a e A2b são posições diferentes das massas de ar frias vindas da Antártica e que geram ventos que podem

avançar até à Bacia de Campos junto com as frentes frias, vindos do quadrante sul (em 28 % do tempo).

Na Bacia de Campos é comum a entrada de sistemas frontais, formados pelo encontro de massas de ar frio vindas do sul com massas de ar quente típicas das latitudes tropicais. O ar mais frio se posiciona abaixo do ar quente, provocando a subida do mesmo e a formação de uma região propícia ao aparecimento de nuvens e de chuva. No inverno acontece o maior número de frentes frias passando pela região, com média de uma passagem a cada semana, trazendo ventos do quadrante sul.

Medições na Bacia de Campos feitas a partir de plataformas indicam ventos de até 22 m/s (valores já corrigidos para 10 m de altura) para ventos de 10 minutos de duração, sendo que os meses de agosto, setembro e outubro apresentam as maiores médias mensais de intensidade do vento.



Figura 3.1.1 - Centros de pressão atmosférica que geram os ventos na Bacia de Campos.

Na Tabela 3.1.1 apresentamos as frequencias de ocorrência de intensidades e direções de vento para um período de aproximadamente 10 anos de medições conforme resultados obtidos por LIMA e NUNES (1999).

Tabela 3.1.1 – Distribuição da intensidade e direção do vento na Bacia de Campos

Faixas de intensidade (m/s)	DIREÇÃO								Total	%	Direção Média
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW			
0 a 1	271	174	139	132	178	123	94	105	1216	1.87	45.16
1 a 2	255	321	258	240	242	181	186	148	1831	2.82	78.58
2 a 3	407	749	617	411	417	299	277	204	3381	5.20	79.55
3 a 4	549	1025	936	715	582	401	293	272	4773	7.34	86.63
4 a 5	752	1566	1238	994	797	481	262	281	6371	9.80	84.98
5 a 6	882	1845	1356	1062	819	523	219	193	6899	10.61	81.84
6 a 7	1311	2538	1292	1131	927	553	180	165	8098	12.45	71.10
7 a 8	1207	2482	1028	815	811	515	119	100	7077	10.88	65.57
8 a 9	1379	2673	822	651	641	428	136	68	6798	10.45	54.25
9 a 10	1299	2069	411	342	388	303	96	54	4962	7.63	42.38
10 a 11	1186	2022	311	229	371	269	76	36	4500	6.92	39.64
11 a 12	983	1279	168	147	210	184	53	30	3054	4.70	33.67
12 a 13	651	867	137	72	144	128	25	9	2033	3.13	32.26
13 a 14	484	983	105	47	127	159	45	4	1954	3.00	31.31
14 a 15	232	381	34	15	35	70	25	2	794	1.22	26.70
15 a 16	147	425	8	18	21	63	34	2	718	1.10	24.53
16 a 17	66	116	1	9	13	34	7	5	251	.39	19.92
17 a 18	23	83	1	5	10	9	13	2	146	.22	22.41
18 a 19	19	43	0	2	3	0	2	0	69	.11	28.68
19 a 20	19	36	0	0	3	2	2	0	62	.10	25.74
20 a 21	11	21	0	2	1	2	1	0	38	.06	29.06
21 a 22	3	8	0	1	0	0	0	0	12	.02	26.68
22 a 23	0	1	0	0	1	0	0	0	2	.00	93.00
23 a 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.00	-
Total	12136	21707	8862	7040	6741	4727	2145	1680	65039		
%	18.66	33.38	13.63	10.82	10.36	7.27	3.30	2.58			
Intens. média	8.23	8.22	6.13	6.10	6.54	6.99	5.69	4.78			

Pela análise da tabela é possível verificar também que, embora ocorram ventos fortes de sul trazidos pelas frentes frias, os maiores valores médios são de norte e nordeste. Parte destes ventos fortes pode ser explicada pela intensificação dos ventos gerados pelo anticiclone do atlântico sul, o que acontece quando as frentes frias se aproximam. Nesta situação, as linhas de pressão atmosférica (isóbaras) ficam mais próximas, e como o vento é gerado pela variação da pressão pela distância, ocorre a intensificação do vento.

3.2 ONDA

A área de estudo, região sudeste do litoral brasileiro, apresenta predominância de mares bi-modais. No conjunto utilizado encontramos 57 % de mares com mais de um pico espectral, mais do que no sul do Brasil, onde ARAUJO *et al.* (2003) encontrou 35 % de mares bi-modais. A região apresenta mares locais vindos de Norte a Leste e swell vindos de S, SW e SE.

As ondas de Leste podem apresentar características de *sea* ou de *swell*. Em sua dissertação de mestrado PINHO (2003) e PARENTE *et al.* (2001) classificam o mar local como “bom tempo” e o swell como “mau tempo” por analogia com as condições meteorológicas nestas situações. O bom tempo está relacionado ao Anticiclone Semi-Estacionário do Atlântico Sul, que gera ventos das direções Norte a Leste. Já o mau tempo acontece quando centros de alta ou de baixa pressão aparecem ao sul da Bacia de Campos, estes centros raramente ficam estacionários, ao contrário, eles se deslocam para leste, em direção à África (ver Figura 3.2.1).

A Bacia de Campos encontra-se situada em uma região do Oceano Atlântico Sul que sofre influência tanto de ventos locais gerando vagas (*sea*), como de ventos distantes gerando marulhos (*swell*). Baseado em estudos de ondas na região, LIMA e NUNES (2001) dividem as ondas em 4 grupos, que estão diretamente relacionados aos campos de pressão atuantes no Atlântico Sul. Esta classificação é aproximada e foi feita através da inspeção visual dos valores de Hs por direção, mas serve para nos fornecer uma idéia da variabilidade do mar na Bacia de Campos.

A direção das ondas pode ser relacionada com *forçantes meteorológicos* como o vento ou o campo de pressões atmosféricas, como será visto no capítulo 5. A Figura 3.2.2 permite visualizar as variações nas *alturas significativas de onda* (Hs) conforme a direção, aparecendo também as 4 regiões homogêneas propostas. Uma descrição das características de cada área também é feita a partir da menos energética (área 4) até a mais energética (área 1).

Pela análise da Figura 3.2.2, verifica-se de imediato que a área 1 é a mais energética, com valores máximos medidos de Hs da ordem de 6,5 metros. A energia diminui a medida que nos movemos, no sentido anti-horário, da área 1 até a área 4.

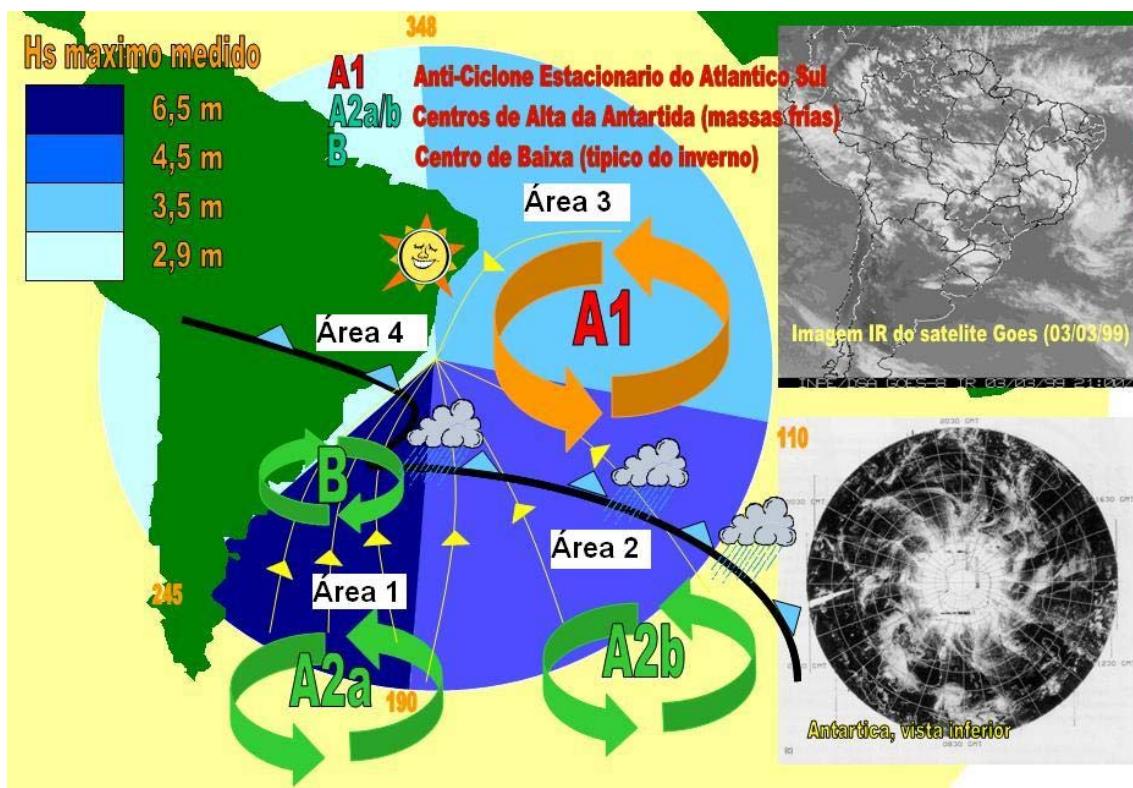


Figura 3.2.1 – Divisão das ondas incidentes na Bacia de Campos conforme sua direção.

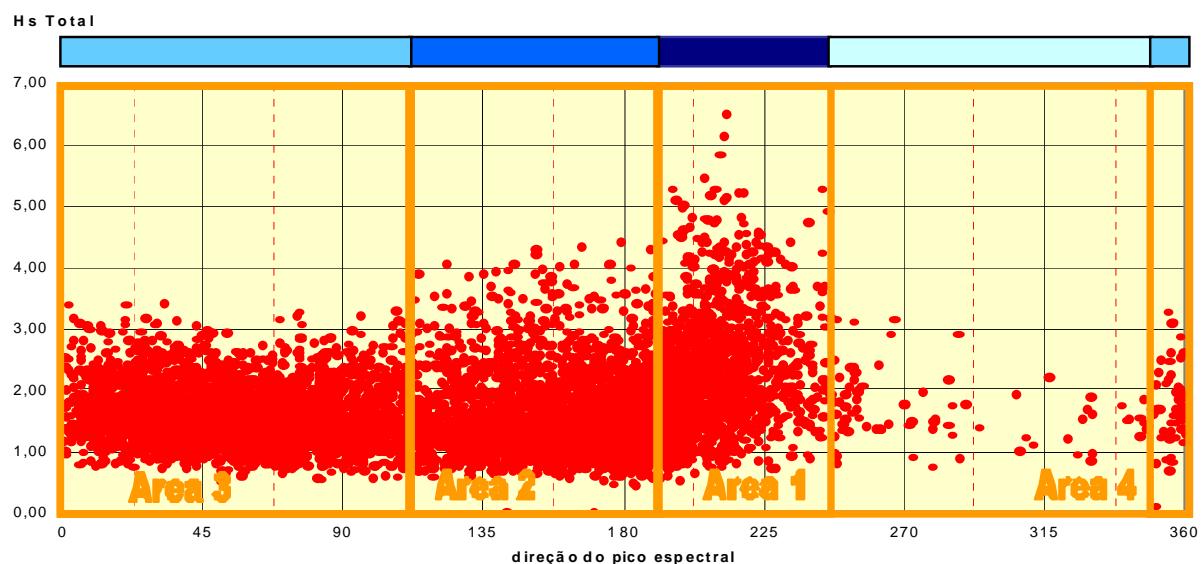


Figura 3.2.2 – Distribuição de altura significativa total (Hs) pela direção de pico espectral de energia. Os intervalos entre as diferentes áreas são os mesmos da Figura 3.2.1

ÁREA 4: Esta região é a menos energética de todas. Ela abrange um setor que vai de 245^0 a 348^0 , tendo como característica básica a limitação de pista para geração de onda a partir do vento, em função da linha de costa. Os maiores valores medidos de Hs encontram-se em torno de 3 metros, nas direções pouco abaixo de 270^0 .

ÁREA 3: É a condição mais comum na Bacia de Campos. Compreendida entre 348^0 e 110^0 , caracteriza-se pela presença de ondas locais (*sea*), geradas a partir do Anti-Ciclone do Atlântico Sul (A1 na Figura 3.2.1). Este Anti-Ciclone (centro de alta pressão) gera ventos de Norte a Leste, dependendo da sua posição em relação à costa. O Anti-Ciclone é chamado de semi-estacionário devido à sua constância entre a América do Sul e a África, em latitudes variando de 20^0 a 40^0 sul formando uma elipse com semi-eixo maior de 2500 a 4000 km e pressões de até 1032 mb. Em condições de permanência acentuada do Anti-Ciclone na mesma localidade e/ou valores altos de pressão atmosférica, os ventos resultantes podem ser bem intensos (até 23 m/s) e gerar mares de até 3,5 metros, com períodos de pico de até 10 segundos.

ÁREA 2: É a segunda área mais energética. Caracteriza-se pela formação de ondas a partir de centros de alta pressão (A2b na Figura 3.2.1) vindos da Antártica. Os ventos formados apresentam “pistas” maiores para geração de ondas que na área 3, o que provoca ondas de maiores alturas. Estabelecemos, com base nos valores de onda medidos e nas *Cartas Sinóticas* correspondentes, as direções de onda entre 110^0 e 190^0 graus como limites da área 2. Os máximos valores medidos de altura significativa de onda situam-se em torno de 4,5 metros.

ÁREA 1: É a mais energética, ou seja, aquela que ocasiona maiores alturas de onda. Caracteriza-se por fortes ventos de sul/sudoeste associados a pistas longas, provocando alturas de onda significativa de até 6,5 metros. A presença ocasional de um centro de baixa pressão, entre a Bacia de Campos e a alta pressão vinda da Antártica, está associada aos maiores valores de Hs, devido à intensificação do gradiente de pressão entre a alta e a baixa pressões, provocando ventos muito fortes e pista longa. A baixa se situa próxima ao litoral, aparecendo principalmente no inverno, quando a temperatura no mar fica mais quente que em terra, deslocando a baixa do continente para o litoral. Os centros de alta pressão são gerados na região Antártica, desprendendo-se ao sul da América do Sul e deslocando-se preferencialmente de oeste para leste. Quando a alta Antártica (A2a e A2b) está muito acentuada, ela desloca o Anti-Ciclone do Atlântico Sul (A1) mais para norte e leste, avançando em direção à Bacia de Campos e trazendo ventos de sul, chuva e

nebulosidade. Na parte superior da Figura 3.2.1 aparece uma imagem do canal infravermelho (*IR*) do satélite GOES, com ma linha de nebulosidade a partir do Rio Grande do Sul, característica do avanço da frente.

3.3 CORRENTE SUPERFICIAL

A Bacia de Campos é atravessada por uma das grandes correntes que existem nos oceanos, a chamada Corrente do Brasil, que é um ramo da Corrente Sul Equatorial (Figura 3.3.1).

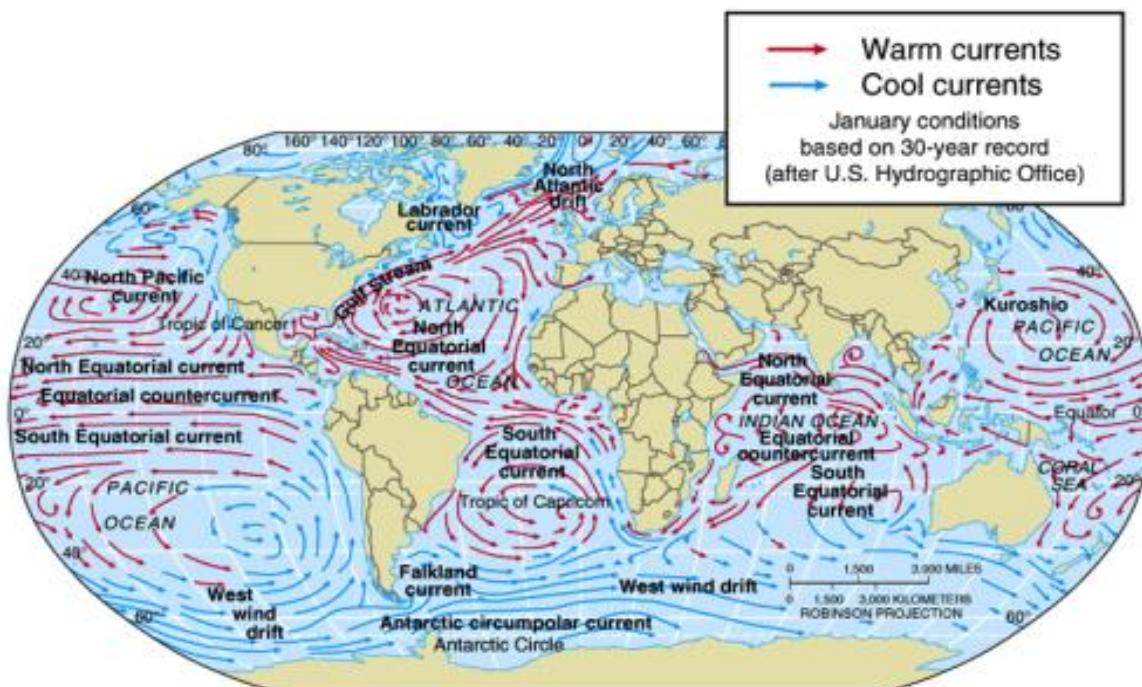


Figura 3.3.1 – Circulação global da superfície do mar, retirado de www.ufrgs.br/geociencias

A Corrente Sul Equatorial é formada pela ação dos ventos, que como visto no item 3.1, giram no sentido anti-horário em torno do Centro de Alta Pressão Atmosférica do Atlântico Sul. Estes ventos, pelo atrito com a superfície do oceano, movimentam as águas do Atlântico Sul, entre o Brasil e a África, que se movem também no sentido anti-horário conforme indicado nas Figuras 3.3.1 e 3.3.2. Como curiosidade, este grande giro foi utilizado por Pedro Álvares Cabral, para evitar as correntes da costa africana que levavam as caravelas de volta à Europa, fazendo com que sua expedição chegasse até o Brasil (*).

(*) As correntes marinhas no Atlântico Sul foram utilizadas por Vasco da Gama, em sua viagem à Índia em 1492. As tentativas de se chegar ao Oriente pela África se iniciaram em 1424, fracassando devido à Corrente de Benguela e aos ventos de sudeste na costa africana, que impulsionavam as caravelas de volta para a Europa. Vasco da Gama se afasta da África antes de chegar à Guiné, utilizando a chamada “volta do mar”, hoje conhecidas como Corrente Sul Equatorial, Corrente do Brasil e Corrente Sul Atlântica, que fazem parte do Giro do Atlântico Sul.

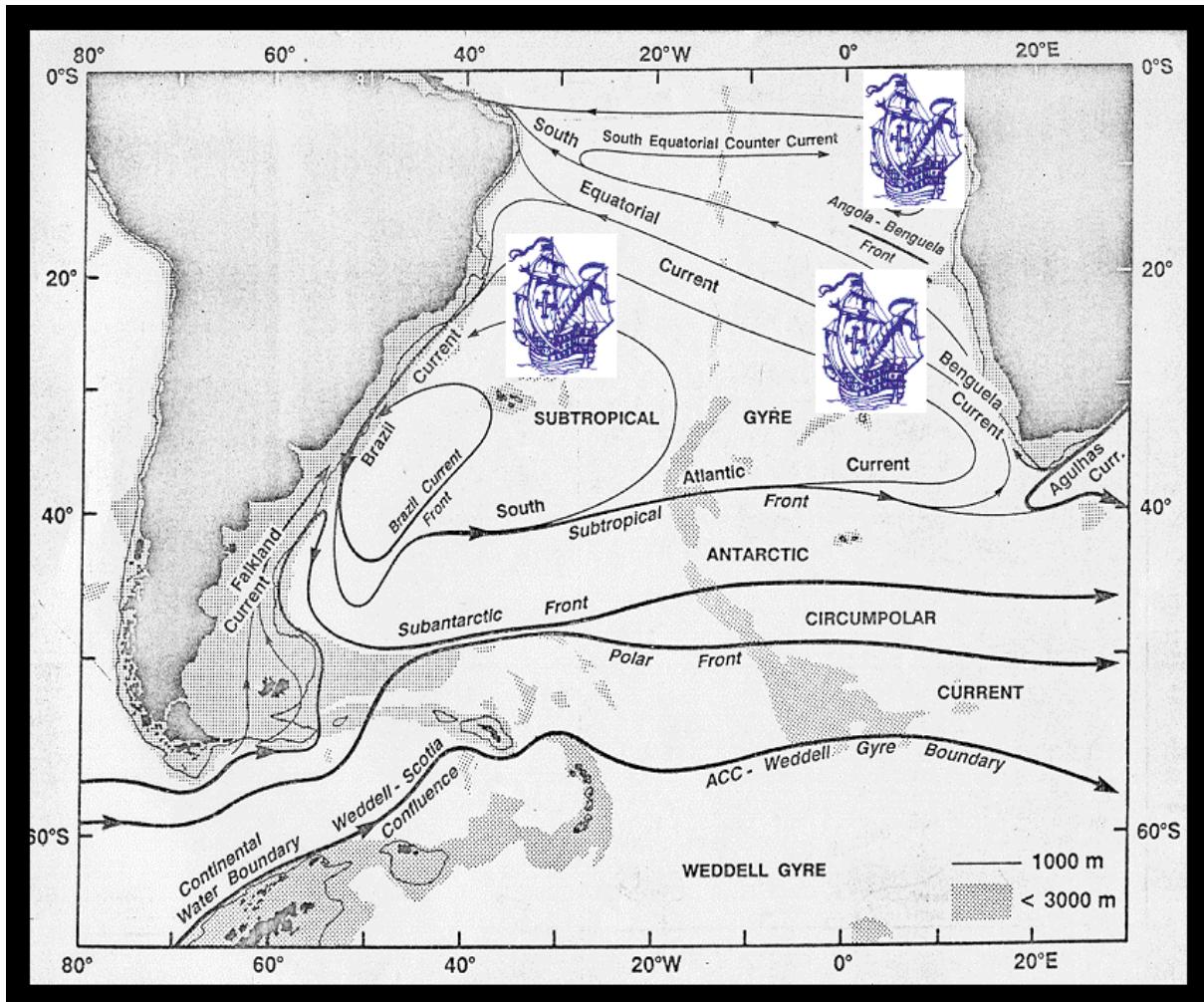


Figura 3.3.2 – Correntes superficiais no Oceano Atlântico Sul. Destaque para a Corrente do Brasil que cruza as áreas de produção de óleo nas Bacias de Campos, Santos e Espírito Santo de acordo com PETERSON e STRAMMA (1991).

Vários autores já estudaram o campo de correntes na região, tais como EVANS *et al.* (1983), EVANS *et al.* (1985), GARFIELD (1990), STRAMMA *et al.* (1990), PETERSON e STRAMMA (1991) e LIMA (1997). Estes estudos apresentam a caracterização da circulação desta região não somente qualitativa mas também quantitativamente, como no trabalho de LIMA (1997), que utilizou modelo de circulação bidimensional da Princeton University (POM) adaptando-o para uma seção na costa sudeste do Brasil.

A Corrente do Brasil é originada pela bifurcação da Corrente Sul Equatorial, que quando chega próxima ao litoral brasileiro (em torno de Sergipe), se divide em 2 ramos: a Corrente Norte do Brasil, que migra para norte, e a Corrente do Brasil, que escoa em direção ao sul, permanecendo paralela à costa, até próximo ao estuário do Rio da Prata.

Em seu percurso para o sul a Corrente do Brasil se guia pela linha batimétrica de 200 metros, limite entre a plataforma e o talude continental. Nem sempre este escoamento ocorre de forma tranquila, e muitas vezes a mesma pode meandrar ou criar vórtices de grandes dimensões. A Figura 3.3.3 mostra uma imagem de temperatura da superfície do mar onde é possível visualizar o limite oeste da Corrente do Brasil. A mesma é marcada pelo forte gradiente de temperatura que na imagem é a separação entre a cor vermelha e a amarela. As mesmas feições meandrantes podem ser vistas também na Figura 3.3.4, que é uma saída do modelo ROMS (Regional Ocean Modeling System) onde aparece a temperatura da superfície do mar e os vetores velocidade da corrente superficial (ARANGO e SHCHEPETKIN, 2009).

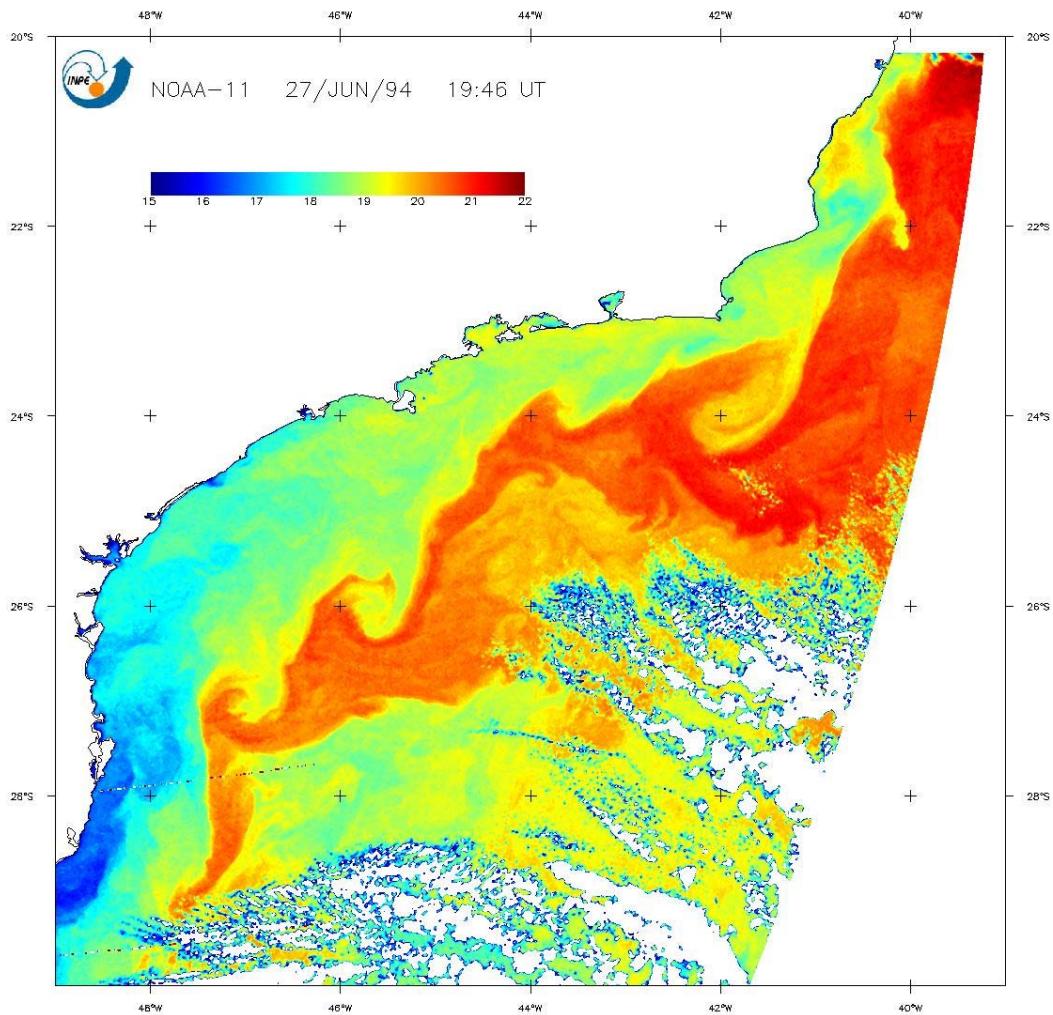


Figura 3.3.3 – Imagem de temperatura da superfície do mar (AVHRR) onde aparecem meandramentos e vórtices da Corrente do Brasil

TEMPERATURA E VELOCIDADE NA SUPERFÍCIE

Regional Ocean Modeling System

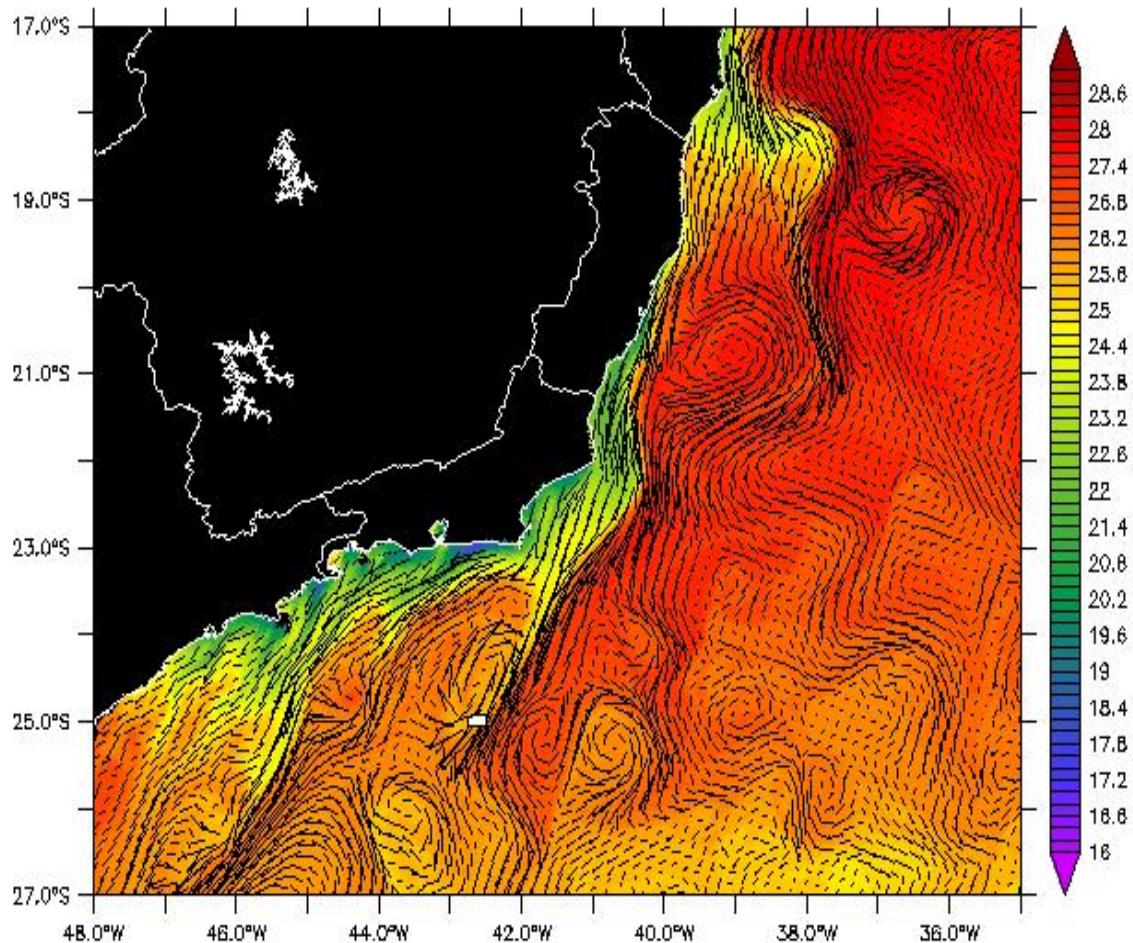


Figura 3.3.4 – Saída do modelo ROMS com o campo de correntes superficial e a temperatura da água.

Na figura 3.3.4 aparecem estruturas circulares, chamadas de vórtices, cuja origem é ainda controversa. A mudança brusca da batimetria quando da passagem pelo Cabo de São Tomé e Cabo Frio é, segundo CAMPOS *et al.* (1995), uma possível causa da formação dos vórtices, isto porque quando a corrente passa pelo Cabo de São Tomé está orientada na direção norte-sul. Por inércia a água mantém esta orientação, mas pela mudança da direção da costa a corrente, antes centrada em uma profundidade de 1000 metros, passa a atingir regiões mais profundas. Com o estiramento da coluna d'água a Corrente do Brasil adquire vorticidade, criando assim as condições para o aparecimento dos vórtices na região.

Segundo SILVEIRA (2006), além da batimetria, também a chamada Contra Corrente Intermediária (CCI) tem papel importante na formação dos vórtices. A CCI aparece abaixo e com direção aproximadamente contrária à Corrente do Brasil (CB). Da mesma forma como acontece com a mudança da batimetria, alterações na posição da CCI e na sua profundidade podem desestabilizar o fluxo da CB, criando também condições para o surgimento de vórtices na Corrente do Brasil.

Na plataforma continental (até a isóbata de 200 metros) o regime das correntes marinhas sofre influência dos ventos locais e da maré. Medidas realizadas durante o Programa de Monitoramento Ambiental Oceânico da Bacia de Campos, realizada pela FUNDESPA/USP, e descritas em TOMMASI *et al.* (1994), comprovam este fato. A massa d'água presente nesta região é a água da plataforma continental (ou água costeira), que faz limite com a água tropical característica da Corrente do Brasil. A água costeira é caracterizada por baixa salinidade, quando comparada com a Água Tropical, devido a contribuição de água doce dos rios da região.

A Contra Corrente Intermediária (CCI) transporta as massas de água ACAS (Água Central do Atlântico Sul) e AIA (Água Intermediária Antártica), com águas mais frias que a água tropical da Corrente do Brasil. A ACAS ocorre entre os 200 e 660 metros de profundidade e a AIA vai dos 660 até cerca de 1300 metros. A ACAS apresenta temperatura e salinidade superiores às da AIA.

Quando o vento sopra paralelo à costa do Estado do Rio de Janeiro por períodos prolongados, dá-se o fenômeno conhecido como “ressurgência” e que faz aflorar a ACAS nas praias desta região (daí o nome Cabo Frio). A ressurgência nada mais é que o bombeamento de Ekman que expulsa a água da plataforma continental, dando lugar às águas mais frias que se encontram abaixo da Corrente do Brasil.

A Figura 3.3.5 mostra um corte vertical pelo litoral do Rio de Janeiro onde aparecem as direções das correntes no talude continental e as massas d'água características de cada uma dessas correntes. Notar que acontecem 2 inversões verticais nas direções das correntes em profundidade. Outro aspecto importante é a posição da termoclina entre a Corrente do Brasil e a Contra Corrente Intermediária, entre 100 e 430 metros da superfície a temperatura da água abaixa de 22 para cerca de 10 graus centígrados.

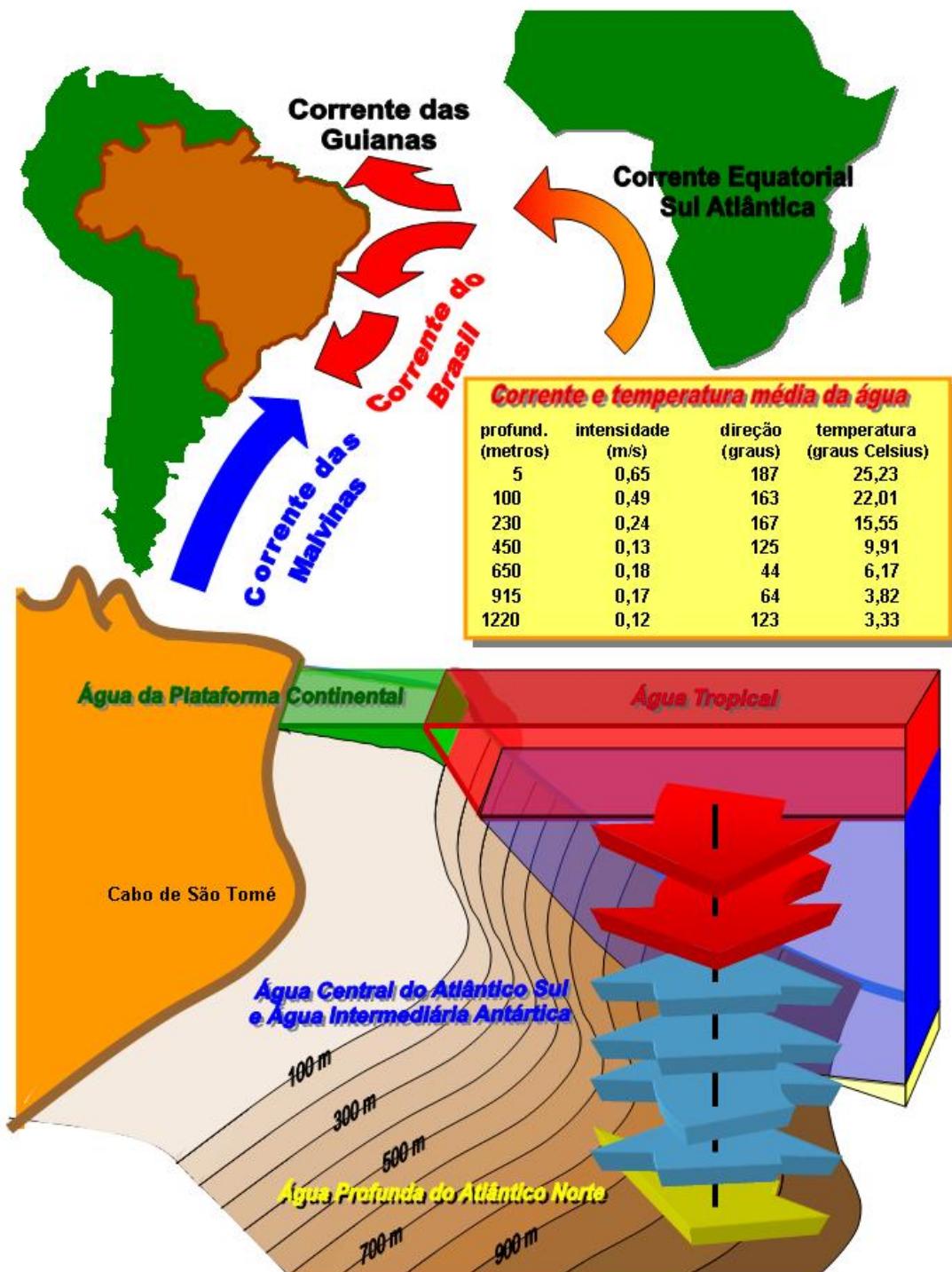


Figura 3.3.5 – Corte transversal ao longo do litoral do Rio de Janeiro com indicação das correntes e massas d'água presentes nesta região. Na tabela da figura as direções são referenciadas ao Norte Verdadeiro, e indicam a direção *para onde* a corrente vai.

4. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA

Uma etapa muito importante do trabalho é definir para que região são válidos os resultados encontrados e até que limites devemos considerar os parâmetros meteorológicos e oceanográficos utilizados, de forma a não excluir informações relevantes ao estudo. Para isto, é necessário definir o que entendemos como área de estudo e área de influência.

ÁREA DE ESTUDO: é a região da Bacia de Campos para onde são válidos os valores utilizados de vento, onda e corrente superficial, ou seja, a região para a qual os resultados obtidos podem ser aplicados.

ÁREA DE INFLUÊNCIA: região bem mais abrangente que a área de estudo, é definida como toda a região capaz de influenciar os valores de vento, onda e corrente que acontecem na área de estudo.

DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: Os resultados de modelos globais de vento e onda mostram uma grande similaridade de valores para toda a Bacia de Campos. Medições simultâneas de vento em diferentes locais da Bacia de Campos foram analisadas por NUNES *et al.* (2006), e a comparação das distribuições de intensidade e direção dos ventos confirmam a hipótese de pouca variabilidade do vento no talude continental da Bacia de Campos, fora da região de influência das brisas marinha e terrestre.

No caso das ondas não existiam medições simultâneas com o mesmo tipo de equipamento que pudessem ser usadas para uma comparação com dados reais. Os resultados de modelos indicam que a dimensão espacial da Bacia de Campos (ver Figura 4.1), não é suficiente para que os valores variem muito. Somente no caso de ondas locais com pistas de vento muito curtas, sem muita importância devido à sua pouca energia, poderia-se verificar valores significativamente diferentes.

Considerando que os dados utilizados neste trabalho foram coletados no Campo de Marlim, região central da Bacia de Campos, assumiremos inicialmente que os valores são válidos no entorno deste campo. Estudos com dados mais recentes de medidas simultâneas de onda podem permitir extrapolar esta região, mas no momento vamos

admitir como limite da área de estudo as dimensões do grid do modelo de vento e onda, no entorno do ponto utilizado neste trabalho, conforme indicado na Figura 4.1.

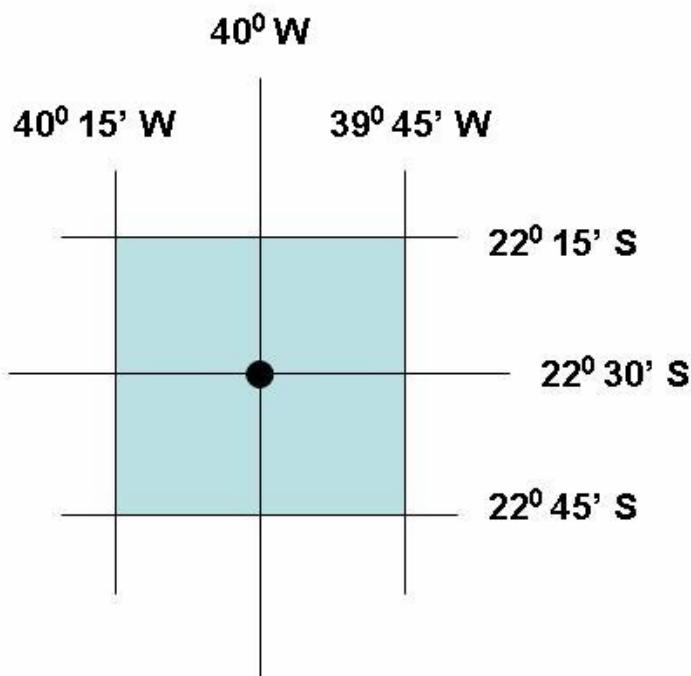


Figura 4.1 – Área de estudo (quadrado azul). Nesta região os dados e resultados podem ser considerados válidos.

DEFINIÇÃO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA: A primeira idéia que tivemos foi considerar todo o globo como sendo nossa área de influência. Desta forma não corremos o risco de excluir alguma feição importante para o estudo, mas ao mesmo tempo temos um volume bem maior de informações, difíceis de trabalhar, e provavelmente incluindo uma série de dados sem nenhuma importância para o nosso problema específico.

Para definir a área de influência procuramos uma solução de compromisso entre não excluir informações importantes e não incluir dados irrelevantes para o estudo. Para ajudar nesta tarefa fizemos uma pesquisa em alguns produtos de análises globais de vento e onda no Atlântico Sul, estando indicado na Tabela 4.1 os limites geográficos considerados nestes produtos. Além disso fizemos também um estudo geométrico de ondas distantes que podem vir a chegar até à Bacia de Campos, garantindo assim que a área de influência engloba todas estas situações.

Tabela 4.1 – Limites geográficos de produtos de ventos e ondas no Atlântico Sul

PRODUTO → Limite ↓	Carta Sinótica da Marinha do Brasil	Wavewatch III (NOAA) Atlantic Ocean Region	Modelo COPAS (ALVES, 2005)
NORTE	20° 00' 00" Norte	80° 00' 00" Norte	05° 00' 00" Norte
SUL	70° 00' 00" Sul	80° 00' 00" Sul	40° 00' 00" Sul
LESTE	00° 00' 00" Leste	25° 00' 00" Leste	10° 00' 00" Oeste
OESTE	90° 00' 00" Oeste	100° 00' 00" Oeste	65° 00' 00" Oeste
Ver imagem na ...	Figura 4.2 (*)	Figura 4.3	Figura 4.4

(*) para efeito de comparação, colocamos na mesma figura uma reanálise do ECMWF para a mesma data da Carta Sinótica, para mostrar a semelhança entre as mesmas.

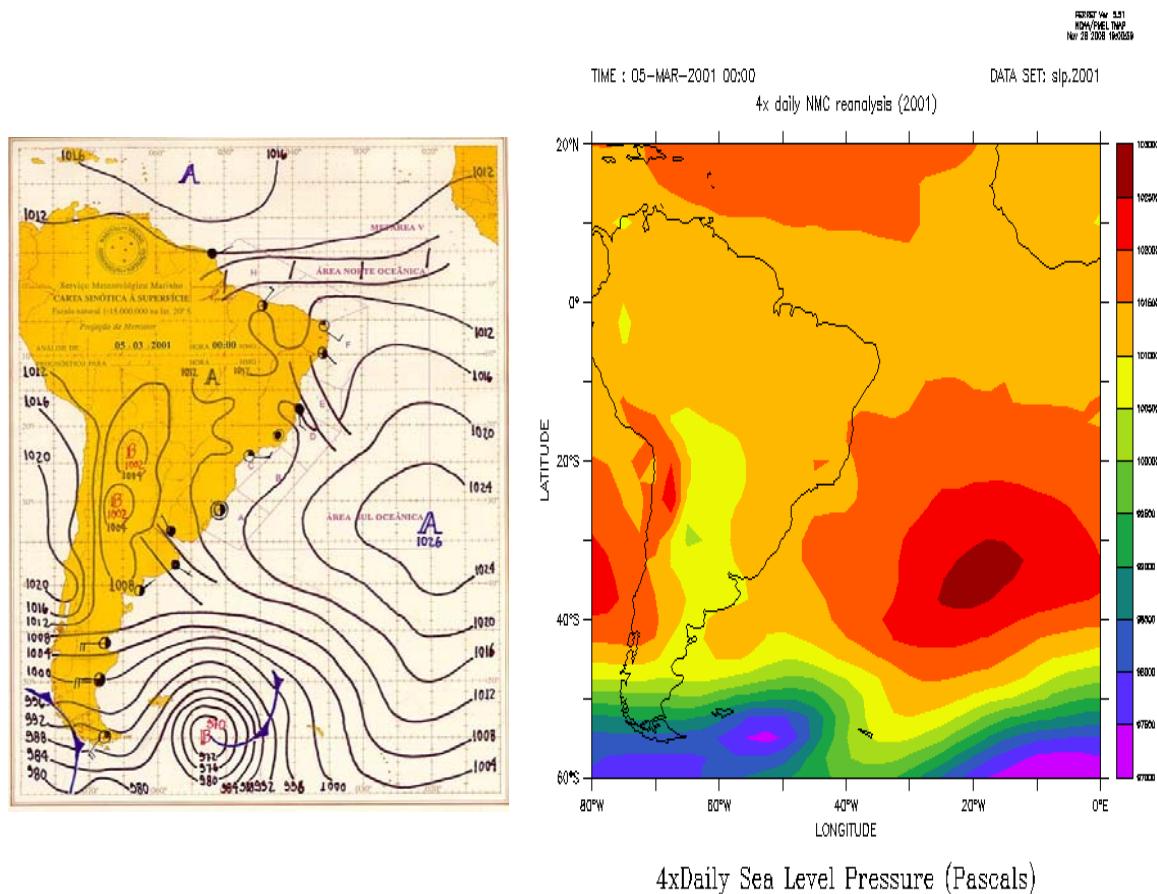


Figura 4.2 – Carta Sinótica elaborada pela Marinha do Brasil para o dia 05 de março de 2001 e resultado de reanálise do campo de pressões atmosféricas para a mesma data, feita pelo ECMWF.

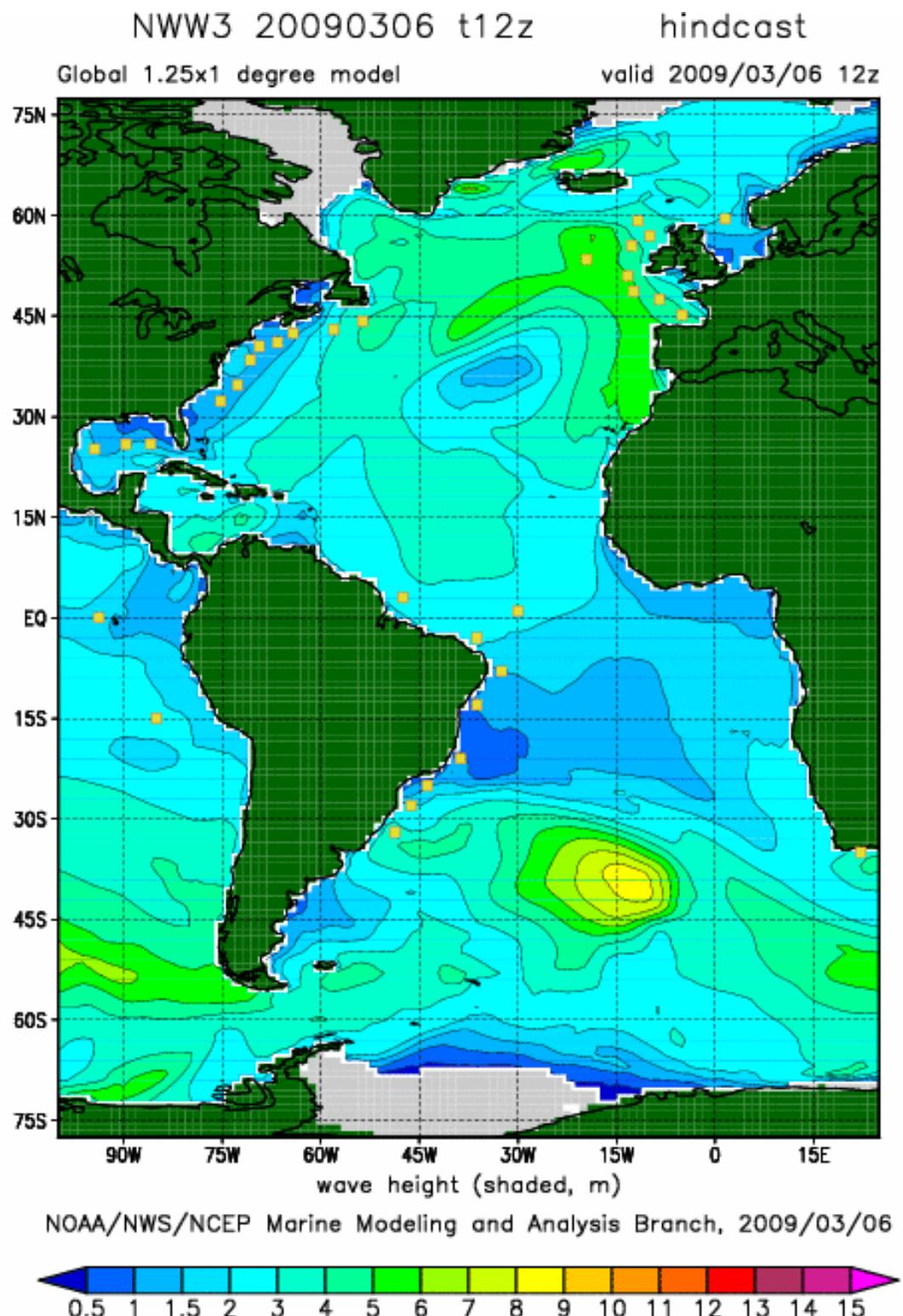


Figura 4.3 – Resultado de reanálise do modelo regional do oceano atlântico retirado do site da NOAA http://polar.ncep.noaa.gov/waves/main_int.html

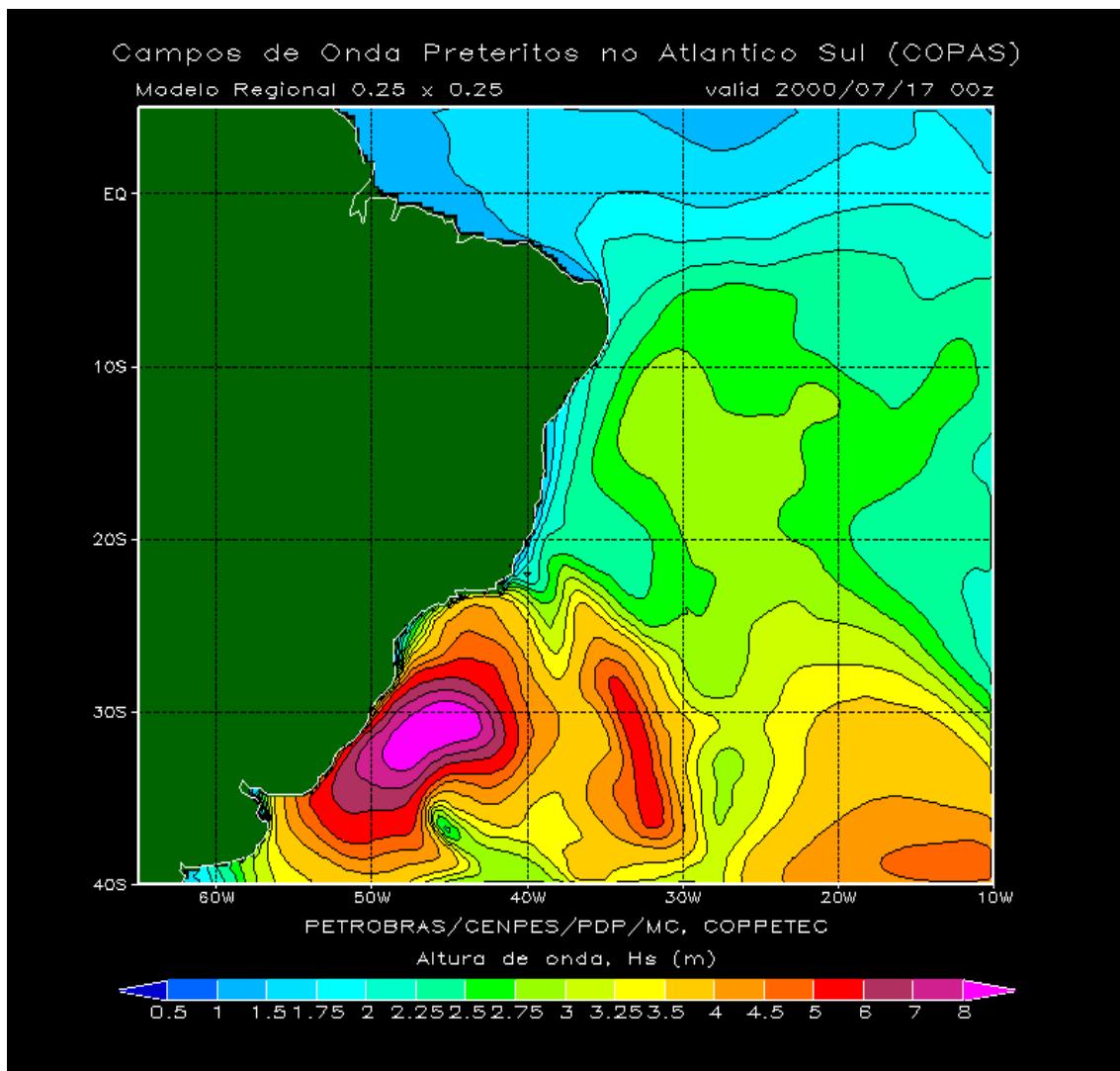


Figura 4.4 – Resultado de reanálise de ondas para o litoral brasileiro com o modelo COPAS

Existe uma diferença fundamental entre o vento e a onda que deve ser levada em consideração: enquanto o vento é um fenômeno de massa, ou seja, transporta a massa de ar de um local para o outro, a onda é um transporte de energia.

No caso do vento, é mais fácil correlacionar o mesmo com o campo de pressões, pois por se tratar de um transporte de massa, somente uma direção e intensidade do vento podem acontecer num determinado instante. Neste caso, vale a velha expressão de que 2 corpos não podem ocupar o mesmo lugar no espaço no mesmo instante. O vento é sempre relacionado ao campo de pressões que está ocorrendo no local de estudo.

No caso das ondas é diferente. Por se tratar de um transporte de energia, as ondas que acontecem na região de estudo podem ter sido geradas bem distantes do local pesquisado, sem ter ligação direta com o campo de pressões local. E mais, é possível existir mais de um sistema de ondas simultaneamente no mesmo local, o que traz uma variável a mais, que é conseguir distinguir e acompanhar a evolução temporal de mais de um estado-de-mar, por isso foi desenvolvido um *software* especificamente para isto, chamado *segue4mares*.

A circulação atmosférica tem um limite de separação entre os hemisférios sul e norte representado pela chamada ITCZ ou ZCIT (Zona de Convergência Inter Tropical), indicada pela linha vermelha na Figura 4.5. Esta linha divide a circulação superficial entre os 2 hemisférios, sendo razoável que se escolha uma latitude próxima ao seu valor como nosso limite superior da área de influência no caso do vento. No sentido leste-oeste o limite natural é o oceano Atlântico, sendo conveniente englobar a América do Sul pela sua proximidade com a Bacia de Campos e pela presença de baixas atmosféricas continentais que podem influenciar o regime de ventos na área de estudo.

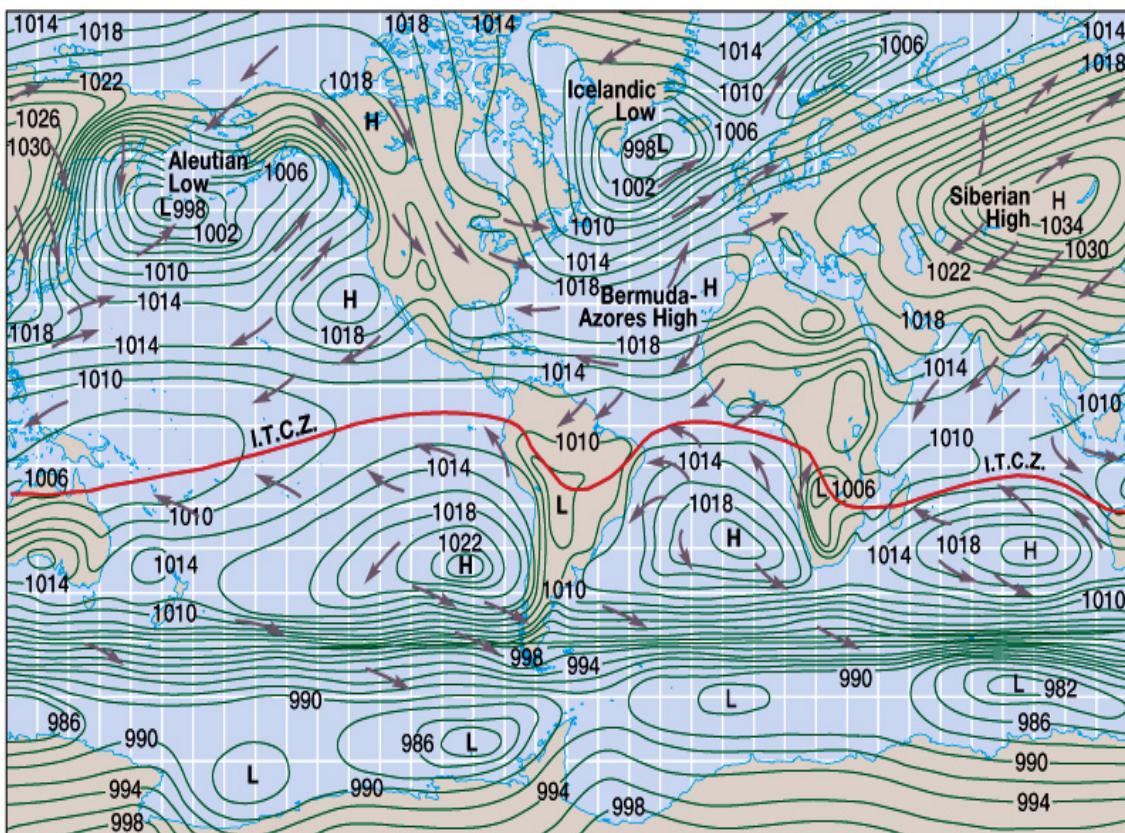


Figura 4.5 – Padrão global de circulação atmosférica à superfície para o mês de janeiro. Notar a presença do centro de alta pressão (H) entre a América do Sul e a África. A ITCZ (ou ZCIT em português) separa a circulação dos hemisférios sul e norte.

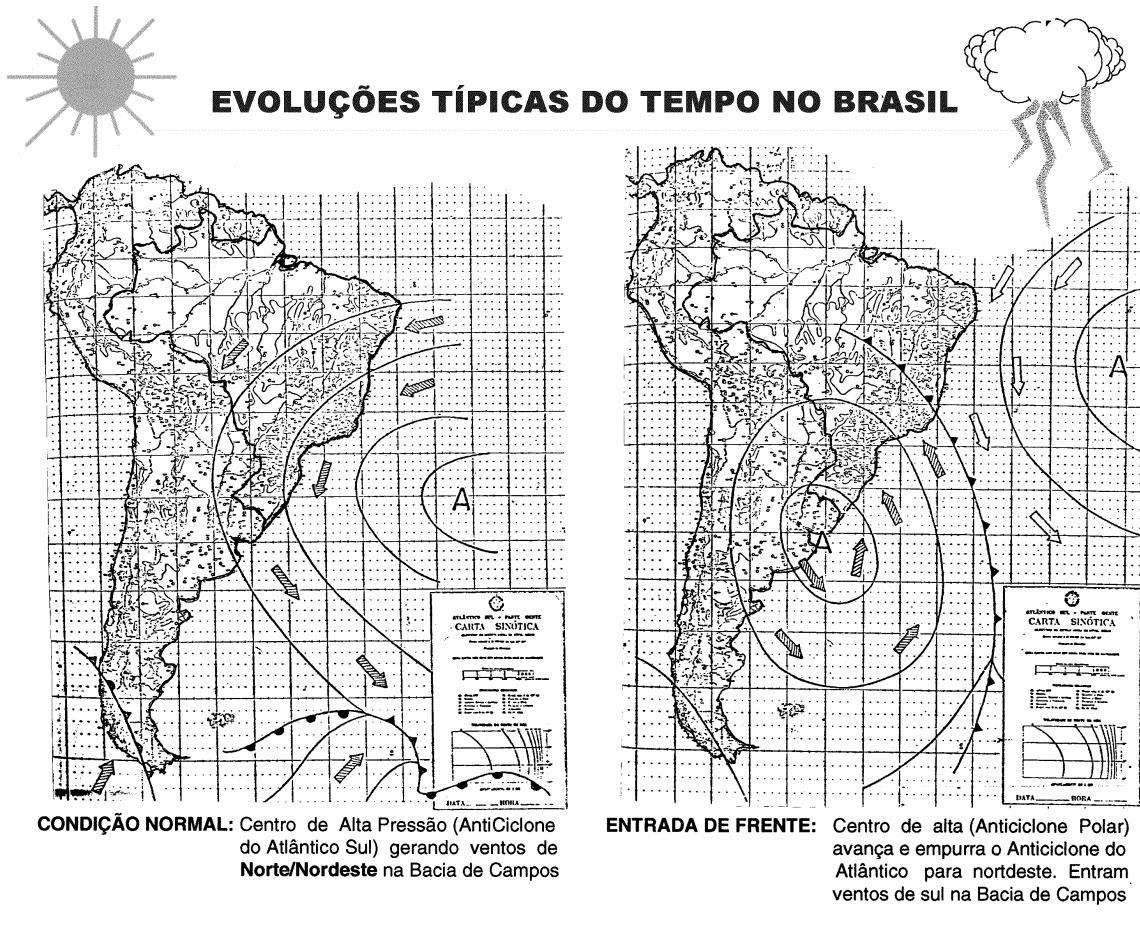


Figura 4.6 – Na parte esquerda da figura aparece a condição de tempo bom, a alta semi-estacionária do Atlântico Sul traz ventos de norte a leste, dependendo de sua posição. A parte da direita representa a condição de mau tempo, com entrada de frente fria trazendo ventos do quadrante sul.

O limite sul da área de influência deve abranger feições atmosféricas geradas na Antártica e no sul da América do Sul que influenciem o vento e a onda, como no caso de entradas de frentes frias, conforme representado na Figura 4.6.

Para avaliar inicialmente a máxima extensão possível da área de influência para as ondas, traçamos grandes círculos a partir de um ponto central na área de interesse com coordenadas $22^{\circ}30' \text{ sul}$ e $40^{\circ}00' \text{ oeste}$, localizado em águas profundas na Bacia de Campos. Algumas conclusões interessantes podem ser feitas pela análise das Figuras 4.7 a 4.9.

Pela Figura 4.8 verificamos ser possível traçar um círculo máximo, desde a Bacia de Campos, e chegando até o Oceano Pacífico, o que não é óbvio quando olhamos apenas a Figura 4.7, pois em função da deformação da projeção utilizada (eqüiretangular) nos dá a falsa impressão que só ondulações do Atlântico Sul poderiam chegar na região de interesse.

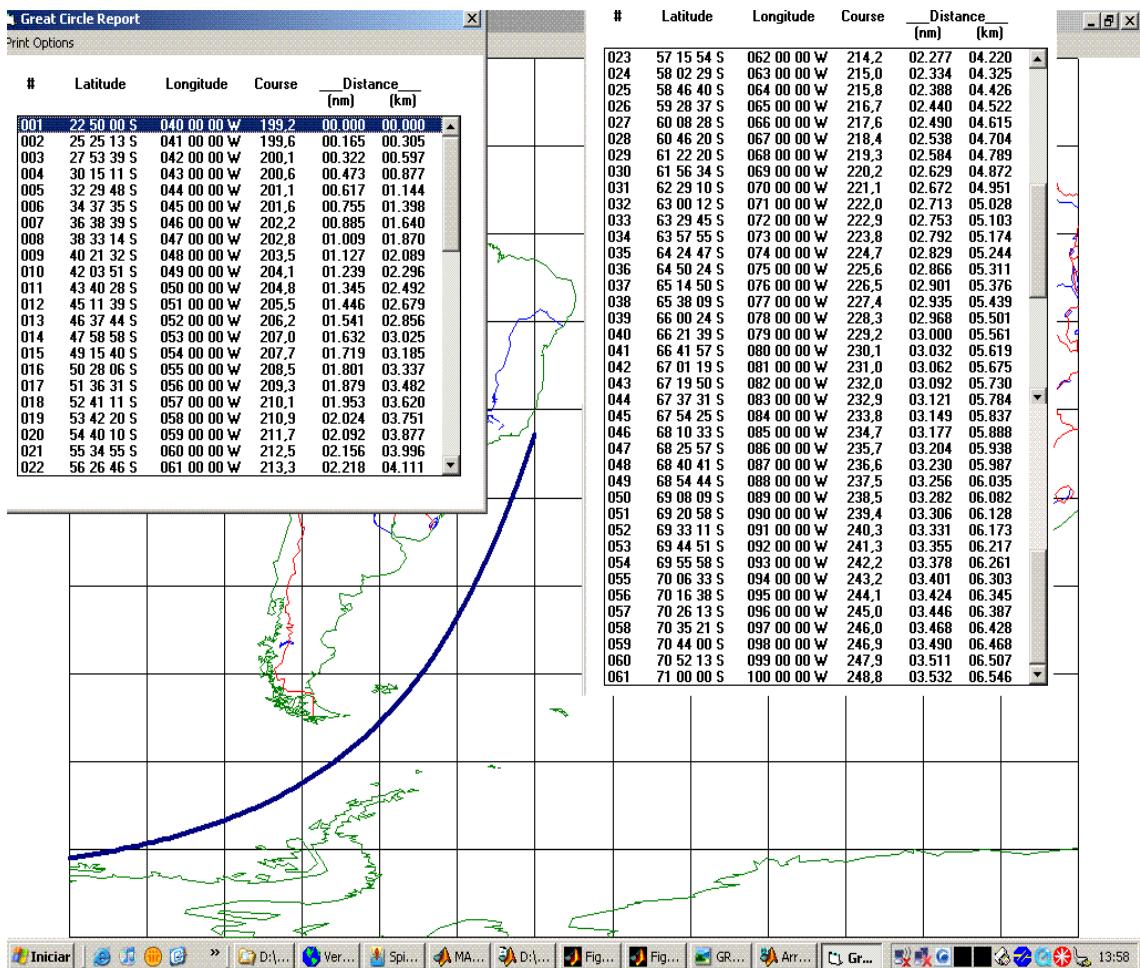


Figura 4.7 – Trajetória de um grande círculo mostrando que ondulações vindas do Pacífico podem atingir a Bacia de Campos. Elaborado com a versão shareware do programa VERSAMAP versão 3.01 (CULBERSON, 2000).

Para verificar a possibilidade de ondulações passando pelo sul da América do Sul chegarem à região de interesse, investigamos 10 anos de reanálises globais de ondas do ECMWF, entre os anos de 1991 e 2000.

Nas reanálises do ECMWF, através de animações dos campos de Hs e de Tp, verificamos por investigação visual destes campos, que as ondas vindas do Pacífico ou “batem” na costa chilena ou sofrem efeitos de refração e difração ao passarem pelo estreito de Magalhães, perdendo muita energia e continuando sua trajetória na direção leste, não atingindo desta forma a Bacia de Campos.

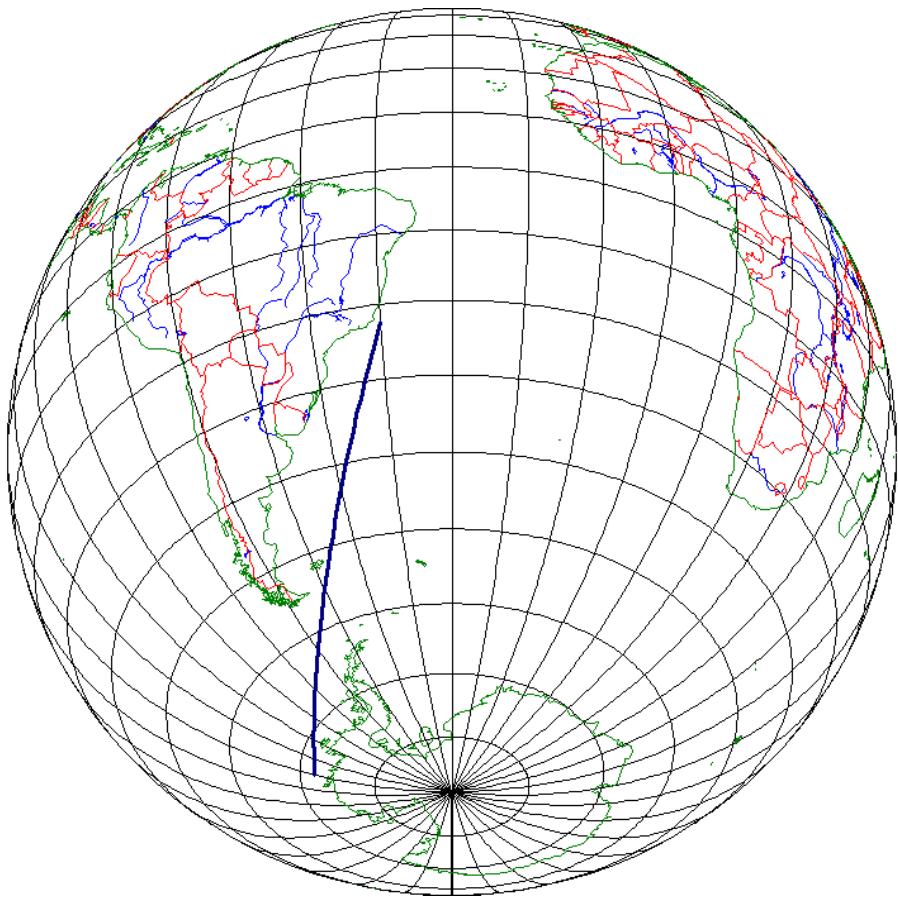


Figura 4.8 – Vista pelo pólo sul, com projeção ortográfica, de um grande círculo atingindo a Bacia de Campos a partir do oceano Pacífico. Elaborado com a versão *shareware* do programa VERSAMAP versão 3.01

Para estimar a possibilidade virtual de outras regiões gerarem ondulações distantes que possam atingir a Bacia de Campos traçamos círculos máximos de diversas direções, como indicado na Figura 4.9. Nesta figura verificamos que além do Sul da América do Sul ondas vindas do sul da África podem chegar à região.

Na dissertação de BRANCO (2005), ele classifica as regiões da terra com possibilidades de gerar ondulações distantes (swell) conforme indicado nas Figuras 4.10 e 4.11. A Figura 4.10 indica os ciclones tropicais, onde é possível verificar que praticamente não existem estas feições entre a América do Sul e a África. No caso dos ciclones extra-tropicais (Figura 4.11), eles aparecem entre a América do Sul e a África, ocasionando ondas geralmente de sudeste na Bacia de Campos.

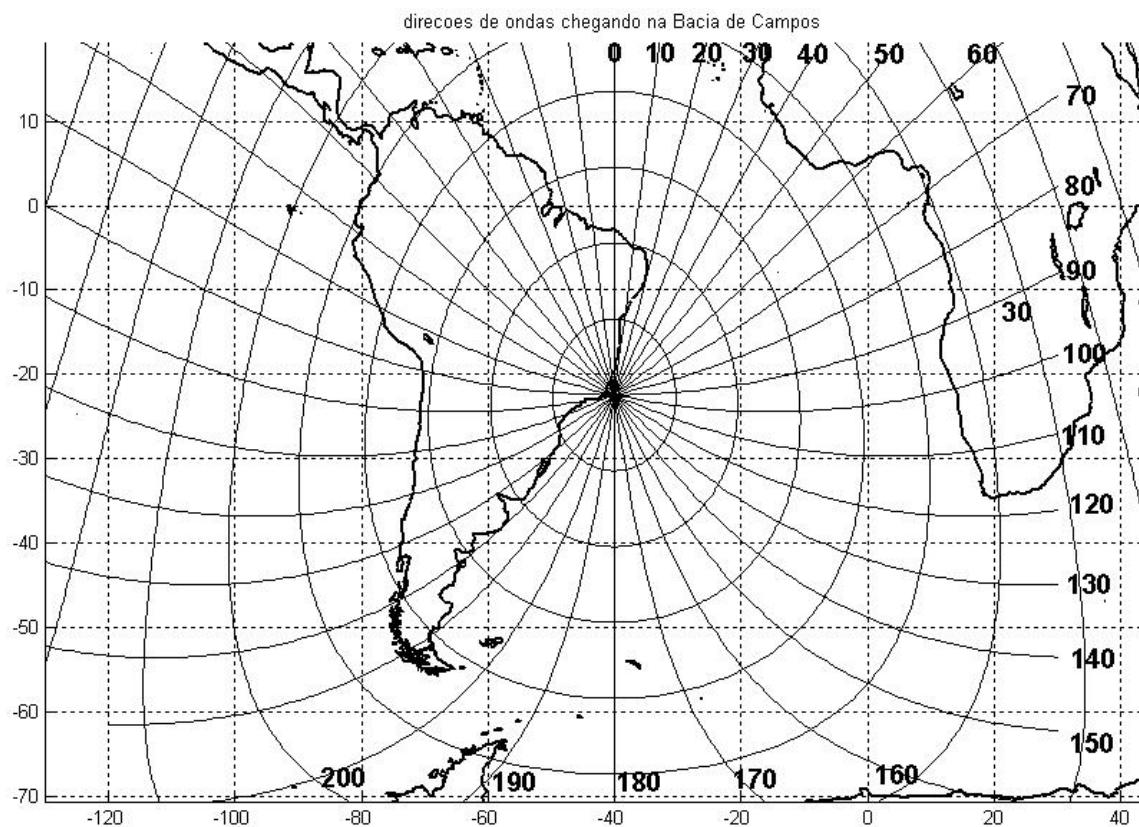


Figura 4.9 – Círculos máximos a partir da área de estudo na Bacia de Campos

A Figura 4.9 foi obtida plotando-se as coordenadas de círculos máximos com início na Bacia de Campos, de 10 em 10 graus. Nela é possível notar que ondulações do Atlântico Norte podem atingir a costa nordeste do Brasil, havendo evidências de sua chegada no trabalho de FILHO (1993), mas não é provável que possam chegar à Bacia de Campos por causa do contorno dos continentes Africano e da América do Sul, não havendo registro destas ondulações na área de estudo.

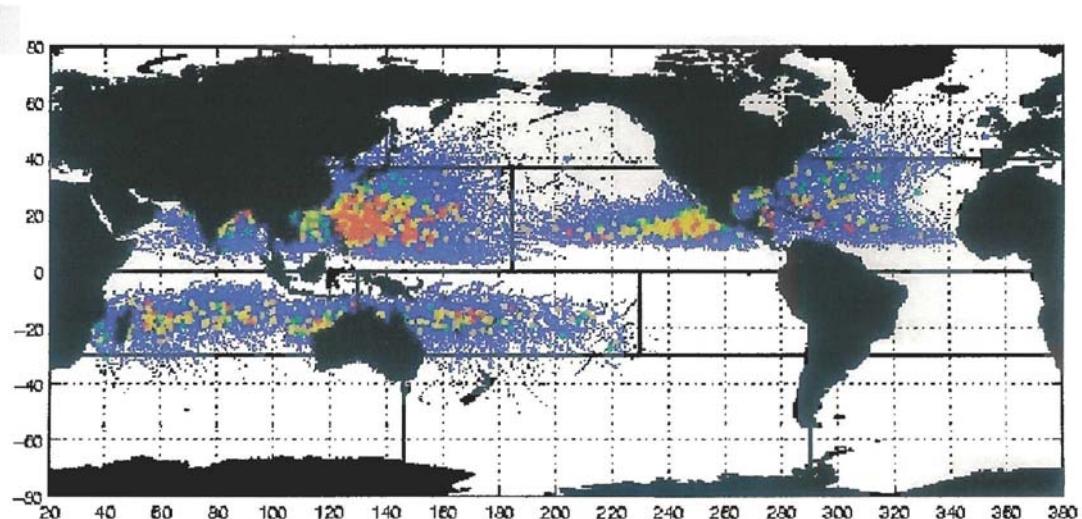


Figura 4.10 – Ocorrência de ciclones tropicais por regiões

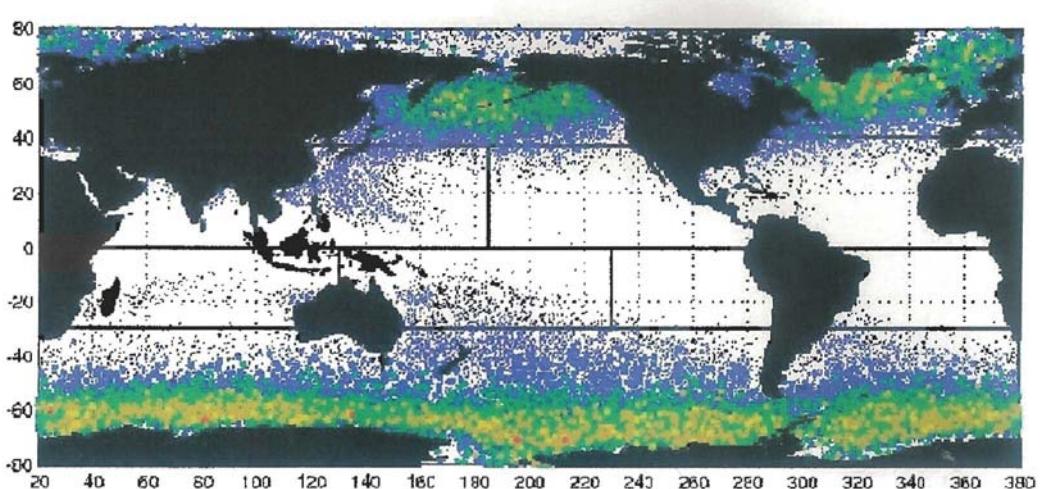


Figura 4.11 – Ocorrência de ciclones extratropicais por regiões.

SILVA (2008) estuda o caso de ondulações distantes chegando à Bacia de Campos para a situação de tempo bom, ou seja, para o caso em que o centro de alta do Atlântico Sul proporciona ventos locais de norte a leste e tempo bom. Nesta situação o autor identifica ondas geradas a distâncias que variam de 1681 a 4315 km, com tempo médio de chegada de 80 horas. O mesmo autor identifica que a maioria dos sistemas geradores das ondulações são ciclônicos (centros de baixa pressão), respondendo por cerca de 85 % dos eventos.

REBOITA (2008) faz um estudo completo de ciclones extratropicais no Atlântico Sul, mostrando 3 regiões preferenciais de formação dos ciclones, conforme indicado na Figura 4.13. Estas regiões encontram-se próximas ao litoral da América do Sul e estão todas contidas nos limites da área de influência.

Ondulações geradas próximo ao sul da África são em sua grande maioria resultantes de ciclones, que como dito anteriormente, apresentam giro no sentido horário no hemisfério sul. Esta feição gera ondas que em geral migram para o Oceano Índico ou costa oeste da África.

A área de influência indireta foi escolhida após as considerações acima e com base nos limites da Tabela 4.1. A Figura 4.12 mostra a área de influência adotada, e suas coordenadas estão na Tabela 4.2.

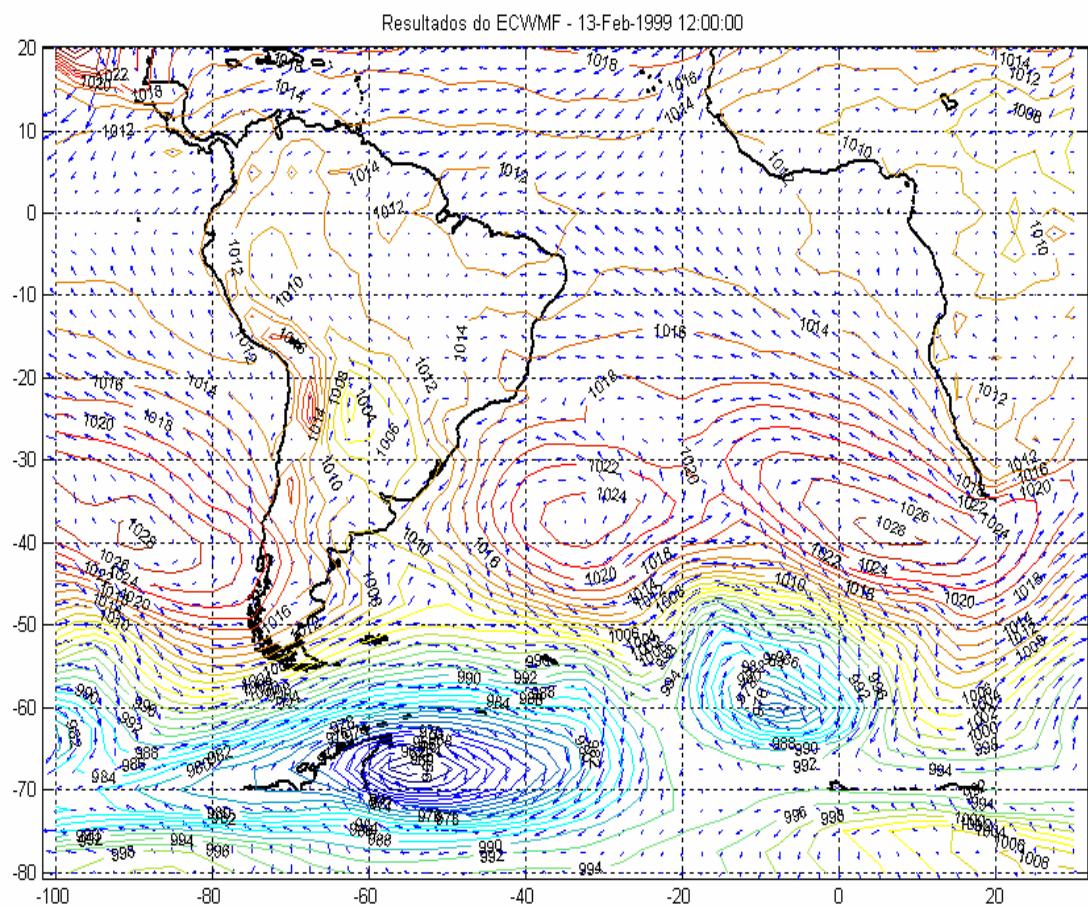


Figura 4.12 – Campo de pressões e ventos à superfície para a área de influência do estudo

Tabela 4.2 – Coordenadas Geográficas dos limites da área de influência

Limite superior	20 graus norte (+ 20 graus de latitude)
Limite inferior	80 graus sul (- 80 graus de latitude)
Limite direito	30 graus leste (+ 30 graus de longitude)
Limite esquerdo	100 graus oeste (- 100 graus de longitude)

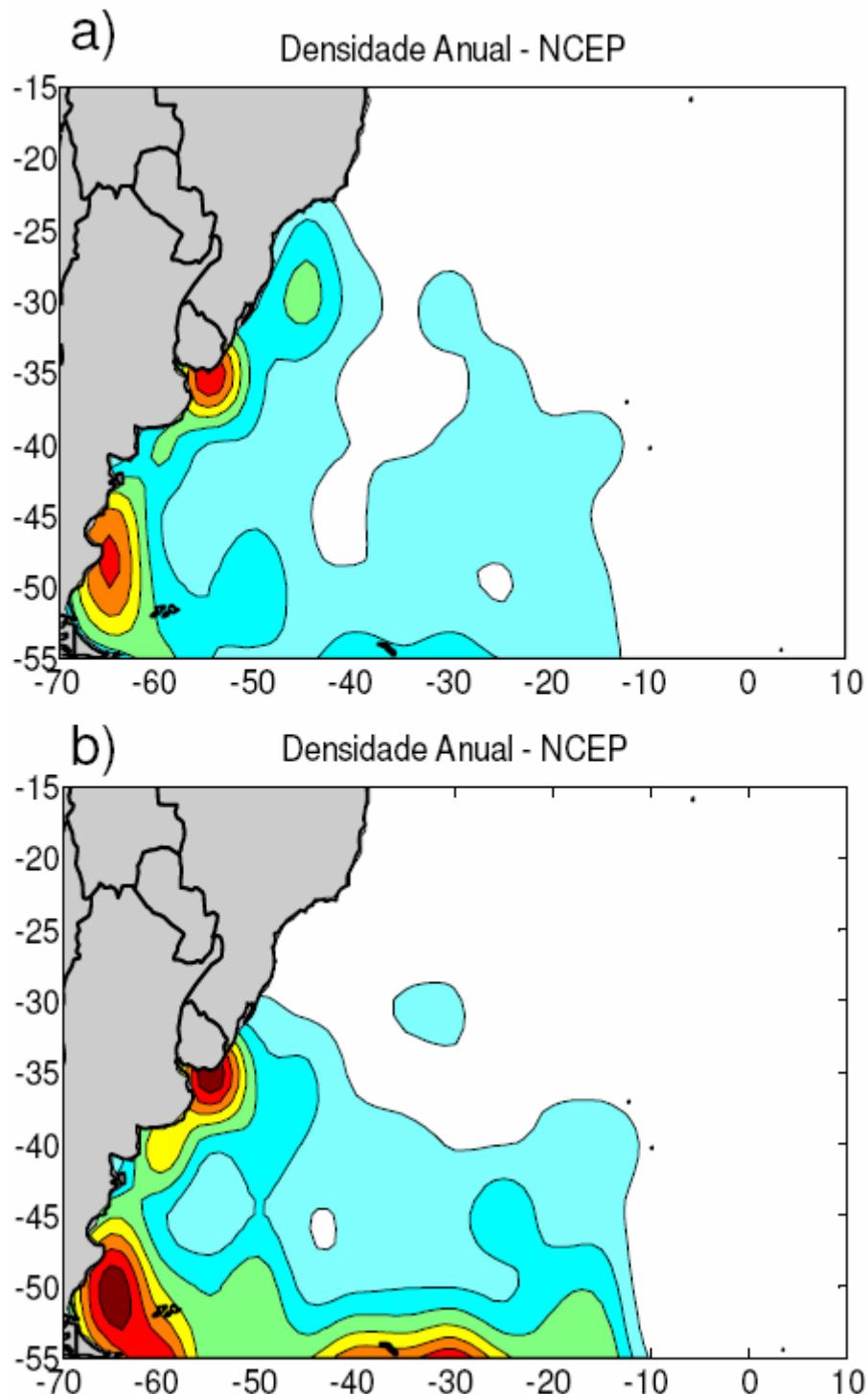


figura 4.13 – Densidade de ciclogêneses (10^{-4} km^{-2}) no período de 1990 a 1999. Em (a) aparecem os eventos que começaram mais fracos, onde notamos 3 regiões de formação dos ciclones: no sul da Argentina, no Uruguai e ao largo do litoral de Santa Catarina. Em (b) estão indicadas as 2 regiões de geração de ciclones mais intensos.

5. ABORDAGEM ATUAL E PROPOSTA DE NOVA METODOLOGIA

A melhoria nas ferramentas de análise de projetos *offshore*, o desafio de novas unidades flutuantes e o maior conhecimento dos projetistas sobre o ambiente, fizeram aumentar o nível de detalhamento exigido das informações meteorológicas e oceanográficas necessárias para projetos e operações no mar. No passado, valores ambientais de vento, onda e corrente eram utilizados de forma individualizada, e muitas vezes o mesmo valor era repetido para todas as direções, considerando-se, por falta de maiores informações, que as 3 variáveis poderiam acontecer simultaneamente e na mesma direção.

Esta abordagem acontecia pela falta de um grande conjunto de dados simultâneos e levava a dimensionamentos exagerados das estruturas oceânicas. Dados simultâneos e direcionais continuam raros na costa brasileira, apesar dos esforços da Petrobras e da Marinha em campanhas de medição de dados. Por esta razão, demandamos um esforço muito grande para aproveitar o maior número possível de informações de vento, onda e corrente (ver Capítulos 6, 8 e 9), através de técnicas para correlacionamento de dados de outros locais próximos ao de interesse, assim como pelo preenchimento de dados faltantes de forma otimizada.

Qualquer metodologia de análise conjunta dos dados irá fracassar se não existirem medições individuais suficientes de vento, onda e corrente. Uma solução possível é o uso de modelos de reanálise, principalmente para reconstituição de dados de vento e onda. Esta solução tem o inconveniente da precisão dos modelos, que é menor que a dos dados medidos. Outro problema dos modelos diz respeito a fenômenos de pequena escala espacial, que se tiverem dimensão menor que o grid do modelo não serão representados no mesmo. Apesar destas limitações, os dados vindos de modelos são uma ótima alternativa, principalmente para grandes falhas nas medições, sendo por isso considerados junto a outras técnicas de preenchimento de falhas.

No nosso caso, optamos por tentar usar o maior número possível de informações medidas, não só por conta dos problemas apontados nos modelos, como também porque na metodologia proposta, como será visto adiante, usamos o campo de pressões atmosféricas de modelos para achar correlações com os dados de vento e onda. Se utilizássemos os dados de vento e onda do modelo, as relações de dependência com a pressão atmosférica seriam as do próprio modelo, não havendo nenhum ganho no estudo.

ABORDAGEM ATUAL

Análises direcionais de parâmetros ambientais são feitas tradicionalmente agrupando os dados segundo as direções geográficas. Costuma-se utilizar 8, 12 ou 16 setores, conforme a quantidade de dados disponíveis e as necessidades dos projetistas. Na Figura 5.1 aparecem os limites de valores para o caso de divisão em 8 direções.

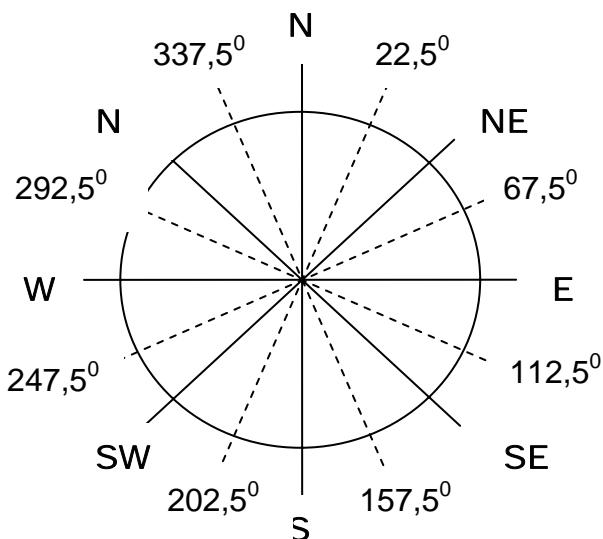


Figura 5.1 – Limites de valores de direção para divisão em 8 setores de 45 graus.

A partir destes agrupamentos são feitos os estudos estatísticos tais como diagramas de dispersão da variável ou análises de eventos extremos, normalmente valores para períodos de retorno de 1, 10, 50 e 100 anos.

As análises conjuntas são feitas considerando-se combinações de valores de vento, onda e corrente com períodos de retorno variável. Por exemplo, pode-se combinar onda e vento centenários com corrente decenária ou vice-versa, num projeto de uma plataforma *offshore*. Uma abordagem mais recente considera a probabilidade de ocorrência simultânea de mais de um parâmetro ambiental, o que implica em se ter as distribuições conjuntas das variáveis, sendo necessário para isto se dispor de muitas informações de todos os paraâmetros em estudo ao mesmo tempo.

Seja qual for a forma de apresentar os dados, na abordagem atual considera-se a divisão em setores pelas direções geográficas (N, NE, etc.), o que não necessariamente separa os dados na forma como os mesmos acontecem na natureza. Isto pode ocasionar conjuntos misturados de dados de diferentes origens (Figura 5.2), que podem ser mais difíceis de ajustar estatisticamente.

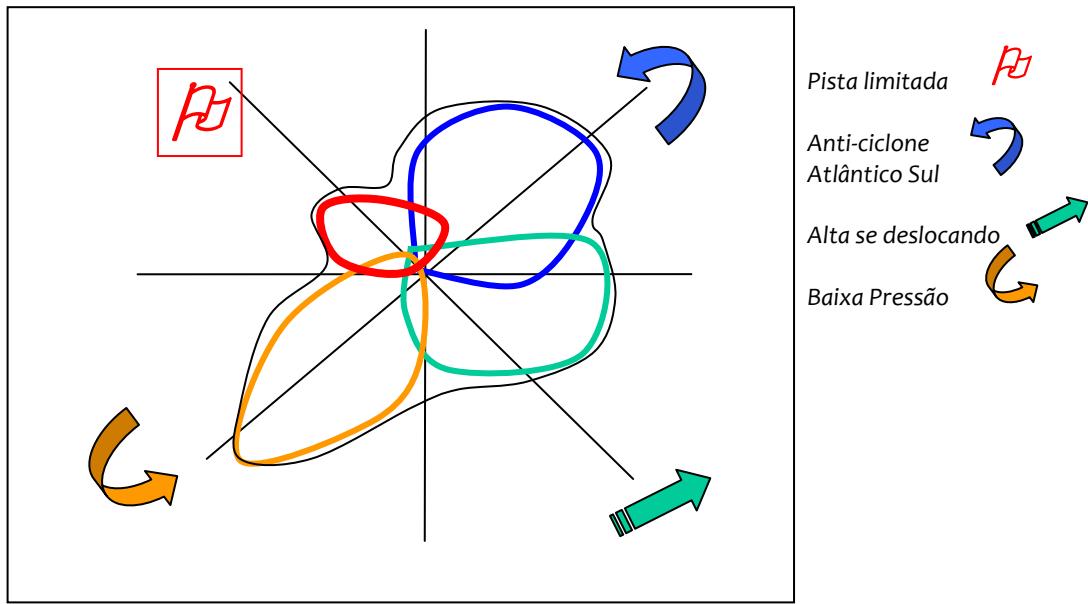


Figura 5.2 – Na abordagem tradicional os dados são distribuídos em setores conforme as direções geográficas. Na natureza os dados podem se distribuir de forma diferente.

PROPOSTA DE NOVA METODOLOGIA

A nossa intenção nesta proposta é organizar as informações de forma a prover uma correlação entre o dado medido e o forçante ambiental que o gerou. Com esta abordagem esperamos conseguir chegar a condições mais realistas de distribuições conjuntas e garantir a homogeneidade dos conjuntos de informações individuais dos parâmetros.

Na Figura 5.2 as regiões em colorido representam possíveis distribuições de altura de onda por direção, e cada cor está relacionada à um tipo de condição ambiental. No caso, as 4 regiões estão representando:

- *em vermelho*: condição rara e pouco energética de vento de noroeste. Acontece quando uma frente fria se aproxima da Bacia de Campos, pouco antes da passagem da mesma (CAPTAIN, 2005), e apesar dos ventos poderem vir a ficar intensos, têm pouca duração, assim como a pista é bastante limitada pelo litoral;

- *em azul*: condição de tempo bom. Está diretamente relacionado ao anti-ciclone semi-estacionário do Atlântico Sul. A direção do vento e da onda está orientada pela curvatura das isóbaras e pela posição do centro de alta pressão.
- *em verde*: os mares (e o vento eventualmente) nesta região estão ligados a centros de alta e de baixa pressão se deslocando de oeste para leste/nordeste (CAMPOS, 2009). As ondas geralmente adquirem características de swell e o vento pode ou não chegar à Bacia de Campos.
- *em abóbora*: o clima de onda e vento (também eventual) está relacionado a ciclones gerados no sul da América do Sul. Os gradientes de pressão podem ser bem altos, principalmente quando existe um centro de alta pressão próximo ao ciclone (que é um centro de baixa pressão), gerando valores de vento elevados. As pistas podem apresentar um grande trecho retilíneo, gerando ondas elevadas. Os ventos nem sempre atingem a Bacia de Campos, da mesma forma que os da área em verde.

A metodologia proposta consiste de 2 ítems:

- 1) **agrupar as informações de vento e onda com base nas configurações do campo de pressões**, em outras palavras, relacionar os dados medidos sempre a centros de alta ou baixa pressão atmosférica, armazenando junto com o dado medido os valores dos centros de pressão e as coordenadas dos mesmos, conforme modelo da Tabela 5.1;
- 2) **retirar a componente de deriva da corrente total** e fazer as análises conjuntas sem a mesma, supondo independência estatística da corrente resultante com o vento e a onda.

A corrente oceânica pode ser gerada pela maré, por gradientes de temperatura e salinidade e por ventos em escala global e local. Além disso, instabilidades no fluxo da corrente podem formar vórtices e meandros que mudam a direção e a intensidade da corrente. Todos estes mecanismos geradores podem ocorrer ao mesmo tempo, por este motivo se correlacionarmos a corrente total com apenas um deles o resultado provavelmente não será muito bom.

Nossa sugestão para o caso das correntes é estimar a componente devida ao vento local (corrente de deriva), esta sim relacionada ao campo de pressões, podendo-se para isto utilizar o procedimento sugerido no Capítulo 9.

Depois de estimada a componente de deriva, ela pode ser retirada da corrente total, e passamos a considerar a corrente resultante desta subtração como sendo uma variável independente do vento e da onda.

As análises envolvendo onda e vento com a corrente passam a ser eventos estatisticamente independentes. A Figura 5.3 mostra como esta abordagem pode levar à uma redução no valor final da corrente.

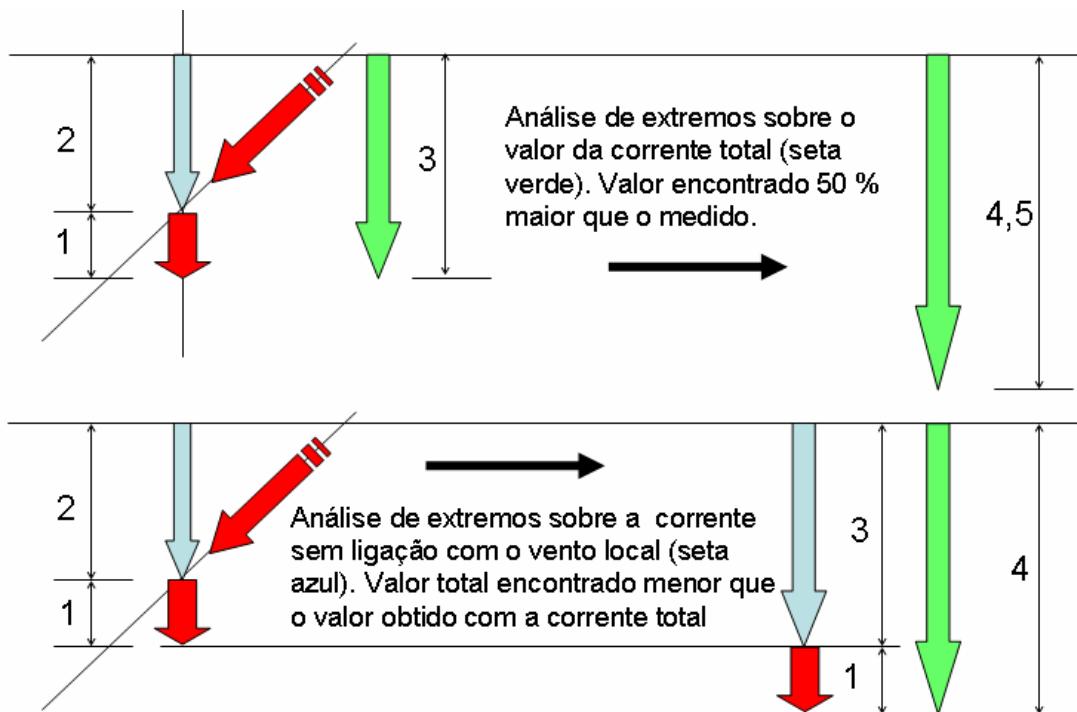


Figura 5.3 – Diferença no valor final da corrente (seta verde) quando retiramos a corrente de deriva (seta vermelha) antes de fazer a análise de extremos.

Para **agrupar as informações de vento e onda com base nas configurações do campo de pressões** procedemos da seguinte forma:

VENTO

- leitura no arquivo de dados medidos da data, intensidade e direção do vento;
- investigação na reanálise do ECMWF de que campo de pressão está gerando o vento. Isto é feito de forma direta na imagem da reanálise utilizando o programa *pressão* (*);
- captura das coordenadas do centro de pressão (alta ou baixa) e o valor da pressão através do mouse, também no programa *pressão*.

(*) o programa *pressão* lê as reanálises do campo de vento e pressão do ECMWF em formato netcdf, no grid estabelecido para a área de influência. (ver Figura 4.10). Desenha os círculos máximos a partir da Bacia de Campos para várias direções e captura via mouse, segundo escolha do usuário, as coordenadas e o valor numérico da pressão no ponto selecionado. Ele faz isso para uma sequencia de imagens definidas pelo usuário e salva os valores de pressão e coordenadas num arquivo de saída também definido pelo usuário.

A Figura 5.4 mostra a tela do programa *pressao* para o dia 12 de fevereiro de 1999, às zero hora HMT. Neste instante o vento estava girando de norte para sul, no sentido anti-horário, feição típica de entrada de frente fria. Na figura vemos um centro de baixa pressão (seta azul) e uma alta sobre o litoral do Uruguai (seta vermelha), que ainda está influenciando a direção do vento, em mais algumas horas o vento passa a ter direção SE, por causa da baixa da seta azul.

Na Figura 5.4 cada linha curva saindo da Bacia de Campos representa um círculo máximo, com as direções variando de 10 em 10 graus. As curvas fechadas parecidas com círculos são as distâncias de 1000 em 1000 km a partir também da Bacia de Campos. Estas linhas ajudam o usuário a identificar os centros de pressão pela informação da direção no arquivo de dados e da provável distância de geração da onda dada pela equação 5.4.1, que será apresentada mais adiante.

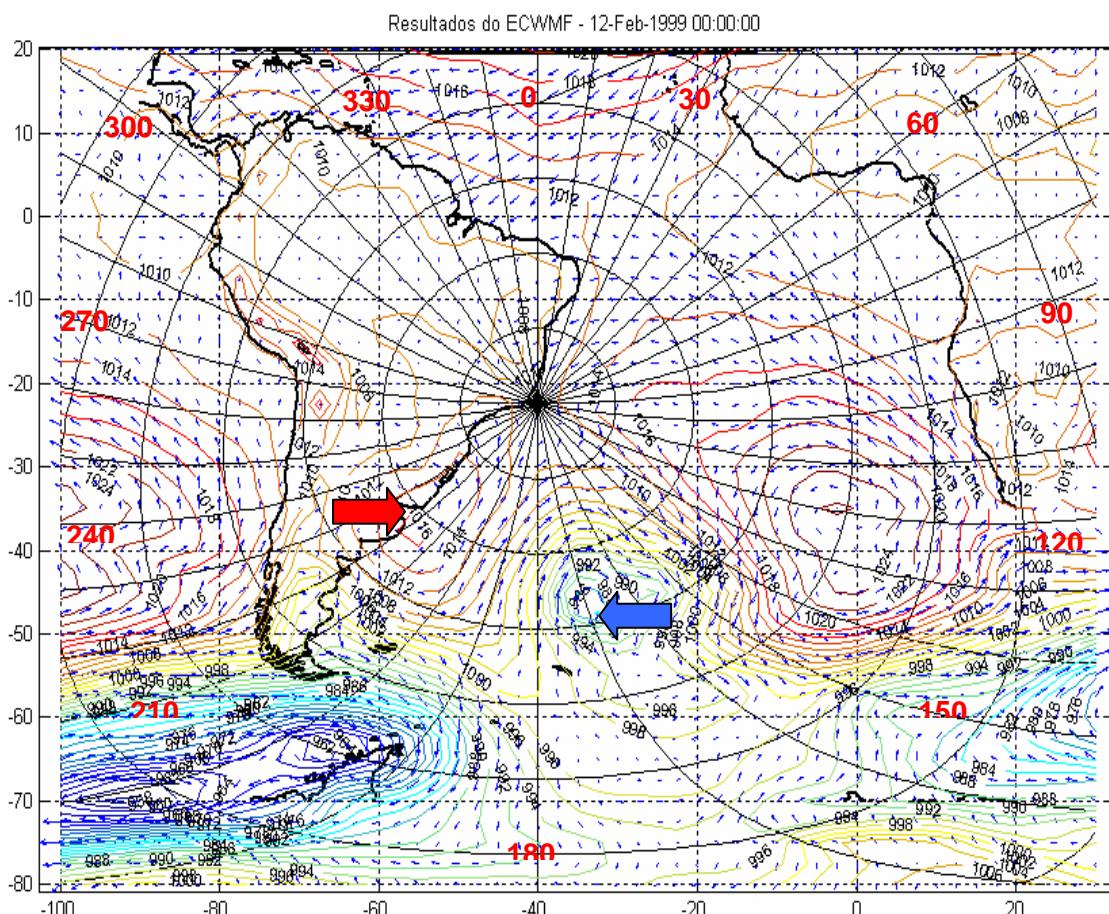


Figura 5.4 – imagem gerada pelo programa *pressão*. A seta em vermelho indica um centro de alta pressão, que está gerando os ventos do dia 12/02/1999. A seta em azul é um centro de baixa pressão responsável pelas ondas que irão chegar na Bacia de Campos cerca de 2 dias depois.

ONDA

- a) para cada evento de ondas identificada no Capítulo 7, é feita a plotagem da “assinatura” deste evento. Entende-se como evento a sequencia de mares identificada e separada pelo programa *segue4mares* (ver também Capítulo 7), e como “assinatura” o desenho num gráfico polar de direção contra período de pico, da evolução temporal do evento (figura 5.5);
- b) o programa *procura_forcante* plota a assinatura do evento junto com as reanálises, considerando até 4 dias antes do início do evento. As reanálises são mostradas na tela junto com círculos máximos saindo da Bacia de Campos. Uma estimativa da distância de onde pode ter sido gerada a onda pode ser obtida pelo método *Ridge Line* conforme descrito por SILVA (2008). Neste método utiliza-se a velocidade de grupo da onda em águas profundas, e considerando que ondas com diferentes períodos (T_c e T_s) chegam com uma diferença de tempo (Δt), é possível estimar a distância “d” (equação 5.4.1).
- c) Com as reanálises o usuário irá selecionar, da mesma forma que no caso do vento, as coordenadas dos centros de pressão e seus valores. No caso da onda, pode acontecer de mais de um centro de pressão ser importante para sua geração, neste caso o programa captura os valores dos 2 centros de pressão, e se o usuário quiser, até mais centros de pressão podem ser escolhidos.

$$d = \frac{g}{4\pi} \left(\frac{T_c \cdot T_s}{T_c - T_s} \right) \cdot \Delta t \quad (5.4.1)$$

onde:

d = distância provável de geração das ondas

g = gravidade

T_c = onda de maior período

T_s = onda de menor período

Δt = diferença de tempo entre a chegada de T_c e T_s .

Para o caso da Figura 5.4, o centro de baixa pressão (seta azul) gera ondas na direção sul até a Bacia de Campos a cerca de 3.000 km da mesma, o que se obtém da figura observando os círculos concêntricos ao ponto de interesse, sabendo-se que os mesmos estão afastados de 1.000 km um do outro. Por inspeção visual, a “cabeceira” da pista está a 2.000 km da Bacia de Campos, e o começo da mesma a 4.000 km.

Na Equação 5.4.1 a estimativa da distância de geração é função de que pares de ponto são escolhidos para aplicação da mesma (valores de Tc e Ts), o que pode levar a resultados distintos. Outro fator que diminui a precisão da fórmula é que os valores dos períodos de pico são “discretos”, em função da resolução da análise espectral. O uso de um ajuste polinomial, ou mesmo uma média móvel no entorno dos valores escolhidos de período pode melhorar o resultado, substituindo-se $(T_c - T_s)$ pela derivada da função ajustada próximo dos pontos.

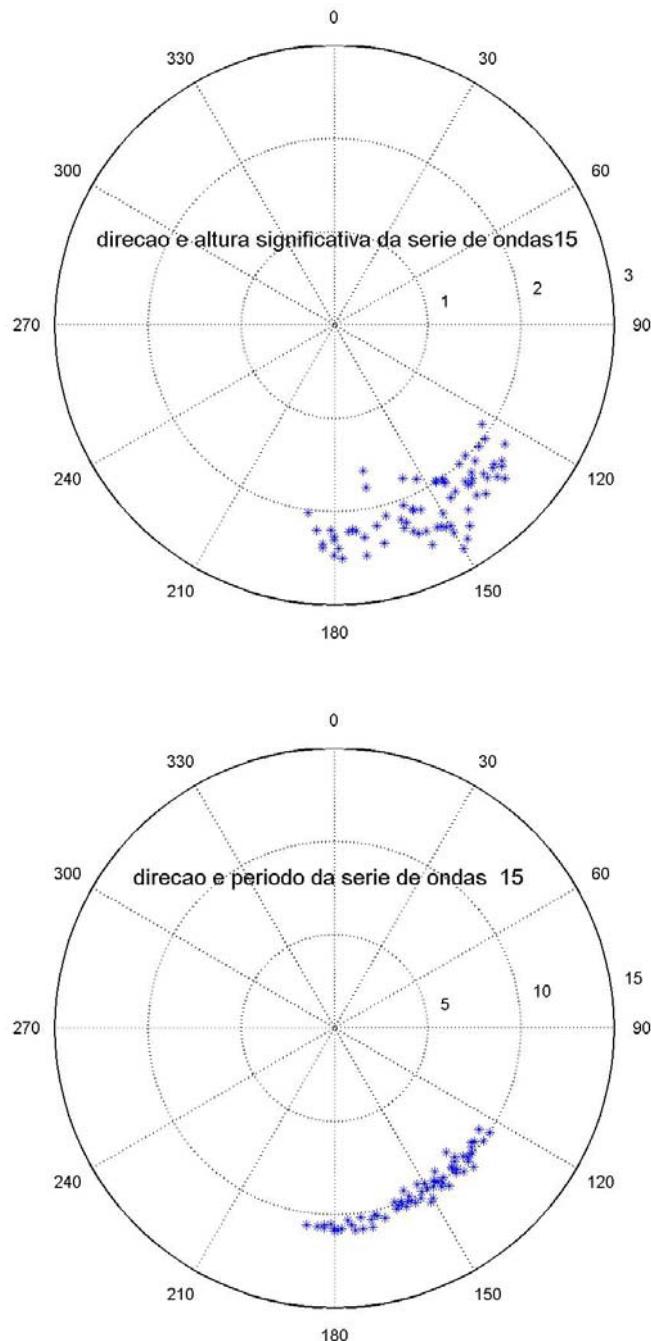


Figura 5.5 – “Assinatura” de um evento de ondas. A parte superior representa a direção pela altura significativa, a parte inferior da figura é a distribuição de período de pico por direção

Uma vez obtidos os valores de pressão e as coordenadas, é feita uma interpolação linear para as horas cheias entre os horários da reanálise. Pela Figura 6.4.1 sabemos que existem 2 picos e 2 cavados a cada 24 horas, mas de pequena amplitude (cerca de 2 milibares). A interpolação linear não considera estas pequenas oscilações, e é difícil considerá-las, pois os pontos selecionados estão cada vez num local diferente, sendo mais complicada a interpolação porque os instantes das cristas e cavados variam conforme a latitude e longitude do ponto.

Com a interpolação para as horas cheias passamos a ter valores horários de pressão, latitude e longitude dos centros de alta ou de baixa, com o mesmo intervalo de tempo que os dados de vento, onda e corrente superficial, para colocação no Banco de Dados.

Quando propomos alguma coisa diferente, nossa tendência é ver mais vantagens do que desvantagens. Desta forma, não podemos dizer que as vantagens e desvantagens listadas abaixo sejam uma visão completamente independente, mas é o que conseguimos enxergar no momento.

VANTAGENS:

- maior robustez estatística por concentrar os dados em grupos semelhantes;
- garantia da seleção de máximos estatísticos independentes (máximos por evento);
- maior veracidade nas combinações multivariadas;
- possibilidade de inferências estatísticas considerando tendências de mudança global.

PEZZA (2003) comenta que o aumento da intensidade dos ciclones pode estar associada ao aquecimento global;

- propicia conhecer a evolução de tempestades e a criação de “modelos de evolução do mar e do vento” que podem ser usados, por exemplo, na interpolação de gaps;.
- permite investigar melhor a probabilidade de máximos de vento e onda no mesmo instante, pelo conhecimento da evolução de tempestades;
- previsibilidade de eventos futuros com base nos campos de pressão.

DESVANTAGENS:

- dificuldade em agrupar os dados por eventos;
- trabalho adicional na identificação das feições de interesse nos campos de pressão;
- tabela de dados mais complexa
- perda de parte da comparabilidade com outros trabalhos feitos da forma tradicional.

ARMAZENAMENTO DOS DADOS

Bancos de Dados tradicionais armazenam informações consolidadas, que passaram por operações de controle de qualidade, tratamento e análise dos dados antes de seu armazenamento. Normalmente os Bancos de Dados não permitem que se coloque nas suas tabelas dados interpolados ou que tenham um nível de qualidade inferior ao padrão da Base de Dados.

Estas restrições, que se por um lado garantem a qualidade da informação, muitas vezes atrapalham processos de tomada de decisão, onde uma informação mesmo que não seja da melhor qualidade, pode ser muito útil na hora de se decidir pelo que fazer. Este problema é comum em empresas e levou os analistas de sistemas a criar um novo conceito de banco de dados, chamado de *data warehouse*.

No site da PUC de Minas Gerais (http://www.pucminas.br/dw/index_padrao.php) *Data Warehouse* é definido como uma solução tecnológica que envolve uma coleção de dados organizados por assunto, que estão integrados, não são voláteis (não sofrem exclusões), são históricos e cujo propósito primordial é fornecer suporte à tomada de decisão.



Da mesma forma que ilustrado na Figura 5.6, os dados aqui trabalhados foram obtidos de bases de dados e feitos processos de extração e transformação nos mesmos antes de sua colocação numa tabela única, cujo objetivo é extrair conhecimento ambiental das mesmas, como é feito num *Data Warehouse*.

No nosso caso não se trata de uma empresa e as informações são na verdade bem simples, como está indicado na Tabela 5.1.

Figura 5.6 – Esquema de operações para montagem de um *data warehouse* (retirado de <http://www.pucminas.br>)

EBECKEN (2004) explica com detalhes as diferenças entre o banco de dados tradicional e o *data warehouse*. A tabela onde os dados foram armazenados tem informações temporais, valores dos dados medidos, agrupamento dos dados de onda e vento e dados espaciais de pressão atmosférica.

Tabela 5.1 – Trecho do Banco de Dados utilizado

hh	data	topologia	numero serie	hs	tp	dir	topologia	numero serie	hs	tp	dir
1392	30/03/1999 00:00	AB	21	1,54	12,3	220	C	20	1,17	6,78	35
1393	30/03/1999 01:00	AB	21	1,59	12,2	228	C	20	1,23	6,52	29
1394	30/03/1999 02:00	AB	21	1,54	11,1	222	C	20	1,26	6,48	31
1395	30/03/1999 03:00	AB	21	1,40	12,6	219	C	20	1,12	6,32	31
1396	30/03/1999 04:00	AB	21	1,30	12,8	214	C	20	1,06	6,61	33
1397	30/03/1999 05:00	AB	21	1,61	12,2	213	C	20	1,02	6,40	32
1398	30/03/1999 06:00	AB	21	1,56	13,3	203	C	20	0,96	6,40	43
1399	30/03/1999 07:00	AB	21	1,57	13	203	C	20	0,94	6,13	37
1400	30/03/1999 08:00	AB	21	1,92	13,3	203	C	20	0,88	6,32	34
1401	30/03/1999 09:00	AB	21	1,43	13	200	C	20	0,91	6,40	39
1402	30/03/1999 10:00	AB	21	1,76	13,1	205	C	20	0,67	5,57	57
1403	30/03/1999 11:00	AB	21	1,71	12,8	212	C	20	0,81	5,39	41
1404	30/03/1999 12:00	AB	21	2,01	13	219	C	20	0,72	5,51	54

topologia	vint	vdin	A lat	A lon	A press	B lat	B lon	B press	C lat	C lon	C press
C	8,81	12	-20,10	-62,40	946,50	-87,40	-44,20	1028,90	27,80	-40	1028,10
C	7,83	7	-20,11	-62,16	946,58	-87,13	-44,44	1029,09	27,93	-40	1027,97
C	8,25	5	-20,12	-61,92	946,65	-86,87	-44,68	1029,28	28,05	-40	1027,83
C	6,51	360	-20,13	-61,67	946,73	-86,60	-44,93	1029,48	28,18	-40	1027,70
C	6,12	358	-20,13	-61,43	946,80	-86,33	-45,17	1029,67	28,30	-40	1027,57
C	6,95	355	-20,14	-61,19	946,88	-86,07	-45,41	1029,86	28,43	-40	1027,44
C	5,21	345	-20,15	-60,95	946,95	-85,80	-45,65	1030,05	28,55	-40	1027,30
C	5,96	348	-20,16	-60,71	947,03	-85,53	-45,89	1030,24	28,68	-40	1027,17
C	4,92	339	-20,17	-60,47	947,10	-85,26	-46,13	1030,43	28,80	-40	1027,04
C	5,88	344	-20,18	-60,22	947,18	-85,00	-46,38	1030,63	28,93	-40	1026,90
C	5,84	341	-20,18	-59,98	947,25	-84,73	-46,62	1030,82	29,05	-40	1026,77
C	6,66	356	-20,19	-59,74	947,33	-84,46	-46,86	1031,01	29,18	-40	1026,64
C	6,24	355	-20,20	-59,50	947,40	-84,20	-47,10	1031,20	29,30	-40	1026,50

Na Tabela 5.1 os grupos com cores diferentes têm o seguinte significado:

- Grupo cinza: número sequencial de horas e data da informação (hora GMT)
- Grupo azul: dados de onda. Pode haver até 4 sequências diferentes.
- Grupo verde: intensidade e direção do vento (norte verdadeiro)
- grupo amarelo/abóbora: informações dos centros de pressão.

A inclusão do número seqüencial de horas é só para ter um único campo, comum a todos os dados, que permita identificar o instante do dado. A topologia nos informa quais campos de pressão influenciaram no valor dos dados. As Figuras 5.7 e 5.8 mostram os campos de pressão correspondentes à primeira e última linhas da tabela.

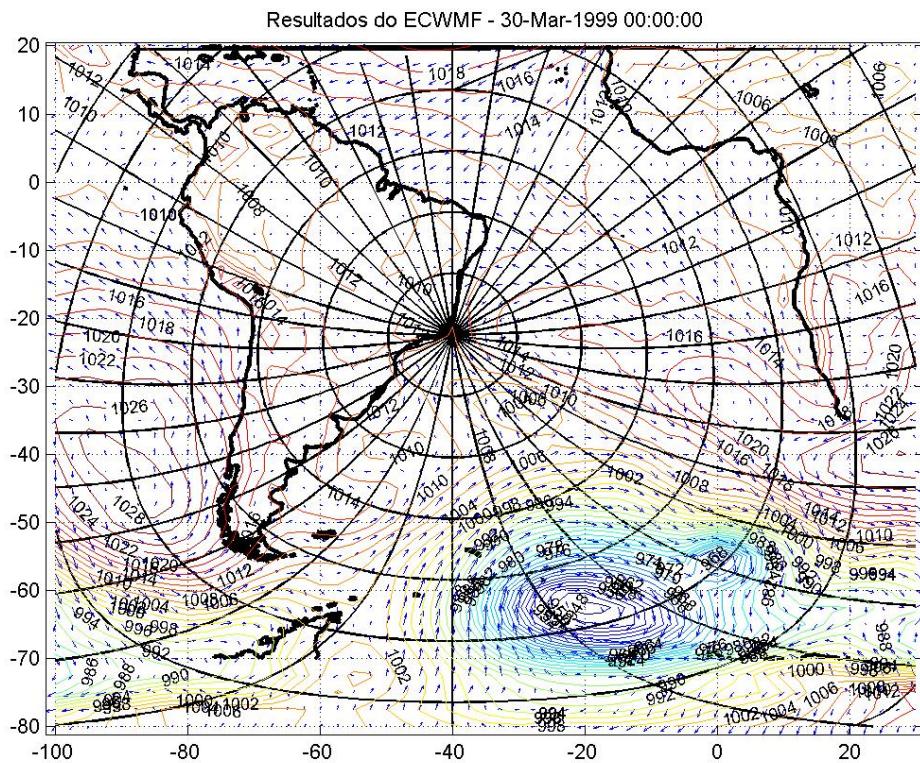


Figura 5.7 – Campo de pressões correspondente à primeira linha da Tabela 5.1.

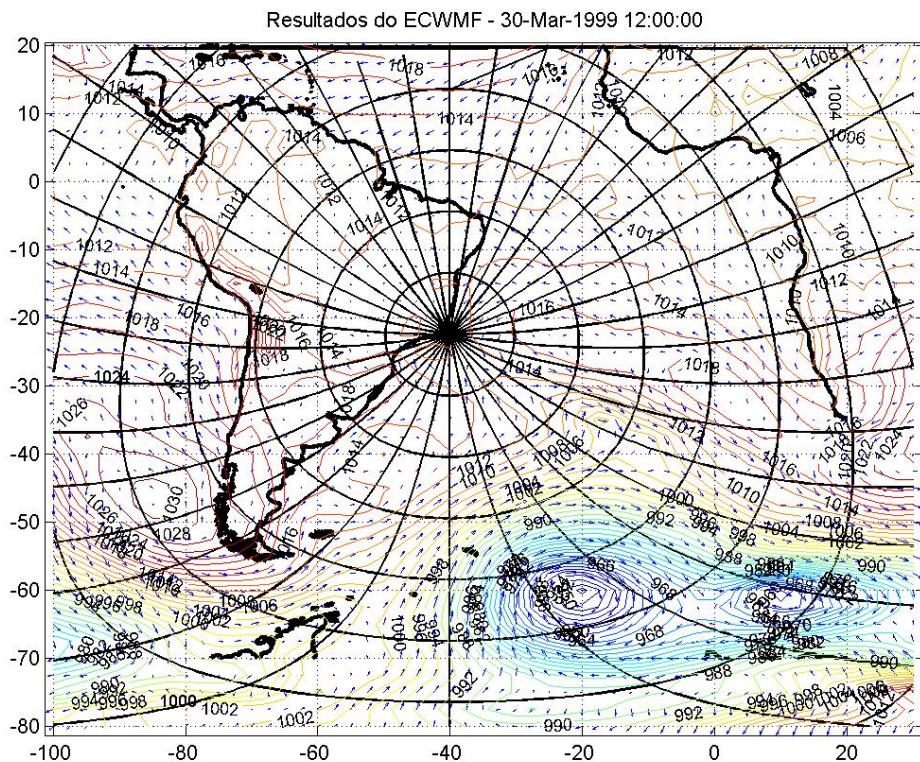


Figura 5.8 – Campo de pressões correspondente à última linha da Tabela 5.1.

6. DADOS UTILIZADOS E TRATAMENTO DOS MESMOS

Esta etapa foi de longe a que mais demandou tempo e dedicação. Estimamos que mais de 60 % do tempo foi gasto nesta tarefa, incluindo na mesma o desenvolvimento de 4 programas para melhoria da qualidade dos dados. O primeiro deles, chamado de *raiox* se propõe a escolher o melhor método de interpolação de "buracos" em séries temporais e é descrito mais adiante. O segundo programa, chamado *segue4mares* se encontra detalhado no capítulo 7, e se destina a separar corretamente as sequências temporais de estados-de-mar em situações multi-modais. O terceiro programa (*corvec*) faz a estimativa da corrente de deriva a partir de medições conjuntas de vento e de corrente superficial e o quarto e último programa é uma rede neural de nome *estima_onda*, usado para estimar valores de onda em águas profundas a partir de informações costeiras (ver capítulo 8).

A rede neural desenvolvida foi dividida em 2 outras, uma para dados de onda vindas das direções norte a leste (*estima_sea*), que classificamos como “cluster 1”, e outra para ondulações longínquas, vindas do quadrante sul (*estima_swell*), classificadas como “cluster 2”. Elas utilizam como entrada os valores conhecidos de onda na costa, fornecendo como saída os valores estimados da onda longe do litoral. O bom desempenho da rede neural usada para estimativa de dados oceânicos se deve ao trabalho prévio de tratamento dos dados de onda. Anteriormente, havíamos tentado desenvolver uma rede para a mesma tarefa e os resultados não foram bons. Isto reforça a necessidade de se analisar e trabalhar muito bem os dados antes de qualquer estudo, justificando o tempo gasto nesta tarefa.

Na figura 6.1 colocamos um esquema com a visão geral do trabalho de tratamento dos dados. No caso do vento, os dados foram submetidos apenas ao programa *raiox* e no caso da corrente só foi necessário utilizar o programa *corvec* por não existirem vazios nos dados analisados de corrente superficial.

O tratamento dos dados de onda foi bem mais complexo, sendo necessário a utilização dos programas *segue4mares*, *raiox* e as redes neurais para os clusters 1 e 2 (*estima_sea* e *estima_swell*). Após tratados, os dados foram armazenados junto a informações dos campos de pressão, compondo um Banco de Dados específico para estudo das relações entre os parâmetros vento, onda e corrente superficial.

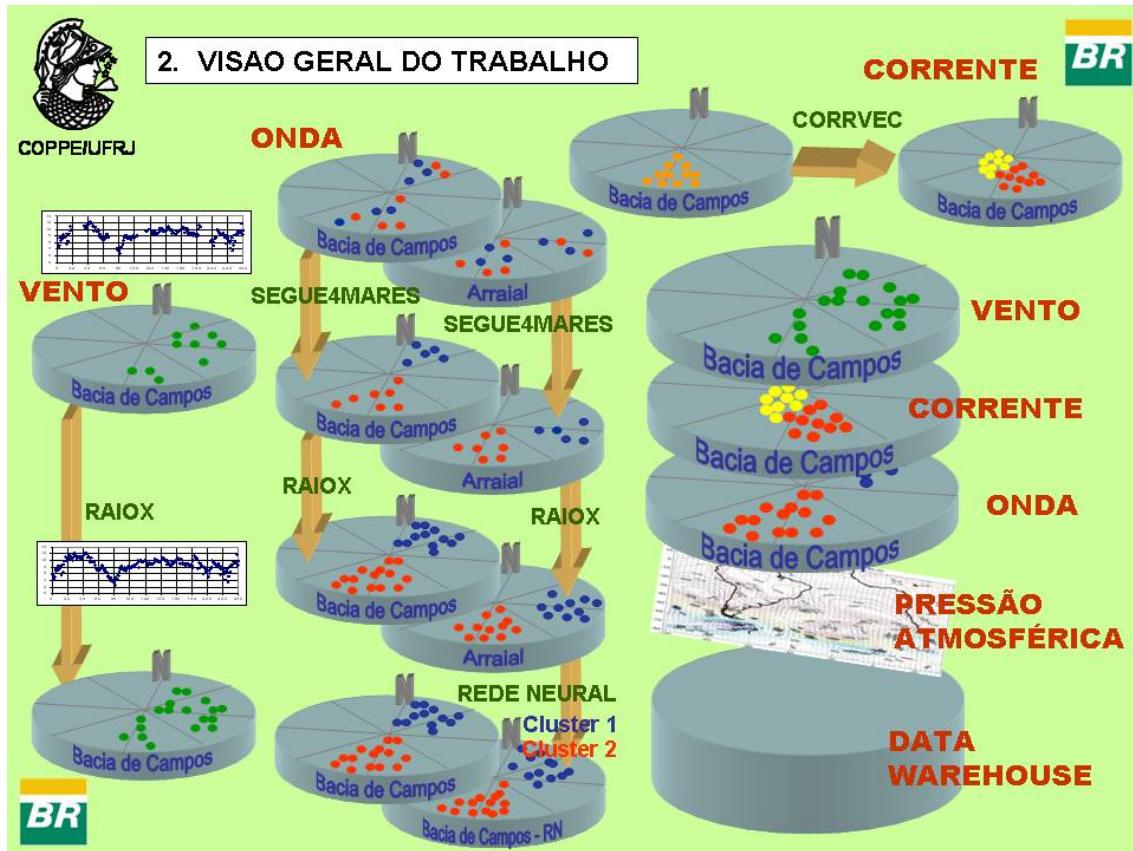


Figura 6.1 – Visão geral do tratamento dos dados. As palavras em verde correspondem aos programas usados para melhoria da qualidade dos dados de vento, onda e corrente.

6.1 PADRONIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

É comum, em trabalhos que envolvem variáveis ambientais numa grande extensão geográfica, se trabalhar com um horário único, e não com a hora local, para garantir que os dados num mesmo horário sejam realmente simultâneos. O padrão de hora normalmente utilizado é a hora em Greenwich, ou hora GMT, que é a origem da contagem do tempo na Terra. Além da conversão de hora local para hora GMT, todos os dados direcionais tiveram como referência o Norte Verdadeiro (valor zero ou 360 graus), com aumento no sentido horário (45 graus é nordeste, 90 graus é leste, etc) tendo sido utilizado o Sistema Internacional de Unidades (SI). Cada variável individualmente passou por tratamento específico de acordo com as características físicas da mesma e da forma como ela foi coletada, estando este tratamento descrito ao longo deste capítulo para cada uma delas.

6.2 REVISÃO DE ALGUNS CONCEITOS DE ESTATÍSTICA

O problema de falhas em conjuntos de dados sequenciais no tempo (as chamadas séries temporais), é dos mais comuns em análise de sinais. Nossa objetivo é definir a melhor maneira para preencher vazios em séries temporais de ondas para uso futuro em estudos não só de ondas como também outros parâmetros ambientais como vento e corrente.

Antes de iniciarmos o trabalho propriamente dito, é necessário uma revisão de alguns conceitos básicos sobre séries temporais com vistas a preparar o conjunto de dados adequadamente antes da aplicação das técnicas existentes, assim como estar aptos a interpretar os resultados alcançados e saber identificar aqueles de melhor desempenho.

Chamamos de série temporal ao conjunto de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo, e que apresentam em geral relação de dependência, que é o que estamos interessados em estudar. Particularmente as ondas, o vento e a corrente apresentam esta característica, sendo por isso possível de proceder à sua análise com as ferramentas de séries temporais.

A maioria das ferramentas para estudo de séries temporais assume que as mesmas sejam estacionárias, ou seja, que a média e o desvio-padrão não variem muito ao longo da série. Quando isto acontece os dados apresentam uma distribuição normal, que é a mais conhecida e estudada em estatística.

O primeiro procedimento aplicado à série temporal é a plotagem de um gráfico dos valores ao longo do tempo. Com isto visualizamos a série, o que torna possível na maioria das vezes identificar efeitos cíclicos, como variações sazonais ao longo do ano, e tendências no conjunto dos dados, como por exemplo um crescimento ao longo do tempo.

Outra ferramenta muito útil é o chamado correlograma (Figura 6.3.2, gráfico superior direito), que é um gráfico do comportamento do coeficiente de autocorrelação (definido adiante) conforme a defasagem temporal na série original. Correlações por período demasiado longo é uma indicação de que as séries apresentam características tais como não aleatoriedade e tendência que devem ser trabalhadas antes do uso das técnicas de preenchimento de lacunas.

DEFINIÇÕES DE INTERESSE EM SÉRIES TEMPORAIS

- *Box-Cox, transformação de $(T(X_t))$* : é um procedimento estatístico para estabilização da variância em séries temporais (CUNHA e SOARES, 1996), sendo definida como:

$$T(X_t) = \begin{cases} \frac{(X_t)^\lambda - 1}{\lambda}, & \text{se } \lambda \neq 0 \\ \ln(X_t), & \text{se } \lambda = 0 \end{cases}$$

A obtenção do valor de λ é feita a partir do próprio conjunto de dados, conforme indicado por CUNHA e GUEDES SOARES (1997). Normalmente se usa $\lambda = 0$, o que equivale a se usar o logaritmo da série temporal.

- *Coeficiente de correlação “r”*: mede a relação entre 2 séries estatísticas distintas (x e y), variando entre -1 e +1. Valores próximos de zero indicam pouca correlação.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{covariância entre } x \text{ e } y}{\text{variância de } x \cdot \text{variância de } y}$$

Se ao invés de 2 séries distintas (x e y) fizermos o coeficiente de correlação entre pontos da mesma série, só que defasados no tempo de 1 unidade, teremos o chamado coeficiente de autocorrelação ou coeficiente de correlação serial, definido como:

- *Coeficiente de autocorrelação “ r_1 ”*

$$r_1 = \frac{\sum_{t=1}^{n-1} (x_t - \bar{x}_1) \cdot (x_{t+1} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum_{t=1}^{n-1} (x_t - \bar{x}_1)^2 \cdot \sum_{t=1}^{n-1} (x_{t+1} - \bar{x}_2)^2}}$$

onde: \bar{x}_1 é a média de 1 até $(n-1)$ e \bar{x}_2 é a média de 2 a n .

Chamamos de autocovariância ao numerador da expressão ao lado

A mesma expressão se aplica para defasagens de “ k ” unidades, substituindo-se na expressão acima $t=1$ por $t=k$.

Se assumirmos que para “n” grande, $x_1 \approx x_2 \approx x$ e que o termo $(n-1) / n$ é aproximadamente 1, podemos simplificar a expressão do coeficiente de autocorrelação para:

$$r_1 = \frac{\sum_{t=1}^{n-1} (x_t - \bar{x}) \cdot (x_{t+1} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2}$$

Esta equação pode ser generalizada para uma defasagem “k” qualquer, substituindo “1” por “k”. Deve-se ter o cuidado de verificar se continuam válidas as aproximações feitas para o caso de $k=1$ quando k tiver valores elevados.

Importante: o coeficiente de autocorrelação só tem sentido para o caso de séries sem tendência, ou seja, quando a média se mantém aproximadamente constante, pois o atributo da tendência induz uma grande autocorrelação nos pontos próximos. Caso necessário, deve-se extrair a tendência antes de se proceder ao estudo das séries temporais.

- *Correlograma:* sequencia de valores de autocorrelação para defasagens diferentes. Na Figura 6.6.1, gráfico superior direito, apresentamos um correlograma para o conjunto de dados de onda que estamos estudando.
- *Estacionariedade:* Um processo é dito estacionário se sua média e variância são constantes no tempo. Os conceitos estatísticos são aplicados normalmente para séries estacionárias, embora haja uma nova tendência a se estudar séries não estacionárias não mais transformando as variáveis para normalizá-las, mas sim tentando-se modelar a média e a variância juntamente com a variável em estudo.

6.3 PROGRAMA RAOX

A idéia de se fazer um programa para análise de dados de séries temporais não é nova, e muito menos original, pois o assunto é vastamente estudado, existindo inúmeros programas prontos que tratam do assunto. Desta forma, só havia sentido se partir para algum desenvolvimento se algo de novo fosse proposto e/ou que o programa fosse muito adequado às necessidades dos trabalhos de meteorologia e oceanografia da PETROBRAS. Ele pode ser usado com dados de vento (intensidade), onda (altura significativa e período), corrente (intensidade) ou qualquer outra variável escalar. Caso se queira trabalhar com a direção, é preciso decompor os dados originais segundo as direções x e y, fazer uso do programa para cada uma das componentes e ao final recompor os vetores resultantes da série temporal. É possível implementar uma versão vetorial do programa, mas no momento a mesma não existe.

O programa desenvolvido foi batizado de “raox”, pois seu principal objetivo é descobrir informações ocultas em séries temporais para posterior preenchimento de lacunas na série ou previsão de valores. Estas 2 aplicações são de extrema importância nas atividades da PETROBRAS, tanto no âmbito de análise de dados quanto de trabalhos de campo. O programa incorpora funções úteis aos propósitos de meteorologia e oceanografia, como a comparação do desempenho de modelos numéricos junto com métodos tradicionais de preenchimento de lacunas.

CONCEITOS PRINCIPAIS

O programa funciona testando diferentes formas de preenchimento de falhas em séries temporais, dentre elas o uso de resultados de modelos de vento e de onda. O desempenho de cada método é testado estatisticamente, através da estimativa do erro médio quadrático entre o dado real e o dado interpolado.

A estimativa do erro é feita para um número grande de preenchimento de lacunas, sorteadas aleatoriamente na série temporal original. Para se poder testar os diferentes métodos as séries usadas foram escolhidas sobre os dados medidos, em períodos onde não houve falhas. As falhas eram então inseridas artificialmente na série original, o que nos permitia saber o valor correto para comparação com a técnica de preenchimento utilizada.

O programa testa os métodos de preenchimento para lacunas de diferentes tamanhos, colocando os resultados na forma de gráficos onde o erro médio quadrático é calculado para cada tamanho de lacuna, conforme aparece no capítulo de resultados. As principais características do programa são:

- possibilidade de comparação entre vários métodos de preenchimento de lacunas, podendo-se selecionar o de melhor desempenho em função do tamanho da lacuna e do tipo de dado em estudo;
- introdução do conceito de *utilização de diferentes números de pontos* a serem testados antes e depois das lacunas conforme o tipo de técnica que está sendo utilizada;
- possibilidade de testar dados de modelo como alternativa para o preenchimento de lacunas;
- conceito novo de usar os dados de modelagem “forçando” a coincidência nos pontos imediatamente antes e depois da lacuna (rotina *namarra*). Ver Figura 6.3.7;
- possibilidade de testar os diferentes métodos de preenchimento de lacunas de forma estatisticamente adequada, sorteando-se uma grande quantidade de pontos na série e tomando-se os valores médios dos ajustes de todas as lacunas.
- pode trabalhar o dado original, isto é, como foi medido, ou aplicar algum tipo de transformação no mesmo, podendo ser usada a diferenciação (diferença entre um valor e o anterior na série) ou o logaritmo do dado (transformação de Box-Cox). Estas transformações buscam adequar o dado à alguns modelos de séries temporais, como os modelos auto-regressivos..

A Figura 6.3.1 mostra o fluxo do programa, e as Figuras 6.3.2 a 6.3.6 foram capturadas das telas do programa *raiox*, para mostrar como o programa funciona. O programa, escrito na linguagem MatLab, necessita das rotinas:

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| - mediadesvio.m | - quiquadrado.m |
| - preserte.m | - plota_autocorrelacao.m |
| - retorna.m | - plota_mediadesvio.m |
| - plota_histograma | - namarra.m |
| - plota_serie_temporal.m | |

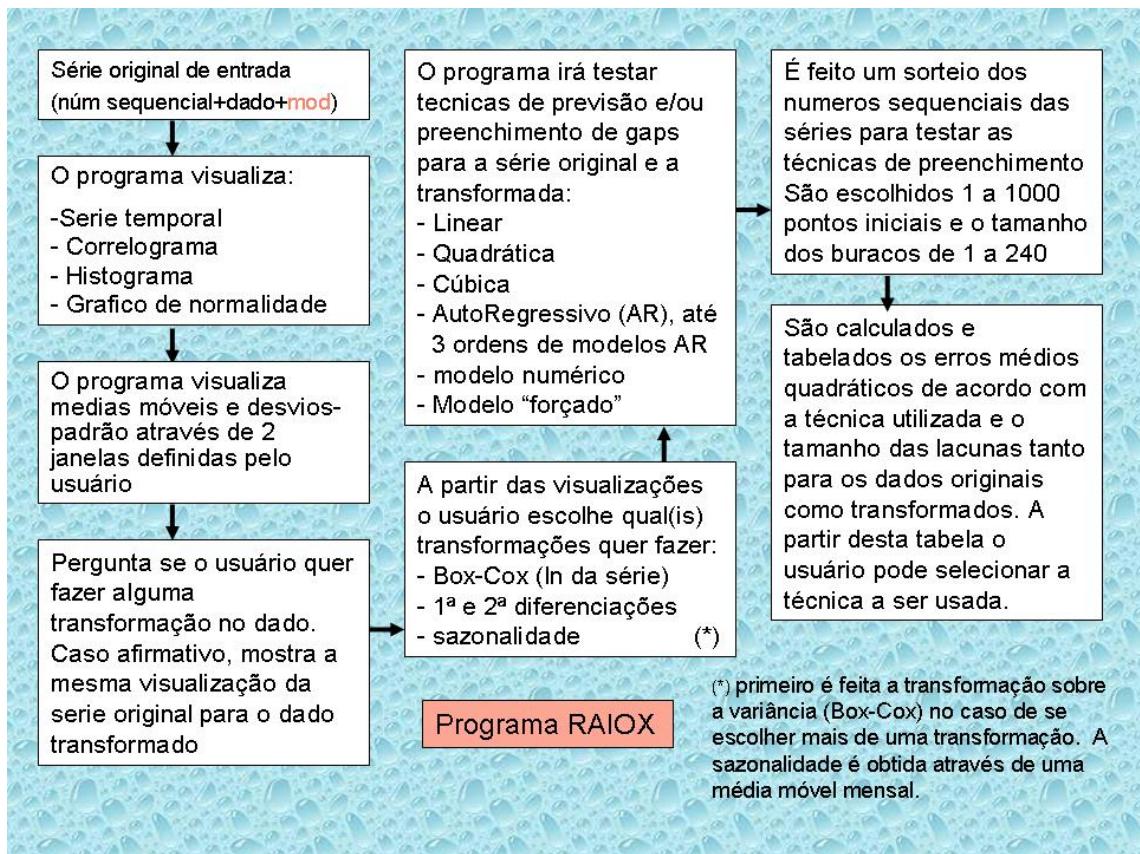


Figura 6.3.1 – Fluxo do programa raox

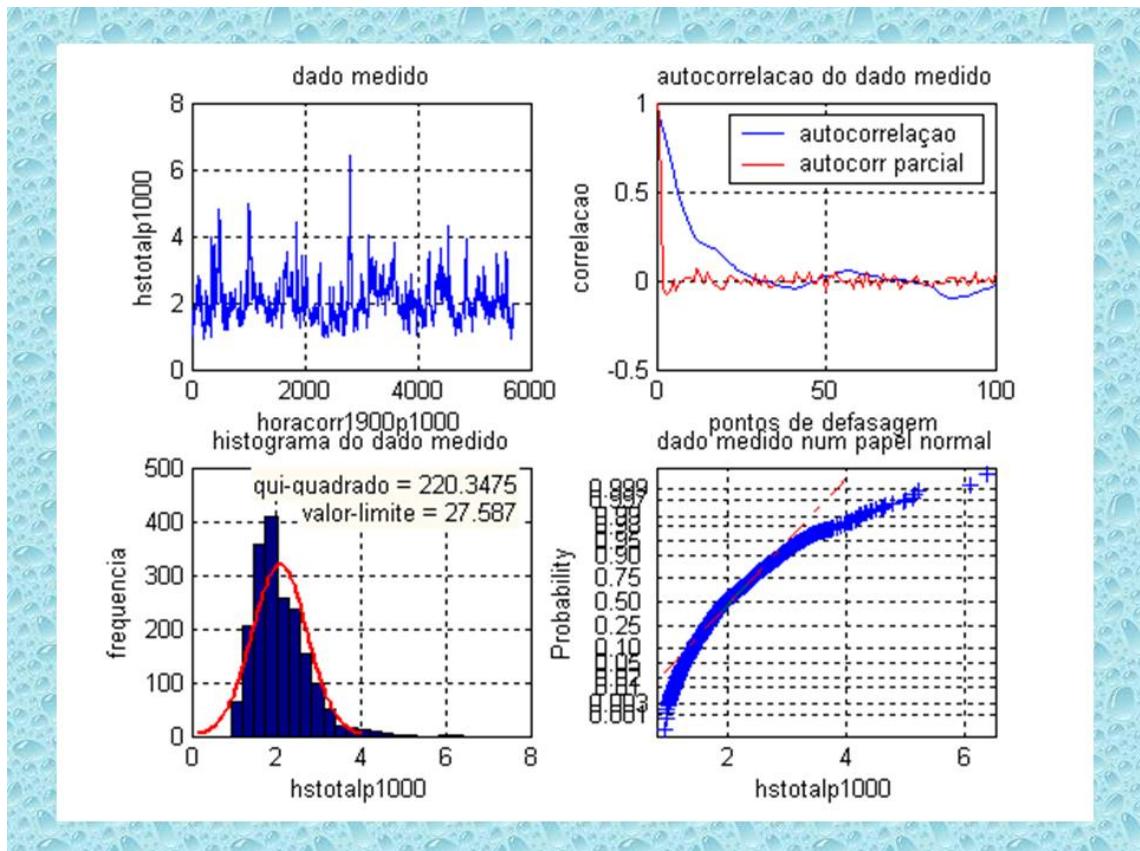


Figura 6.3.2 – Primeira tela do programa mostrando as características do dado de entrada

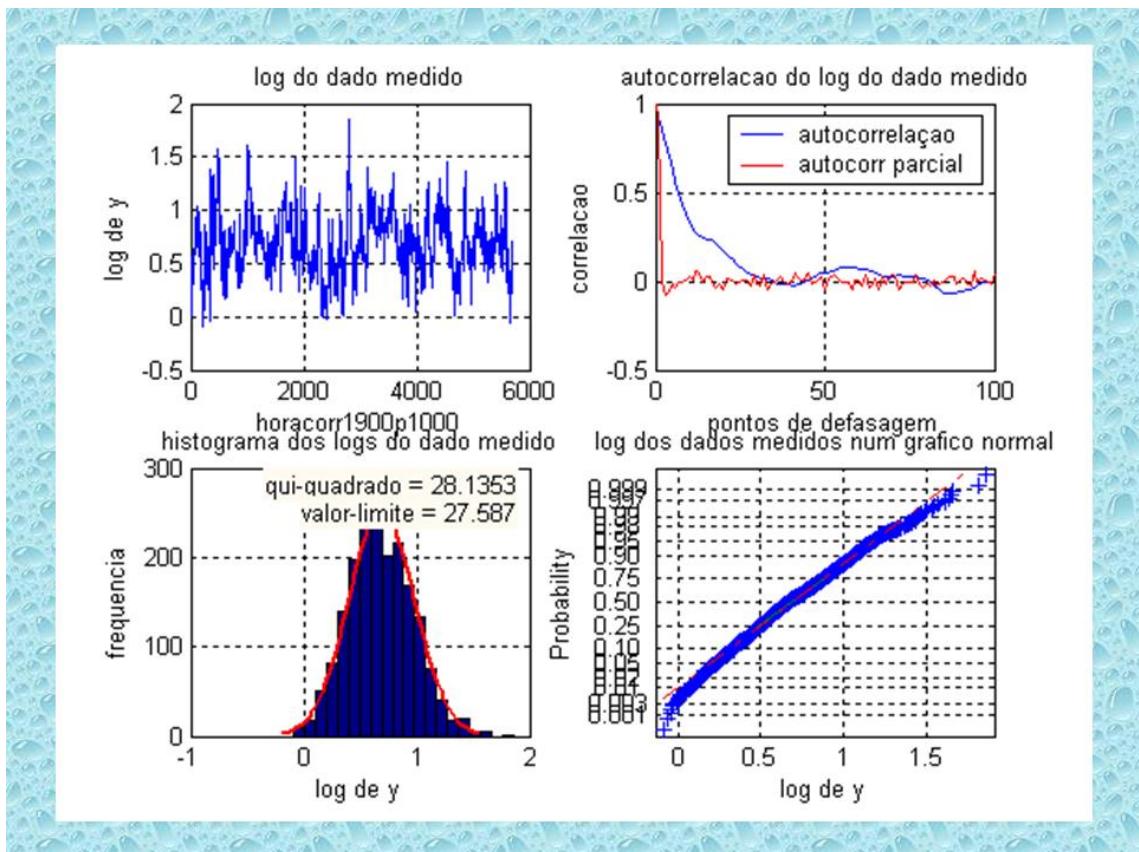


Figura 6.3.3 – Características do dado de entrada após a transformação de Box-Cox

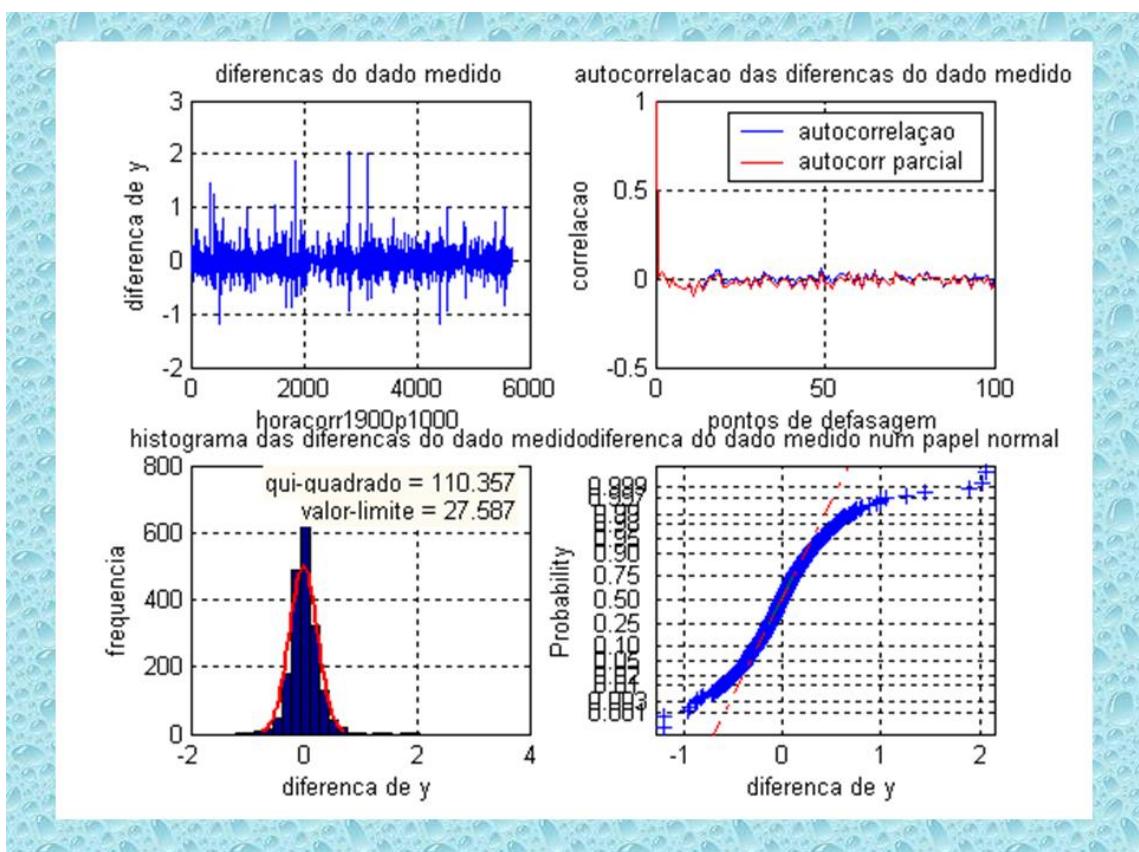


Figura 6.3.4 – Características do dado de entrada após a transformação de diferenciação

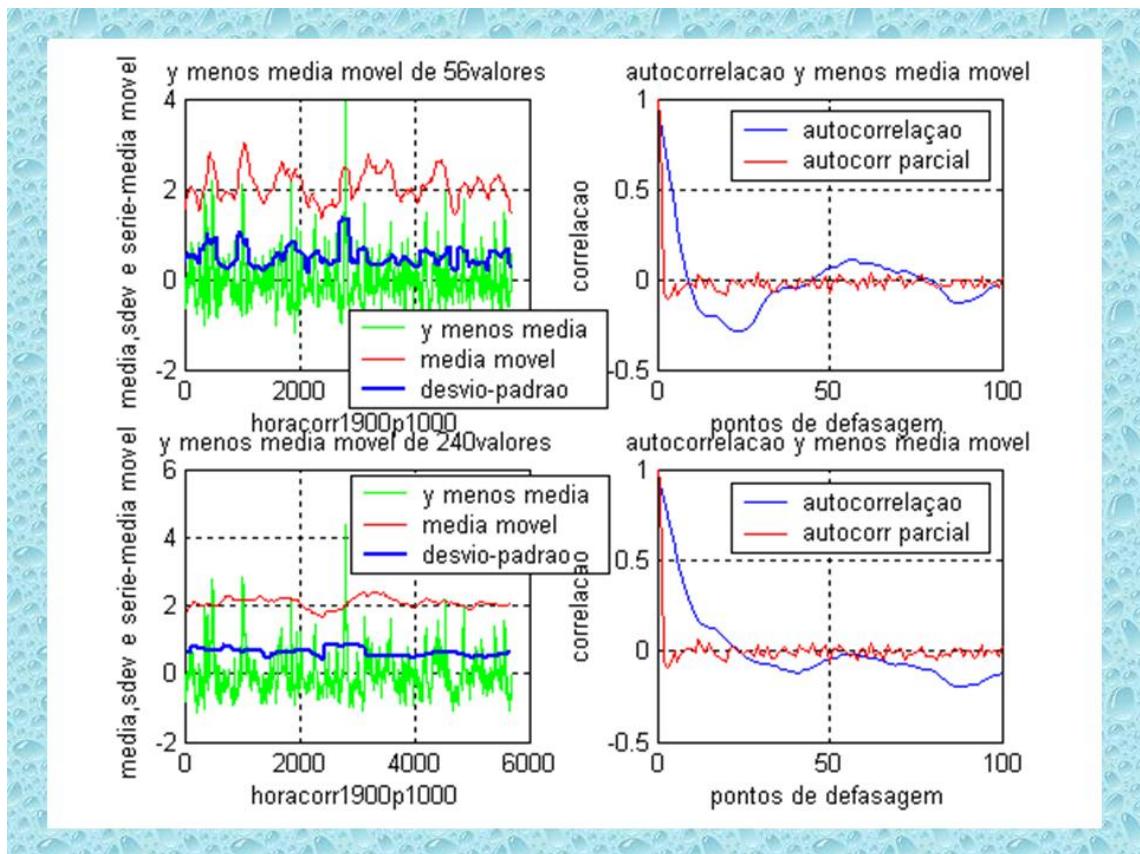


Figura 6.3.5 – Características do dado de entrada após a aplicação da média móvel

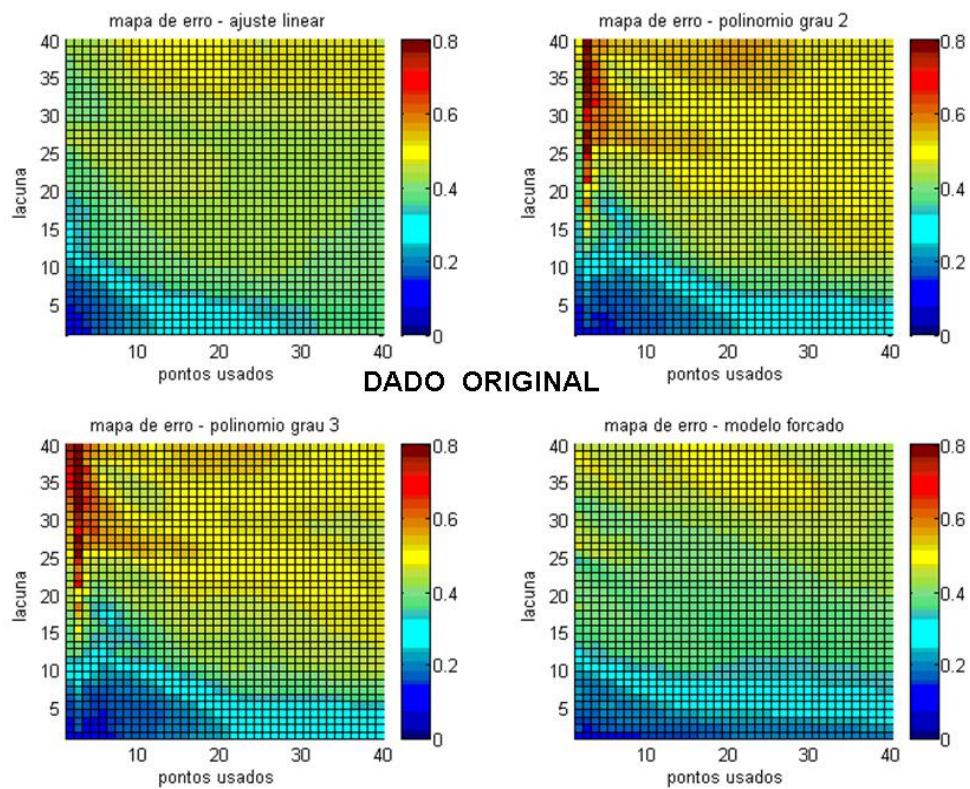


Figura 6.3.6 – O programa mostra um mapa de erro para cada tipo de preenchimento usado. O erro varia em função do tamanho da lacuna e do número de pontos usado para ajuste antes e depois da lacuna

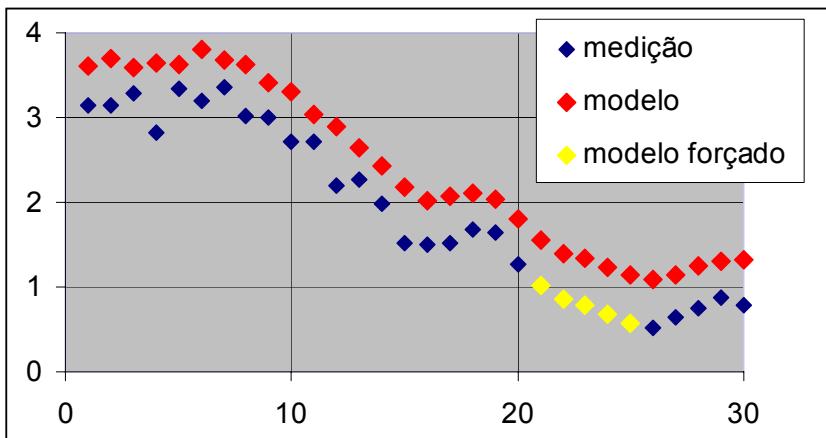


Figura 6.3.7

O “modelo forçado” (em amarelo) corresponde a fazer coincidir os valores do modelo original (vermelho) com os da medição nos pontos antes do início da lacuna e após o final da mesma.

Cada um dos gráficos apresentados no programa *raiox* tem um objetivo específico. São eles:

Figura 6.3.2, gráfico superior esquerdo: é a plotagem da série temporal, é o primeiro passo para se entender o comportamento do dado, nele é possível visualizar a evolução temporal do dado e alguma particularidade, como por exemplo, a existência de sazonalidade.

Figura 6.3.2, gráfico superior direito: é a função de autocorrelação do dado, é talvez a mais importante informação, pois através da função de autocorrelação é possível verificar a dependência do dado com valores anteriores e que tipo de modelo deve ser mais apropriado para descrever a série temporal.

Figura 6.3.2, gráfico inferior esquerdo: é um gráfico de normalidade. Esta é uma característica desejável no dado, e se ele tem distribuição muito diferente da normal uma transformação inicial no dado pode ser necessária. Junto à curva normal é plotado um histograma do dado, e aparece também o valor limite para que o dado seja aceito como tendo uma distribuição normal e o resultado do teste qui-quadrado para normalidade.

Figura 6.3.2, gráfico inferior direito: é a mesma informação anterior, só que plotada num papel normal. Se o dado tiver um comportamento normal, sua plotagem se aproxima de uma linha reta.

Figura 6.3.3, os gráficos são os mesmos da Figura 6.3.2, com a diferença que o usuário optou por fazer a transformação de Box-Cox antes no dado de entrada. Esta

opção foi feita porque o dado original se afastava muito da distribuição normal, e como pode se verificar pelo resultado do teste qui-quadrado, após a transformação o dado melhora muito com relação à sua normalidade. Isto também pode ser visto no papel normal. É interessante notar que a transformação logarítmica não muda as funções de autocorrelação do dado.

Figura 6.3.4, mesmos gráficos da Figura 6.3.2, só que foi feita a transformação de diferenciação no dado antes da entrada no programa. Notar que o dado fica muito mais estacionário com relação à média na figura superior esquerda. A autocorrelação do dado praticamente deixa de existir e a normalidade melhora um pouco em relação ao dado original.

Figura 6.3.5, é o resultado da aplicação de média-móvel ao conjunto de dados, na tentativa de extrair componentes sazonais presentes no conjunto de dados. O dado transformado é igual ao dado original menos a média-móvel, o que faz com que o mesmo passe a ter média zero (um dos requisitos para que o dado seja estacionário). A função de autocorrelação muda em relação ao dado original, conforme mostram os gráficos do lado direito da Figura 6.3.5.

Figura 6.3.6, esta tela do programa mostra o erro médio obtido no preenchimento das lacunas para diferentes metodologias e tamanhos das lacunas. O programa testa também se o aumento no número de pontos a considerar, antes e depois das lacunas, melhora o resultado das interpolações. Em outras palavras, se utilizam mais dados que o necessário para se proceder ao ajuste, mapeando o resultado num grid através de cores.

O gráfico da autocorrelação do dado nos diz muita coisa a respeito do comportamento da série temporal. Os dados que geraram as figuras 6.3.1 a 6.3.6 foram de uma medição de ondas em águas profundas feita a cada de 3 horas. No caso da Figura 6.3.2, o gráfico de autocorrelação (linha em azul) mostra que uma dependência de até cerca de 35 pontos de defasagem, o que corresponde a 105 horas (35×3 horas).

FARIAS *et al.* (2000) faz um excelente resumo sobre como estimar o tipo e a ordem de modelos autoregressivos (AR) e de média móvel (MA) a partir dos gráficos mostrados na Figura 6.3.2 utilizando as funções de autocorrelação. Reproduzimos este resumo na Tabela 6.3.1.

Tabela 6.3.1 – estimativa de modelos ARMA a partir das funções de autocorrelação (FAC) e autocorrelação parcial (FACP).

PROCESSO	FAC	FACP
Ruído Branco	$\rho_k = 0, \forall k$	$\rho_{kk} = 0, \forall k$.
AR(1): $\phi_1 > 0$	Queda Exponencial Direta: $\rho_k = \phi_1^k$	$\rho_{11} = \rho_1;$ $\rho_{kk} = 0, \forall k \geq 2.$
AR(1): $\phi_1 < 0$	Queda com Oscilação: $\rho_k = \phi_1^k$	$\rho_{11} = \rho_1;$ $\rho_{kk} = 0, \forall k \geq 2.$
AR(p)	Queda em Direção a zero. Coeficientes podem oscilar	Apresenta Pico na Defasagem p; $\rho_{kk} = 0, \forall k > p.$
MA(1): $0 < \theta_1$	Pico Positivo na defasagem 1. $\rho_k = 0, \forall k \geq 2.$	Queda com Oscilação: $\rho_{11} > 0.$
MA(1): $0 > \theta_1$	Pico Negativo na defasagem 1. $\rho_k = 0, \forall k \geq 2.$	Queda sem Oscilação: $\rho_{11} < 0.$
ARMA(1,1): $\phi_1 < 0$	Queda Exponencial, começando na defasagem 1. Sinal $\rho_1 = \text{Sinal}(\phi_1 + \theta_1)$	Queda Exponencial, começando na defasagem 1. $\rho_{11} = \rho_1;$ Sinal $\rho_{kk} = \text{Sinal} \rho_{11}.$
ARMA(p,q):	Queda, direta ou com oscilação, começando na defasagem q.	Queda, direta ou com oscilação, começando na defasagem p.

ρ_k = Autocorrelação;

ρ_{kk} = Autocorrelação Parcial;

k = Defasagem das FAC e FACP;

ϕ = Coeficiente do processo AR(p);

θ = Coeficiente do processo MA(q);

p = Defasagem do processo AR;

q = Defasagem do processo MA.

6.4 PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Esta é uma variável chave para o entendimento do comportamento conjunto do vento e da onda. São os campos de pressão os responsáveis pelo aparecimento dos ventos, que por sua vez são os geradores das ondas.

Quando uma alta ou baixa pressão atmosférica se formam sobre a superfície do planeta se estabelece um gradiente de pressões, que por sua vez fazem aparecer os ventos. As altas pressões geram ventos que, pelo fato da Terra não ser um referencial inercial, começam a se defletir para a esquerda no hemisfério sul (força de Coriolis). Já as baixas pressões atraem estes ventos, que chegam às mesmas contornado-as no sentido horário. Desta forma, a partir do campo de pressões é possível se estimar direções e intensidades para o vento, assim como pistas que irão gerar as ondas. Devido à importância desta variável, buscou-se mais de uma fonte de informações para a mesma, tendo-se utilizado:

- cartas sinóticas da Marinha Brasileira, existentes para todo o período em estudo (abrangência regional – América do Sul);
- reanálises do ECMWF, de 6 em 6 horas (abrangência global) que podem ser encontrados no site http://data.ecmwf.int/data/d/era40_daily/
- dados medidos na Bacia de Campos (abrangência local);

Na Figura 4.2 aparece uma imagem de reanálise do ECMWF do dia 05 de março de 2001 e uma Carta Sinótica do mesmo dia. Os dados base ao nosso estudo são as reanálises, sendo que as Cartas Sinóticas foram usadas para dirimir dúvidas, como feições de menor escala, que podem não aparecer nas reanálises.

A Figura 6.4.1 mostra um conjunto de 1 mês de dados de pressão medido na Bacia de Campos. Podemos verificar que existe uma variabilidade diária com dois picos e dois cavados a cada 24 horas, que é a chamada *maré barométrica* (VIANELLO, 2002) cuja amplitude na Bacia de Campos é de cerca de 2 milibares, e outra de mais longo período, relacionada às grandes feições dos campos de pressão (linha em vermelho na figura).

Os dados medidos de pressão foram usados para verificar a melhor forma de interpolar os valores, pois as reanálises são valores médios a cada 6 horas, sendo necessário gerar valores de pressão a cada hora, da mesma forma que os dados de

vento, onda e corrente. A linha em vermelho na Figura 6.4.1 é uma média móvel de 6 horas, tentando reconstituir o comportamento temporal dos dados do modelo do ECMWF. A Figura 6.4.2 é um detalhe da Figura 6.4.1, para os dias 1 a 3 de novembro, onde é possível verificar que o ajuste linear (linha verde), para interpolação a cada 6 horas, é uma boa aproximação da média móvel de 6 horas (linha vermelha).

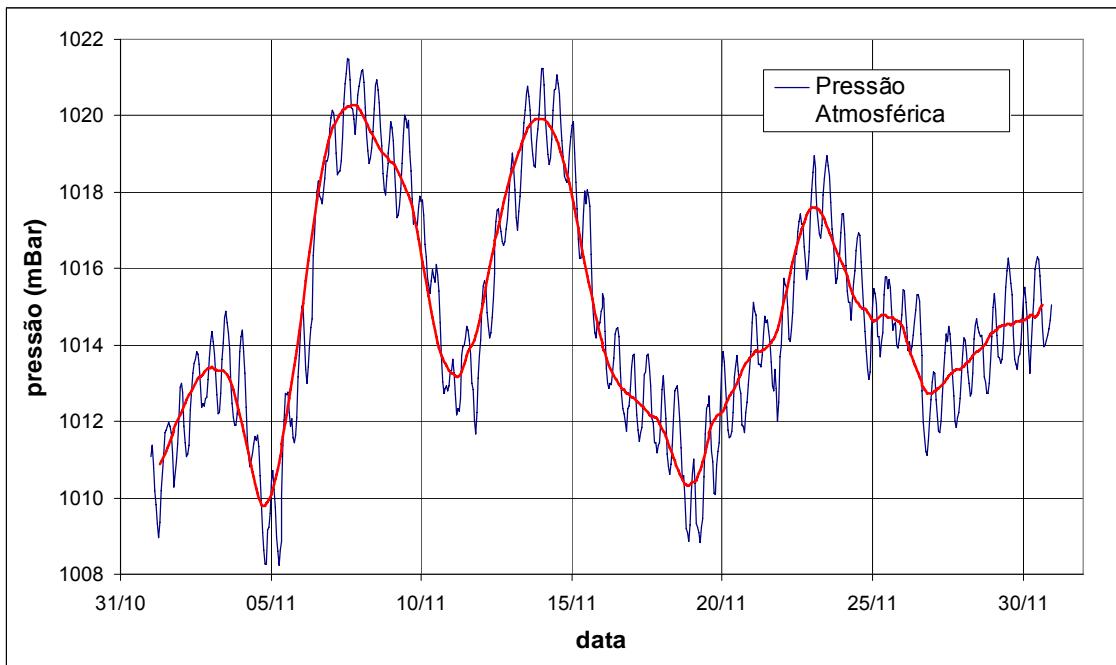


Figura 6.4.1 – Pressão atmosférica registrada na Bacia de Campos (1 mês de registro).

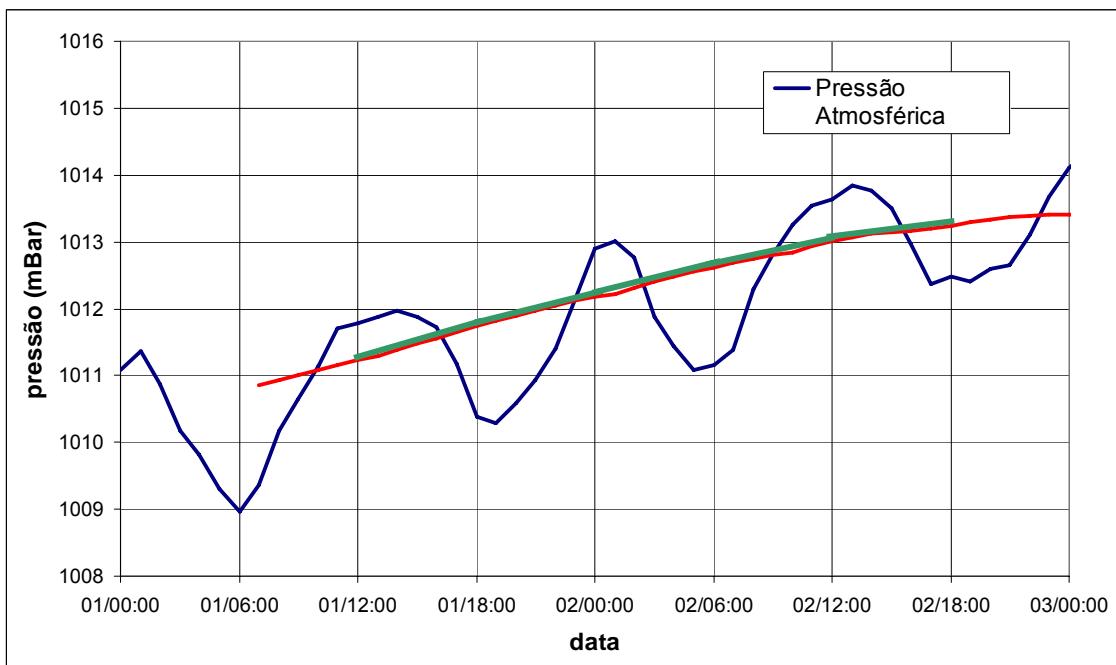


Figura 6.4.2 – Detalhe do campo de pressão atmosférica entre os dias 01 e 03 de novembro.

6.5 VENTO

O vento foi o parâmetro ambiental que menos problemas apresentou, isto porque é mais fácil e barato medir o vento do que as variáveis do oceano: a onda e a corrente marinha. Por poder ser instalado em estruturas fixas, como plataformas, o equipamento para medir o vento (anemômetro), não está sujeito a problemas relacionados aos medidores de corrente e onda, tais como um ambiente mais agressivo (mar) e o vandalismo de pescadores.

As medições de vento no mar, em geral, não obedecem aos padrões da OMM (Organização Meteorológica Mundial), que recomenda medições feitas a 10 metros da superfície. No caso de plataformas e bóias é difícil conseguir colocar o anemômetro nesta altura, sendo então necessário corrigir a intensidade do vento da altura de medição para a altura padrão de 10 metros.

NUNES *et al.* (2006) testou várias formulações para correção da intensidade pela altura, tendo encontrado melhor ajuste aos dados da Bacia de Campos pela fórmula da Norma DnV (1977) dada por:

$$V_z = V_{10} \cdot \left(\frac{z}{10} \right)^{0.13} \quad (6.5.1)$$

onde: V_z = intensidade do vento a uma altura de z metros

V_{10} = intensidade do vento a uma altura de 10 metros

Outra informação do vento que é padronizada é a sua duração, pois ventos de pouca duração são mais variáveis, com picos de intensidade maiores que ventos de mais longa duração. A duração padrão do vento é de 10 minutos, e como todos os dados utilizados foram medidos com a duração padrão, não houve necessidade de se corrigir esta variável.

Para testar o melhor método de preenchimento de lacunas nas séries de vento utilizamos o programa *raiox* com o dado original e com o dado transformado (diferenciação e logaritmo do dado), as figuras 6.5.1 a 6.5.3 correspondem à primeira tela do programa *raiox* para cada um destes conjuntos de dados de entrada, onde notamos que o dado original tem um comportamento já próximo da distribuição normal.

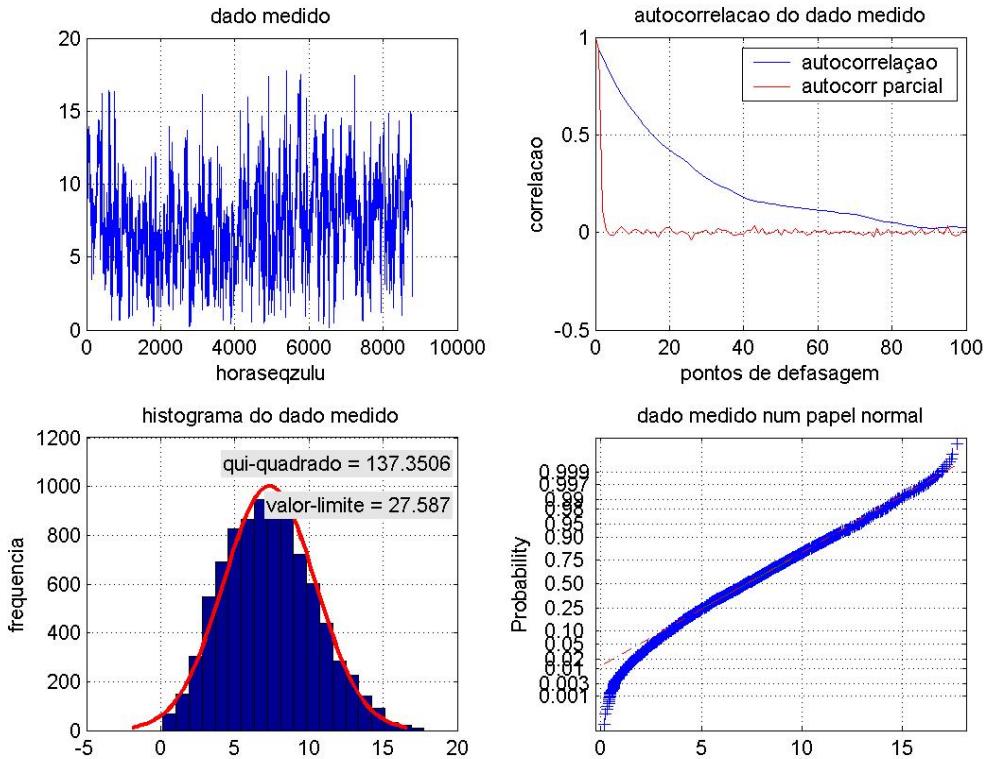


Figura 6.5.1 – Tela do programa *raiox* com o dado original de vento.

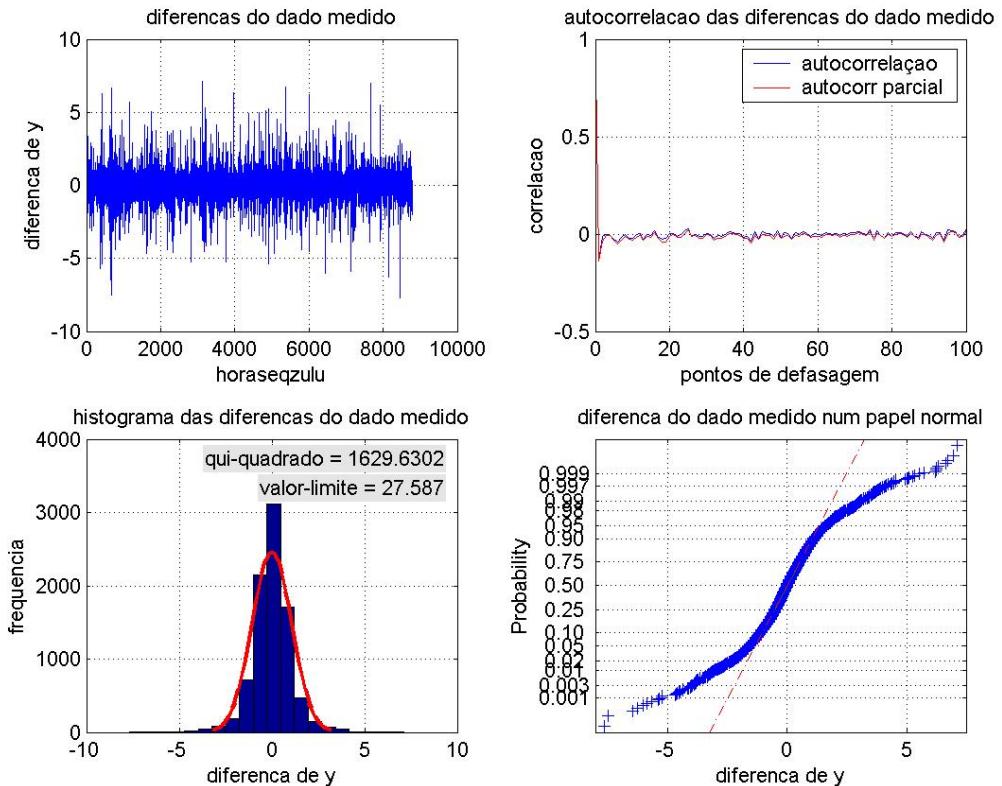


Figura 6.5.2 – Tela do programa *raiox* com o dado de vento após diferenciação do mesmo (diferença entre um valor do vento e o anterior). .

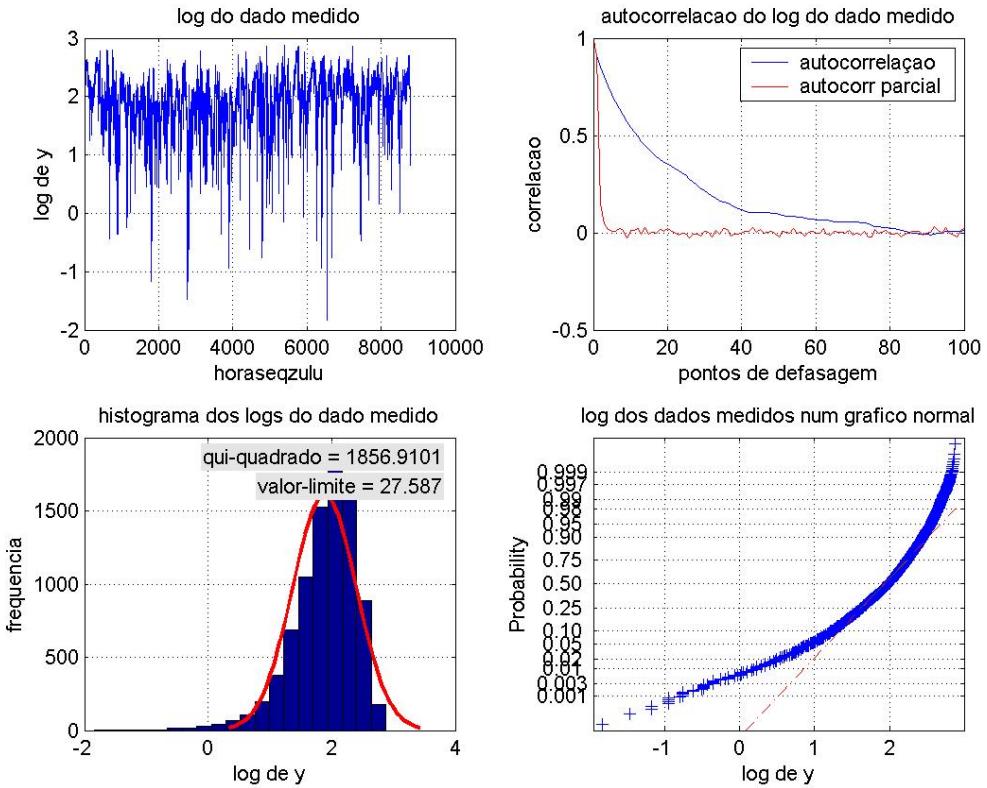


Figura 6.5.3 – Tela do programa *raiox* com o logaritmo do dado de vento.

Observando as figuras 6.5.1 a 6.5.3 verificamos que a aplicação do logaritmo do dado de vento como entrada do programa *raiox* piorou a “normalidade” do dado (adequação à uma distribuição normal) e não alterou as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial, que se mostraram muito altas, o que não é bom para alguns tipos de ajustes a séries temporais, como os modelos auto-regressivos e de média móvel. Por conta desta piora no dado de entrada, analisamos as telas restantes de resultado do programa *raiox* apenas para o dado original e o dado após a diferenciação.

As figuras 6.5.4 a 6.5.7 correspondem às saídas do programa *raiox* para o dado original, e as figuras 6.5.8 a 6.5.11 são os resultados do programa para o dado diferenciado. Na comparação do melhor método de ajuste (figuras 6.5.6, 6.5.7, 6.5.10 e 6.5.11) utilizamos dados de vento oriundos do projeto COPAS (ALVES *et al.*, 2005), que usou dados de vento de reanálises feitas pelo NCEP/NOAA, Órgão dos Estados Unidos responsável por estudos nas áreas de oceanografia e meteorologia.

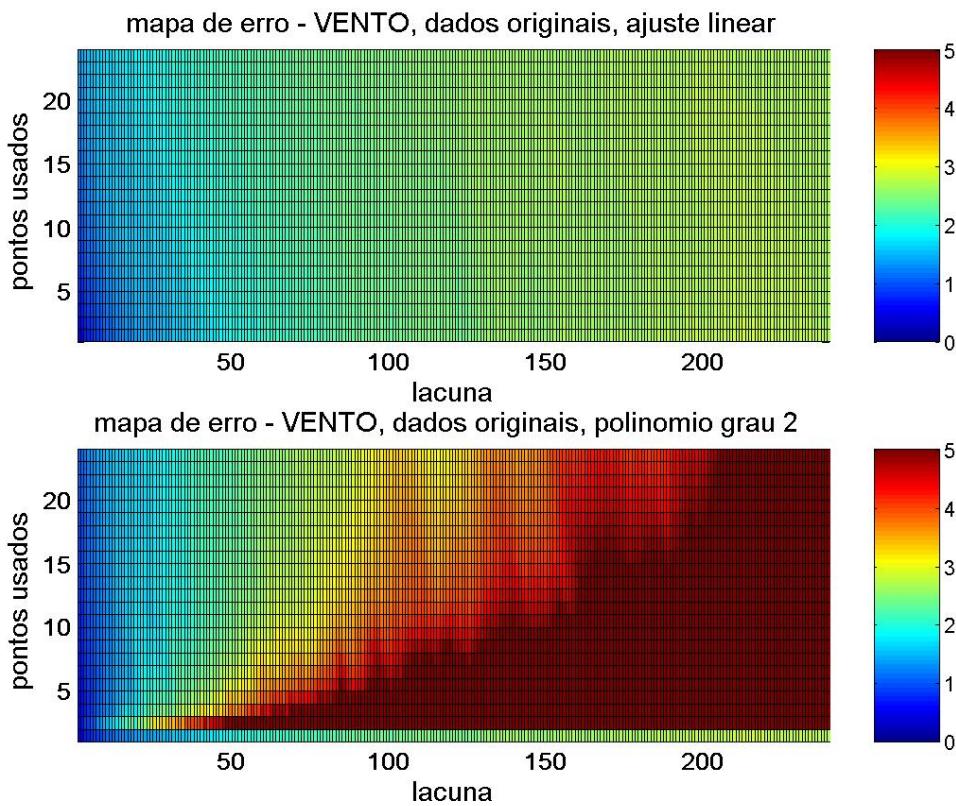


Figura 6.5.4 – Mapa de erro do dado original para ajustes linear e do segundo grau.

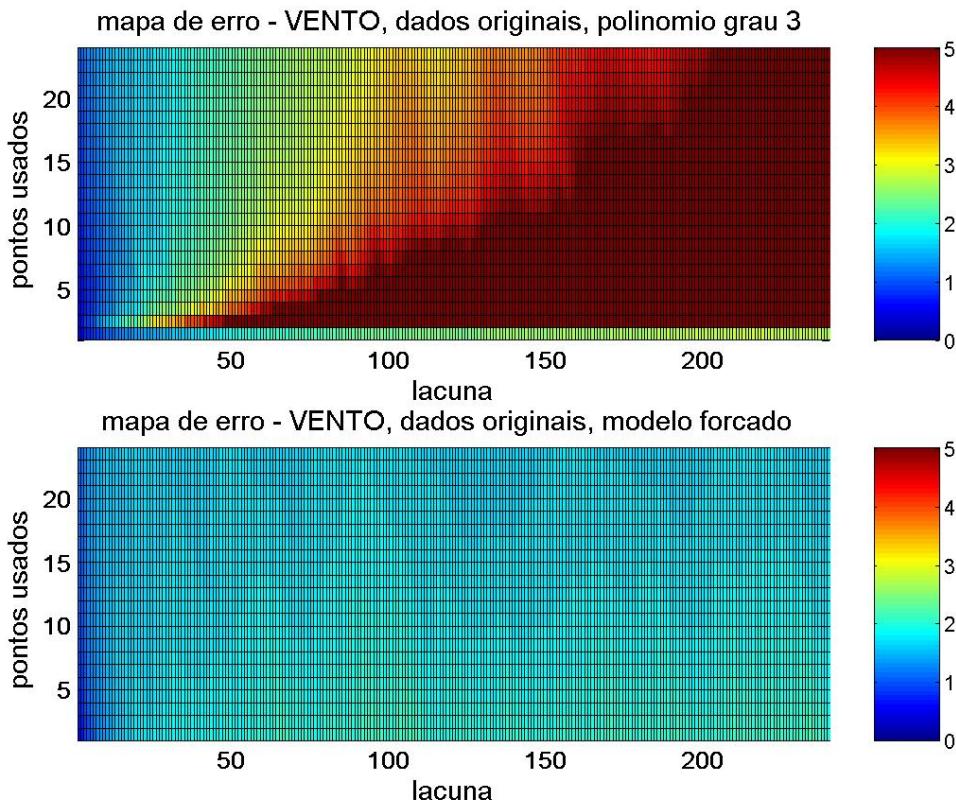


Figura 6.5.5 – Mapa de erro do dado original para ajustes com equação do terceiro grau e com os dados de vento do modelo forçado (modelo da NOAA fazendo coincidir os valores antes e depois da lacuna com o dado medido).

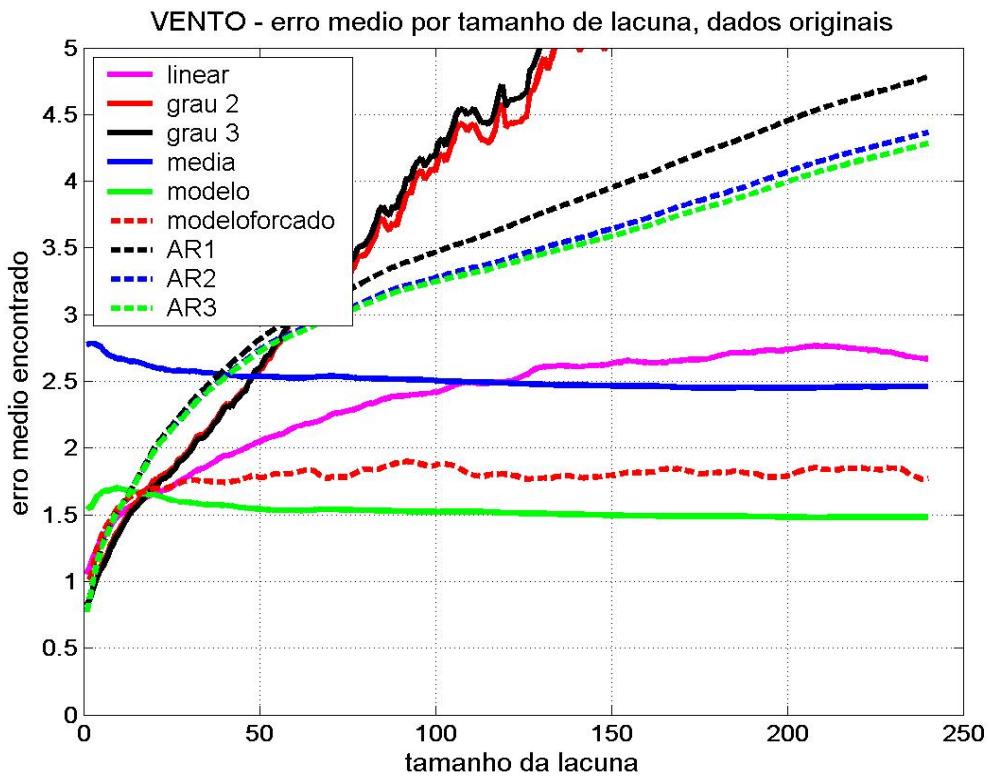


Figura 6.5.6 – Gráfico de erro do vento para o dado original e para diversos tipos de preenchimento de lacunas em função do tamanho da mesma. A escala vertical é o erro médio obtido em metros por segundo (m/s).

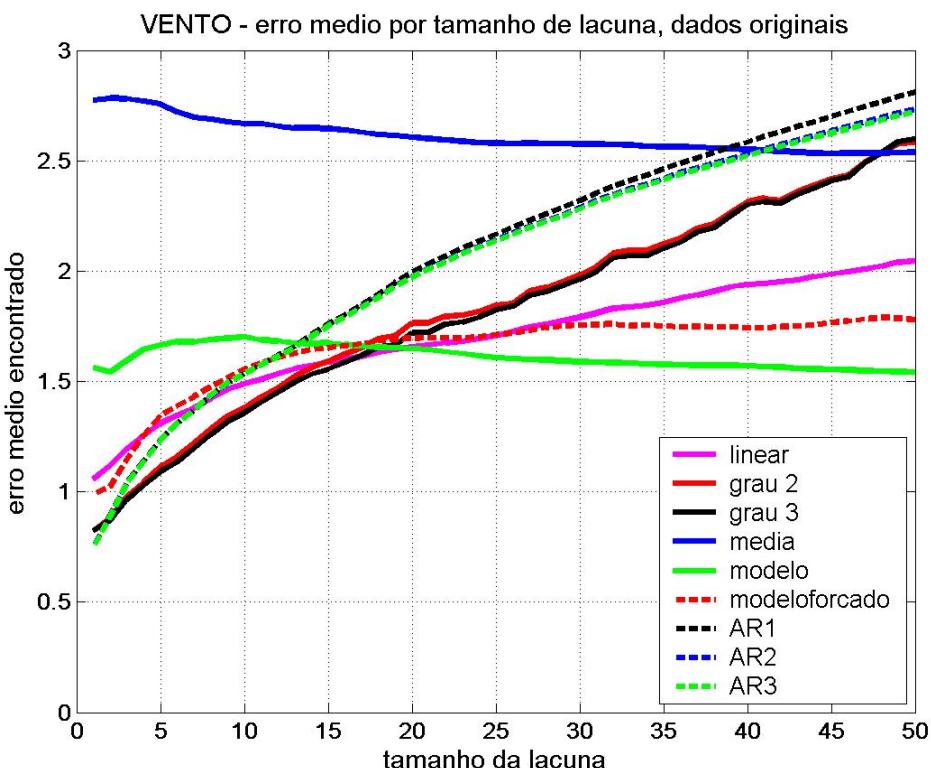


Figura 6.5.7 – Detalhe da figura 6.5.6 para lacunas até 50 horas. Cada erro médio encontrado é resultante de 200 valores obtidos no programa *raiox*.

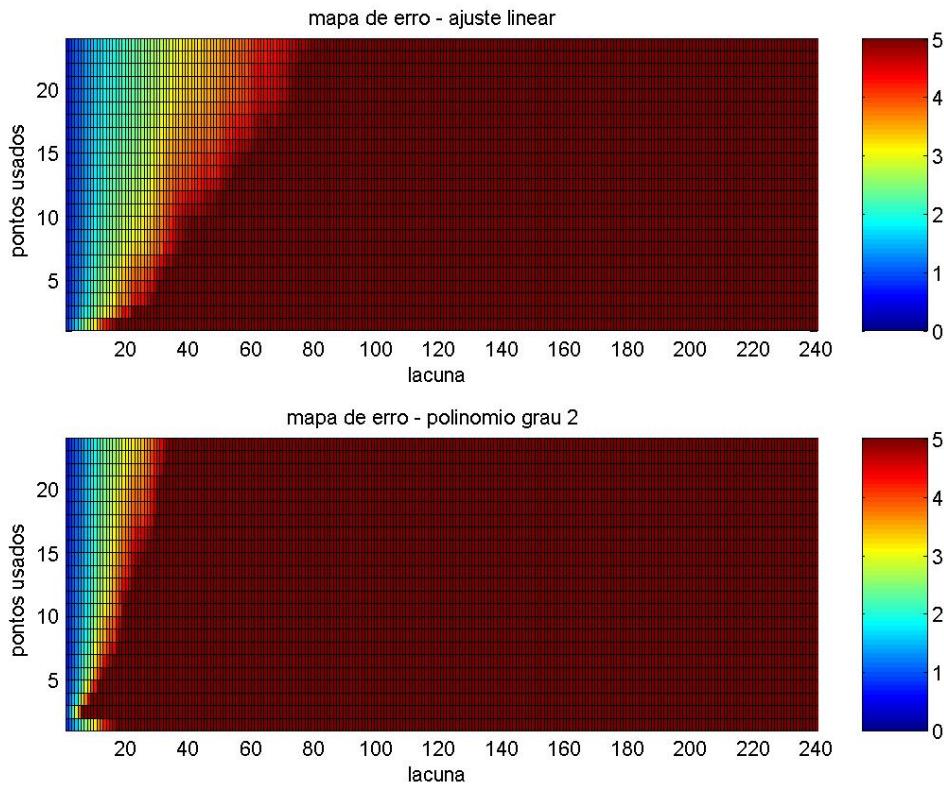


Figura 6.5.8 – Mapa de erro do dado após diferenciação para ajustes linear e do segundo grau.

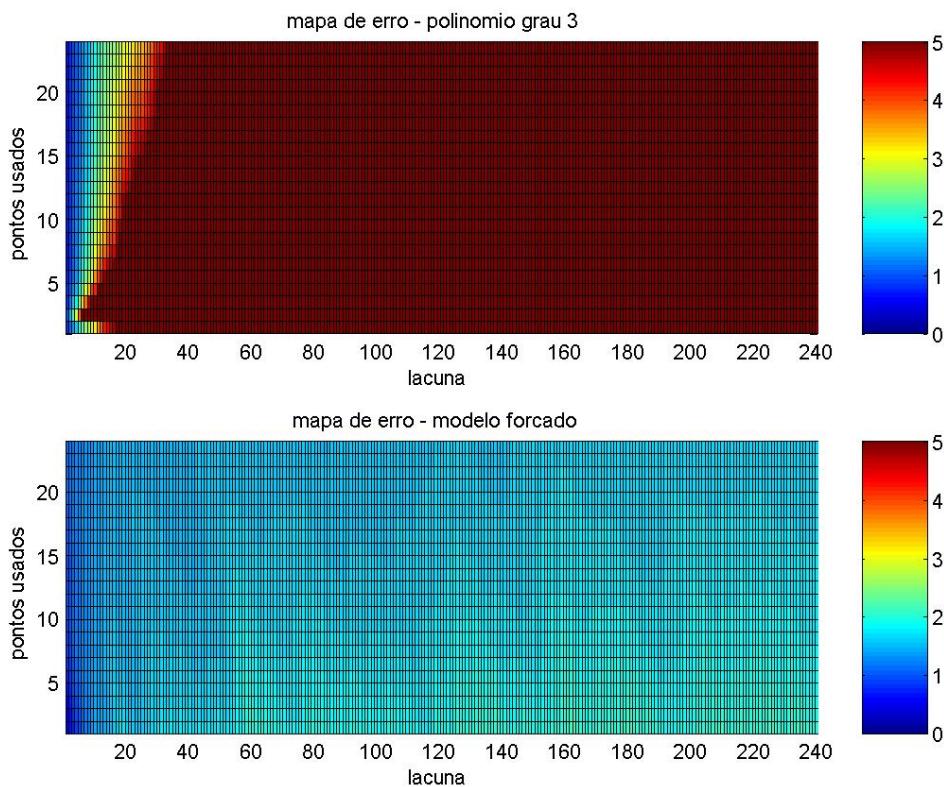


Figura 6.5.9 – Erros médios quadráticos do dado diferenciado para preenchimento com equação do terceiro grau e modelo forçado.

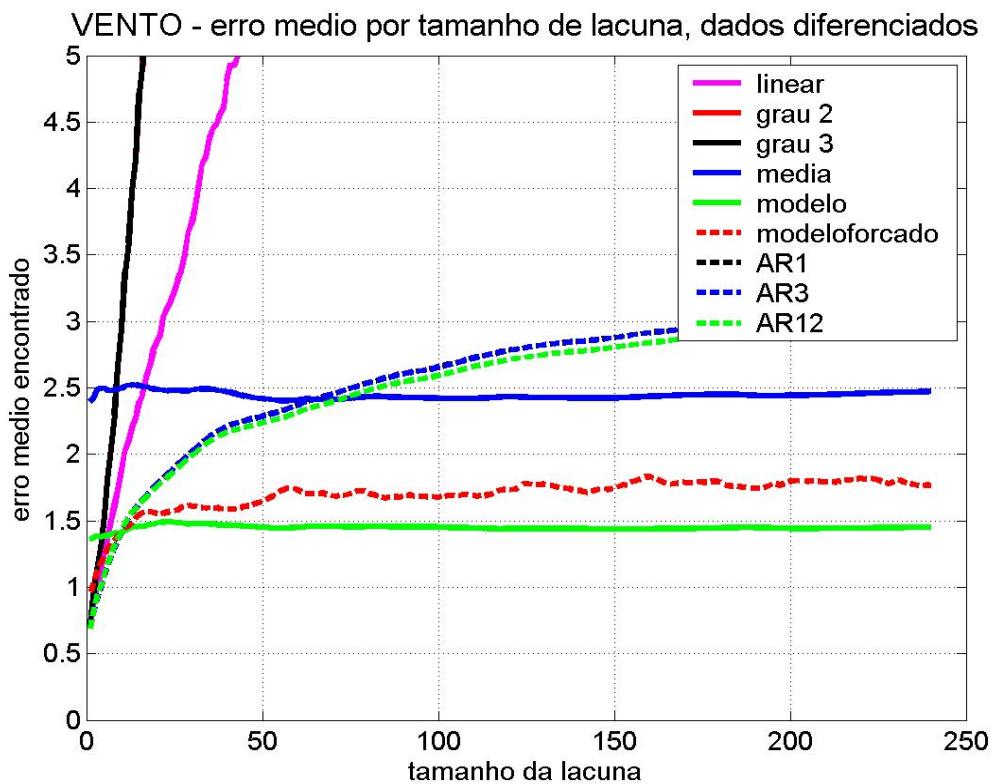


Figura 6.5.10 – Gráfico de erro do vento para o dado diferenciado e para diversos tipos de preenchimento de lacunas em função do tamanho da mesma. A escala vertical é o erro médio obtido em metros por segundo (m/s).

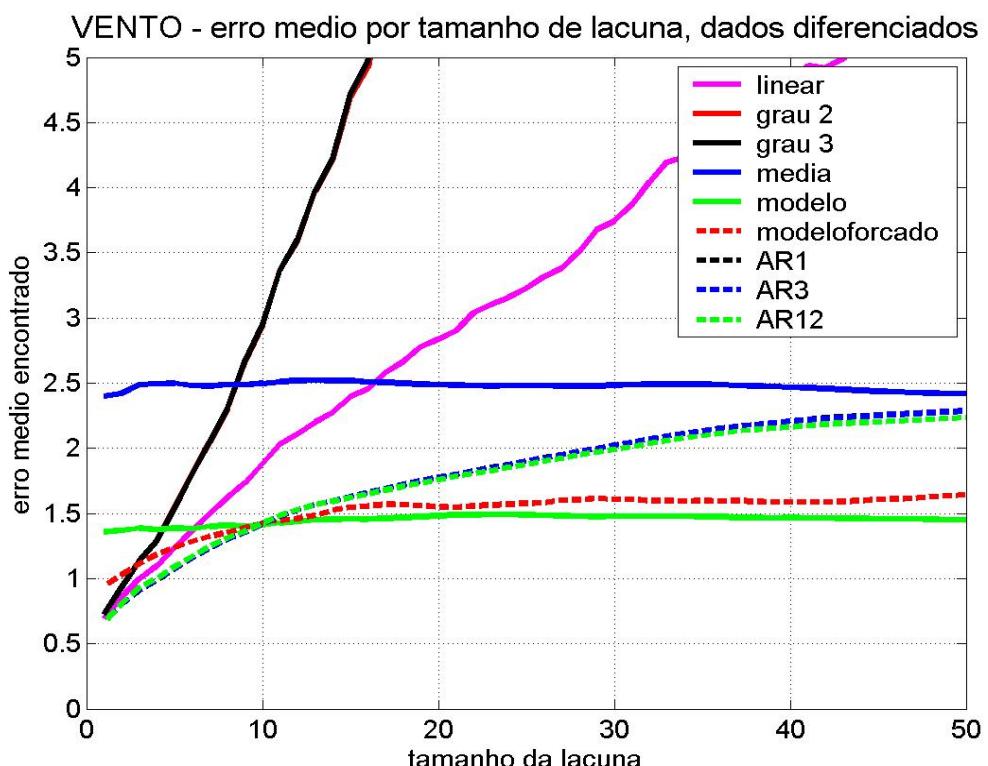


Figura 6.5.11 – Detalhe da figura 6.5.10 para lacunas até 50 horas. Cada erro médio encontrado é resultante de 200 valores obtidos no programa *raiox*.

Examinando as figuras 6.5.7 e 6.5.11 verificamos que os melhores ajustes aconteceram para o dado original, sem a necessidade de nenhuma transformação inicial no mesmo. Pela figura 6.5.7 é possível concluir que até cerca de 18 lacunas (correspondente a 18 horas), os ajustes com polinômios do segundo e terceiro graus fornecem o menor erro médio, sendo que a partir deste tamanho de lacuna e até o limite do programa (240 horas), o melhor resultado é alcançado com os dados do modelo, no caso o do NCEP/NOAA.

A figura 6.5.4 mostra, para o ajuste com uma equação do segundo grau, o comportamento do erro para cada tamanho de lacuna quando aumentamos o número de pontos para fazer a interpolação antes e depois da lacuna. Examinando-se esta figura é possível concluir que, como regra geral, o erro diminui quando aumentamos o número de pontos antes/depois da lacuna para fazer o ajuste da equação. Para um resultado mais conclusivo sobre o número ótimo de pontos a usar na interpolação até lacunas de até 18 horas, pode-se rodar o programa *raiox* com um número maior de casos (1000 por exemplo), o que fornecerá um detalhamento melhor para esta faixa de interesse.

6.6 – ONDA

Medições de ondas são raras na costa brasileira. O alto custo dos equipamentos e dos meios navais para sua instalação e os freqüentes problemas operacionais nas campanhas de medição dificultam a existência de séries temporais longas de onda. Outro complicador é a possibilidade de ocorrência de várias ondas com diferentes características acontecendo ao mesmo tempo e no mesmo lugar, sendo preciso, antes de proceder ao seu estudo, separar cada um dos “estados-de-mar” presentes.

Tendo em vista a pequena quantidade de informações disponíveis, é importante ampliar o conjunto de dados, tendo sido identificadas as seguintes alternativas:

- utilizar dados globais de reanálises (NCEP e ECMWF);
- utilizar dados medidos em locais diferentes, mas com equipamentos tradicionais;
- utilizar dados locais mas medidos com tecnologia ainda nova (radar de ondas).

Os dados das reanálises apesar da facilidade de se trabalhar com os mesmos, foram preteridos por se tratar de informações modeladas e não medições, o que sempre nos deixaria com dúvidas se os resultados alcançados poderiam realmente ser aplicados futuramente. Deixamos estas informações apenas para o eventual preenchimento de falhas nos dados medidos. O centro europeu (ECMWF) dispõe das reanálises desde setembro de 1957 até agosto de 2002 no formato NetCDF, que pode ser lido usando-se rotinas já prontas do MatLab.

Uma longa campanha de medição de ondas com uma bóia tradicional de ótima qualidade foi feita pela Marinha do Brasil, através do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). Apesar do equipamento se encontrar longe da Bacia de Campos, próximo à costa em Arraial do Cabo, e de sofrer mudança nas características das ondas, principalmente a direção, acreditamos ser possível fornecer uma boa aproximação para as ondas na Bacia de Campos. Para o aproveitamento deste conjunto de informações muito se investiu em processamento dos mesmos, conforme pode ser visto no Capítulo 8. A posição dos 2 pontos pode ser vista na Figura 8.2.

A qualidade de dados medidos por radar na Bacia de Campos (plataforma P25) também foi testada como alternativa para aumento do conjunto de informações de onda, estando a qualidade dos diferentes métodos indicada nas Tabelas 10.1 a 10.6.

O programa *raiox* também foi usado com os dados de onda, mas como em geral o mar é multimodal utilizamos a altura significativa total, pois as séries separadas de Hs têm o grande inconveniente de serem muito curtas (um estado-de-mar dura apenas alguns dias), o que atrapalha a interpolação dos dados. Na continuidade do desenvolvimento deste trabalho pretendemos aprender mais sobre a forma do crescimento e decaimento do mar e tentar preencher lacunas através desta informação.

No presente estudo, trabalhamos com um período de dados de onda bem pequeno, por causa da restrição de que os dados sejam simultâneos e da mesma qualidade. Esta limitação foi para que pudéssemos desenvolver o algoritmo de estimativa das ondas oceânicas a partir de informações costeiras, mas com os algoritmos definidos podemos usá-los para todo o conjunto de ondas de Arraial do Cabo.

O conjunto de dados simultâneos de onda em Arraial do Cabo e na Bacia de Campos é composto de 1469 medições de hora em hora, indo de 13/02/1999 até 07/04/1999. Foram utilizadas as informações de altura significativa de onda (Hs), período de pico (Tp) e direção de pico (Dir), de cada parte identificada do espectro de energia.

Para testar o melhor método de preenchimento de lacunas nas séries de onda utilizamos o programa *raiox* com os dados de águas profundas, pois estes não sofreram nenhuma alteração em suas características, o que não se pode afirmar com os dados de Arraial do Cabo, que devem ter sido alterados pelo fundo oceânico e pela Ilha de Cabo Frio.

A transformação logarítmica aplicada às ondas também não deu bons resultados. As figuras 6.6.1 a 6.6.5 mostram as saídas do programa *raiox* para o dado original, e as figuras 6.6.6 a 6.6.10 apresentam as saídas com o dado diferenciado. Pela análise das figuras 6.6.2, 6.6.3, 6.6.7 e 6.6.8 podemos concluir que para lacunas até 32 horas o melhor preenchimento é com o polinômio de terceiro grau, de 33 a cerca de 70 horas deve-se usar o ajuste linear, e a partir de 71 horas o modelo forçado (os resultados do projeto COPAS forçando a coincidência com os valores antes e depois das lacunas).

Uma observação importante é sobre o caráter probabilístico dos resultados aqui apresentados. Como o sorteio das lacunas é aleatório, duas “rodadas” do programa *raiox* com o mesmo conjunto de dados podem produzir resultados um pouco diferentes. Quanto maior o número de lacunas escolhido para produzir os resultados médios menor será a diferença entre os resultados.

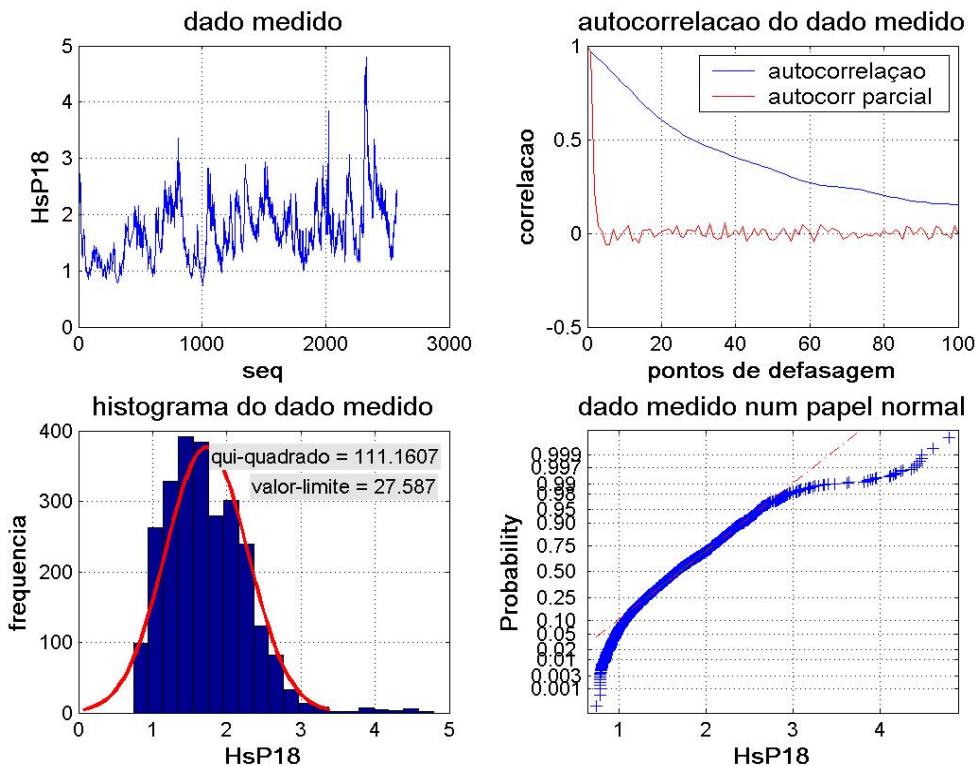


Figura 6.6.1 – Primeira tela do programa raiox para visualização do dado e das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial do dado original.

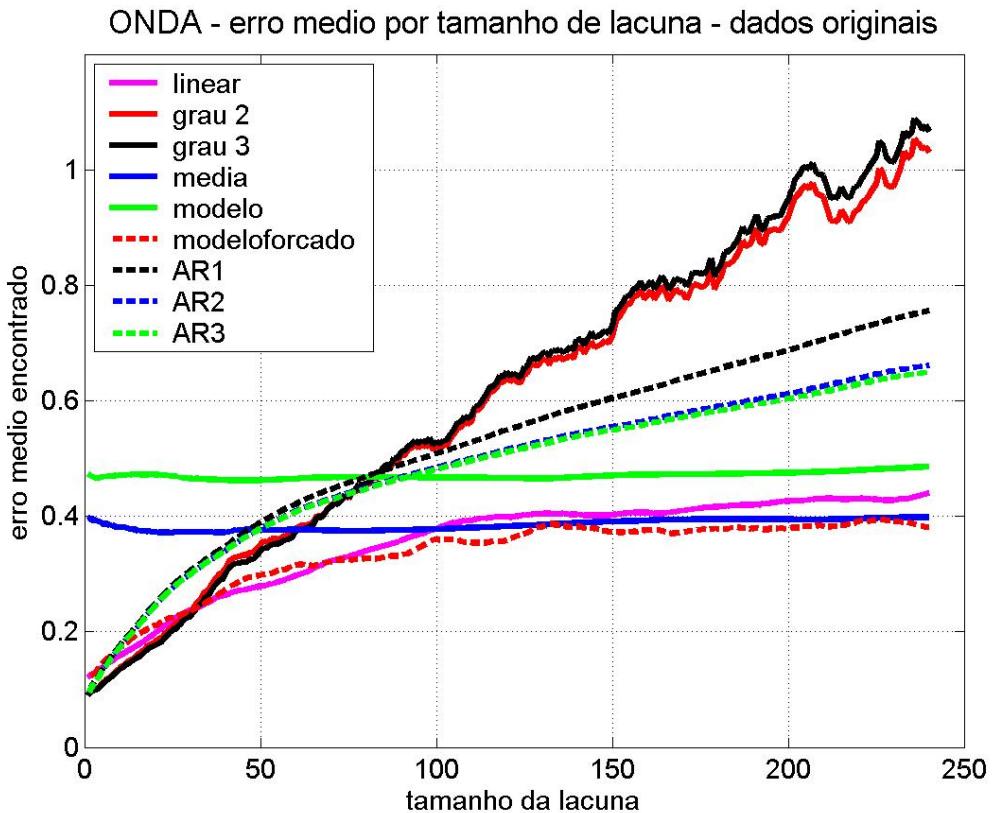


Figura 6.6.2 – Erros médios quadráticos do dado original para diferentes tipos de técnica para preenchimento de gaps. Os erros são o resultado médio de 200 lacunas sorteados na série de dados.

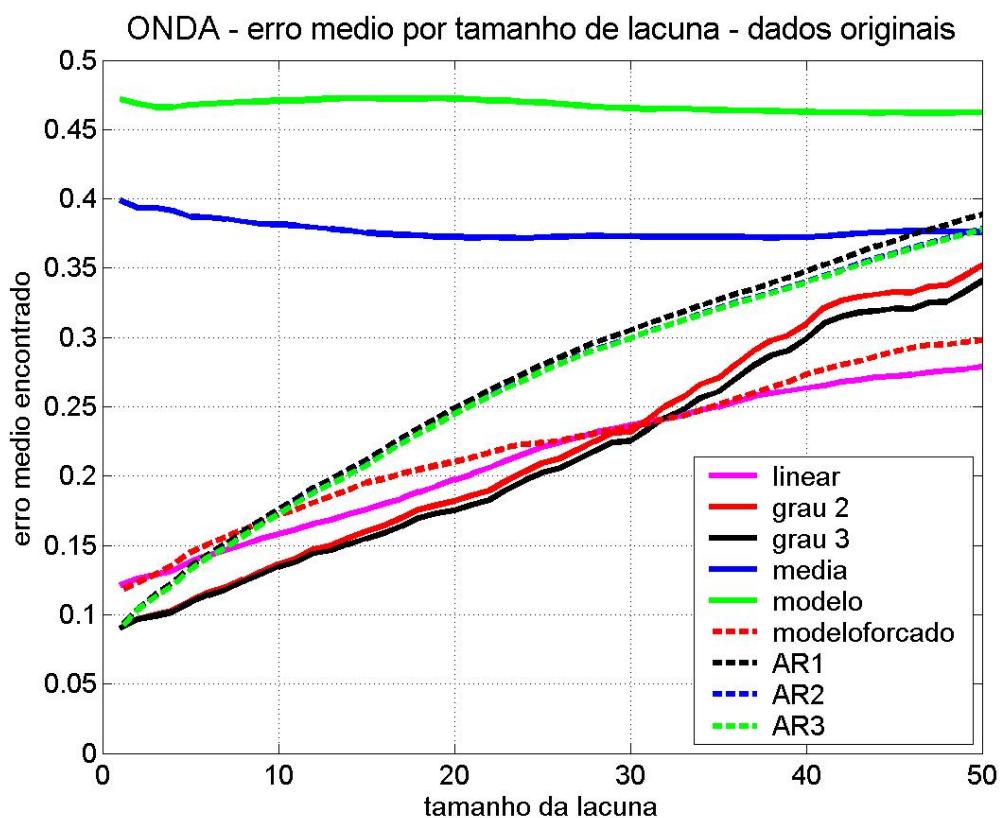


Figura 6.6.3 – detalhe da figura 6.6.2 para lacunas até 50 pontos.

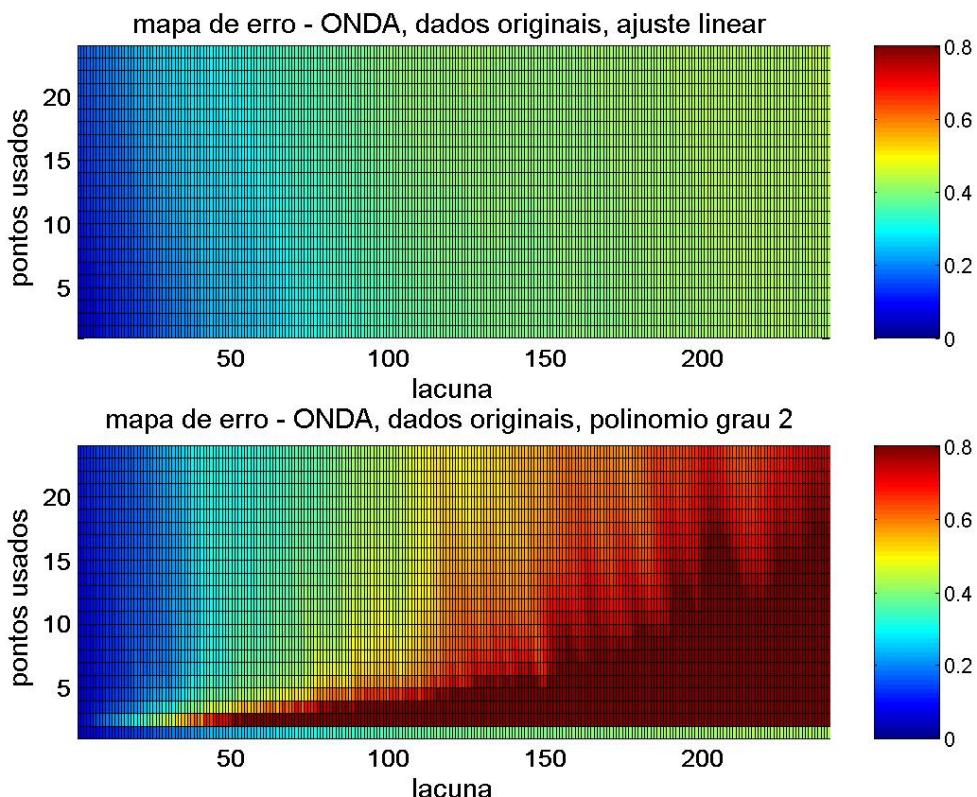


Figura 6.6.4 – Mapa de erros do dado original para o ajuste linear e do segundo grau.

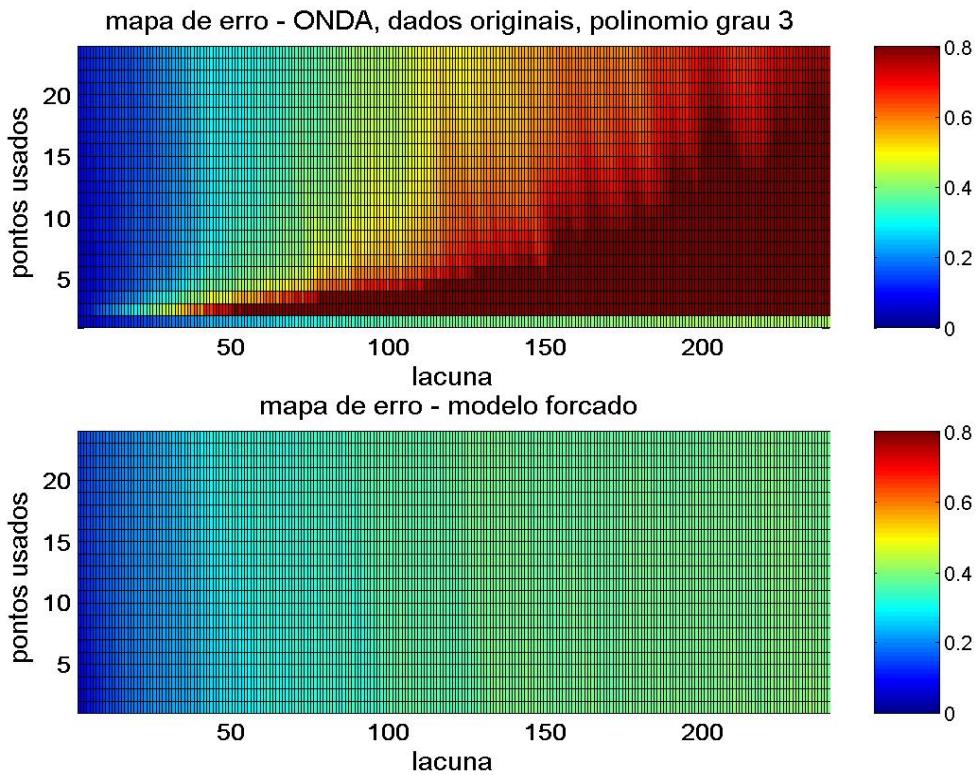


Figura 6.6.5 - Mapa de erro do dado original para polinômio de grau 3 e os resultados de ondas do projeto COPAS forçando a coincidência com os valores medidos no início e fim da lacuna.

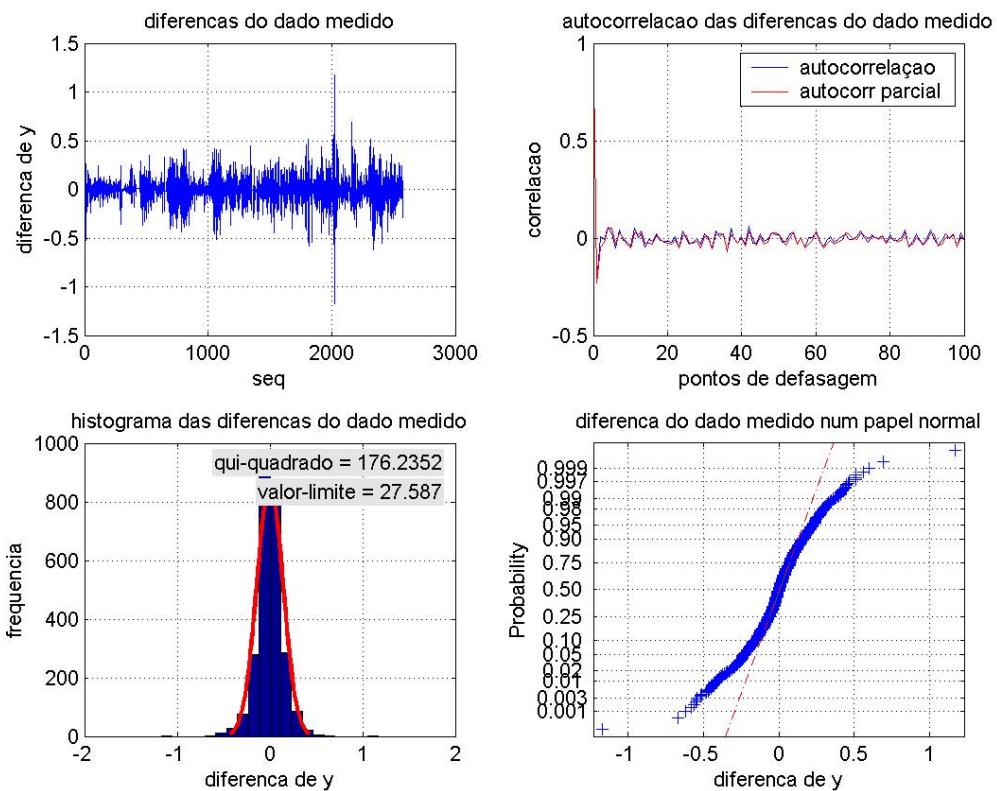


Figura 6.6.6 – Primeira tela do programa raiox para visualização do dado e das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial do dado diferenciado.

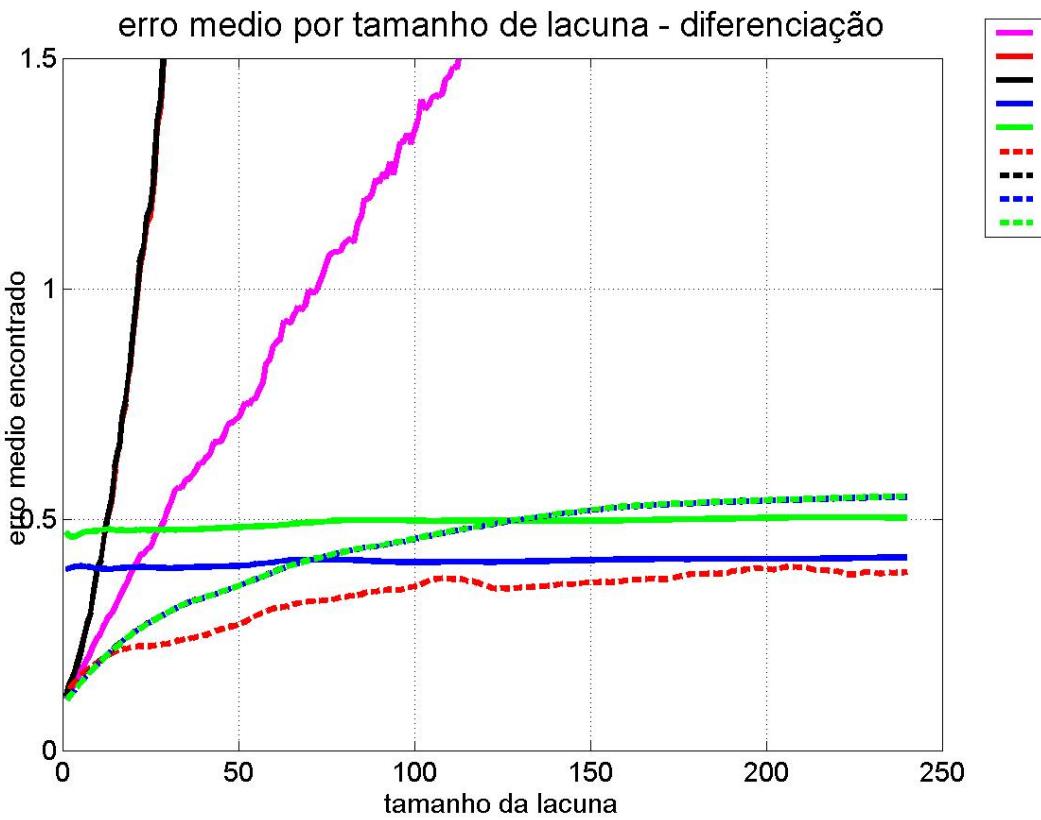


Figura 6.6.7 – Erros médios quadráticos do dado diferenciado para diferentes tipos de técnica de preenchimento de gaps. Os erros são o resultado médio de 200 lacunas sorteadas na série de dados.

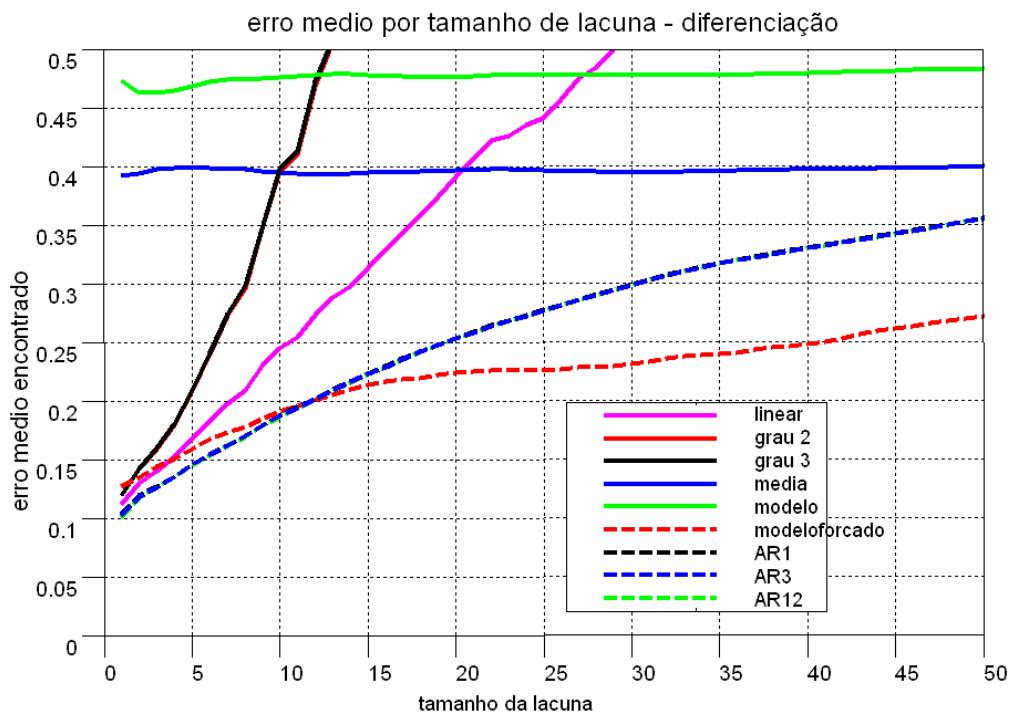


Figura 6.6.8 – detalhe da figura 6.6.7 para lacunas até 50 pontos.

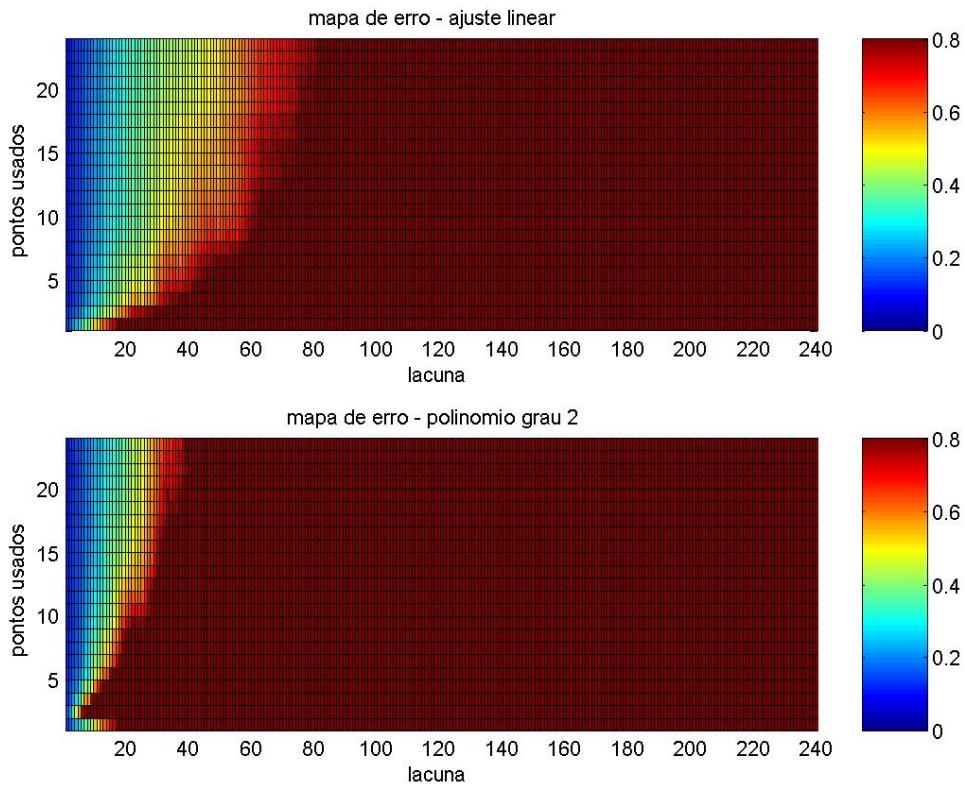


Figura 6.6.9 – Mapa de erros do dado diferenciado para o ajuste linear e do segundo grau.

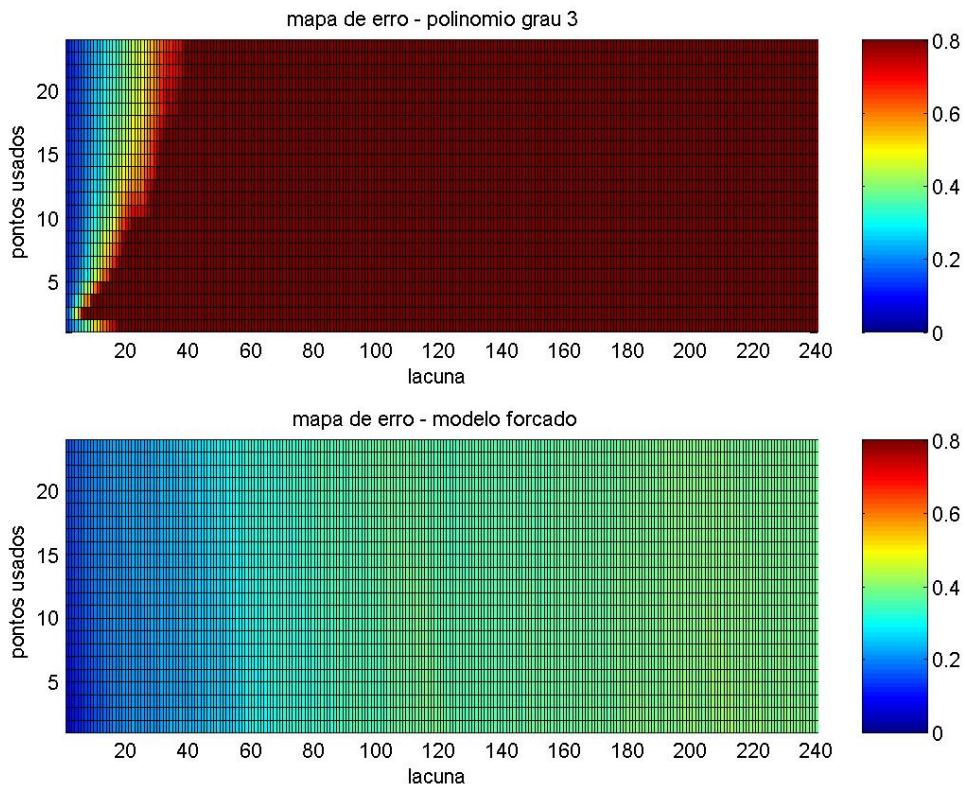


Figura 6.6.10 - Mapa de erro do dado diferenciado para polinômio de grau 3 e os resultados de ondas do projeto COPAS forçando a coincidência com os valores medidos no início e fim da lacuna.

7. SEPARAÇÃO DOS MARES PELA ENERGIA DO ESPECTRO E SEQUENCIA TEMPORAL

Em algumas aplicações de oceanografia é necessário não só separar os mares presentes num determinado estado-de-mar como também identificar as sequências temporais destes mares. Se quisermos correlacionar os mares com forçantes atmosféricas como os campos de vento e de pressão, é muito importante que identifiquemos as sequências de cada parte do espectro de energia do mar, para que se possa acompanhar a evolução temporal destes mares e entender seu crescimento e decaimento.

Na análise tradicional de ondas no domínio da freqüência, os espectros são estudados individualmente para cada evento de aquisição de dados (normalmente a cada hora ou a cada 3 horas), e no caso de mares bimodais procede-se à separação do espectro em regiões distintas por critério de energia, cada região apresentando 1 pico, separadas por um cavado entre eles. No decorrer deste Capítulo será mostrado como foram incorporadas informações das sequências temporais dos estados-de-mar ao estudo, não para alterar a separação da energia de um determinado espectro, mas principalmente para identificar a correta sequência de mares, desde seu início até ao seu término, de cada uma das partes do espectro de energia.

Como a medição das ondas não é um processo contínuo, cada espectro obtido é uma amostra do espectro real, estando sujeito à uma variabilidade, natural ao processo de amostragem, em relação ao espectro real. Existem diversos procedimentos para separação da energia do espectro. O método proposto por GUEDES SOARES (1984) mais tarde aperfeiçoado por GUEDES SOARES e NOLASCO (1992) e RODRIGUEZ e GUEDES SOARES (1999), considera um intervalo de confiança para os valores de energia dos picos e do cavado, identificando diferentes regiões por um critério de separação mínima em frequência de 2 picos vizinhos combinado com um teste na ordenada espectral das cristas e do cavado.

No programa de análise de ondas desenvolvido por LIMA *et al.* (2004) e utilizado neste trabalho, o critério para separação dos mares no mesmo espectro é resultante da experiência com o processamento de dados medidos por diferentes equipamentos e em períodos distintos, e engloba os trabalhos de Soares e também critérios próprios, que evoluíram desde as primeiras versões do programa, em 1989, até a versão mais recente de 2004.

Este programa parte das séries temporais medidas, no caso da bóia *waverider* as acelerações vertical e horizontal, e aplica a metodologia de BORGMAN (1982) e a transformada rápida de Fourier (FFT) na obtenção dos espectros de energia do mar, isto tudo antes de se proceder à separação do espectro.

Por mais detalhado que seja o critério de separação utilizado existe sempre a probabilidade de não identificar um determinado pico espectral ou mesmo de achar um pico que não seja real, e temos de conviver com esta possibilidade. O programa desenvolvido para seguir as sequências temporais se mostrou um auxiliar na tarefa de descobrir picos não detectados na análise individual dos espectros, pois fica claro, ao se montar gráficos das sequências, um pico não detectado num determinado horário ou um pico identificado erroneamente.

Neste trabalho, nós usamos os parâmetros espetrais obtidos da forma tradicional para depois tentar formar seqüências reais de espectros de mar. Com este objetivo desenvolvemos um programa chamado SEGUE4MARES para “seguir” as energias de cada parte dos espectros de mar medidos. Baseado num “índice de semelhança” o programa compara os parâmetros altura significativa, período e direção de pico de uma medição com as 3 medições anteriores trocando, sempre que necessário, uma parte do espectro pela outra, de forma a manter as seqüências reais dos mares (NUNES *et al.*, 2008).

O programa tem capacidade para seguir até 4 mares, mesmo que só exista a separação do espectro em 2 partes, isto porque ele trabalha sempre testando se nos novos espectros medidos existe algum valor muito diferente das séries ativas. Caso exista, este novo valor é salvo numa série “temporária”, numa área chamada de incubadora. Se outros pontos aparecerem com as mesmas características do ponto que está na incubadora o programa valida uma nova série, mesmo que já existam 2 ou 3 em andamento. Caso o novo valor tenha poucas ocorrências (menor que o valor $nmin$ estipulado pelo usuário), estas ocorrências são descartadas e jogadas para uma área do programa chamada de “lixeira”. A metodologia seguida pelo programa na identificação dos mares está mostrada no item *Metodologia para seguir os estados de mar*, e para tentar explicar a forma como o programa trabalha, montamos um macro fluxo do mesmo, com as principais etapas do processamento e a nomenclatura das variáveis principais do programa SEGUE4MARES. Ele foi implementado na linguagem MatLab por conta das facilidades gráficas que este ambiente proporciona.

METODOLOGIA PARA SEGUIR OS ESTADOS-DE-MAR

Seqüências temporais de estados-de-mar apresentam uma característica muito importante que pode ser usada na sua identificação: os parâmetros espetrais não mudam de valor repentinamente numa seqüência correta de estados-de-mar. Os parâmetros espetrais usados neste trabalho são o Hs (altura significativa de onda), Tp (período de pico espectral) e Dir (direção associada ao pico espectral).

Baseado nesta idéia, criamos um índice chamado “índice de similaridade” (IS) que varia entre 0 e 1, e define “o quanto” um ponto numa série temporal é semelhante aos anteriores. Fazendo este processo para as 2 partes do espectro, podemos medir se um ponto está na ordem correta ou não. Na Figura 7.1 apresentamos um esquema mostrando isto, o ponto 4, na parte 1 do espectro (primeiro pico espectral) é comparado com os pontos 1, 2 e 3 e calculado o índice de similaridade como a média do índice de similaridade dos pares 4-1, 4-2 e 4-3. Da mesma forma o ponto 8 é comparado com os pontos 5, 6 e 7. Um índice médio de similaridade é adotado para os pontos 4-8, chamado de ISORIGINAL, e representa o quanto estes pontos são similares aos pontos anteriores nas 2 séries temporais (partes 1 e 2).

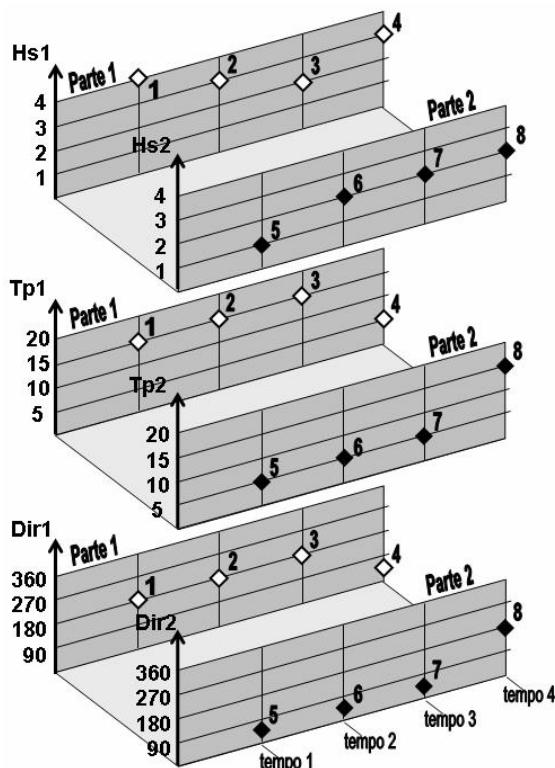


Figura 7.1 – estimativa do ISORIGINAL, pontos 4 e 8 na posição original.

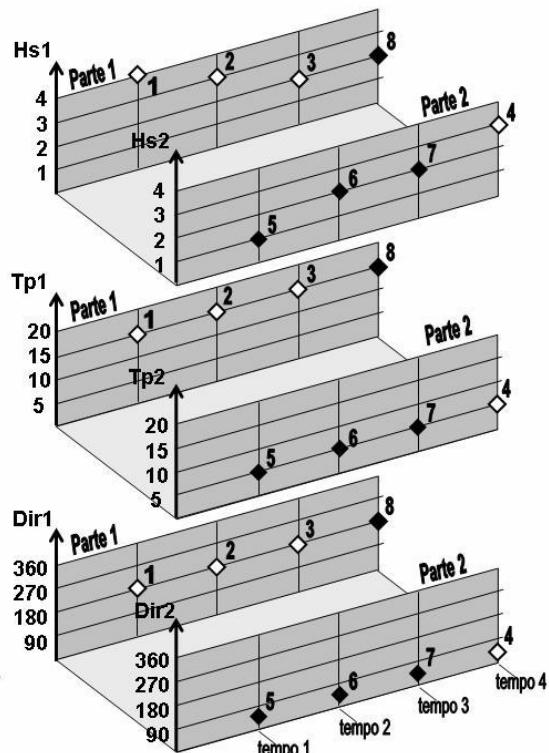


figura 7.2 – estimativa do ISCRUZADO, pontos 4 e 8 com a posição trocada.

O programa compara também o ponto 4 com os pontos 5, 6 e 7 e o ponto 8 com os pontos 1, 2 e 3. O índice de similaridade médio desta combinação é chamado ISCRUZADO e mede a similaridade quando os pontos 4 e 8 são trocados, conforme indicado na figura 7.2. O programa escolhe como ordem correta dos pontos 4 e 8 a combinação que tem o maior índice de similaridade. O mesmo procedimento é feito para todos os pontos da série, começando a partir da quarta medição, pois é necessário existirem 3 pontos anteriores.

Internamente no programa nós usamos um outro índice, chamado ID (índice de diferença) por facilidade computacional. Para uma simples combinação entre 2 pontos (no caso pontos 4 e 1), ID é estimado no programa como:

$$ID_{41} = \frac{(ID_{hs41} + ID_{tp41} + ID_{dir41})}{3}$$

Para haver um único valor de ID para os dados originais no instante de tempo 4 do exemplo, nós adotamos a média do ID para os pares 41, 42, 43 e 85, 86 e 87. Este índice é chamado IDORIGINAL, e vale:

$$ID_{ORIGINAL} = \frac{(ID_{41} + ID_{42} + ID_{43} + ID_{85} + ID_{86} + ID_{87})}{6}$$

Da mesma forma, nós podemos obter um índice de diferença cruzado (IDCRUZADO) dos pontos no instante de tempo 4 trocando a posição dos pontos 4 e 8 (Figura 7.2).

$$ID_{CROSS} = \frac{(ID_{45} + ID_{46} + ID_{47} + ID_{81} + ID_{82} + ID_{83})}{6}$$

Individualmente, os valores de IDhs, IDtp e IDdir são obtidos pela diferença entre o valor do parâmetro de onda no instante atual e no ponto anterior. Nos casos de Hs e de Tp entre os pontos 4 e 1 os valores de ID são definidos como:

```
idhs41(i)=abs((hs1(4)-hs1(1))/rangehs);
idtp41(i)=abs((tp1(4)-tp1(1))/rangetp);
```

No caso da direção, é incluído um teste para verificar se a mesma não é superior a 180 graus, pois tratando-se de uma diferença circular, é possível haver 2 valores de diferença, uma no sentido horário e outra ao contrário, e convencionamos usar a menor das 2 diferenças.

Os valores de IDORIGINAL e IDCRUZADO são positivos, pois são médias de valores sempre positivos dos IDs de hs, tp e dir. Para “forçar” que os valores dos índices de diferença variem entre 0 e 1 é feita uma normalização dos mesmos dividindo-se todos os valores de ID pelo maior valor de ID encontrado na análise. Isto facilita a comparação e nos dá sensibilidade de quanto um valor está diferente dos anteriores.

Existe também uma “normalização” dos valores individuais de ID (idhs, idtp e iddir) pela divisão pelo parâmetro “range”, que tem diferentes valores para cada parâmetro de onda, obtidos a partir do desvio-padrão dos dados. É necessário utilizar distintos ranges porque os valores dos 3 parâmetros são bem diferentes. Por exemplo, a direção pode ter valores entre 0 e 360 enquanto a altura de onda Hs tem valores, no nosso conjunto de dados, entre 0 e 4 metros.

Caso existam mais que 2 séries ativas (até 4 no máximo), o programa repete o mesmo procedimento para as demais séries, só que neste caso o número possível de combinações para os pontos A, B, C e D é bem maior (24 combinações possíveis), como indicado na Tabela 7.1.

A melhor combinação é aquela que apresenta a menor soma dos índices de diferença para as 4 séries. No exemplo da Tabela 7.1, a série 6 apresentou a menor soma dos ID’s, logo no instante atual dos dados, o programa trocaria os valores das séries B e D, mantendo os pontos A e C nas suas posições originais.

Tabela 7.1 – possíveis combinações para os pontos das séries A, B, C e D (1 a 24) dado que no instante anterior as séries estavam na ordem **A, B, C e D** (primeira coluna em negrito).

	Possíveis combinações dos pontos das séries A, B, C e D num instante qualquer																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	
B	B	B	B	C	C	D	D	A	A	C	C	D	D	A	A	B	B	D	D	A	A	B	B	C
C	C	C	D	B	D	B	C	C	D	A	D	A	C	B	D	A	D	A	B	B	C	A	C	A
D	D	C	D	B	C	B	D	C	D	A	C	A	D	B	D	A	B	A	C	B	C	A	B	A
Σid	1,1	0,8	1,2	0,9	1,1	0,5	0,7	0,9	1,0	1,3	1,5	1,4	2,1	2,0	1,9	2,2	1,9	1,8	1,4	1,3	1,1	1,3	1,0	0,9

O programa SEGUE4MARES pode ser otimizado pelo usuário em função das características das ondulações em estudo. Para isso existem alguns parâmetros internos do programa que podem ser alterados, são eles:

- *tserie*: tempo, em horas, para que ainda se possa considerar um mesmo mar. Sua escolha é feita com base no gráfico de autocorrelação do dado de onda, com os dados da Bacia de Campos o melhor resultado foi obtido com 30 horas. A verificação das freqüências de ocorrência das séries temporais é feita dentro de uma janela de tamanho *tserie* horas;
- *freq*: número de ocorrências encontradas pelo programa para uma determinada série dentro da janela de pesquisa de *tserie* horas;
- *nmin*: número mínimo de valores dentro da janela *tserie* para que uma nova série seja iniciada;
- *tol*: tolerância para a diferença entre o valor atual e os anteriores para que o ponto atual possa ser considerado como pertencendo à mesma série. É utilizado para Hs, Tp e Dir e serve para eliminar valores muito discrepantes. Dentro do programa as tolerâncias são estimadas pelo desvio-padrão do dado, e também variam em função do tempo entre os pontos que estão sendo comparados.

O Anexo C mostra o fluxograma do programa SEGUE4MARES, onde são apresentados mais detalhes do mesmo.

DADOS UTILIZADOS

Os dados de onda que usamos na análise do desempenho da metodologia proposta foram medidos por uma bóia do tipo *heave-pitch-roll* fundeada em 1250 metros (figura 7.3) e que realizava medições a cada 3 horas de 3 séries temporais de 1024 pontos com taxa de 1 Hz. Os dados foram processados como descrito no início deste capítulo, separando-se o espectro de energia em 2 partes (quando existiam), atribuindo-se o índice 1 à parte mais energética do espectro e o índice 2 à parte com menor energia. Esta nomenclatura é comum em aplicações de engenharia, pois em geral se está interessado em analisar condições mais adversas de mar, com maiores alturas de onda, o que fica fácil identificar selecionando-se as partes 1 dos espectros de energia.



Figura 7.3 – Bóia oceanográfica que mediou os dados de onda na área *offshore*.

Independentemente do critério adotado, é muito difícil se conseguir ter todos os picos reais identificados para todo o conjunto de dados, e esta é a principal dificuldade neste trabalho: nós precisamos de um conjunto muito bom de parâmetros espectrais de cada pico para testar a metodologia proposta de seguir as seqüências de mares. Conforme explicado no item *Critério de Comparação*, nós gastamos um tempo significativo para formar o conjunto de dados de parâmetros de onda para testar a metodologia.

CRITÉRIO DE COMPARAÇÃO

O primeiro passo para se testar o desempenho da metodologia proposta é se obter um conjunto de dados de onda ordenados de forma a já contemplar a sequência correta da evolução dos estados de mar. Este primeiro passo é na verdade o grande problema, pois antes de rodar o programa os dados não estão ordenados, e se torna então necessário proceder à este ordenamento de forma manual, o que é muito trabalhoso.

Alguns fatores como as limitações da análise no domínio da freqüência, o critério de separação dos picos e a eventual presença de um terceiro pico, que pode aparecer no lugar do segundo, tornam esta tarefa muito difícil. Para nos auxiliar na construção de uma boa seqüência de estados de mar utilizamos as Cartas Sinóticas da Marinha (Figura 7.4) e as reanálises dos campos de pressão e de ventos do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts).

Após um exaustivo trabalho de tentar encontrar as seqüências corretas pela inspeção visual dos gráficos de Hs1, Tp1, Dir1, Hs2, Tp2 e Dir2 e comparando as séries obtidas com as Cartas Sinóticas e as reanálises do ECMWF (Figura 7.5), montamos um arquivo EXCEL chamado GABARITO.XLS com 676 linhas entre as datas de 02/09/92 e 26/11/92, com dados medidos a cada 3 horas. O arquivo GABARITO.XLS foi usado na comparação com os resultados do programa SEGUE4MARES.

Para comparar a eficiência do critério desenvolvido adotamos, além da sequência de mares obtida pela saída do programa, mais duas maneiras de classificar as seqüências de estados de mar e medimos o nível de ajuste de cada uma delas em relação ao dado correto (GABARITO.XLS). Estes 2 critérios alternativos foram:

- a) considerar o pico 1 como o mais energético (muito usado em aplicações de engenharia);
- b) considerar o pico 1 como o de maior período (muito usado em resultados de modelos de onda)

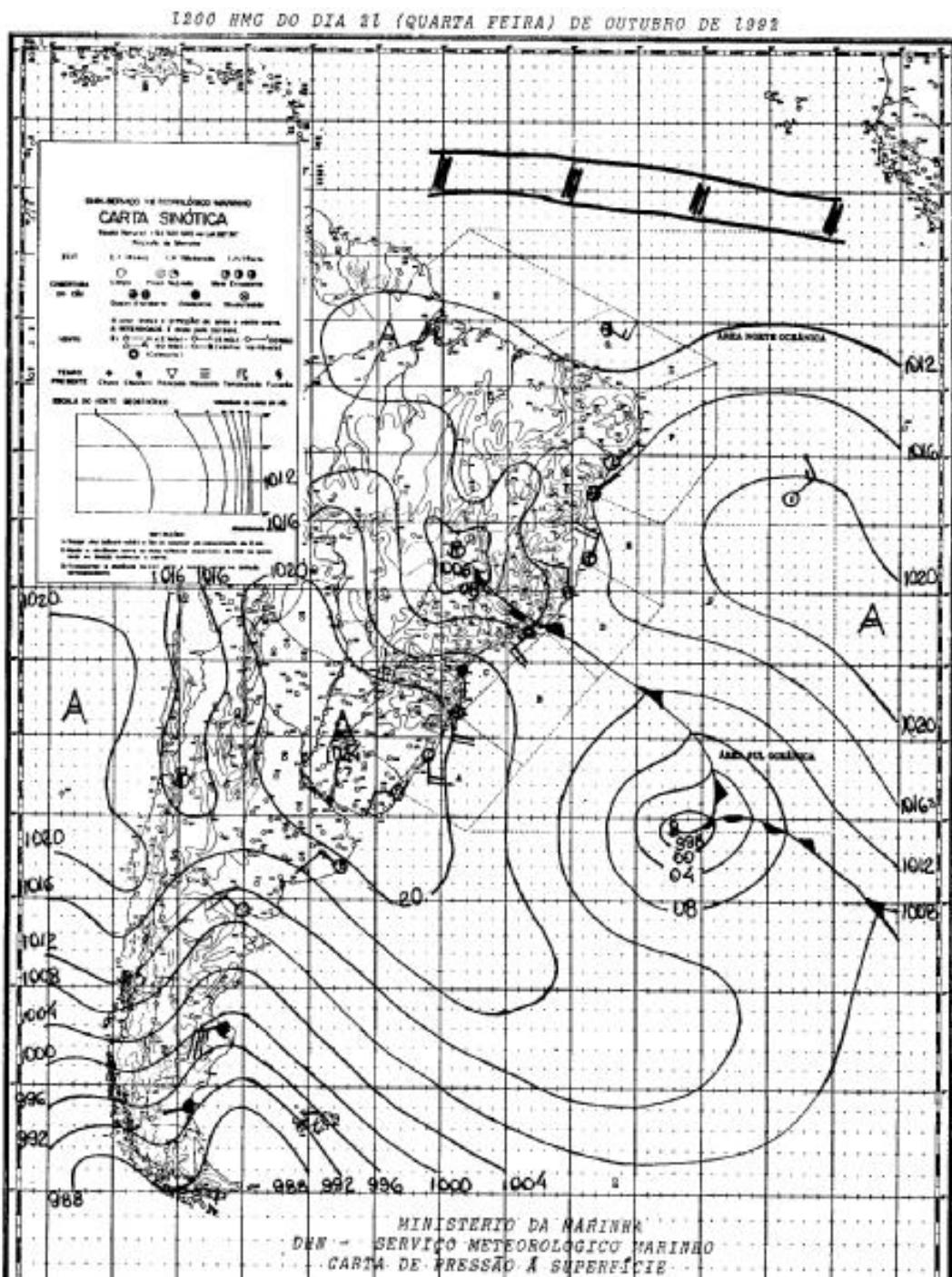


Figura 7.4 – exemplo de carta sinótica elaborada pela Marinha do Brasil e utilizada como ferramenta auxiliar para classificação das sequências temporais de estados de mar

Resultados do ECWRF - 21-Oct-1992 12:00:00

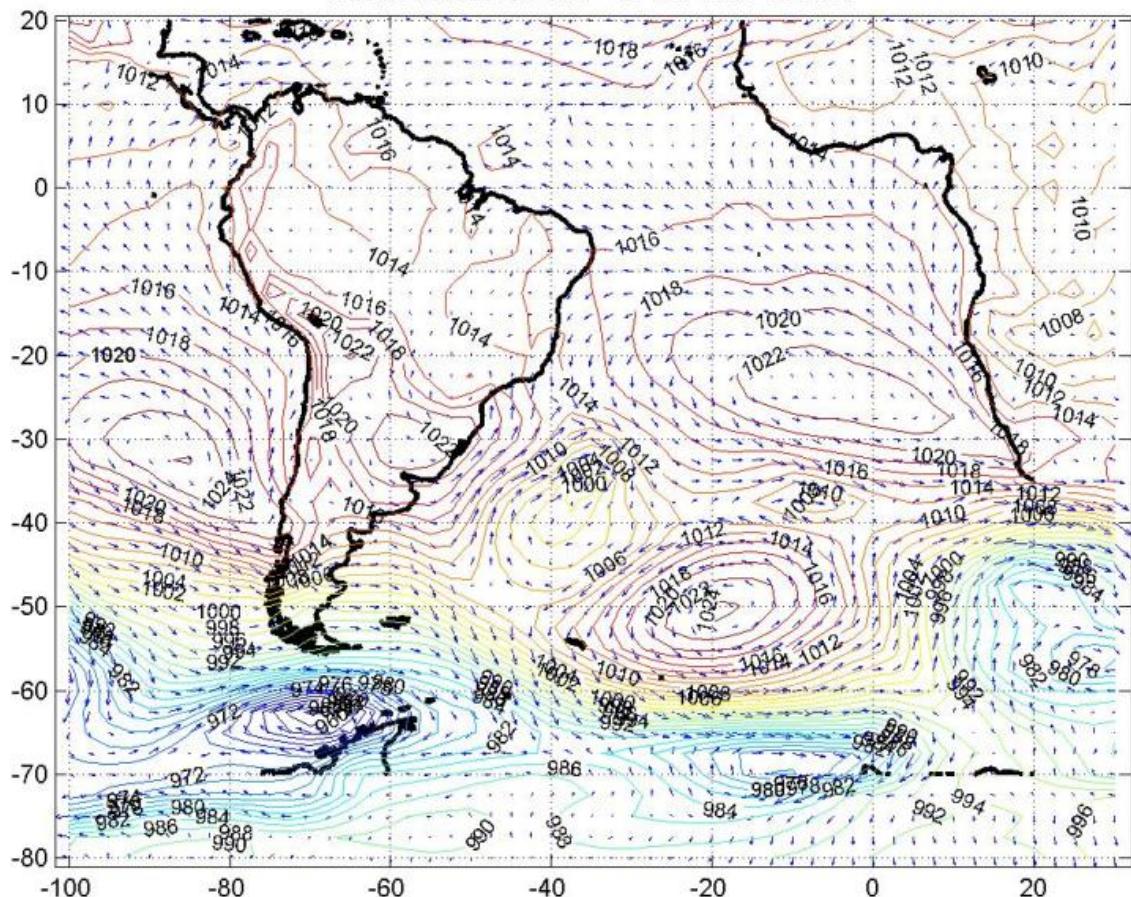


Figura 7.5 – Exemplo de saída do campo de pressões atmosféricas feito pelo ECMWF e também usado eventualmente na classificação das séries temporais de ondas

AVALIAÇÃO DO PROGRAMA

Considerando que o arquivo GABARITO está com a ordem temporal correta de Hs, Tp e Dir para os picos 1 e 2, a eficiência do programa SEGUE4MARES e dos outros 2 critérios pode ser avaliada pelo número de pontos em posições diferentes quando comparado com o arquivo GABARITO. Para se ter um número comparável, na Tabela 7.2 expressamos em porcentagem os pontos que ficaram classificados em posição errada, para três diferentes critérios de classificação dos mares, tendo encontrado um desempenho cerca de 3 vezes melhor na classificação das séries usando o programa SEGUE4MARES, em relação aos outros 2 métodos de classificação.

Tabela 7.2 – Desempenho de diferentes critérios de classificação das séries de mares

Critério de classificação	Erro (%)
Saída do programa SEGUE4MARES	2,81 %
Hs1 > Hs2	9,17 %
Tp1 > Tp2	8,28 %

Numa situação real, não temos um arquivo como o GABARITO, ou seja, não temos a correta classificação, e o programa SEGUE4MARES irá trabalhar com os dados da forma como ele foi gravado, provavelmente por um critério de Hs ou Tp maior como sendo o primeiro pico.

Se o programa for robusto na sua ordenação, ele deve ser independente da ordem como estão classificados os picos 1 e 2, ou seja, ele deve retornar uma saída muito parecida, mesmo que troquemos as ordens dos picos no arquivo de entrada. Para testar esta hipótese, rodamos o programa SEGUE4MARES utilizando 3 arquivos de entrada diferentes, que foram:

- A) trocando o pico 1 pelo pico 2 nas linhas ímpares do arquivo GABARITO;
- B) fazendo com que o pico 1 seja o que tem o maior Hs
- C) fazendo com que pico 1 seja o que tem o maior Tp

A Tabela 7.3 mostra os erros na saída do programa para os 3 arquivos de entrada distintos. Como se pode notar, o programa é praticamente indiferente à ordem como

são apresentados os picos 1 e 2 no arquivo de entrada, isto é importante porque, como ressaltamos, em situações reais nós não sabemos a ordem correta dos dados.

Tabela 7.3 – erros de saída do programa SEGUE4MARES para diferentes arquivos de entrada

Arquivo de entrada	Erro (%)
A (linhas ímpares)	2,96 %
B ($Hs_1 > Hs_2$)	2,81 %
C ($Tp_1 > Tp_2$)	2,66 %
Valor médio	2,81 %

O programa SEGUE4MARES tem uma boa performance para encontrar as seqüências corretas dos picos em mares multimodais. Nós acreditamos que boa parte dos pontos dados como errados são consequência de incertezas no próprio arquivo GABARITO. O programa pode ser usado, além do seu propósito original que é fazer correlações com inputs meteorológicos, também para sugerir trocas nos parâmetros espectrais que saem dos programas tradicionais e para auxiliar na tarefa de preencher buracos em séries temporais.

As Figuras 7.6 a 7.11 mostram as séries temporais originais de Hs , Tp e Dir para o arquivo de entrada A (trocados os valores de onda 1 e 2 nas linhas ímpares) e após a saída do programa. Podemos notar a grande melhoria nas séries de saída, que colocam os parâmetros de onda de forma bem agrupada.

Já nas Figuras 7.12 a 7.17 o arquivo de entrada é o obtido com a condição de que Hs_1 é sempre maior que Hs_2 . Este arquivo é menos caótico que o anterior, mas as séries de saída do programa são praticamente iguais às obtidas com o arquivo de entrada A, o que confirma a pouca variabilidade dos resultados pela arrumação inicial do arquivo de entrada, que é o que esperávamos do programa de ordenação das séries temporais.

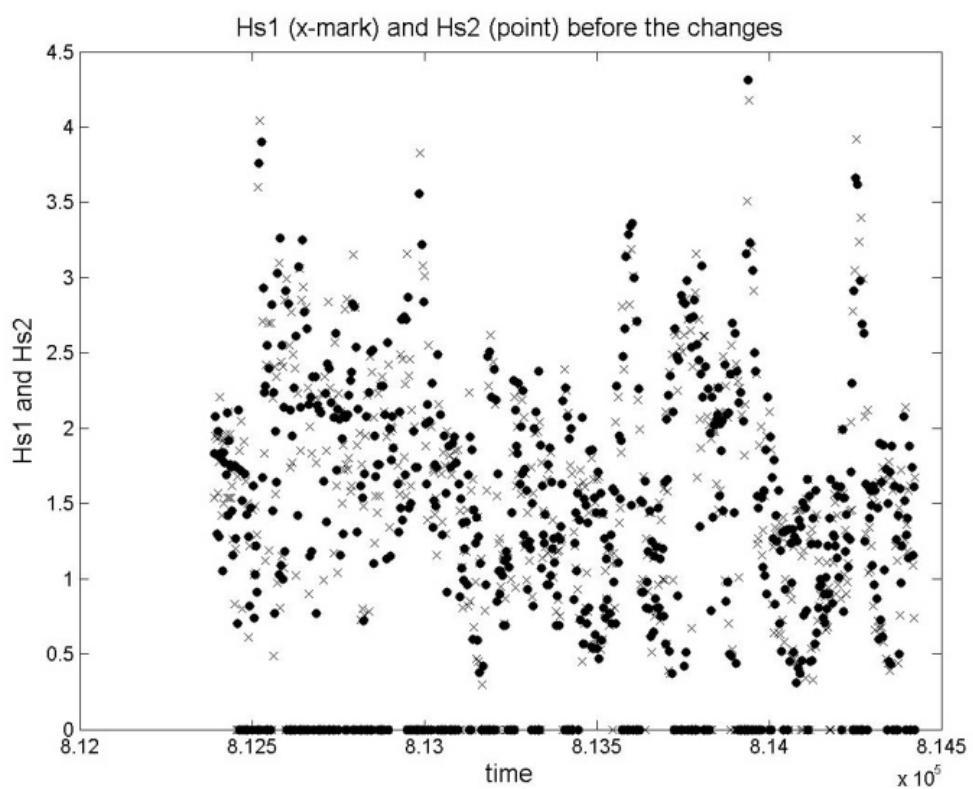


Figura 7.6 – Série temporal de Hs para o arquivo de entrada A

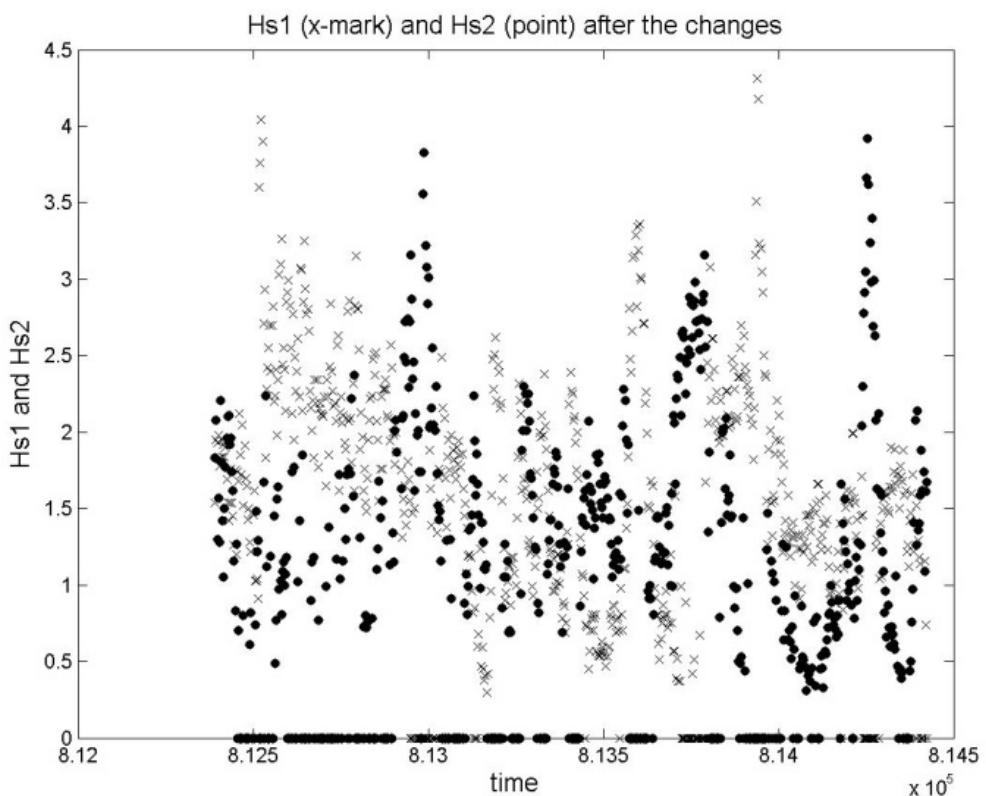


Figura 7.7 – Série de saída de Hs do programa SEGUE4MARES para o arquivo de entrada A

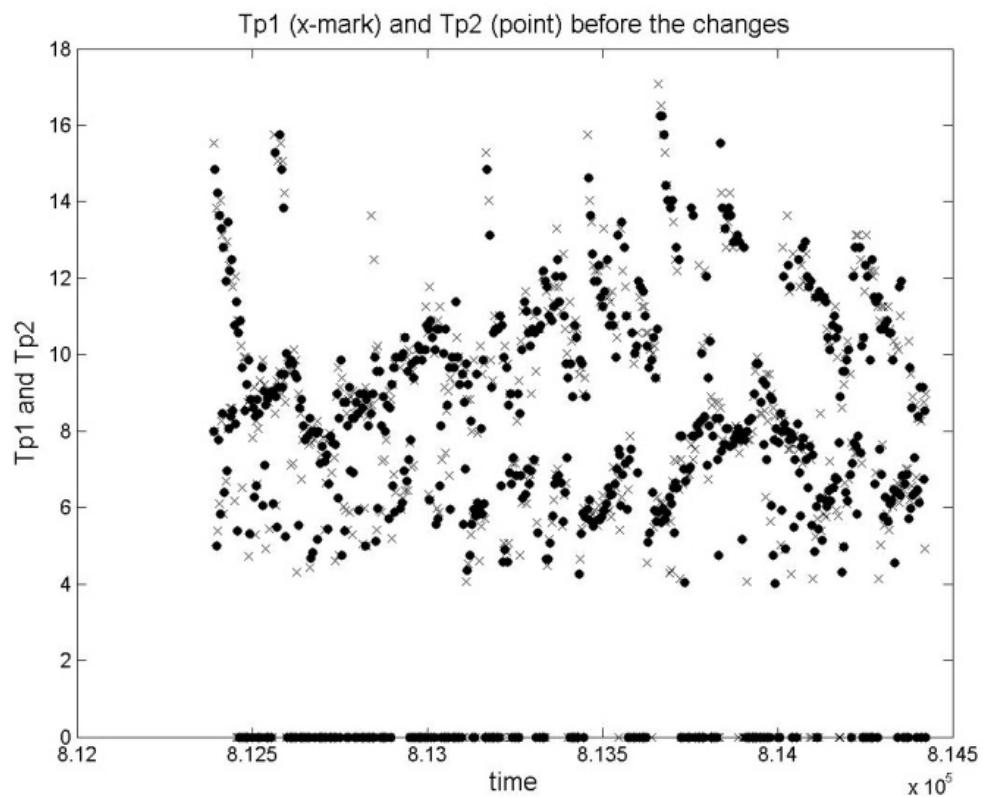


Figura 7.8 - Série temporal de Tp para o arquivo de entrada A

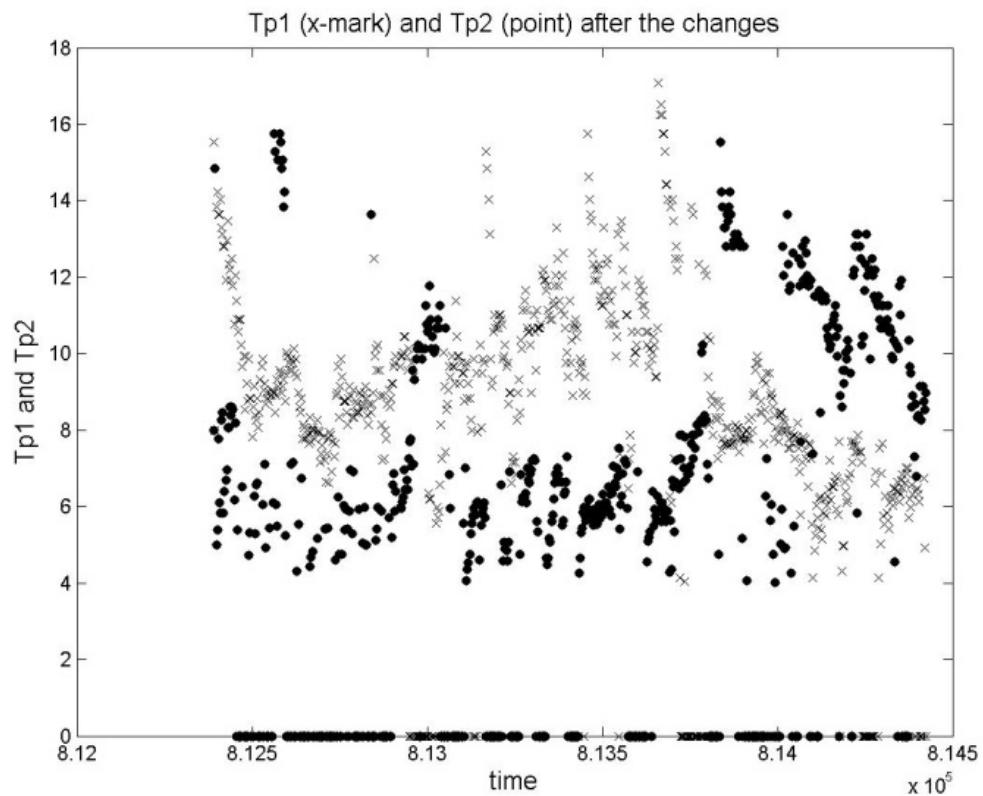


Figura 7.9 - Série de saída de Tp do programa SEGUE4MARES para o arquivo de entrada A

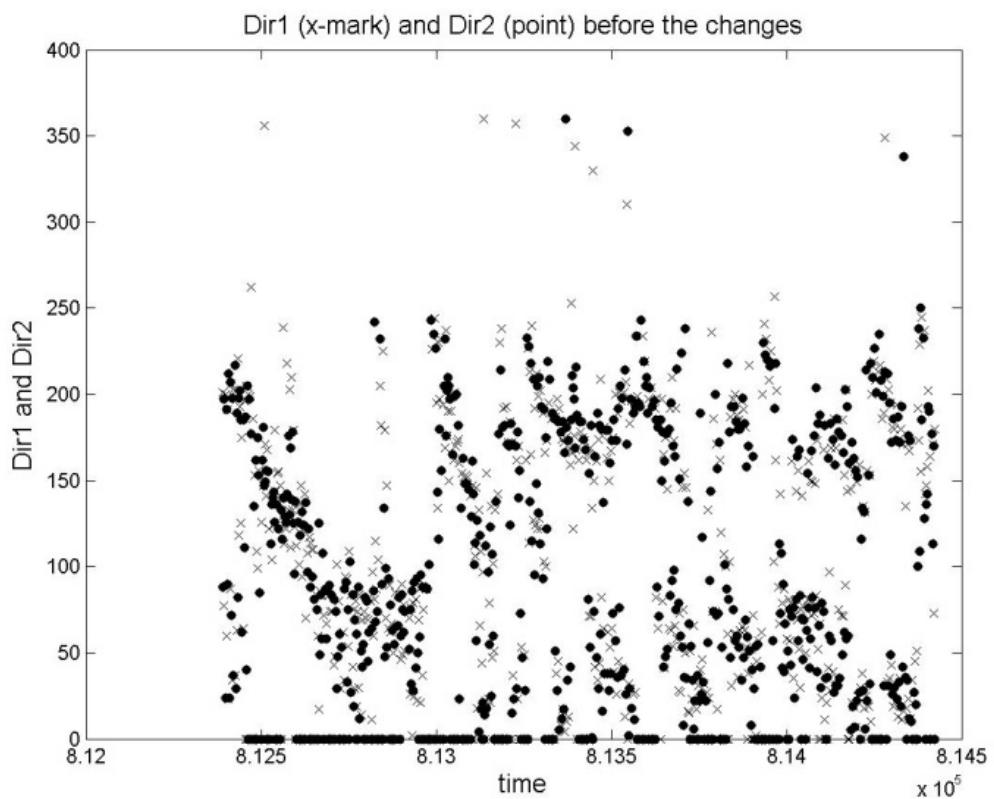


Figura 7.10 - Série temporal de Tp para o arquivo de entrada A

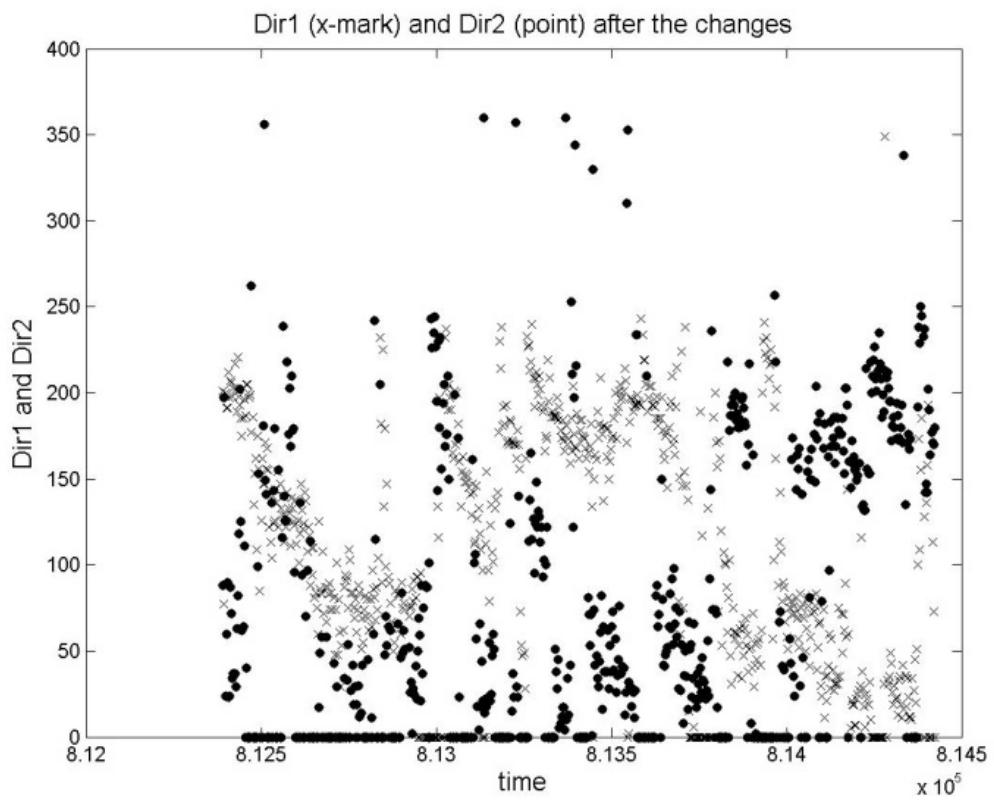


Figura 7.11 - Série de saída de Dir do programa SEGUE4MARES para o arquivo de entrada A

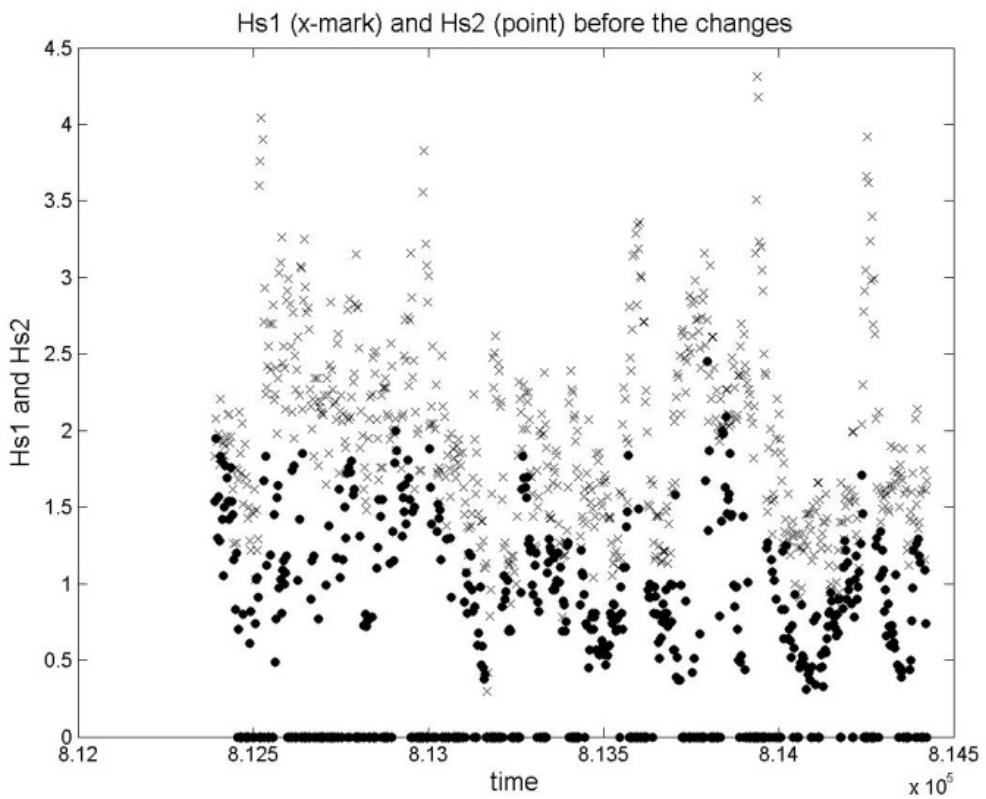


Figura 7.12 - Série temporal de Hs para o arquivo de entrada em que $Hs1 > Hs2$

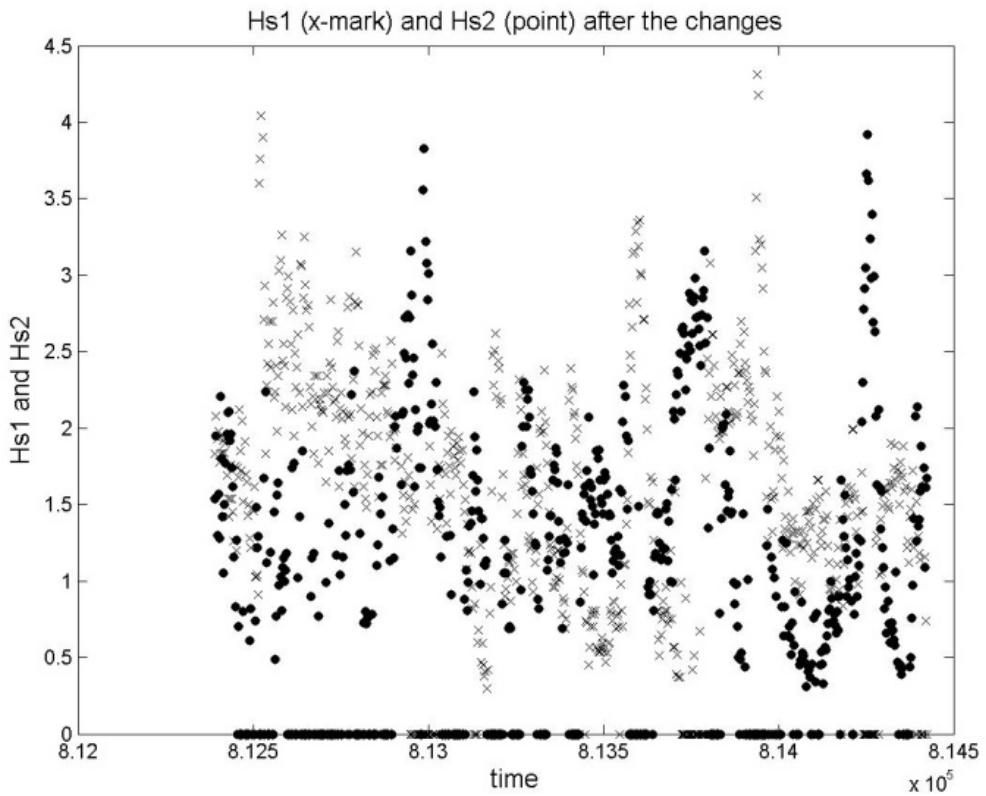


Figura 7.13 - Série de saída de Hs do programa SEGUE4MARES para o arquivo de entrada $Hs1 > Hs2$

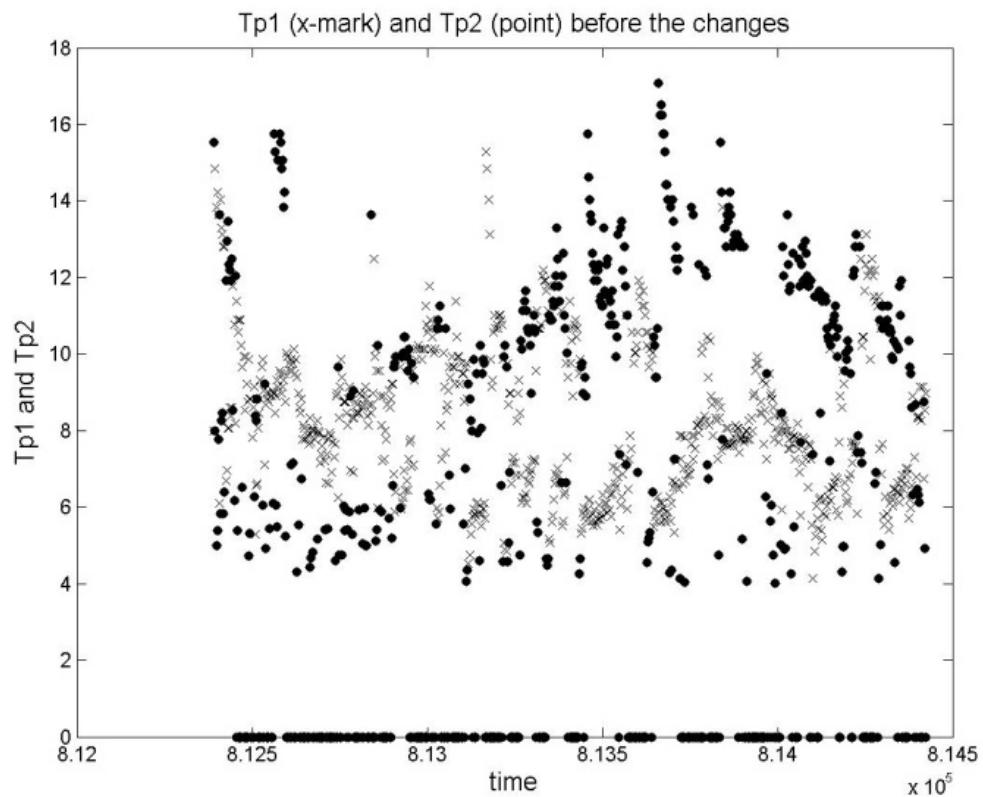


Figura 7.14 - Série temporal de Tp para o arquivo de entrada em que $Hs1 > Hs2$

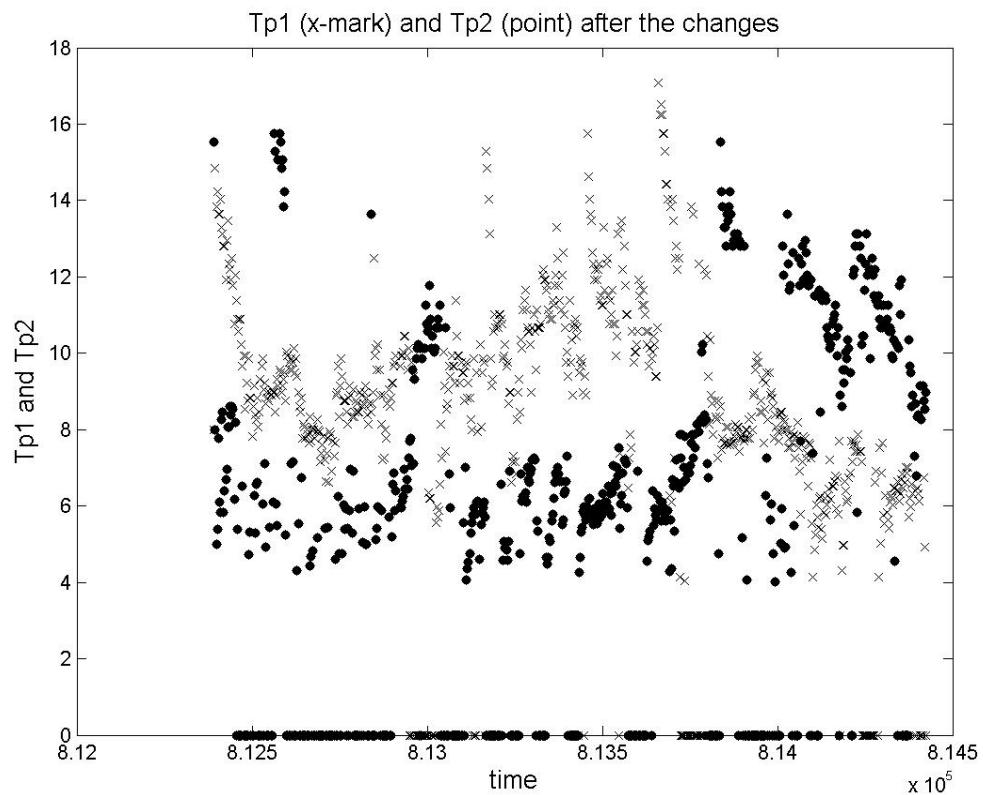


Figura 7.15 - Série de saída de Tp do programa SEGUE4MARES para o arquivo de entrada $Hs1 > Hs2$

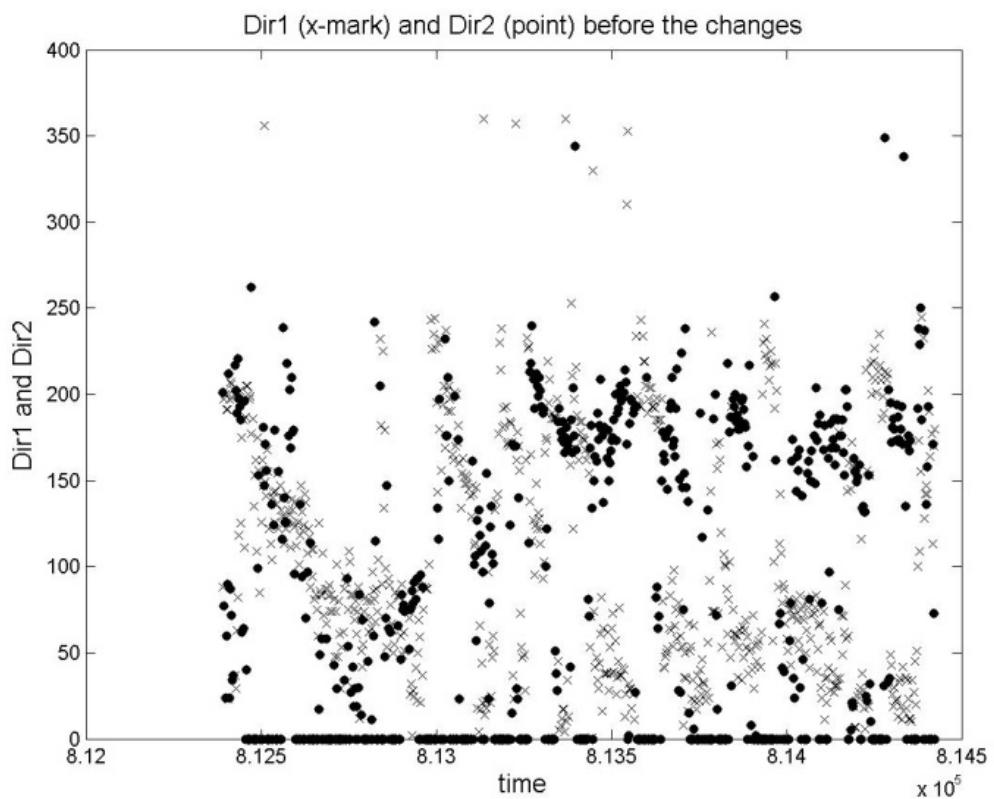


Figura 7.16 - Série temporal de Dir para o arquivo de entrada em que $Hs1 > Hs2$

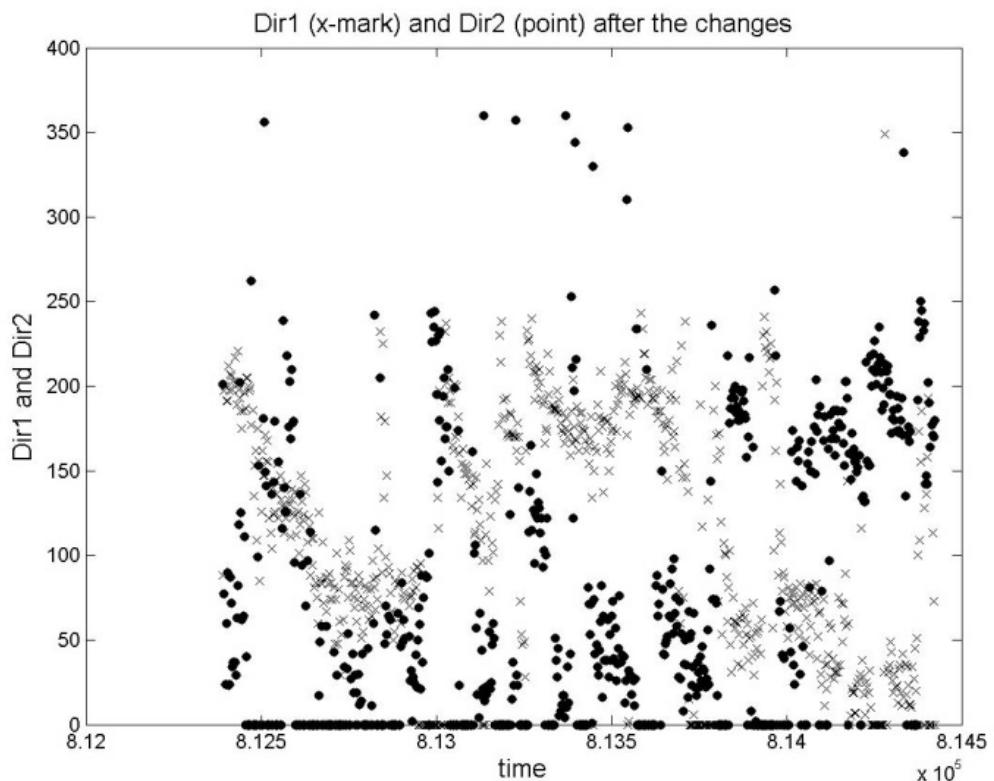


Figura 7.17 - Série de saída de Dir do programa SEGUE4MARES para o arquivo de entrada $Hs1>Hs2$

8 AJUSTE DE DADOS PRÓXIMOS À COSTA PARA ONDAS EM ÁGUAS PROFUNDAS

O objetivo deste Capítulo é descrever como foi feita a estimativa das ondas na região da Bacia de Campos a partir de informações disponíveis próximo à costa. Esta estimativa pode ser feita de diferentes formas, desde uma simples regressão linear até o uso de modelos fenomenológicos que simulam a refração, difração e interações entre ondas e o fundo marinho.

Como havia um período com medições simultâneas de ondas próximo à costa e na região *offshore*, foi possível testar algumas formas de avaliação das ondas oceânicas baseadas no conhecimento das ondas costeiras. Os métodos de avaliação utilizados estão descritos ao longo do capítulo e a comparação do desempenho dos mesmos encontra-se no capítulo 10 (Conclusões e Resultados). COLI *et al.* (2007) também estimam espectros de onda *offshore* a partir de medições simultâneas de bóias oceânicas e ADCP / ADVs próximos à costa, tendo encontrado bons resultados.

O fato de não existir um levantamento batimétrico de detalhes da região e pela mesma possuir uma topografia bem complexa (Figura 8.1), nos desestimulou de tentar uma refração reversa da costa para águas profundas e nos fez pensar em resolver o problema de estimar ondas *offshore*, por outros métodos, testando-se as seguintes alternativas:

- uso dos dados de onda obtidos de reanálises com modelos numéricos;
- utilização dos dados medidos próximo à costa sem nenhum tipo de ajuste;
- ajuste logarítmico entre os dados costeiros e oceânicos;
- ajuste com função de potência entre os dados costeiros e oceânicos;
- medições oceânicas de onda feitas com radar;
- rede neural

Antes de testar os diferentes ajustes, procedeu-se a um minucioso trabalho de separação e identificação dos mares conforme descrito no Capítulo 7. Para cada sequência temporal de mar identificada em água profunda procurou-se a correspondente série em água rasa, num trabalho longo e minucioso, mas que se não fosse executado não seria possível garantir que os estados de mar ocorridos na Bacia de Campos foram corretamente identificados em Arraial do cabo, o que comprometeria todo o trabalho. Mais detalhes sobre a identificação dos pares em águas rasas e profundas serão fornecidos ao longo deste capítulo.

Dividimos este Capítulo nos seguintes itens:

- DADOS DISPONÍVEIS
- CARACTERÍSTICA DAS MEDIÇÕES
- CARACTERÍSTICAS DO MODELO DE ONDAS
- IDENTIFICAÇÃO DOS PARES DE DADOS EM ÁGUAS PROFUNDAS E RASAS
- CLUSTERIZAÇÃO DOS DADOS (CLUSTERS 1 E 2)
- CARACTERÍSTICAS DA REDE NEURAL UTILIZADA
- AJUSTE DE REDE NEURAL PARA OS DADOS DO CLUSTER 2 (SUL)
- AJUSTE DE REDE NEURAL PARA OS DADOS DO CLUSTER 1 (NORTE)

DADOS DISPONÍVEIS

A bóia próximo à costa estava fundeada em Arraial do Cabo, em local com profundidade de 90 metros (Figuras 8.1 e 8.2) enquanto que o ondógrafo da Bacia de Campos estava situado no campo de Marlim, numa profundidade de cerca de 900 metros. A distância entre as 2 bóias era de 217 km estando as coordenadas das mesmas na Tabela 8.1.

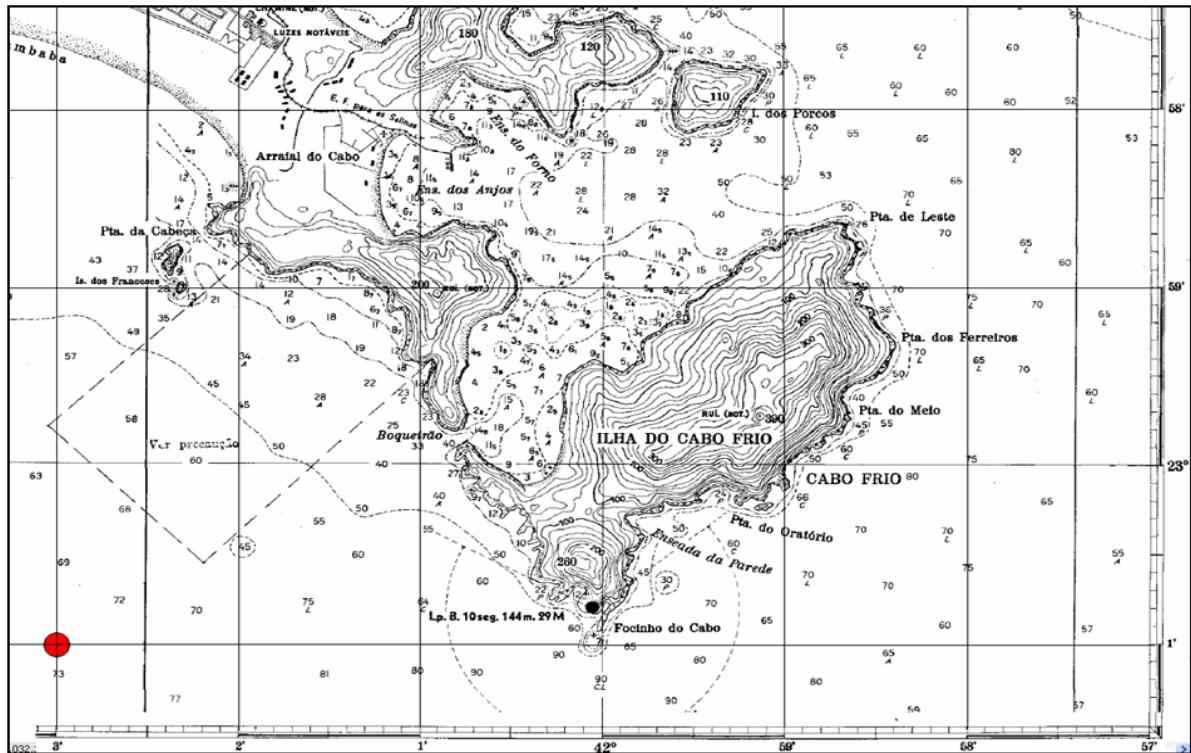


Figura 8.1 – Posição do ondógrafo waverider situado próximo ao litoral (círculo em vermelho)

Tanto a bóia de Arraial do Cabo quanto a da plataforma P18 eram do mesmo tipo (*waverider*), o que diminui uma incógnita do problema, qual seja atribuir diferenças nos parâmetros de onda à equipamentos distintos. Na Figura 8.3 aparece a foto do *waverider* utilizado em Arraial do Cabo pela Marinha do Brasil.

Tabela 8.1 – Localização das bóias de Arraial do Cabo e de Marlim

Localização	UTM Norte	UTM Leste	MC (*)	Latitude	Longitude	Profundidade
Arraial do Cabo	7.451.581	802.378	45º W	23º 01'	42º 03'	90 metros
Marlim	7.518.833	393.661	39º W	22º 26'	40º 02'	900 metros

(*) MC é o Meridiano Central do fuso de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator)

É muito difícil manter uma campanha de coleta de dados no mar por um período longo e sem falhas. Problemas como condições extremas que podem danificar o fundeio das bóias, falhas no equipamento, vandalismo e barcos pesqueiros que se “amarram” às bóias são comuns, e atrapalham muito a aquisição dos dados de onda.

Tanto na Bacia de Campos como em Arraial do Cabo alguns problemas ocorreram, fazendo com que o período de dados simultâneos não fosse grande, conforme dito antes. Mesmo assim, entre fevereiro e abril de 1999 foi possível medir 1469 horas de dados simultâneos entre as 2 localidades, valor este que se não o ideal, nos permitiu testar diferentes métodos de estimativa das ondas *offshore* e comparar o desempenho dos mesmos.

Para completar nossa comparação, utilizamos um pequeno período (menos de 2 meses) onde havia dados simultâneos entre a bóia de Marlim e um radar de medição de ondas instalado na plataforma P25 (Figura 8.4), que se encontrava numa profundidade parecida com a da bóia de Marlim. Apesar de não ser simultâneo à coleta de Arraial, pudemos verificar o desempenho do radar da mesma forma como fizemos com as estimativas de onda *offshore* a partir de medições costeiras.

A comparação das diversas estimativas de onda foi feita para cada um dos parâmetros: Hs, Tp e Dir pelo cálculo do coeficiente de correlação das séries temporais e pelo erro médio quadrático, conforme aparece nos resultados. As características das bóias e do radar utilizados encontram-se no Apêndice A.

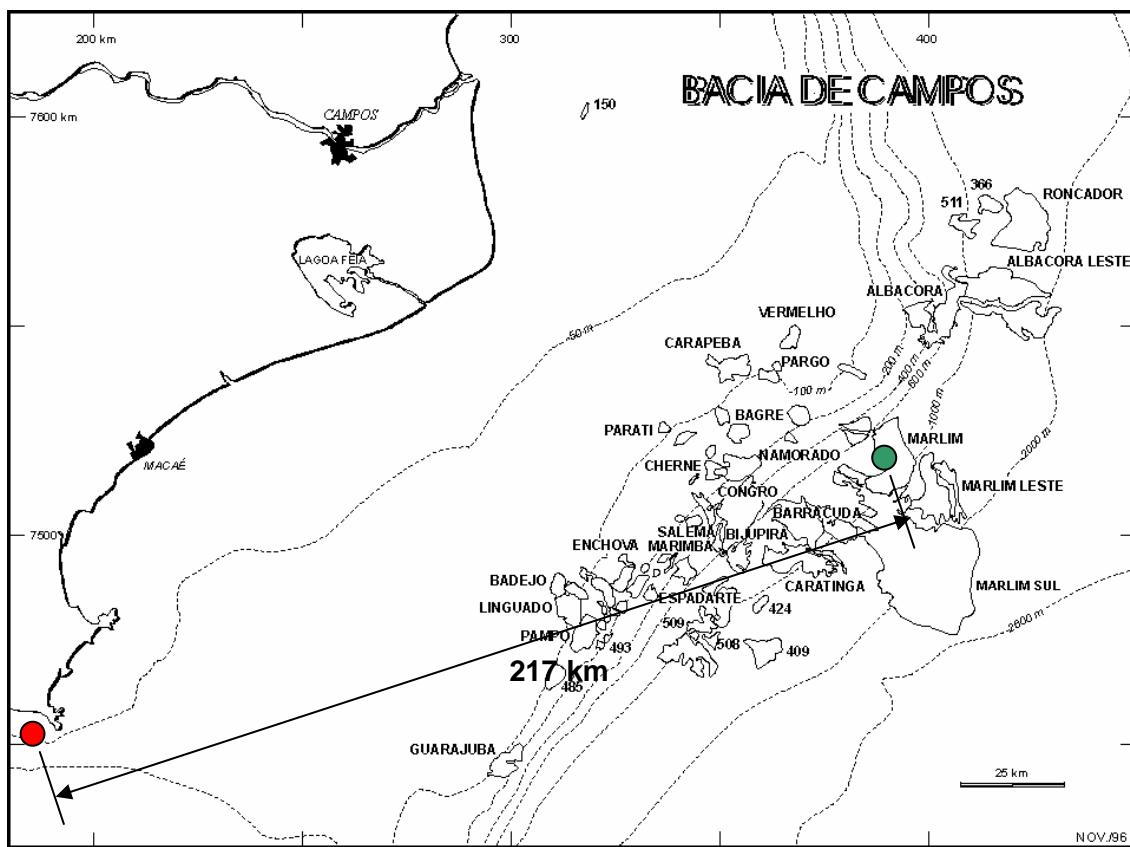


Figura 8.2 – Localização das bóias de medição de ondas em Arraial do Cabo (vermelho) e em Marlim (verde)



Figura 8.3 – Ondógrafo *waverider*

Bóia oceanográfica de propriedade da Marinha instalada em Arraial do Cabo, litoral do Rio de Janeiro. Ela é fabricada pela Datawell (modelo MKI) e é capaz de medir não só as alturas como também as direções e períodos das ondas presentes no mar

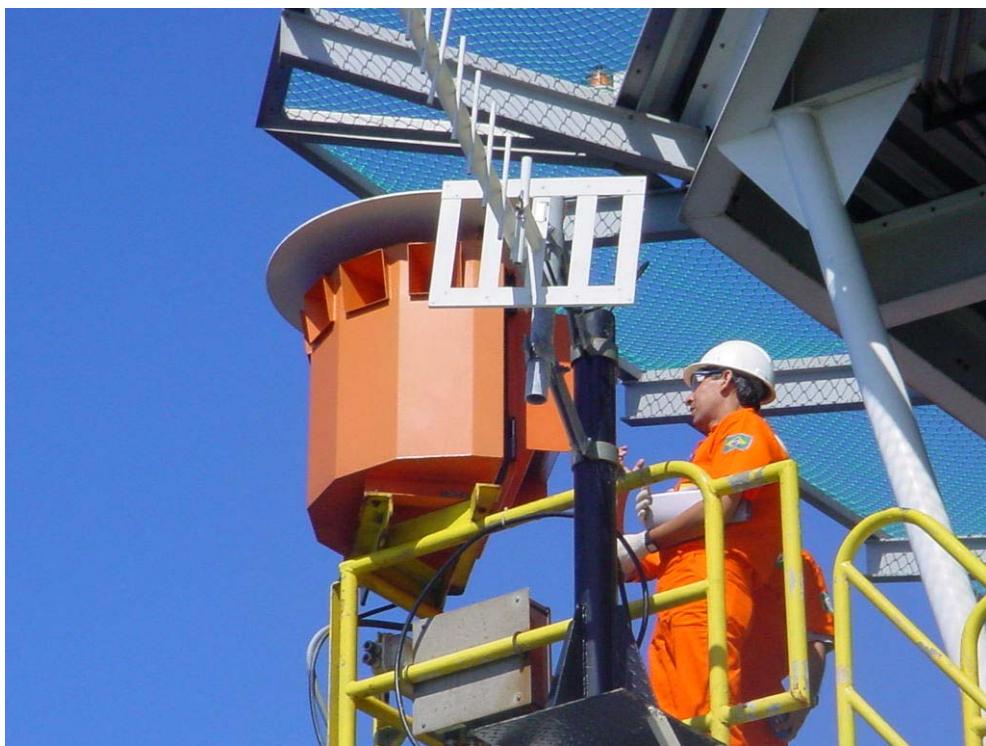


Figura 8.4 – Radar de medição de ondas da marca MIROS

CARACTERÍSTICA DAS MEDIÇÕES

As medições tanto das bóias oceanográficas quanto do radar de onda foram feitas a cada hora. No caso das bóias foram medidas 3 séries temporais de deslocamentos, um na vertical e outros 2 no plano horizontal, sendo estas séries processadas para obtenção dos parâmetros espectrais. Já no caso do radar não existe medição de séries temporais, sendo os dados já apresentados diretamente na forma de espectro de energia por freqüência.

As medições da bóia tinham como principais características:

- aquisição das 3 séries temporais à uma taxa de 1 Hz;
- duração da medição de cerca de 17 minutos (1024 segundos, 1 valor a cada segundo);
- uma medição a cada hora;

CARACTERÍSTICAS DO MODELO DE ONDAS

Os resultados de onda a partir de modelo numérico foram obtidos com o uso do modelo WAVEWATCH III, rodado para o Atlântico Sul desde 40 graus sul até 5 graus norte, o que abrangeu toda a costa brasileira. Este trabalho foi conduzido por ALVES *et al.*(2005), especificamente para a costa brasileira, tendo sido batizado de projeto COPAS (Reconstituição dos Campos de Ondas Pretéritos no oceano Atlântico Sul).

Utilizou-se um sistema de modelos aninhados composto de uma grade global, com resolução de 1 x 1,25 grau, e uma grade aninhada regional cobrindo o sudoeste do oceano Atlântico Sul, com resolução de 0,25 x 0,25 grau. O sistema de modelos aninhados foi alimentado com forçantes atmosféricas (ventos à superfície, gradientes de temperatura ar-mar e cobertura de gelo) obtidas de análises do modelo atmosférico global do National Centers for Environmental Prediction (NCEP/NOAA), dos EUA.

O modelo WAVEWATCH III permite gerar saídas pontuais contendo o espectro bi-dimensional completo em pontos pré-selecionados das grades numéricas, o que foi utilizado na Bacia de Campos para comparação com os dados medidos da bóia.

O modelo WAVEWATCH III (TOLMAN, 2002) é um modelo de previsão de ondas de terceira geração desenvolvido pelo NCEP/NOAA. Como outros modelos desta categoria, o modelo WAVEWATCH III simula a evolução do espectro direcional de ondas oceânicas geradas pelo vento através da solução da equação de balanço para densidade de ação espectral:

$$\frac{DN}{Dt} = \frac{S}{\sigma} \quad (8.1)$$

onde N é a densidade de ação espectral, σ é a freqüência angular e S representa termos fonte de transferência de energia ventos-onda (S_{in}), dissipação de energia por arrebentação tipo *whitecapping* (S_{ds}) e interações não-lineares (S_{nl}).

As equações governantes do modelo WAVEWATCH III incluem refração e interações onda-corrente. Parametrizações dos termos-fonte incluem crescimento e decaimento de componentes espetrais devido à ação do vento, dissipação devida ao *whitecapping*, dissipação por atrito com o fundo e interações não lineares ressonantes. Assume-se que a propagação de componentes espetrais segue a teoria linear.

IDENTIFICAÇÃO DOS PARES DE DADOS EM ÁGUAS PROFUNDAS E RASAS

Mesmo com o programa SEGUE4MARES, foi grande o trabalho de identificar os pares de ondas em águas rasas e profundas. Problemas como falta de registro de alguns estados de mar e dificuldade na estimativa da defasagem temporal entre as localizações em águas rasas e profundas, tornaram esta atividade mais complexa, justamente a mais importante para o sucesso do trabalho, pois se não dispomos de um conjunto confiável de dados correlacionados, por melhor que seja a técnica de análise os resultados não serão bons.

Na identificação dos pares seguimos os seguintes passos:

- programa SEGUE4MARES para seguir as sequências temporais de ondas em águas profundas;
- individualização das sequências temporais de mares em águas profundas;
- preenchimento de lacunas nas sequências identificadas;
- reconhecimento, em águas rasas, das mesmas sequências identificadas em águas profundas;
- correção temporal dos dados para cada uma das sequências identificadas;
- preenchimento de lacunas nos dados de águas rasas.

Após os 3 primeiros passos, foram encontradas 27 sequências de mar em águas profundas, cujas características principais encontram-se na Tabela 8.2. Definimos como sequência o conjunto de dados horários de onda que apresentam alta correlação entre si e que estão associados à um forçante ambiental comum.

As 27 sequências identificadas abrangem diferentes situações de ondas na Bacia de Campos, desde mares próximos de norte (sequências 12 e 17) até ondulações distantes de sul (sequências 14 e 21), o que dá ao conjunto de dados usado um caráter de boa representatividade do clima de ondas da região.

Tabela 8.2 – Características das sequências de mares identificadas em águas profundas

sequência	data inicio	data fim	dirmed	tpmed	hsmed	horas
1	13/02/1999 10:00	16/02/1999 12:00	164	12,2	1,3	74
3	14/02/1999 06:00	16/02/1999 18:00	27	6,0	1,2	60
4	16/02/1999 17:00	23/02/1999 00:00	56	5,8	1,1	151
4a	17/02/1999 08:00	19/02/1999 10:00	154	10,8	0,9	50
4b	19/02/1999 18:00	21/02/1999 20:00	98	8,7	0,7	50
4c	21/02/1999 21:00	25/02/1999 19:00	176	11,4	0,6	94
5	23/02/1999 01:00	25/02/1999 19:00	33	5,3	1,2	66
6	28/02/1999 17:00	02/03/1999 19:00	119	9,7	1,6	50
7	01/03/1999 03:00	02/03/1999 19:00	45	5,3	1,1	40
8	03/03/1999 21:00	05/03/1999 10:00	65	7,8	1,9	37
9	05/03/1999 06:00	06/03/1999 10:00	237	6,0	1,5	28
10	06/03/1999 07:00	11/03/1999 07:00	44	7,4	1,2	120
11	06/03/1999 20:00	10/03/1999 02:00	176	10,9	0,5	78
12	08/03/1999 21:00	10/03/1999 03:00	12	5,1	1,0	30
13	10/03/1999 04:00	13/03/1999 12:00	11,8	6,1	1,5	80
14	11/03/1999 14:00	13/03/1999 22:00	211	13,0	0,7	56
15	13/03/1999 10:00	17/03/1999 17:00	153	10,1	2,3	103
15a	14/03/1999 03:00	15/03/1999 04:00	187	11,9	2,3	25
15b	23/03/1999 15:00	27/03/1999 20:00	144	7,8	0,6	101
15c	17/03/1999 11:00	23/03/1999 14:00	117	9,5	1,8	147
15d	13/03/1999 14:00	14/03/1999 07:00	222	7,6	1,7	17
16	14/03/1999 06:00	20/03/1999 22:00	164	6,7	1,3	160
17	21/03/1999 13:00	27/03/1999 10:00	15	5,1	1,0	141
18	21/03/1999 23:00	27/03/1999 01:00	154	11,3	0,6	122
19	27/03/1999 03:00	29/03/1999 22:00	166	12,2	1,7	67
20a	02/04/1999 00:00	02/04/1999 18:00	180	6,4	0,8	18
21	29/03/1999 23:00	08/04/1999 08:00	177	11,1	1,6	225

Obs: dirmed = direção média do pico espectral para toda a série

tpmed = período de pico médio para toda a série

hsmed = altura significativa média para toda a série

Para identificar, em águas rasas, as mesmas sequencias temporais de mares de águas profundas, é necessário estimar os tempos de viagem da ondulação medida na Bacia de Campos até Arraial do Cabo, e que dependem da velocidade com que as mesmas trafegam. Quando tratamos de ondas individuais, a velocidade de propagação das mesmas é função do período da onda em águas profundas (equação 8.2), e da profundidade local no caso de águas rasas (equação 8.3).

No caso da Bacia de Campos, o mais comum é que várias ondulações diferentes encontrem-se presentes ao mesmo tempo, e se nos concentrarmos nas ondas mais energéticas, podemos utilizar os períodos de pico espetrais como nossos períodos de onda para avaliação das velocidades. Em torno do pico espectral existem ondulações

com períodos próximos, e a velocidade de propagação desta faixa de energia espectral é mais bem descrita pela velocidade de fase ao invés da velocidade da onda individual conforme descrito em HILL (1962). A velocidade de fase em águas profundas vale metade da velocidade da onda individual, sendo estimada pela equação 8.4 em águas profundas.

Na região em estudo as profundidades variam de 900 a 90 metros. Nas menores profundidades as ondas mais longas podem sofrer influência do fundo, pois pela teoria linear de ondas (POND e PICKARD, 1983), se a profundidade local for menor que metade do comprimento da onda não estaremos mais na região de águas profundas e o fundo do mar interage com a onda alterando sua velocidade. O caso mais crítico será então o maior comprimento de onda na região mais rasa.

Analizando a Tabela 8.2 verificamos que o maior período de onda encontrado é de 13 segundos. Considerando-se esta onda na região mais rasa, podemos avaliar o comprimento da onda pela teoria linear com a equação 8.5 no caso de águas profundas, e 8.6 no caso de águas intermediárias (WHALEN, 1984). A hipótese de água rasa não foi analisada porque isto só ocorre em 90 metros se a onda tiver comprimento maior do que 25 vezes a profundidade local, ou seja, 2250 m, o que significa uma onda de cerca de 38 segundos, já fora da região das ondas de gravidade.

$$V_0 = g \times T / 2 \times \pi \quad (8.2)$$

$$V_s = (g \times d)^{1/2} \quad (8.3)$$

$$v_g = g \times T / 4 \times \pi \quad (8.4)$$

$$L_0 = (g \times T^2 / 2 \pi) \quad (8.5)$$

$$L = (g \times T^2 / 2 \pi) \times \tanh(2 \pi d / L) \quad (8.6)$$

onde: g = gravidade (m/s²)

d = profundidade local (m)

T = período da onda (s)

L = comprimento de onda em água intermediária (m)

L_0 = comprimento de onda em água profunda (m)

V_0 = velocidade da onda individual em água profunda

v_g = velocidade de grupo das ondas em água profunda

v_s = velocidade da onda em água rasa

Para a onda de 13 segundos encontramos um comprimento de 264 metros em águas profundas e de 257,4 metros em águas intermediárias a 90 m de profundidade. Assumindo que o período não se altera quando a onda se propaga, a variação da velocidade da onda, neste caso mais crítico, será a mesma da variação de seu comprimento, lembrando que a velocidade é a relação entre o comprimento e o período da onda, temos que:

$$V / v_0 = L / L_0 = 257,4 / 264 = 0,975$$

Ou seja, no ponto mais raso do percurso, a 90 metros de profundidade, a velocidade de propagação da onda de 13 segundos vale 97,5 % da velocidade da onda em água profunda, o que nos permite assumir, para efeito de estimativa dos tempos de viagem, que a velocidade da onda é a velocidade em água profunda.

A Figura 8.5 mostra os pontos de medição em Arraial e Bacia de Campos com possíveis direções de onda trafegando entre ambos. Considerando que os dados da Bacia de Campos sejam nossa referência de tempo, ondas vindas das direções 1, 7 e 8 passarão antes em Arraial do Cabo do que na Bacia de Campos, logo teremos nessa condição que buscar em Arraial horários anteriores aos da Bacia de Campos na busca da melhor correlação entre as séries.

Já para as direções 3, 4 e 5 acontece o oposto, ou seja, temos de buscar horários posteriores aos da Bacia de Campos em Arraial do Cabo. Para as direções 2 e 6 não existe defasagem temporal, e os dados podem ser relacionados diretamente para os mesmos horários.

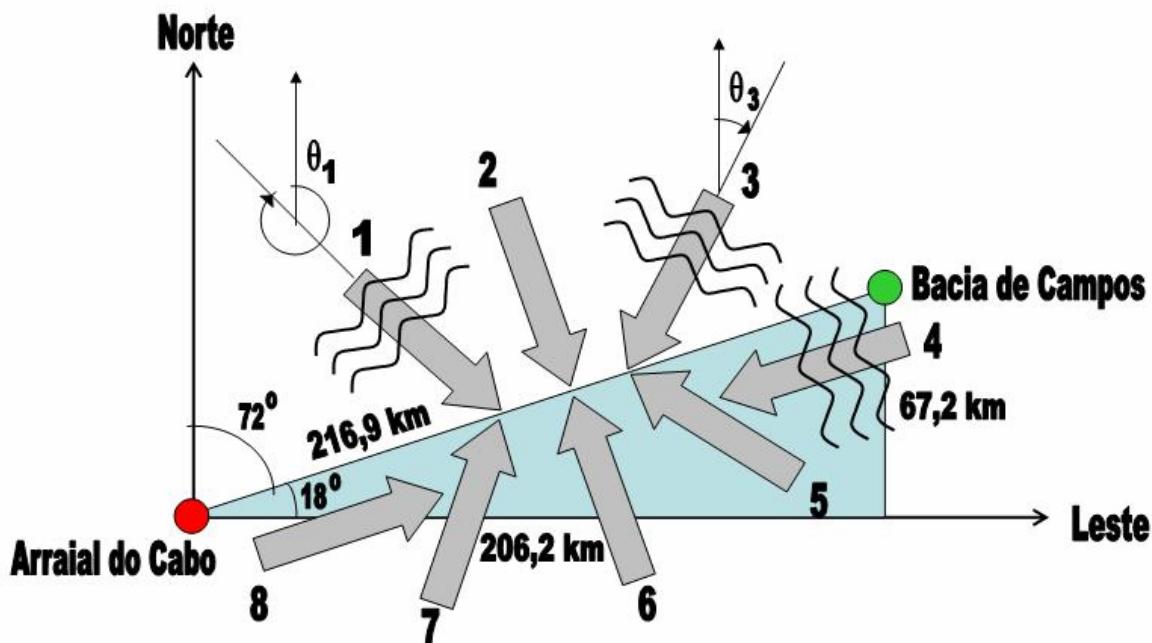


Figura 8.5 – Ilustração de possíveis direções de onda na região de estudo

Para estimativa dos tempos de viagem das ondas da Bacia de Campos para Arraial, temos que considerar a direção das frentes de onda sobre a linha que une a Bacia de Campos à Arraial do Cabo. Desta forma, as ondas vindas das direções 4 e 8 já estão neste alinhamento, enquanto que as das direções 2 e 6 apresentam frentes de onda que chegam simultaneamente às 2 localidades.

A convenção das direções de onda é referenciada ao Norte, e indicam a direção *de onde a onda vem*. Na Figura 8.5, a onda de número 3 tem um ângulo Θ_3 com o norte, e a projeção sobre o alinhamento desejado pode ser definido pelo produto escalar do vetor unitário da direção da onda e o vetor determinado pelos pontos Bacia de Campos e Arraial, conforme indicado na Figura 8.6. Se chamarmos esta projeção de “velocidade efetiva da onda” (v_{efet}), temos que:

$$V_{\text{efet}} = \begin{vmatrix} \sin(\theta_3 + 180) \\ \cos(\theta_3 + 180) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 206,2 \\ 67,2 \end{vmatrix}$$

$$V_{\text{efet}} = 206,2 \times \sin((\theta_3 + 180) + 67,2 \times \cos(\theta_3 + 180)) \quad (8.7)$$

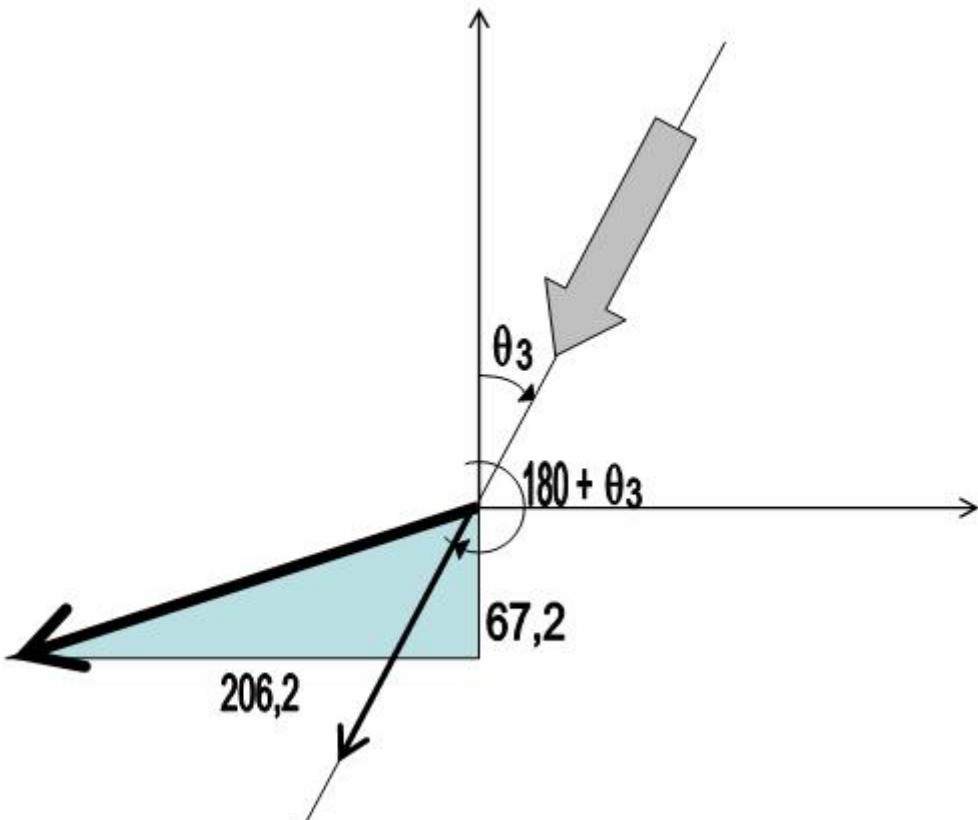


Figura 8.6 – Como é feita a projeção da componente da onda na direção do alinhamento Bacia de Campos para Arraial do Cabo.

A equação 8.2 expressa a velocidade da onda em água profunda. Substituindo g (gravidade) por 9,8 m/s e considerando o valor de π , a expressão 8.2 fica:

$$v \text{ (m/s)} = 1,56 \times T \quad (8.8)$$

Como a distância entre os pontos está em quilômetros e o tempo entre as medições de onda é 1 hora, vamos expressar a velocidade em km/h, e teremos:

$$v \text{ (km/h)} = 5,616 \times T \quad (T \text{ é o período da onda em segundos}) \quad (8.9)$$

Para a velocidade de grupo, também considerada em águas profundas, temos a expressão:

$$V_g \text{ (km/h)} = 2,808 \times T \quad (T \text{ é o período da onda em segundos}) \quad (8.10)$$

O tempo de percurso da onda será a distância de 216,9 km dividido pela velocidade

$$t = 216,9 / v \quad (\text{para velocidade de onda individual}) \quad (8.11)$$

$$t_g = 216,9 / v_g \quad (\text{para velocidade de grupo}) \quad (8.12)$$

As estimativas teóricas dos tempos de viagem dadas pelas expressões 8.11 e 8.12 serviram para um balizamento do intervalo de tempo provável de chegada das ondas. Para escolher este valor, calculamos a correlação estatística, dada pela expressão 8.13, dos parâmetros de onda Hs, Tp e Dir entre a Bacia de Campos e Arraial do Cabo. Esta correlação foi feita desde o mesmo horário de medição, sem nenhuma correção do tempo, até algumas horas antes ou depois da medição na Bacia de Campos, dependendo do tempo de viagem teórico.

Para cada uma das séries identificadas na Bacia de Campos selecionamos o tempo de defasagem que forneceu a melhor correlação estatística para Hs, Tp e Dir. Na Tabela 8.3 colocamos os resultados encontrados para o setor sul, um tempo negativo significa que a onda passou em Arraial do Cabo antes da Bacia de Campos. A tabela 8.4 é representativa do setor norte.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (8.13)$$

Onde:

x_i = valores individuais de hs, tp ou dir na Bacia de Campos

\bar{x} = valor médio de hs, tp ou dir na Bacia de Campos

y_i = valores individuais de hs, tp ou dir em Arraial do Cabo

\bar{y} = valor médio de hs, tp ou dir em Arraial do Cabo

n = número de pontos da sequência que está sendo analisada

Tabela 8.3 – Tempos que obtiveram a melhor correlação estatística entre as séries de onda na Bacia de Campos e Arraial do Cabo para o setor Sul.

Série	Tempo para a vel grupo (h)	Tempo para a vel de pico (h)	Tempo que obteve a melhor correlação (h)	Hs médio da série (m)	Tp médio da série (s)	Direção média da série ($^{\circ}$)
1	- 0,28	- 0,14	0,0	1,3	12,2	164
4a	0,96	0,48	0,7	0,9	10,8	154
4b	8,04	4,02	3,7	0,7	8,7	98
4c	-1,67	-0,84	-0,3	0,6	11,4	176
6	5,45	2,73	3,3	1,6	9,7	119
9	-12,42	-6,21	-7,3	1,5	6,0	237
11	-1,76	-0,88	-0,3	0,5	10,9	176
14	-4,52	-2,26	-2,3	0,7	13,0	211
15	1,15	0,58	1,3	2,3	10,1	153
15a	-2,72	-1,36	-1,0	2,3	11,9	187
15b	3,02	1,51	1,7	0,6	7,8	144
15c	5,98	2,99	2,7	1,8	9,5	117
16	-0,55	-0,28	-0,7	1,3	6,7	164
18	0,54	0,27	0,0	0,6	11,3	154
19	-2,63	-1,32	-3,0	1,7	12,2	166
20a	-4,12	-2,06	-0,7	0,8	6,4	180
21	-2,07	-1,04	-2,3	1,6	11,1	177

Tabela 8.4 – Tempos que obtiveram a melhor correlação estatística entre as séries de onda na Bacia de Campos e Arraial do Cabo para o setor Norte

Série	Tempo para a vel grupo (h)	Tempo para a vel de pico (h)	Tempo que obteve a melhor correlação (h)	Hs médio da série (m)	Tp médio da série (s)	Direção média da série ($^{\circ}$)
3	9,08	4,54	2,7	1,2	6,0	27
4	12,98	6,49	4,7	1,1	5,8	56
5	11,34	5,67	7,0	1,2	5,3	33
7	13,15	6,58	9,0	1,1	5,3	45
8	9,93	4,97	4,3	1,9	7,8	65
10	9,29	4,65	6,7	1,2	7,4	44

CLUSTERIZAÇÃO DOS DADOS (CLUSTERS 1 E 2)

Antes de estudar as correlações entre os valores de onda em Arraial do Cabo e na plataforma P18, procedemos à uma plotagem na forma de diagrama de dispersão de pontos, dos dados medidos de onda na P18 (Figura 8.7). Dos 3 parâmetros de onda analisados (H_s , T_p e Dir), 2 deles têm maior correlação com os forçantes ambientais: a direção e o período da onda.

A direção está diretamente ligada à posição dos centros de alta e baixa pressões e o período de pico (T_p) se relaciona com a distância e com a “pista” para geração da onda, também ligados à geometria dos centros de pressão.

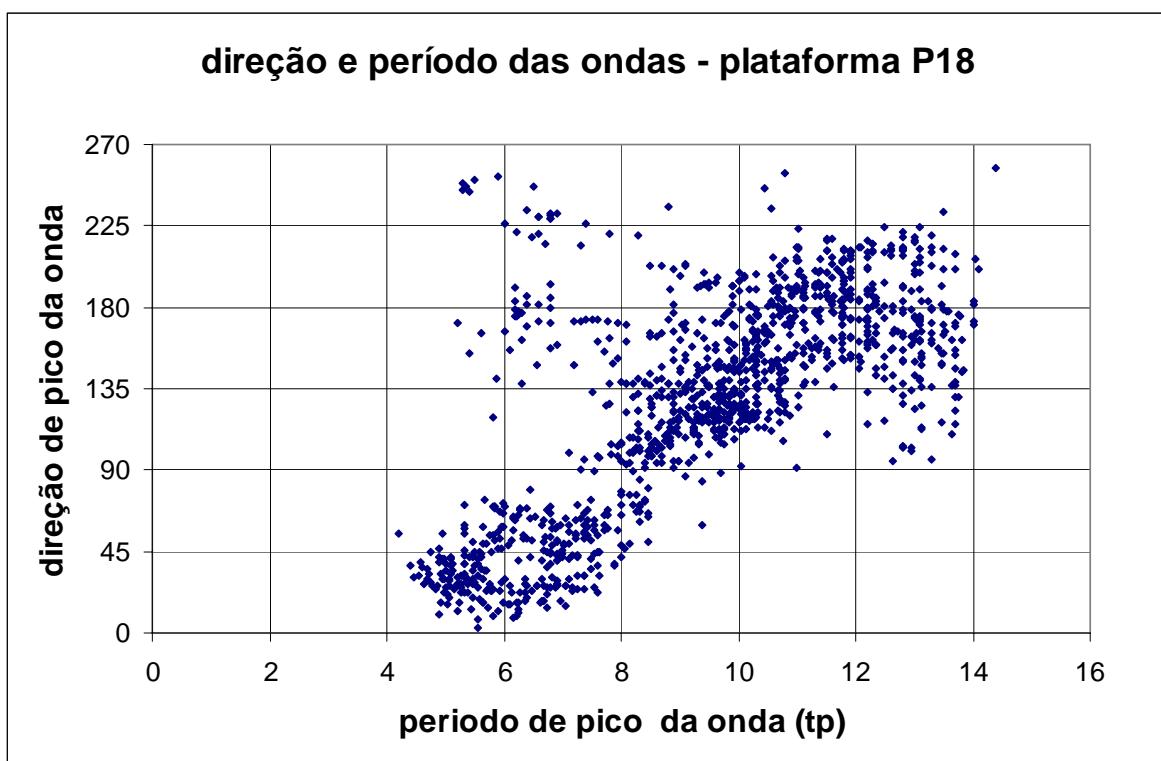


Figura 8.7 – Diagrama de dispersão de direção e período de pico das ondas na plataforma P18

A plataforma P18 foi escolhida para a clusterização porque a mesma não sofre nenhuma alteração nas características das ondulações, por se tratar de um ponto em água profunda. No caso de Arraial, a posição da bóia próximo ao Pontal do Atalaia (Figuras 8.1 e 8.2) faz com que as ondas sofram efeitos de refração e difração, alterando principalmente suas direções. Isto pode ser constatado na Figura 8.8, onde plotamos o diagrama de dispersão da mesma forma que na Figura 8.7.

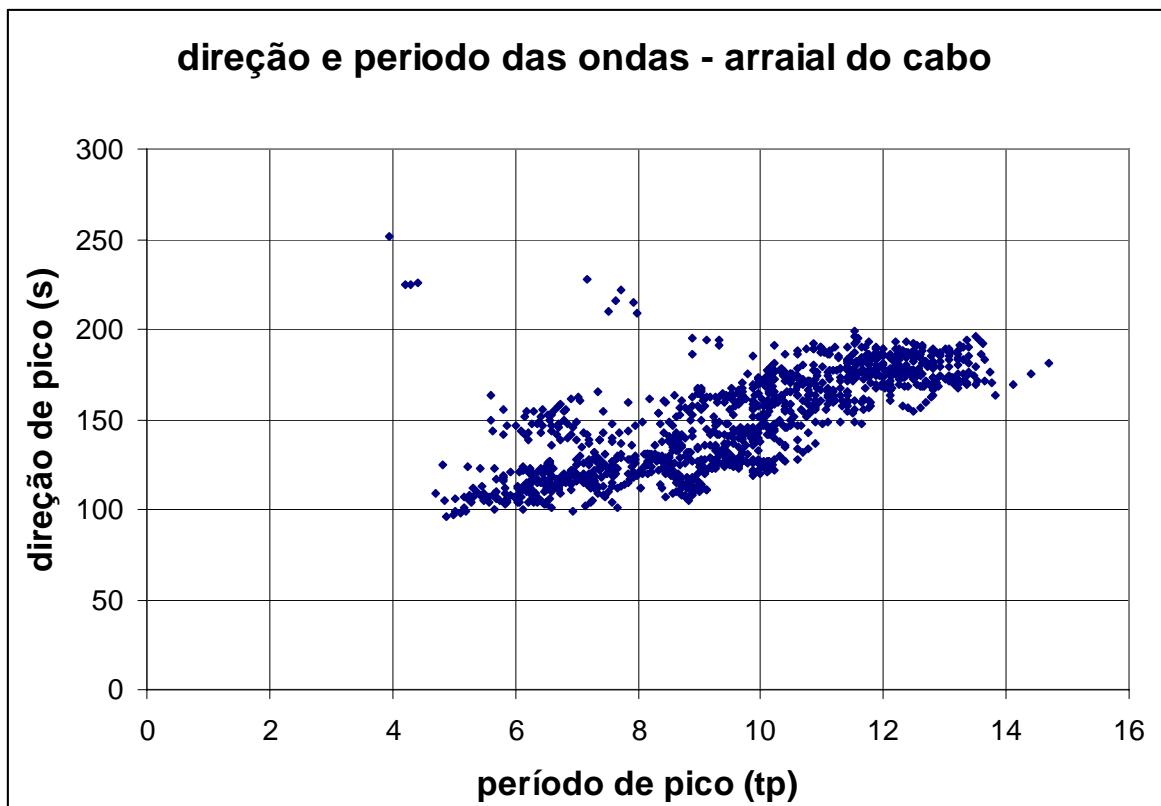


Figura 8.8 – Diagrama de dispersão de direção e período de pico das ondas em Arraial do Cabo.

Se compararmos as figuras 8.8 e 8.9 fica clara a vantagem de usar os dados da P18 na clusterização. Em termos de período não há quase diferença entre as 2 localizações, como era de se esperar, mas quando olhamos as direções a diferença é muito grande. Na P18 já aparece uma região um pouco destacada, para direções abaixo de 90 graus e períodos menores que 8,5 segundos.

Quando consideramos o critério proposto no Capítulo 5 de associar os centros de pressão aos valores de vento e onda, fica clara a dependência das ondas de 0 a 90 graus com o anticiclone do Atlântico Sul, que passamos a chamar de “cluster 1”, estando os pontos após esta associação assinalados em vermelho na Figura 8.9.

O “cluster 2” está associado a ondulações vindas do quadrante sul, geradas por ciclones ou anticiclones abaixo da Bacia de Campos, geralmente bem ao sul, CAMPOS (2009). Colocamos todos os dados de sul, apesar de poderem ter uma gênese um pouco diferente (ciclone ou anticiclone), no mesmo cluster para ver se as

correlações ficam boas sem precisar subdividir mais. Como veremos adiante os resultados foram satisfatórios, razão pela qual não fizemos nenhuma sub-divisão.

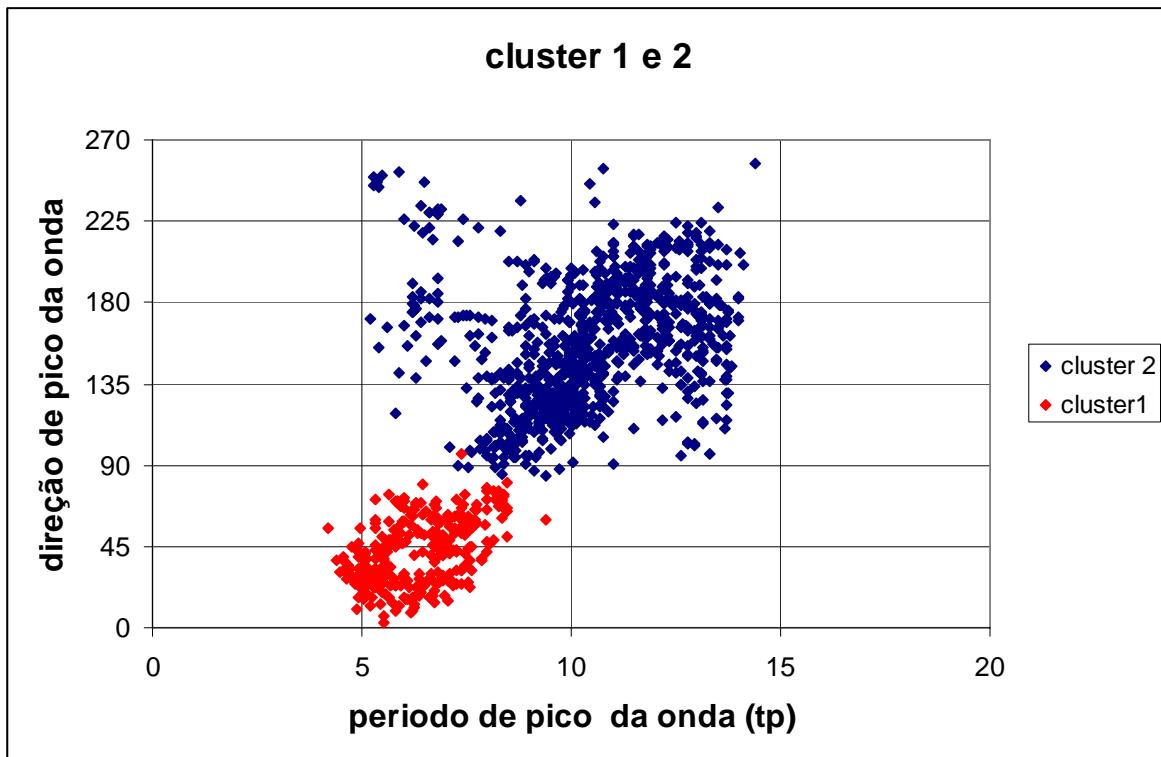


Figura 8.9 – Clusterização dos dados de onda da plataforma P18. Os pontos em vermelho estão associados à alta semi-estacionária do Atlântico Sul.

CARACTERÍSTICAS DA REDE NEURAL UTILIZADA

O objetivo da rede neural é reproduzir como saída da mesma os valores de onda em águas profundas tendo como entrada da rede os dados medidos em águas rasas (Arraial do Cabo). O programa de rede neural utilizado foi desenvolvido na linguagem MatLab, sem uso das bibliotecas prontas de redes neurais, não só para que o programa fique mais portátil, podendo ser rodado nas versões mais simples do MatLab, como também para que se tenha maior controle do que está sendo gerado no código do programa.

A rede escolhida é do tipo *feedforward*, utilizando arquitetura da rede com múltiplas camadas e aprendizado por minimização do erro médio quadrático das variáveis de saída usando o método *backpropagation*. Os pesos iniciais das sinapses são aleatórios variando entre 0 e 0,02, e à medida que o programa evolui as mesmas vão sendo atualizadas. Outra variável interna do programa é a taxa de aprendizagem, que após alguns testes foi fixada em 0,02.

Normalmente os programas terminam após atingido um valor de erro das variáveis de saída menor que um valor pré-fixado. Como não tínhamos idéia do valor deste erro para o caso das ondas, optamos por estabelecer um número de épocas de treinamento no programa (por inspeção após várias rodadas do programa verificamos que a partir de 5000 épocas não há mais ganho significativo no resultado), e para cada variável de saída mostrar o erro médio encontrado.

Não foi necessário se proceder a verificação da existência de variáveis redundantes na entrada porque, no nosso caso, o número de variáveis de entrada já é muito pequeno (são só 3 ou 4), não sendo necessária uma análise do tipo componentes principais (PCA) ou o procedimento de “poda” de variáveis redundantes. As variáveis de entrada já são as mínimas para se resolver o problema.

A utilização de redes neurais para estimativa das características de ondas foi utilizada anteriormente por RAO e MANDAL (2005), que obteve bons resultados na reconstituição de alturas e períodos de grandes ondas geradas por tempestades severas, na costa leste da Índia. A rede usada era composta por 3 camadas, com 2 variáveis de saída e 3 de entrada, sem maiores detalhes sobre a arquitetura da rede e o tipo dos neurônios.

O programa para ser rodado necessita de um arquivo de dados simultâneo dos pares entrada-saída, o que é informado pelo usuário no início do mesmo, estando ele preparado para ler diretamente planilhas do EXCEL. Outras informações passadas pelo usuário são:

- quantas linhas do arquivo serão utilizadas para treinamento e teste
- número de épocas que o usuário quer utilizar para treinamento e verificação do erro médio quadrático de treinamento e teste
- número de camadas e o tipo de neurônio, dentre o linear ou tangente hiperbólica
- número de neurônios em cada camada.

O programa fornece como saídas os valores das variáveis Hs, Tp e Dir, os gráficos das 3 variáveis de saída contra os dados reais, para que haja uma avaliação visual dos resultados, os erros de aprendizado no treinamento e no teste para cada variável de saída e erro médio de toda a saída para cada época do treinamento.

As principais características da rede são:

- 3 camadas (entrada, intermediária e saída), o usuário pode especificar mais camadas se quiser
- 3 ou 4 variáveis de entrada: Hs, Tp e direção de onda em Arraial e vento da P18 projetado na direção Arraial do Cabo / plataforma P18
- neurônios lineares ou tangente hiperbólica na camada intermediária
- neurônios lineares na saída
- número de neurônios variável na(s) camada(s) intermediárias
- código escrito em MatLab sem uso das funções internas de RN do MatLab
- 3 variáveis de saída: Hs, Tp e direção da onda na plataforma P18
- as variáveis de entrada e de saída são normalizadas dentro do programa
- rede do tipo *feedforward* (redes não realimentadas)
- aprendizado pela técnica de retropropagação do erro (*backpropagation*)

O objetivo da rede neural é encontrar relações (em geral não-lineares) entre os dados de entrada e de saída para que seja possível estimar os valores de saída uma vez conhecidas as entradas. No caso da rede aqui desenvolvida, o objetivo é alcançado através da minimização do erro entre o valor real (saída conhecida) e o valor de saída estimado pela rede. Ela vai alterando os pesos das conexões da rede de forma controlada, até que se atinja um valor aceitável para o problema em questão.

AJUSTE DE REDE NEURAL PARA OS DADOS DO CLUSTER 2 (SUL)

Iniciamos com este cluster porque, apesar de ser uma região mais abrangente, o vento em princípio não tem muita influência, por se tratarem de dados muito distantes de onda (em média cerca de 3.000 km). Isto se confirmou nos testes com a rede, não sendo necessário colocar o vento como variável de entrada.

Foi utilizado, para treinamento da rede, o arquivo de dados simultâneo de sul (cluster 2), obedecendo-se a todo o procedimento de identificação dos pares de dados em Arraial e na bóia conforme descrito neste capítulo. Acreditamos que o sucesso dos resultados da rede foram conseguidos graças à este esforço inicial, pois experiência anterior com os mesmos dados, mas com um menor esforço na identificação dos pares não nos levou a bons resultados (NUNES, 2005).

Inicialmente apresentamos os dados para a rede na sequência temporal, ou seja, cronologicamente. Apesar de termos mudado a rede tanto na sua topologia como no número de valores utilizados para treinamento e testes, os resultados não ficaram muito bons, embora já bem melhores que os encontrados por NUNES (2005).

Verificando melhor os dados, notamos que a rede estava sendo treinada com condições que não aconteciam nos testes, pois os dados de treinamento não incluíam situações que ocorriam no final do arquivo, reservado para os testes. Para solucionar este problema rearrumamos aleatoriamente as linhas do arquivo, misturando valores do final do mesmo também no conjunto de treinamento. Após este procedimento os resultados ficaram muito melhores, e partimos então para a otimização da rede usando o mesmo arquivo de entrada, chamado de “cluster2aleatorio.xls”. O desempenho da rede para diferentes arquiteturas e épocas encontra-se na tabela 8.5. Em amarelo aparece a opção que forneceu o menor erro.

O arquivo de dados (cluster2aleatório) continha 933 valores, dos quais 70 % (653 valores) foram utilizados para treinamento e o restante (280 valores) para testes do desempenho da rede. As Figuras 8.10 a 8.13 mostram a evolução dos erros encontrados pela rede para Hs, Tp, Dir e o erro médio destas variáveis em função do número de épocas (chamamos de épocas o número de vezes que a rede processa todo o conjunto de dados). Nas figuras 8.14 a 8.16 aparece a comparação entre o dado real e a saída da rede para Hs, Tp e Dir.

Outras tentativas de melhores resultados foram feitas através de mudança no arquivo de entrada pela transformação de Box-Cox (logaritmização), mas não houve melhoria de resultados. Ao final deste capítulo colocamos uma comparação do desempenho da melhor rede encontrada com outros métodos de estimativa das ondas.

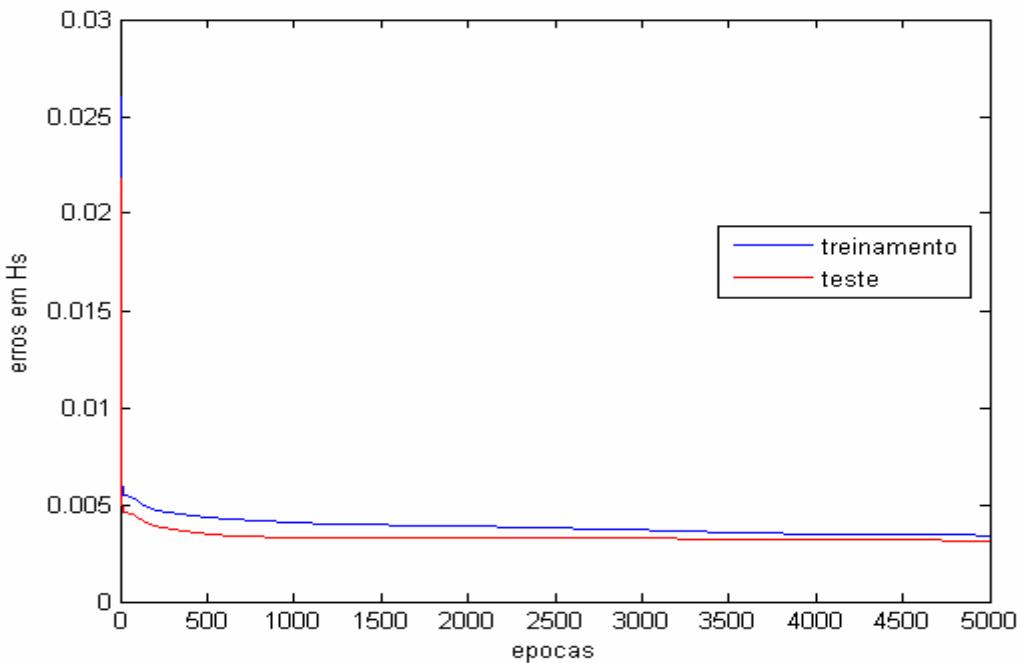


Figura 8.10 – Evolução do erro de H_s pelo número de épocas, cluster 2.

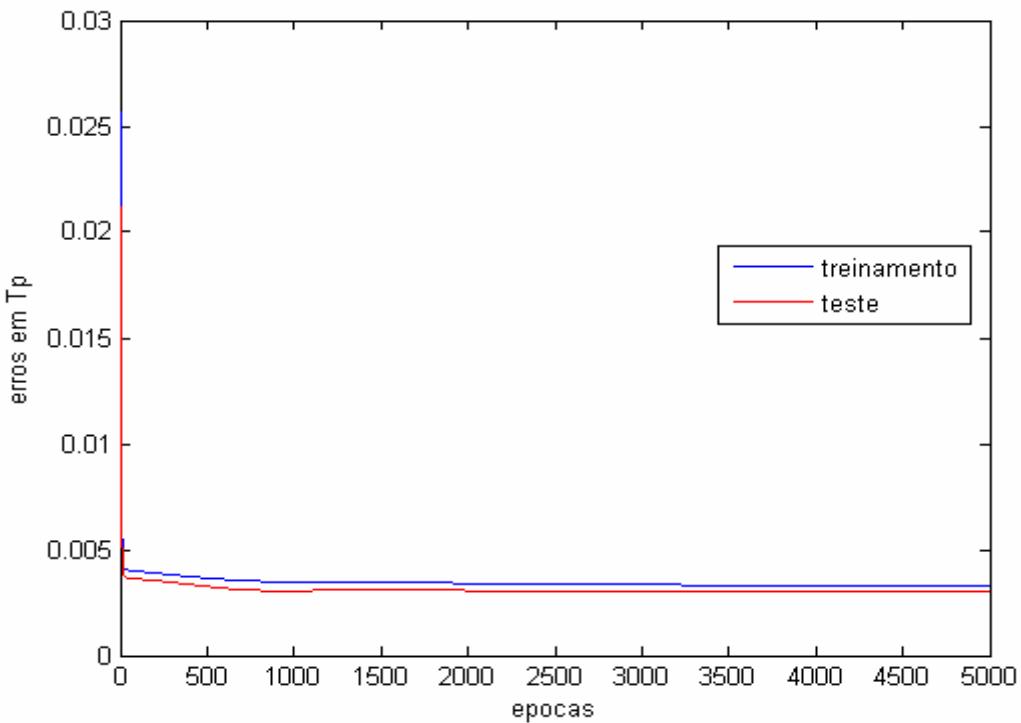


Figura 8.11 – Evolução do erro de T_p pelo número de épocas, cluster 2.

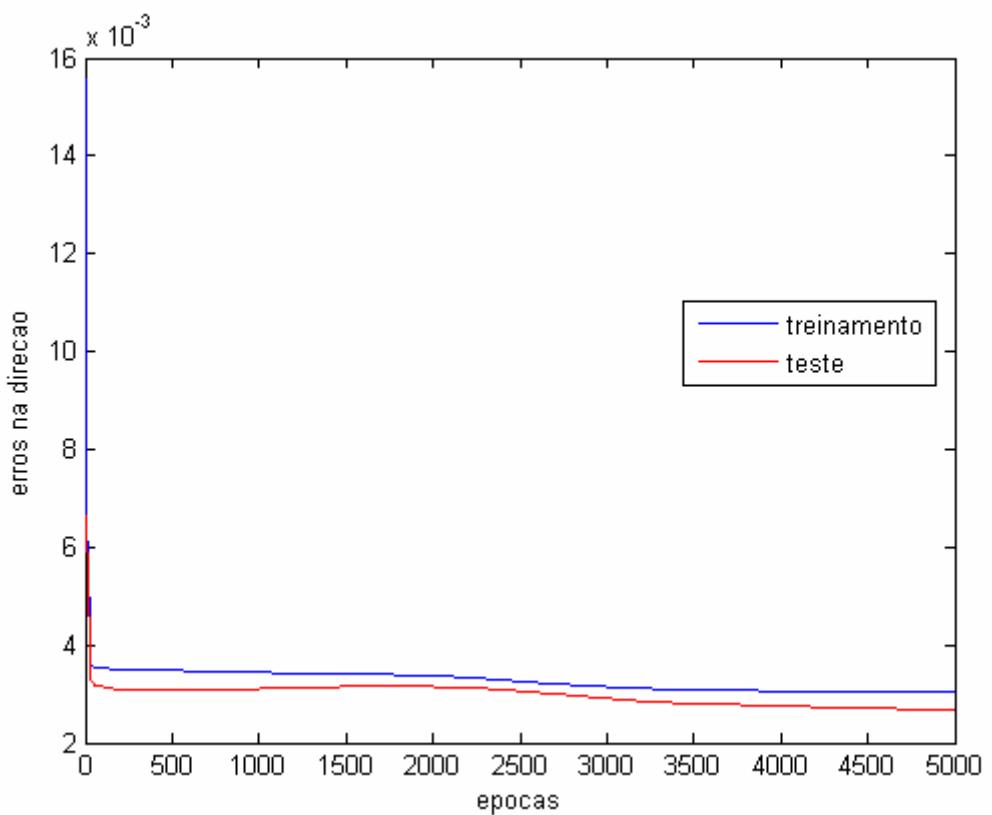


Figura 8.12 – Evolução do erro de Dir pelo número de épocas, cluster 2.

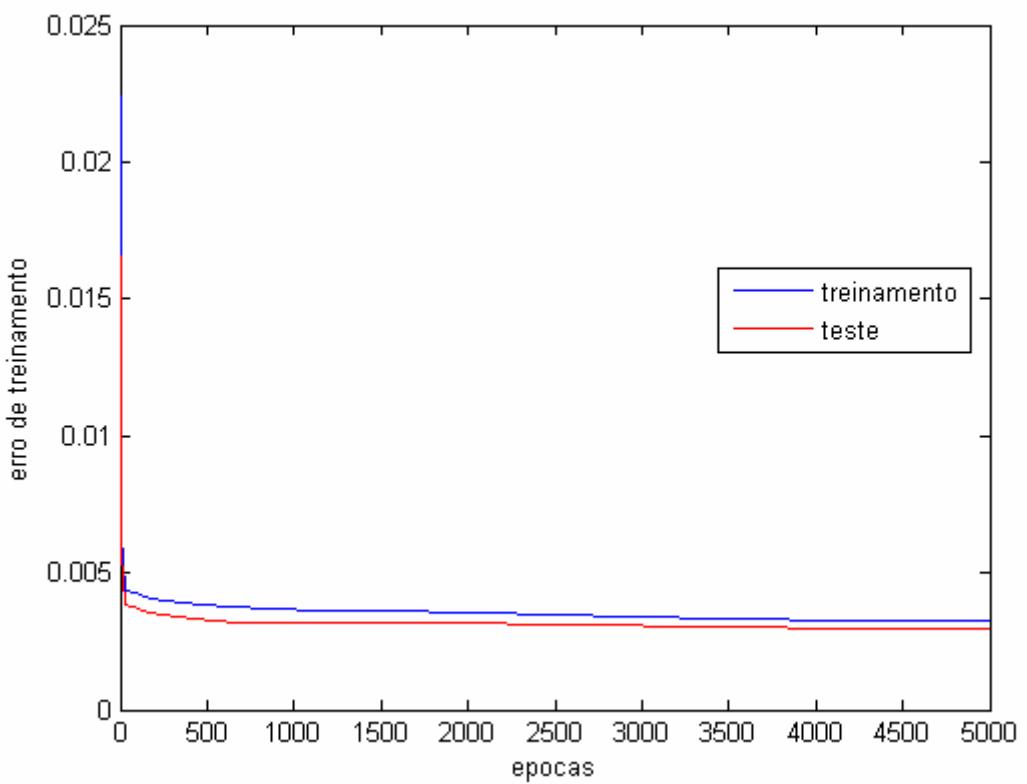


Figura 8.13 – Evolução do erro médio de saída pelo número de épocas, cluster 2.

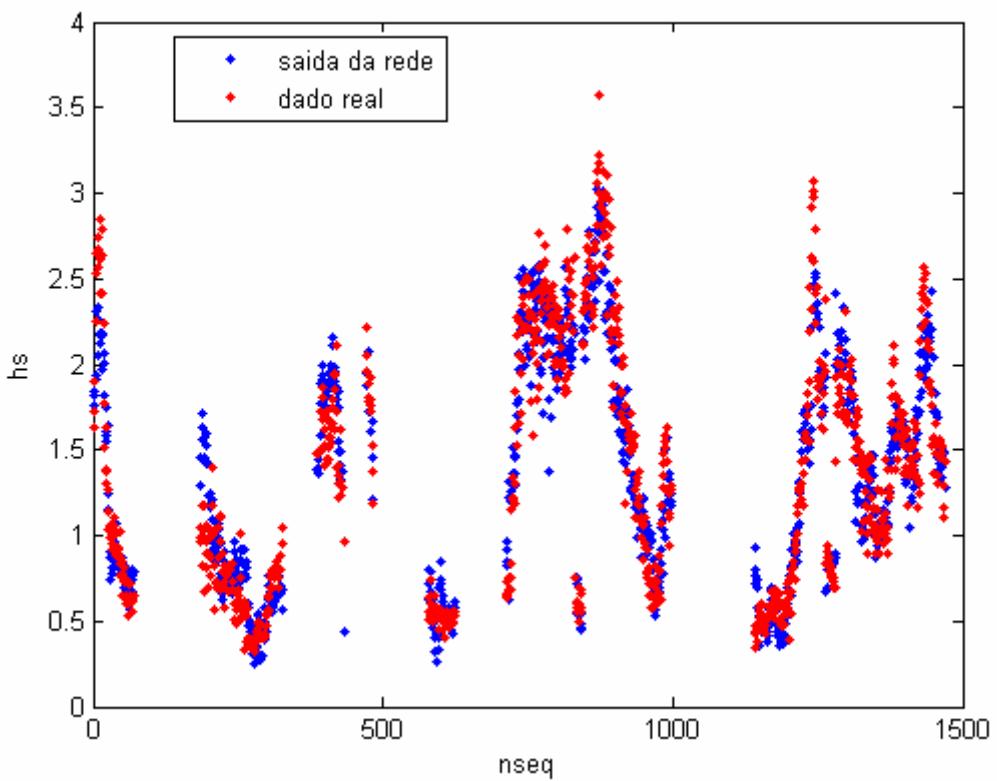


Figura 8.14 – comparação entre o valor real de H_s (vermelho) e a saída da rede (azul).

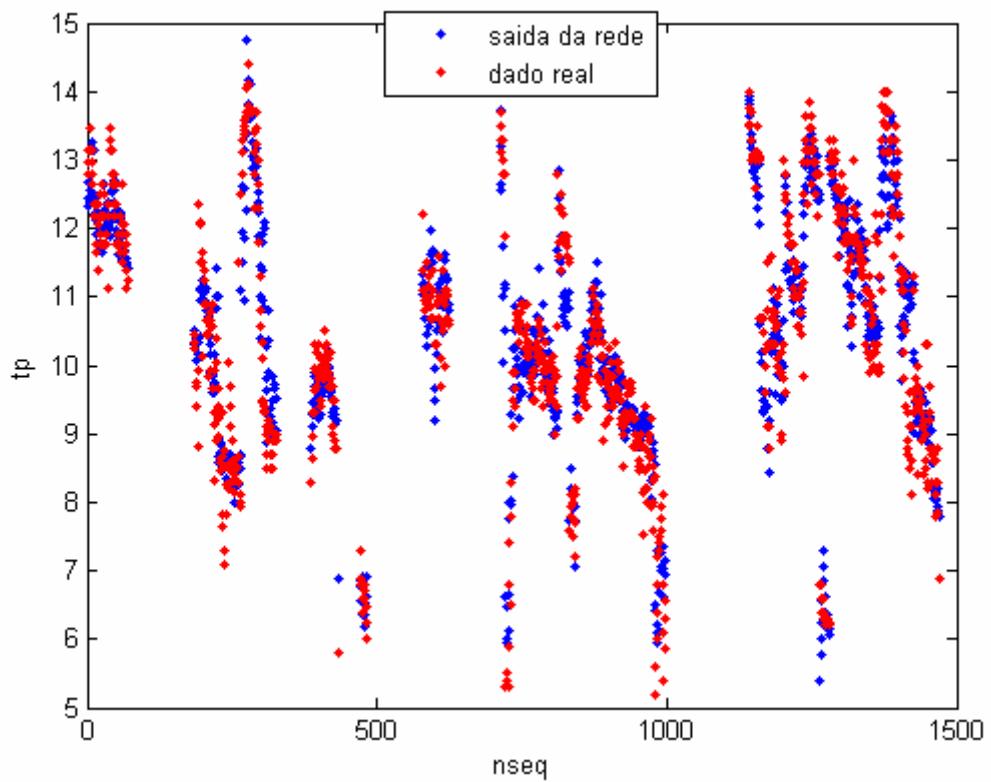


Figura 8.15 – comparação entre o valor real de T_p (vermelho) e a saída da rede (azul).

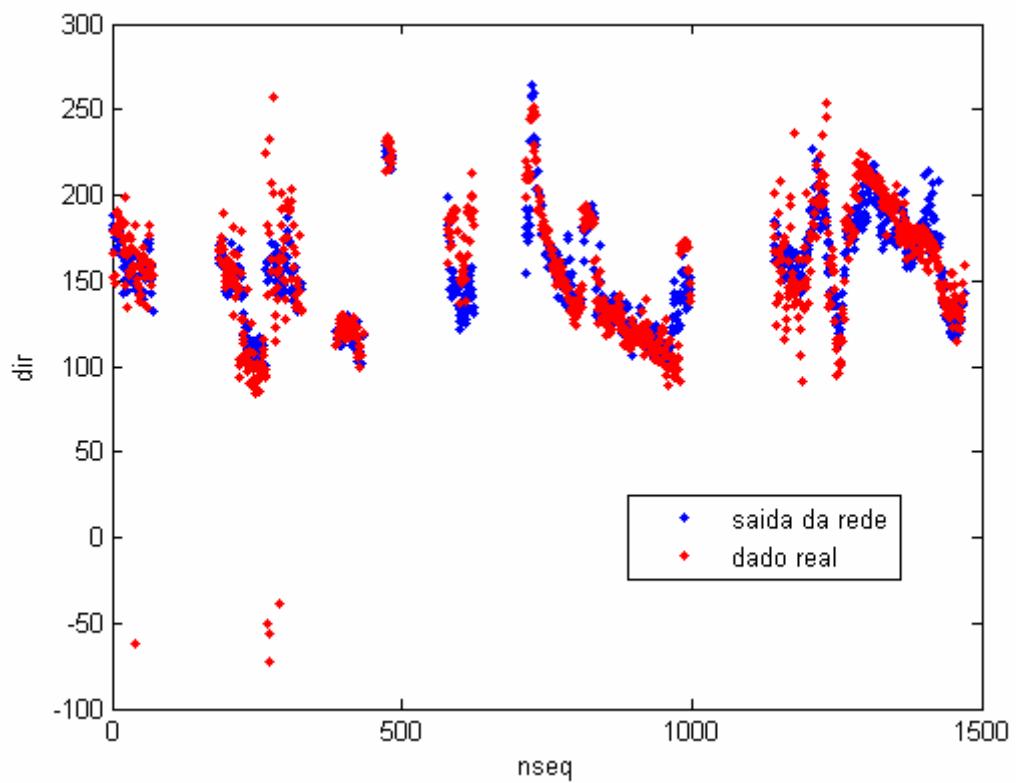


Figura 8.16 – comparação entre o valor real de Dir (vermelho) e a saída da rede (azul).

TABELA 8.5 – erros médios quadráticos para diversas topologias de rede no cluster 2

ARQUIVO ENTRADA (*.XLS)	MÉTODO AJUSTE	ERRO MÉDIO QUADRÁTICO ($\times 10^{-3}$)				Características da rede			observações
		Hs(m)	Tp(s)	Dir($^{\circ}$)	Total	epochas	Neur.	Tipo	
Cluster2sequenc	RN3c4nt	3,27	7,65	4,27	5,06	100	4	tgh	
Cluster2aleatorio	RN3c4nt	4,05	3,73	3,18	3,66	100	4	tgh	
Difdirvoaleatorio	RN3c4nt	5,12	3,95	4,84	4,64	100	4	tgh	
Cluster2sequenc	RN3c4nl	3,36	7,40	4,50	5,08	100	4	linear	
Cluster2aleatorio	RN3c4nl	4,69	3,61	3,20	3,83	100	4	linear	
Cluster2aleatorio	RN3c5nt	4,20	3,59	3,08	3,62	100	5	tgh	
Cluster2aleatorio	RN3c4nt	3,56	3,23	3,14	3,31	5000	4	tgh	
Cluster2aleatorio	RN3c7nt	3,41	3,24	3,32	3,32	5000	7	tgh	
Cluster2aleatorio	RN3c9nt	3,53	3,56	3,09	3,39	500	9	tgh	
Cluster2aleatorio	RN3c9nt	3,01	3,04	2,38	2,81	5000	9	tgh	
Cluster2aleatorio	RN3c9nt	3,12	3,26	2,29	2,89	50000	9	tgh	
Cluster2aleatorio	RN3c11nt	3,51	3,25	2,88	3,21	5000	11	tgh	

Observações:

- 1) fizemos alguns testes com arquivo de entrada com o vento projetado na direção Arraial para Bacia de Campos. Os resultados ficaram na mesma ordem de grandeza do dado normal (arquivo cluster2aleatório), por este motivo não incluímos o vento no cluster 2. Este resultado era esperado, pois o swell é uma ondulação longínqua, na qual o vento local deve influenciar muito pouco.
- 2) RN3c7nt = **R**ede **N**eural de **3** camadas com **7** neurônios na camada intermediária e com neurônio com função **t**angente **h**iperbólica. No caso de neurônio linear usamos a letra “l”.

AJUSTE DE REDE NEURAL PARA OS DADOS DO CLUSTER 1 (NORTE)

O procedimento foi praticamente o mesmo que o usado para o cluster 2, utilizamos também um arquivo com os dados de entrada-saída da rede com as informações de arraial e p18 para as condições descritas como sendo do cluster 1 (mar local ocasionado pelo centro de alta pressão do Atlântico Sul).

A grande diferença foi a inclusão do vento como parâmetro de entrada, e neste caso algumas experiências foram feitas. Iniciamos com a inclusão de vários valores de vento, desde o instante que se queria fazer a estimativa de ondas até algumas horas antes, com base no tempo de viagem, conforme exposto anteriormente. Este procedimento implicou em alterar a rede, para inclusão de dados temporais, o que se conseguiu com a entrada defasada dos ventos na rede.

De todas as alternativas analisadas, a que deu melhor resultado foi a inclusão da intensidade média do vento projetada sobre a linha Arraial do Cabo / plataforma P18, considerando médias de 7 horas. Após o cálculo das médias, procedemos como no caso do cluster 2, montando um arquivo com os instantes de tempo reagrupados aleatoriamente.

O arquivo de dados (cluster1ventoprojetado7haleatório) continha 307 valores, dos quais 70 % (215 valores) foram utilizados para treinamento e o restante (92 valores) para testes do desempenho da rede.

A tabela 8.6 fornece os erros médios quadráticos obtidos para o cluster 1. Em amarelo aparece a opção que forneceu o menor erro.

Tabela 8.6 – erros médios quadráticos para diversas topologias de rede no cluster 1

ARQUIVO ENTRADA (*.XLS)	MÉTODO AJUSTE	ERRO MÉDIO QUADRÁTICO (x 10 ⁻³)				Características da rede			observações
		Hs(m)	Tp(s)	Dir(⁰)	Total	epochas	Neur.	Tipo	
Cluster1	RN3c4nt	24,1	27,8	37,3	29,8	500	4	tgh	sequencial
Cluster1aleatorio	RN3c3nt	14,6	10,0	11,3	12,0	500	3	tgh	Cluster1simples
Cluster1aleatorio	RN3c4nt	14,6	9,5	11,4	11,8	500	4	tgh	Cluster1simples
Cluster1aleatorio	RN3c4nl	14,6	9,8	12,0	12,1	500	4	linear	Cluster1simples
Cluster1aleatorio	RN3c5nt	14,9	9,9	11,2	12,0	500	5	tgh	Cluster1simples
Cluster1aleatorio	RN3c6nt	14,8	10,0	11,2	12,0	500	6	tgh	Cluster1simples
Cluster1aleatorio	RN3c9nt	14,7	10,4	11,6	12,2	500	9	tgh	Cluster1simples
Cluster1aleatorio	RN3c4nt	11,3	7,6	10,3	9,8	5000	4	tgh	Cluster1simples
Cluster1aleatorio	RN3c9nt	13,8	5,4	9,0	9,9	5000	9	tgh	Cluster1simples
Cluster1ventopro Jetado12haleatorio	RN3c4nt	13,9	10,3	9,5	11,2	500	4	tgh	Cluster1vento projeto
Cluster1ventopro Jetado7haleatorio	RN3c4nt	9,8	10,4	15,1	11,8	500	4	tgh	Cluster1vento projeto
Cluster1ventopro Jetado12haleatorio	RN3c4nt	13,2	9,7	9,7	10,9	5000	4	tgh	Cluster1vento projeto
Cluster1ventopro Jetado7haleatorio	RN3c4nt	7,0	7,6	13,8	9,5	5000	4	tgh	Cluster1vento projeto
Cluster1ventopro Jetado7haleatorio	RN3c7nt	6,8	8,5	14,0	9,8	5000	7	tgh	Cluster1vento projeto
Cluster1aleatorio Raiz3vento	RN3c4nt	13,2	7,5	9,5	10,1	5000	4		
Cluster1aleatorio Raiz3vento	RN3c7nt	15,3	6,8	8,4	10,2	5000	7		Cluster1vento projeto
Cluster1ventpproje Tado7raiz3vento	RN3c9nt	7,2	9,2	13,4	10,1	5000	9		Cluster1vproj_ raizcubvento

OBS: RN3c7nt = Rede Neural de 3 camadas com 7 neurônios na camada intermediária e com

neurônio com função tangente hiperbólica. No caso de neurônio linear usamos a letra "l"

COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA ONDA PARA

OS CLUSTERS 1 E 2

Além da rede neural, utilizamos outras funções de correlação e também dados obtidos de modelos numéricos (projeto COPAS) para comparar o desempenho da rede com estas outras alternativas de se estimar a onda *offshore*. Todos os arquivos entrada-saída foram os mesmos independentemente do método utilizado, exceto no caso do modelo de ondas, onde a saída é o próprio resultado do modelo (projeto COPAS).

No caso dos dados obtidos com o radar MIROS, que é uma outra alternativa para estimar os dados offshore, o período é diferente porque não havia dados medidos da P25 nos meses de fevereiro a abril de 1999.

9. RETIRADA DA CORRENTE DE DERIVA DO CONJUNTO DE DADOS

A estimativa do valor da corrente devida ao vento (a corrente de deriva) é baseada na hipótese de Ekman, que assume o equilíbrio de *momentum* nas camadas superficiais do oceano entre a força de atrito do vento e a força de Coriolis. Este equilíbrio produz um transporte de água à esquerda do vento (hemisfério sul) e um perfil de corrente com a forma de uma espiral.

Parte significativa das correntes que ocorrem na Bacia de Campos é função direta do vento que atua sobre a superfície do mar. A diferença de velocidade entre os dois fluidos - a água do mar e o ar da atmosfera - gera correntes denominadas correntes de deriva ou geradas pelo vento ('wind-driven currents'), cuja mecânica de formação e geração começou a ser efetivamente compreendida devido ao clássico trabalho do oceanógrafo Ekman desenvolvido no início do século (PRICE *et al.*, 1987).

Segundo a hipótese de Ekman em um oceano verticalmente homogêneo, sem fronteiras horizontais, infinitamente profundo e com um vento atuando permanentemente sem mudanças acentuadas de direção, ocorreria a formação de equilíbrio de momentum horizontal entre a tensão cisalhante do vento e o parâmetro de Coriolis. Devido a este equilíbrio de forças haveria a geração de um perfil de correntes em forma de espiral (denominada Espiral de Ekman) com um transporte total resultante à esquerda (direita) do vento para o hemisfério sul (norte). Embora esta espiral nunca tenha sido diretamente observada a confirmação da hipótese de Ekman se dá devido ao padrão de circulação oceânico global em forma de grandes giros, fato conhecido a séculos pelos navegadores, e devido a fenômenos de ressurgência que podem ser explicados a luz desta teoria. Além disto, fenômenos semelhantes ocorrem na atmosfera.

A grande dificuldade em se medir diretamente a formação da espiral ocorre devido ao mascaramento da corrente gerada pelo vento pelas outras componentes presentes, como maré, movimentos inercias e corrente geostrófica . Estas componentes juntas apresentam um valor médio quadrático cinco vezes maior que a da componente gerada pelo vento (KRAUSS, 1993). Outro problema se dá devido a suposição de um vento permanente atuando sobre a superfície do oceano, situação que na prática não é muito usual.

Em trabalhos anteriores, através de filtragem se eliminavam as componentes iniciais e de maré e a retirada da corrente geostrófica se dava utilizando uma profundidade de referência (D_e) dita ‘ageostrófica’, onde as medições de corrente mais superficiais são dela subtraídas (DAVIS *et al.*, 1981; PRICE *et al.*, 1987; CHERESKIN, 1995). Neste tipo de procedimento era ponto chave que o vento apresentasse direção pouco variável, além de se assumir que a corrente geostrófica na profundidade de referência tem o mesmo valor que na superfície.

O ponto chave neste tipo de análise é a separação da corrente gerada pelo vento das demais componentes. Aqui, apresentamos uma metodologia que separa a corrente de deriva da corrente total medida de uma forma diferente, sem precisar de valores de corrente medida em outros níveis. Isto é uma grande vantagem, pois equipamentos como bóias oceanográficas medem somente a corrente superficial.

O TRANSPORTE DE EKMAN E A ESPIRAL DE EKMAN

Dos conceitos básicos de dinâmica dos fluidos conhecemos a equação do movimento relativo a um referencial fixo:

$$\left(\frac{dV}{dt} \right)_f = -\frac{1}{\rho} \nabla p + g_f + F \quad (\text{eq. 9.1})$$

onde o primeiro termo à direita da equação 9.1 representa o gradiente de pressão (p), o segundo termo é a gravidade e o terceiro corresponde a outras forças como componentes friccionais. O termo à esquerda da equação 9.1 corresponde à aceleração. Quando transformada para um referencial na Terra a equação 9.1 fica:

$$\left(\frac{dV}{dt} \right)_e = -\frac{1}{\rho} \nabla p - 2\Omega \times V + g_f - \Omega \times (\Omega \times R) + F \quad (\text{eq. 9.2})$$

Na equação 9.2 foram adicionadas duas forças aparentes, a aceleração de Coriolis ($-2\Omega \times V$) e a aceleração centrípeta ($-\Omega \times (\Omega \times R)$), onde V é a velocidade e Ω a velocidade de rotação da terra. Considerando as aproximações de Boussinesq podemos também considerar a conservação de massa.

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (\text{eq. 9.3})$$

A força de fricção por unidade de massa (F) pode ser representada por

$$F_i = \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (\text{eq. 9.4})$$

onde o numerador da equação 9.4 corresponde ao tensor de tensões.

Desenvolvendo a equação 9.2 e adotando um plano cartesiano local xyz tangente a um dado ponto, onde x aumenta para leste, y para norte e z para cima temos as equações do movimento:

$$\frac{Du}{Dt} - fv = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (\text{eq. 9.5a})$$

$$\frac{Dv}{Dt} + fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + Av \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad (\text{eq. 9.5b})$$

$$\frac{Dw}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + A_h \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + Av \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \quad (\text{eq. 9.5c})$$

onde $f=2\Omega\sin\theta$ e os termos de $2\Omega\cos\theta$ são desprezados por serem muito pequenos quando comparados com g e com $\partial p/\partial z$.

Considerando-se as suposições admitidas por Ekman estas equações podem ser simplificadas:

- i. os gradientes de pressão horizontal são zero, logo $\partial p/\partial x$ e $\partial p/\partial y$ são zero.
- ii. o fluido é horizontalmente homogêneo, logo $\partial u/\partial x$ e $\partial u/\partial y$ são zero.
- iii. o escoamento é permanente, logo $\partial u/\partial t$ é zero.
- iv. como a velocidade vertical w é muito pequena e devido a ii e iii, $Du/Dt=\partial u/\partial t+u\partial u/\partial x+v\partial u/\partial y+w\partial u/\partial z$ é zero.
- v. como o campo é homogêneo as velocidades horizontais u e v são constantes, logo $A_h(\partial^2 u/\partial x^2+\partial^2 u/\partial y^2)$ e $A_h(\partial^2 v/\partial x^2+\partial^2 v/\partial y^2)$ são zero.

Portanto as equações 9.5 para movimento no campo horizontal são simplificadas para:

$$-fv = Av \frac{d^2 u}{dz^2} \quad (\text{eq. 9.6a})$$

$$fu = Av \frac{d^2 v}{dz^2} \quad (\text{eq. 9.6b})$$

As equações 9.6 são denominadas equações de Ekman, onde ocorre o equilíbrio entre a força de Coriolis e a força devido a fricção. Se por simplicidade assumirmos que o vento está atuando na direção y as equações de Ekman ficam (para o hemisfério sul):

$$u_e = -V_0 \cos\left(\frac{\pi}{4} + \frac{z}{D_e}\right) \exp\left(-\frac{z}{D_e}\right) \quad (\text{eq. 9.7a})$$

$$v_e = V_0 \sin\left(\frac{\pi}{4} + \frac{z}{D_e}\right) \exp\left(-\frac{z}{D_e}\right) \quad (\text{eq. 9.7b})$$

onde:

$$\frac{V_0}{\rho \sqrt{A_v f}} \quad \text{é a corrente superficial}$$

$$D_e = \sqrt{\frac{2A_v}{f}} \quad \text{é a escala de decaimento vertical}$$

$$\tau = \rho_{\text{ar}} \cdot cd \cdot ven^2 \quad \text{é a tensão cisalhante do vento}$$

ρ_{ar} densidade do ar

cd coeficiente de arraste

ven vento característico do período

METODOLOGIA PROPOSTA

O primeiro trabalho conhecido baseado na teoria de Ekman para o litoral brasileiro foi de SILVA (1972), que obteve valores específicos para as proximidades do Rio de Janeiro (latitude de 23° sul, praticamente igual a latitude do campo de Albacora), que foram:

$$V_0 = \frac{0.019W}{\sqrt{\sin(\varphi)}} \quad (\text{Eq. 9.8})$$

$$D_m = \frac{2.7W}{\sqrt{\sin(\varphi)}} \quad (\text{Eq. 9.9})$$

onde: W = vento a 10 metros de altura (em nós)
 φ = latitude do lugar
 V_0 = velocidade da corrente de deriva na superfície
 D_m = profundidade de Ekman em metros, a partir da qual praticamente não há mais influência do vento (se colocarmos o vento em m/s, a constante para cálculo de D_m passa a ser 5.25 ao invés de 2.7).

Substituindo a latitude de 23° na equação 9.8 é obtida uma relação de 0.03 entre as velocidades do vento e da corrente. Pela teoria de Ekman este valor é de 0.02. Tentativas anteriores de confirmação da teoria de Ekman consideraram situações ideais onde o vento atuou sem grandes variações de direção e intensidade, e a partir da corrente total medida em vários níveis subtrai-se um valor. Desta forma, temos aproximadamente apenas a componente de deriva, extraída da corrente total medida.

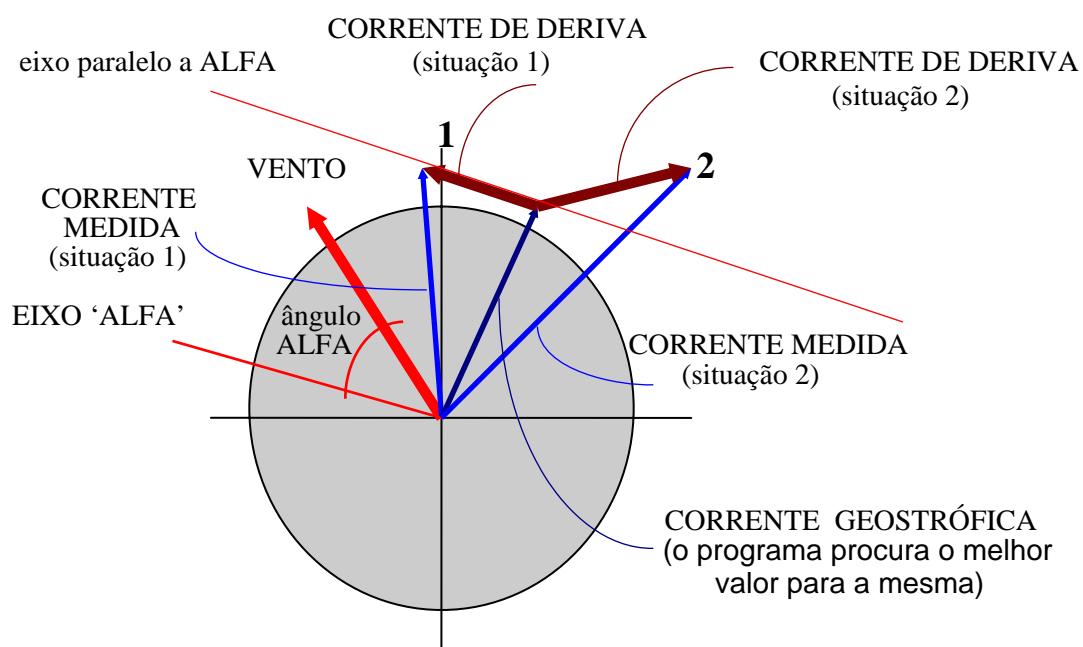


Figura 9.1 – Sistema de coordenadas e simbologia utilizada no programa CORRVEC para estimativa da corrente de deriva. A corrente de deriva é obtida pela diferença vetorial entre a corrente total (medida) e cada um dos valores assumidos pela corrente geostrófica ao longo do domínio especificado pelo programa. Desta forma é escolhida a corrente geostrófica cujo valor de corrente de deriva apresenta maior correlação com o vento

Conforme a Figura 9.1, a corrente de deriva é obtida pela subtração da corrente total (medida pelo correntômetro) da corrente geostrófica, para cada dado do arquivo de entrada, sendo computado na tabela de saída os valores médios de todo o arquivo de dados. Este procedimento é feito para cada linha/coluna da tabela, até se encontrar o par de intensidade/direção mais apropriado para a corrente geostrófica. Na Figura 9.1 vemos duas situações distintas, na primeira, a escolha do ângulo alfa foi a melhor possível, coincidindo com a direção da corrente de deriva, o que daria uma correlação 1 (um); na situação 2, a corrente de deriva está em sentido oposto ao sentido do ângulo alfa, o que dará uma correlação negativa. Quanto menor a diferença média entre o ângulo alfa e a direção da corrente de deriva, melhor terá sido o acerto das variáveis do problema (alfa, intensidade e direção da corrente geostrófica). Na terceira linha obtemos um ângulo médio entre o eixo alfa e a corrente de deriva de 6.1°.

Um exemplo de saída do programa CORRVEC é dado para a corrente de 5 metros (Tabela 9.1). É utilizado um período de sete dias de medições na Bacia de Campos (de 13 a 19 de setembro de 1988) onde foram obtidas médias de 12 horas para eliminação da componente de maré. Para cada valor de direção e de intensidade três valores são computados: coeficiente de correlação entre a corrente de deriva e o vento, relação entre corrente de deriva e o vento (V/W em valores percentuais) e o ângulo médio entre o eixo alfa e a corrente de deriva (gerada pelo vento).

Os valores escolhidos para um alfa de 39° estão destacados na Tabela 9.1 e são para uma corrente gestrófica com direção 161° - ou seja, uma corrente sul - com intensidade de 0.50 m/s. Na primeira linha foi obtida uma correlação entre o vento e a corrente gerada pelo vento de 0.707. O valor da corrente nesta profundidade corresponde a 1.97 % do valor do vento médio que atuou no período considerado (valor da segunda linha).

O programa CORRVEC é capaz de comparar séries defasadas no tempo, já que o efeito do vento na superfície do mar não se transmite de imediato às outras camadas mais profundas, fazendo com que o efeito numa determinada profundidade se correlacione melhor com o vento horas antes da corrente medida. Na Figura 9.2 é apresentada a variação da correlação entre vento e corrente de deriva para o nível de 20 metros, onde verificamos que o melhor ajuste se dá para uma defasagem temporal de 6 horas.

Na Tabela 9.2 estão os valores de defasagem temporal (delta t) que obtiveram maior correlação para cada profundidade.

Tabela 9.1. Exemplo de saída do programa CORRVEC para alfa igual a 39°.

	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.51
158.	.669	.682	.692	.699	.701	.699	.692
	2.20	2.19	2.18	2.17	2.15	2.14	2.13
	-13.8	-11.9	-10.0	-8.1	-6.0	-4.0	-1.8
159.	.666	.680	.691	.699	.703	.703	.697
	2.15	2.14	2.12	2.11	2.10	2.08	2.07
	-14.5	-12.7	-10.8	-8.8	-6.7	-4.6	-2.4
160.	.662	.677	.689	.699	.704	.705	.701
	2.10	2.09	2.07	2.06	2.04	2.03	2.01
	-15.4	-13.5	-11.6	-9.6	-7.5	-5.3	-3.1
161.	.657	.672	.686	.697	.704	.707	.704
	2.05	2.03	2.02	2.00	1.98	1.97	1.95
	-16.3	-14.4	-12.5	-10.4	-8.3	-6.1	-3.9
162.	.650	.667	.681	.694	.702	.707	.706
	2.00	1.98	1.96	1.95	1.93	1.91	1.89
	-17.2	-15.4	-13.4	-11.4	-9.3	-7.1	-4.8
163.	.642	.660	.675	.689	.699	.705	.706
	1.95	1.93	1.91	1.89	1.87	1.86	1.84
	-18.3	-16.4	-14.5	-12.4	-10.3	-8.1	-5.8

Os valores verticais (158, 159,..., 163) correspondem a direção da corrente geostrófica e os valores horizontais (0.45, 046,..., 0.51) a de sua intensidade. Estes valores variam ao longo de um domínio especificado para cada valor de alfa (que é mantido constante). Em seguida o valor de alfa é incrementado e mais uma vez os valores de intensidade e direção da corrente geostrófica variam, desta forma abrangendo valores de alfa e da corrente geostrófica numa determinada faixa especificada no programa.

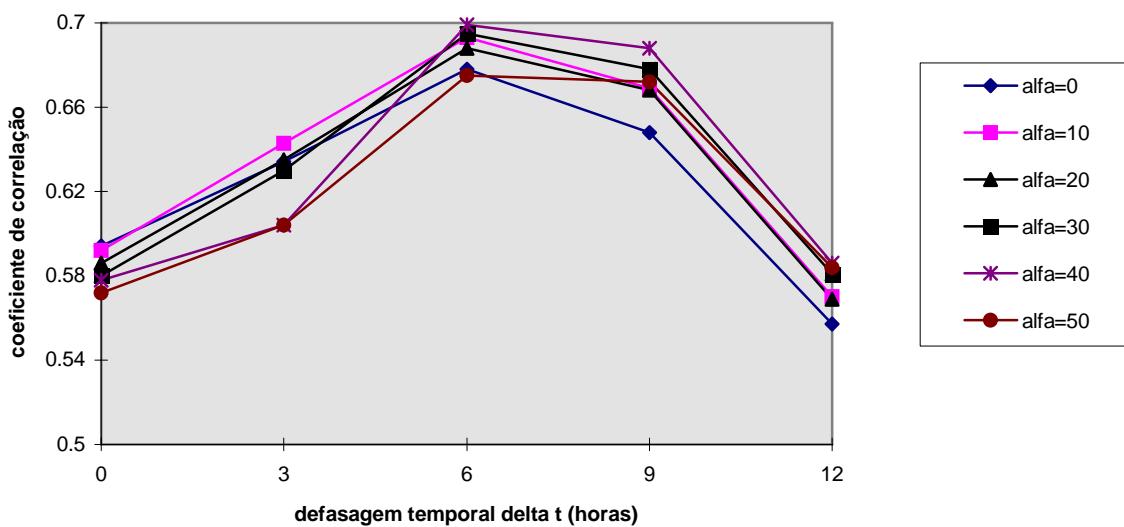


Figura 9.2. Defasagem temporal (δt) de 6 horas foi a que obteve maior correlação entre a corrente de deriva e o vento para a profundidade de 20 metros. A defasagem para as demais profundidades apresentadas na tabela 2 foram obtidas da mesma forma.

Tabela 9.2. Valores de correlação, relação entre corrente e vento, ângulo α e defasagem temporal (δt) para cada profundidade.

prof (m)	coef. corr.	V/W (%)	ang . α	delta t (h)	corrente total medida		corrente geostrófica do programa		corrente geostrófica dos dados	
					dir.	int. (m/s)	dir.	int. (m/s)	dir.	int. (m/s)
5	0.707	1.97	39°	0	181°	0.62	161°	0.50	166°	0.50
20	0.701	0.54	63°	6	183°	0.50	177°	0.43	172°	0.43
40	0.653	0.33	62°	6	182°	0.47	178°	0.41	175°	0.41
60	0.534	0.40	77°	6	183°	0.46	181°	0.36	179°	0.41

A corrente geostrófica obtida pelo programa apresenta valores típicos da Corrente do Brasil na região. A corrente geostrófica obtida dos dados corresponde ao período imediatamente após o vento ter ficado muito fraco, quando em tese só teríamos a componente geostrófica. Os valores semelhantes entre a corrente geostrófica obtida pelo programa e a obtida pelos dados é função da boa correlação entre a corrente de deriva e o vento.

10. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentamos um resumo do que foi discutido e detalhado ao longo dos capítulos anteriores, os resultados estão separados nos seguintes grupos:

- RESULTADO PARA DIFERENTES AJUSTES DE ONDAS – CLUSTER 2**
- RESULTADO PARA DIFERENTES AJUSTES DE ONDAS – CLUSTER 1**
- RESULTADO PARA PREENCHIMENTO DE LACUNAS NO VENTO**
- RESULTADO PARA PREENCHIMENTO DE LACUNAS NA ONDA**
- RESULTADO PARA A CLASSIFICAÇÃO SINÓTICA DOS GRUPOS DE ONDA**

Outros resultados intermediários, como os obtidos com o programa para seguir as sequências temporais de mares (programa SEGUE4MARES), encontram-se ao longo do corpo do trabalho, assim como detalhes sobre o resumo aqui apresentado.

RESULTADOS PARA DIFERENTES AJUSTES DE ONDAS – CLUSTER 2

O cluster 2 representa as ondulações distantes vindas de sul (*swell*), sendo nosso objetivo obter as ondas em águas profundas a partir das medições costeiras. Uma das formas de se obter estas ondas é através de uma rede neural entre os dados costeiros e os oceânicos, mas existem diversas outras maneiras, das quais foram testadas:

- utilizar os dados de Arraial, sem nenhum ajuste como estimativa para a P18
- usar uma equação do tipo $Y = A \cdot X^b$ (equação do tipo potência)
- usar um ajuste logarítmico do tipo $Y = A \cdot \ln(X) + B$
- usar o dado obtido do projeto COPAS de reconstituição de ondas oceânicas
- usar dados oceânicos medidos por radar de ondas

Os arquivos entrada-saída foram os mesmos independentemente do método utilizado, exceto no caso do modelo de ondas, onde a saída é o próprio resultado do modelo (projeto COPAS) e no radar de ondas, onde foram utilizados diretamente os dados medidos pelo mesmo. As tabelas 10.1 a 10.3 mostram os resultados obtidos com cada um dos métodos testados e para os parâmetros de onda Hs, Tp e Dir.

Utilizamos nesta avaliação o coeficiente de correlação estatística entre o dado real medido na Bacia de Campos e o dado estimado por cada um dos métodos, além do erro médio quadrático normalizado da variável de saída em relação ao dado real.

No caso dos dados do radar MIROS, que é outra alternativa para estimar os dados *offshore*, o período é diferente porque não havia dados medidos da P25 nos meses em que houve medição simultânea Arraial /P18 (de fevereiro a abril de 1999). .

tabela 10.1 – qualidade dos dados ajustados por diferentes métodos, cluster 2 (Hs)

Tipo de ajuste	Coeficiente correlação	erro médio quadrático do dado normalizado	Obs
Rede neural	0,927	0,0030	
Potência	0,890	0,0361	$Y = 1,106 \cdot X^{0,6962}$
Curva logarítmica	0,879	0,0080	$Y = 0,8293 \ln(x) + 1,3189$
Modelo	0,809	0,0253	
Dados originais Arraial	0,884	0,0054	
MIROS P25	0,784	0,0130	Ver obs.1

tabela 10.2 – qualidade dos dados ajustados por diferentes métodos, cluster 2 (Tp)

Tipo de ajuste	Coeficiente correlação	erro médio quadrático do dado normalizado	Obs
Rede neural	0,919	0,0030	Figura matlab ale9n5000
Potência	0,890	0,0060	
Curva logarítmica	0,864	0,0164	
Modelo	0,531	0,0223	
Dados originais	0,895	0,0044	
MIROS P25	0,557	0,0150	Ver obs.1

tabela 10.3 – qualidade dos dados ajustados por diferentes métodos, cluster 2 (Dir)

Tipo de ajuste	Coeficiente correlação	erro médio quadrático do dado normalizado	Obs
Rede neural	0,803	0,0028	Figura matlab ale9n5000
Potência	0,726	0,0079	
Curva logarítmica	0,729	0,0156	
Modelo	0,411	0,0884	
Dados originais	0,726	0,0079	
MIROS P25	0,662	0,0126	Ver obs.1

Obs1: Os dados de radar da plataforma P25 utilizados para comparação com a bóia da P18 foram do mês de agosto de 1999.

A rede neural mostrou o melhor desempenho para os 3 parâmetros de onda.

RESULTADOS PARA DIFERENTES AJUSTES DE ONDAS – CLUSTER 1

O cluster 1 corresponde aos dados gerados pelo Anticiclone do Atlântico Sul (AAS), que gera ondas com características de mar próximo (sea) e direções entre Norte e Leste. A diferença deste cluster para o cluster 2 é que na rede neural a inclusão do vento foi importante, pois o mar próximo tem relação direta com o vento local. As tabelas 10.4 a 10.6 apresentam os resultados obtidos com diferentes métodos de ajuste das ondas de Arraial do Cabo para a Bacia de Campos da mesma forma que feito para o cluster2.

tabela 10.4 – qualidade dos dados ajustados por diferentes métodos, cluster 1 (Hs)

Tipo de ajuste	Coeficiente correlação	erro médio quadrático do dado normalizado	Obs
Rede neural	0,822	0,0070	
Potência	0,449	0,1183	
Curva logarítmica	0,439	0,0665	
Modelo	0,580	0,0186	
Dados originais Arraial	0,459	0,0243	
radar P25	0,784	0,0130	Ver obs.1

tabela 10.5 – qualidade dos dados ajustados por diferentes métodos, cluster 1 (Tp)

Tipo de ajuste	Coeficiente correlação	Desvio médio quadrático do dado normalizado	Obs
Rede neural	0,686	0,0076	
Potência	0,572	0,0187	
Curva logarítmica	0,587	0,0231	
Modelo	0,576	0,0322	
Dados originais Arraial	0,592	0,0173	
radar P25	0,557	0,0150	Ver obs.1

tabela 10.6 – qualidade dos dados ajustados por diferentes métodos, cluster 1 (Dir)

Tipo de ajuste	Coeficiente correlação	Desvio médio quadrático do dado normalizado	Obs
Rede neural	0,728	0,0138	
Potência	-	-	Valor negativo (Obs 2)
Curva logarítmica	0,237	0,0259	
Modelo	0,454	0,0342	
Dados originais Arraial	0,222	0,0290	
radar P25	0,662	0,0126	Ver obs.1

Obs1: Os dados de radar da plataforma P25 utilizados para comparação com a bóia da P18 foram do mês de agosto de 1999.

Obs2: O ajuste por função potência não foi possível por causa da presença de valores negativos da direção, pois para evitar a descontinuidade entre 0 e 360 graus assumimos valores negativos de direção entre 270 e 360 graus.

Embora com desempenho pior que no cluster 2, a rede neural novamente se mostrou o melhor dos métodos de ajuste testados.

A busca da melhor correlação entre os dados medidos na Bacia de Campos e em Arraial do Cabo depende de se encontrar os dados correspondentes nas 2 locações, o que passa por identificar o tempo que a ondulação demora no trajeto. No capítulo 8 desenvolvemos a metodologia utilizada para estimar os tempos de chegada das ondulações e de que forma se estimou o tempo que proporcionava a melhor correlação para os dados de onda.

A figura 10.1 mostra, para cada uma das sequências de ondas vindas de sul e identificadas na Bacia de Campos, o tempo estimado de viagem pela velocidade de grupo (linha azul) e pela velocidade das ondas de maior energia (linha vermelha). As sequências foram ordenadas no eixo horizontal do menor para o maior tempo de viagem teórico, apenas para melhor visualização dos valores.

Para cada um dos 3 parâmetros de onda (altura, período e direção) foi feita uma pesquisa da correlação estatística de Arraial com a Bacia de Campos variando as defasagens de tempo com valores próximos aos tempos de viagem estimados. Os valores plotados no gráfico (quadrados brancos) correspondem aos tempos que tiveram as melhores correlações estatísticas médias de Hs, Tp e Dir..

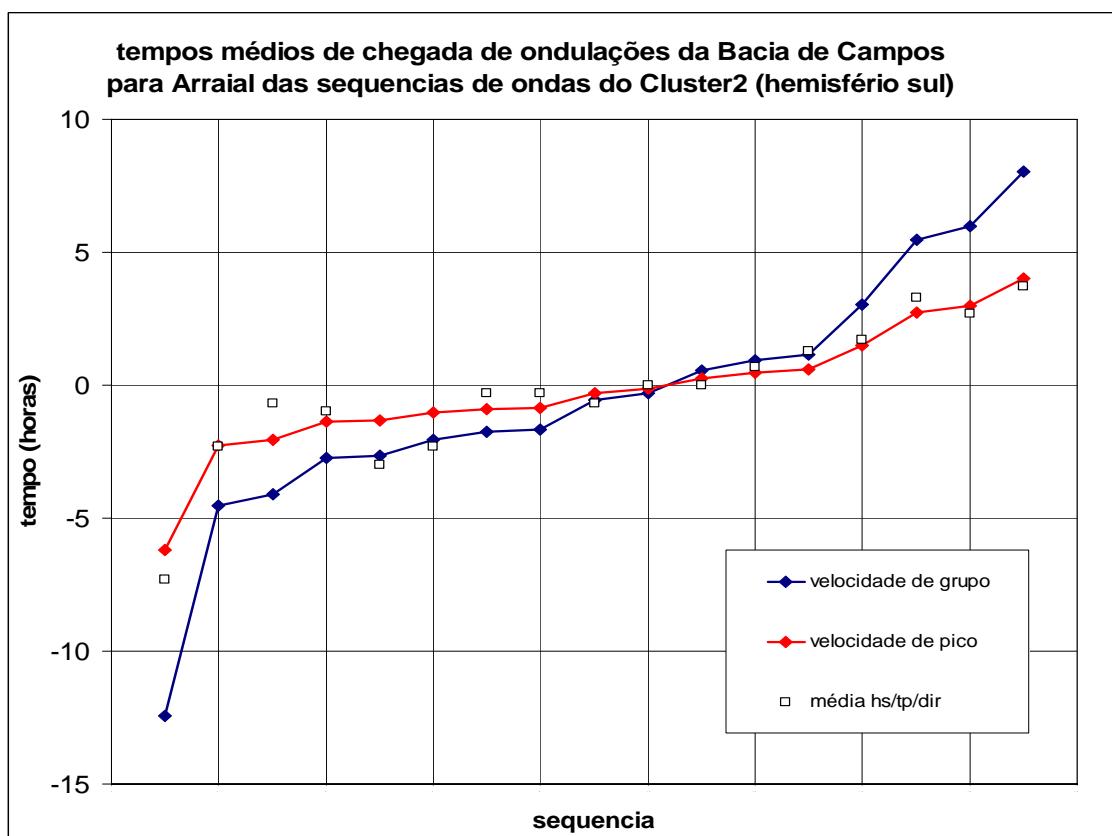


Figura 10.1 – Tempos de viagem estimados entre Arraial do Cabo e Bacia de Campos pela velocidade de grupo (azul), velocidade de fase (vermelho) e melhor correlação estatística.

RESULTADO PARA PREENCHIMENTO DE LACUNAS NO VENTO

Com base nos resultados do programa *RAIOX*, a tabela 10.7 estabelece um critério para preenchimento de falhas no dado de vento da Bacia de Campos. Para maiores detalhes consultar item 6.5.

Tabela 10.7 – critério para preenchimento de falhas em séries temporais de vento

	Tamanho da falha a preencher	
falha	1 a 18 h	18 a 240 h
VENTO	Equação de Grau2	Modelo NCEP/NOAA

RESULTADO PARA PREENCHIMENTO DE LACUNAS NA ONDA

Com base nos resultados do programa *RAIOX*, a tabela 10.8 estabelece um critério para preenchimento de falhas no dado de onda na Bacia de Campos. Para maiores detalhes consultar item 6.6.

Tabela 10.8 – critério para preenchimento de falhas em séries temporais de onda

	Tamanho da falha a preencher		
falha	1 a 32 h	33 a 70 h	71 a 240h
ONDA	Equação de Grau3	Linear	Modelo forçado

RESULTADO PARA A CLASSIFICAÇÃO SINÓTICA DOS GRUPOS DE ONDA

Procuramos classificar as feições meteorológicas seguindo os tipos identificados no Capítulo 3, conforme a figura 3.1, incluindo uma Baixa que, quando se posiciona próximo à Bacia de Campos, traz piora nas condições de vento e onda. Adicionalmente o Anticiclone Tropical também foi incluído, pois pela literatura o mesmo ocorre no Atlântico Sul, embora no nosso conjunto de trabalho (pequeno na verdade), não tenha aparecido o AT. O resultado desta classificação está na tabela 10.9.

Tabela 10.9 – classificação sinótica das sequências de onda encontadas.

Sequencia	Onda	Onda	Onda	Onda	Onda	Vento	Vento	Vento	Vento	Vento
	AAS	AT	AE	CE	BB	AAS	AT	AE	CE	BB
1					■					
3	■									
4	■									
4a			■	■						
4b	■		■					■		
4c				■				■		
5	■									
6	■									
7	■									
8	■									
10	■									
11				■						■
12	■									
13	■									
14			■	■	■					■
15-1			■	■	■			■		
15-2			■	■	■			■		
15a			■	■	■			■		
15b			■	■	■			■		
15c			■	■	■			■		
16			■	■	■	■		■		■
17	■						■			
18				■	■	■		■		
19-1				■	■				■	
19-2				■	■	■				
20a			■	■	■	■				
21			■	■	■	■		■		

Onde:

- AAS: Anticiclone semi-estacionário do Atlântico Sul
- AT: Anticiclone Tropical
- AE: Anticiclone Extratropical
- CE: Ciclone Extratropical
- BB: Baixa posicionada próximo à Bacia de Campos

Selecionamos 3 situações distintas encontradas na tabela 10.9, para plotagem da reanálise do ECMWF e dos gráficos polares de Hs pór direção e Tp por direção. Foram elas:

- **série 10:** mar local gerado pelo Anticiclone do Atlântico Sul (AAS), entre 6 e 11 de março de 99
- **série 15c:** mar gerado por Anticiclone extra tropical isolado, entre 17 e 23 de março de 99
- **série 21:** swell gerado pela combinação de ciclone extratropical com anticiclone, entre 29 de março e 8 de abril de 99.

Estas 3 situações são típicas na Bacia de Campos. Novas situações sinóticas podem vir a ser identificadas na continuidade do trabalho com conjuntos maiores de dados.

Série 10 - MAR LOCAL GERADO PELO ANTICICLONE DO ATLÂNTICO SUL

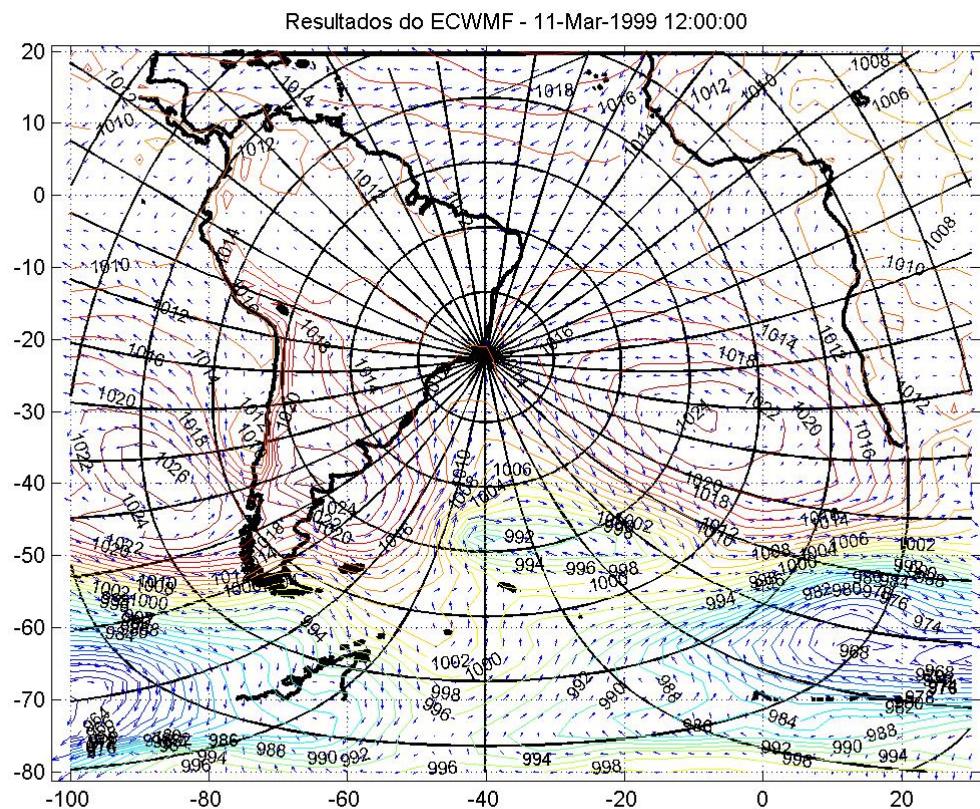
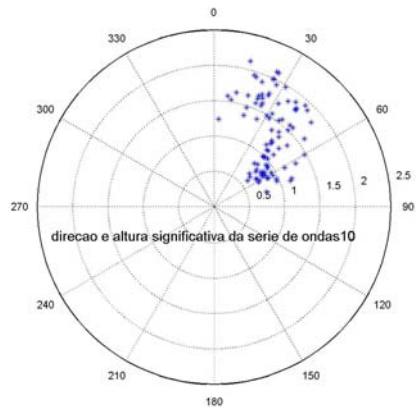
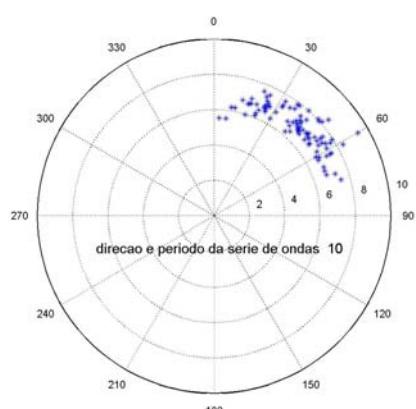


Figura 10.2



O Anticiclone do Atlântico Sul gera ventos constantes de norte a nordeste gerando ondas na mesma direção com alturas de 0,5 a 2 metros e períodos de 6 a 8 segundos. É a situação de tempo bom na Bacia de Campos.

Esta situação foi identificada na série de ondas número 10 (ver tabela 8.2)



Série 15c - MAR GERADO POR ANTICICLONE EXTRATROPICAL ISOLADO

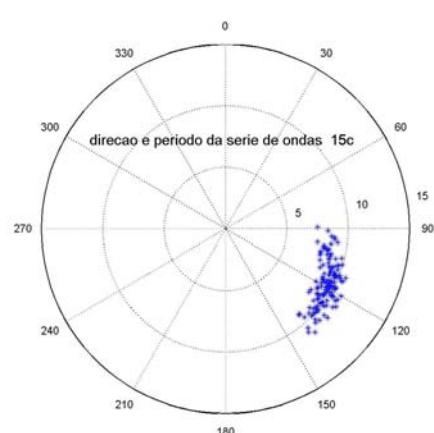
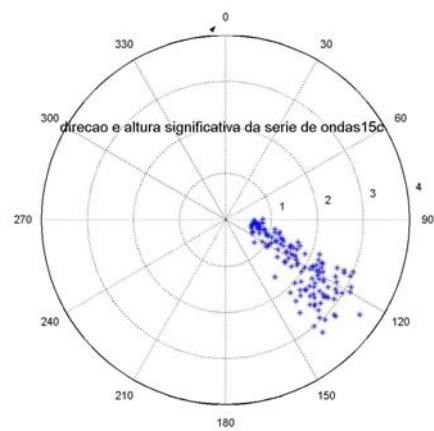
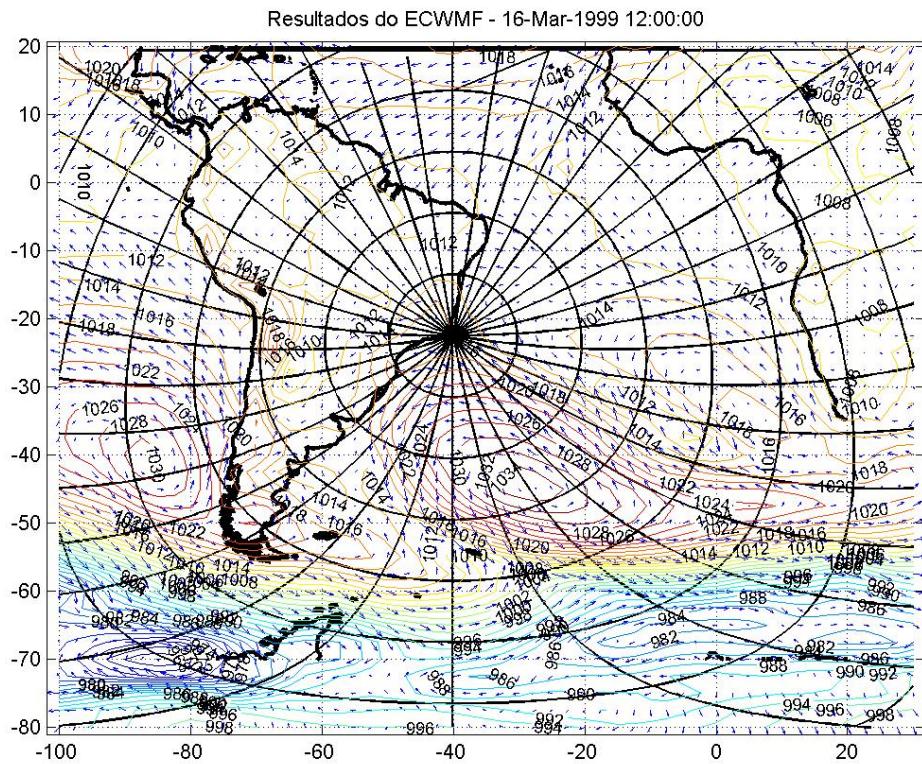


Figura 10.3

Um Anticiclone Extratropical se encontra em torno de 45 graus sul e 25 graus oeste. Nesta posição ele está gerando vento com direção sudeste e ondas com esta mesma direção e períodos de 9 a 10 segundos.

Esta situação foi identificada na série de ondas número 15c (ver tabela 8.2)

Série 21 - MAR GERADO PELA COMBINAÇÃO CICLONE EXTRATROPICAL E ANTICICLONE

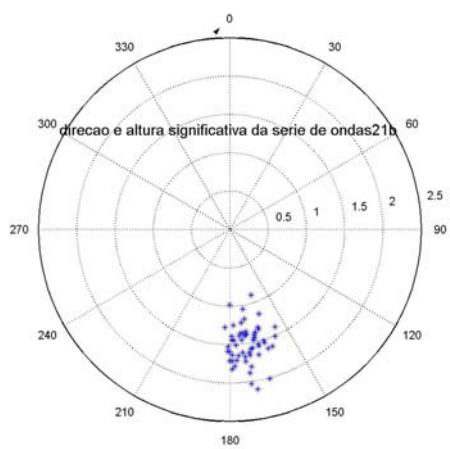
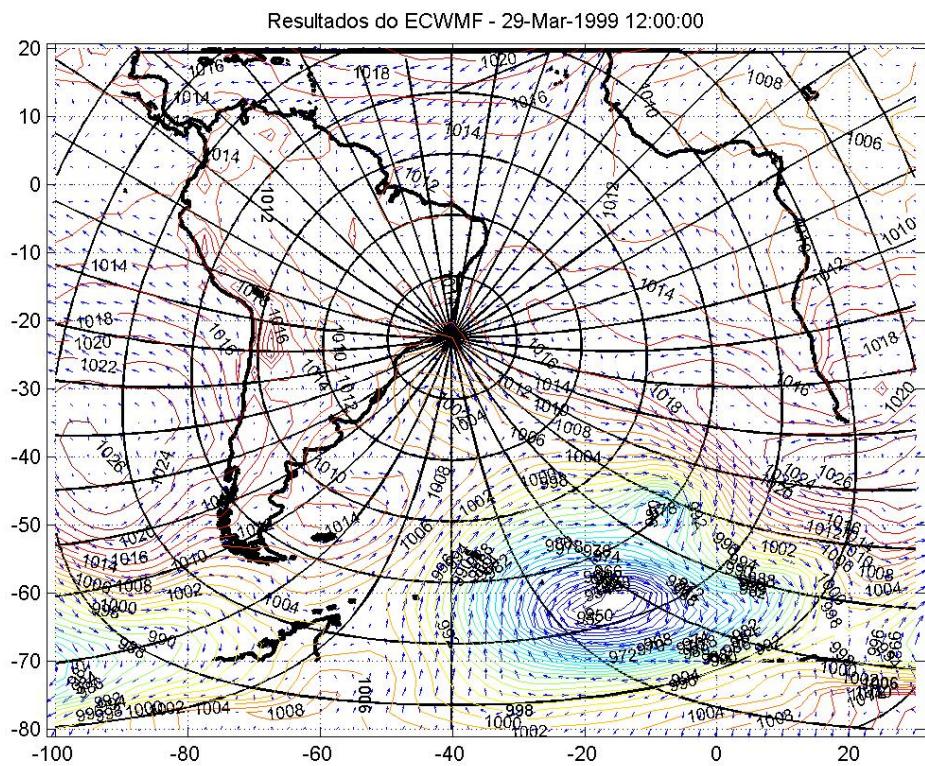
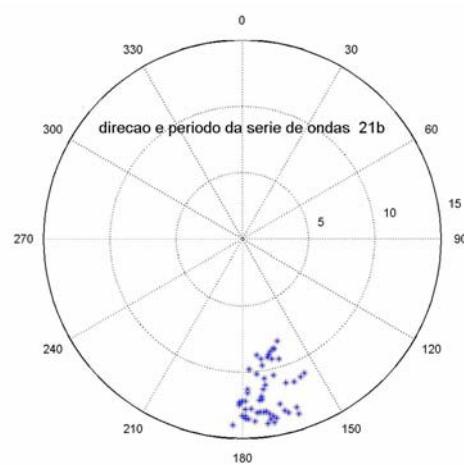


Figura 10.4

Um ciclone e um anticiclone estão interagindo para gerar pista de ventos de sul. As ondas têm direção sul também e períodos longos, de 8 a 15 segundos.



Esta situação foi identificada na série de ondas número 21 (ver tabela 8.2)

DISCUSSÃO

A metodologia sugerida para classificação da onda e do vento a partir do campo de pressões se mostrou adequada quando aplicada ao conjunto de dados de teste, apesar de seu tamanho reduzido. A visualização das reanálises junto com os gráficos polares e a inclusão dos círculos máximos na figura das reanálises facilitou muito a identificação da origem dos mares.

Outra vantagem que vemos na classificação e separação dos mares da forma adotada neste trabalho é poder entender melhor a evolução temporal do mar, e a partir daí estabelecer modelos de comportamento do crescimento e decaimento do mesmo e que podem ser usados como alternativa para preenchimento de falhas e previsão de valores.

Alterações climáticas que possam estar mudando o comportamento do vento e da onda podem ser mais facilmente compreendidas com a conexão às feições dos campos de pressão, podendo este ser um parâmetro chave na estimativa de valores extremos no futuro. Por exemplo, se estiver acontecendo um aumento no número de ciclones no Atlântico Sul, pode-se esperar um aumento na quantidade de ondulações intensas de sul e sudoeste e de seus valores extremos.

As ferramentas desenvolvidas mostraram-se adequadas, e alguns aperfeiçoamentos podem ser incluídos. O programa *raiox* nos fornece um critério objetivo para preenchimento dos gaps, tanto para a onda como para o vento. No caso da onda, tem de se trabalhar melhor esta informação, pois só utilizamos o Hs total.

A rede neural teve um comportamento muito bom na estimativa de ondas em águas profundas, e o uso da mesma para novos conjuntos de dados é promissor. As correlações obtidas foram superiores a outros métodos de extração.

Foi importante incluir o vento nos dados de ondas locais (cluster 1). O melhor ajuste foi obtido considerando a intensidade do vento projetada no alinhamento de Arraial do Cabo para a plataforma P18.

O programa *segue4mares*, elaborado para montar as sequências temporais corretas de estados-de-mar em situações multimodais, mostrou um bom desempenho,

conseguindo melhorar em cerca de 3 vezes o acerto na ordem das séries temporais quando comparado a outros critérios de classificação de mares multi-modais.

SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Muito pode ser feito para aperfeiçoamento das ferramentas desenvolvidas e na sua aplicação a outros conjuntos de dados. Como sugestões, podemos citar:

- aplicar as metodologias apresentadas em conjuntos maiores de dados, formando realmente um *data warehouse* para estudos simultâneos de vento, onda e corrente.
- melhorar o programa *raiox* com o uso de cadeias de Markov no preenchimento de lacunas e incluir “modelos de mar” também para esta tarefa, entendendo-se como tal a modelagem da forma da evolução temporal de Hs, Tp e Dir, o que pode ser possível pelo uso da metodologia de classificação junto com o programa *segue4mares*.
- testar melhor a retirada dos dados de corrente de deriva com outros dados de bóia e fundeio simultâneos, para maior confiabilidade nos resultados obtidos com o programa *corrvec*.
- testar outros métodos de análise de séries temporais que não necessitam que se faça transformações no dado de entrada. Existem uma tendência atual a se usar técnicas que modelem a média e a variância dos dados de entrada, ao invés de se fazer transformações que tentam deixar o dado estacionário.
- automatizar o máximo possível a identificação dos campos de pressão, pois no caso de um conjunto grande de entrada esta tarefa irá tomar muito tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. H. G. M., RIBEIRO, C. E. P., RIBEIRO, E. O. e LIMA, J. A. M., 2005, "Reconstrução do Clima de Ondas no Sul-Sudeste Brasileiro para o Período de Ago/1995 – Mar/2005". Relatório interno PETROBRAS.
- ANDRADE, K. M., 2007, *Climatologia e Comportamento dos Sistemas Frontais sobre a América do Sul*, Dissertação de M.Sc., Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE-14056-TDI/1067.
- ARANGO, H.G., SHCHEPETKIN, A.F., "Regional Ocean Modeling System (ROMS)", texto com a documentação do modelo encontrada no site <http://www.myroms.org/index.php>, acessado em 16 de abril de 2009.
- ARAUJO, C. E. S., FRANCO, D., MELO, E., PIMENTA, F., 2003, "Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast". In: *Proceedings COPEDEC VI*, Sri Lanka.
- BARRY, R. G., CHORLEY, R. J., 2003, "Atmospheric motion: principles". In: Routledge,T (ed), *Atmosphere, Weather and Climate*, 8 ed, chapter 6, London, UK, Taylor & Francis Group.
- BORGMAN, L. E., HAGAN, R. L., KUIK, A. J., 1982. "Statistical precision of directional spectrum estimation with data from a tilt-and-roll buoy". In: *Proceedings of International School of Physics Enrico Fermi, Topics in Ocean Physics*. Elsevier Science Publishing, New York, pp. 418–438.
- BOX, G. e JENKINS, G., 1976, *Time series analysis, forecasting and control*, San Francisco, Holden-Day.
- BRANCO, F. V., 2005, *Contribuições de Swell Gerado em Tempestades Distantes para o Clima de Ondas na Costa Brasileira*, Dissertação de Mestrado, IAG/USP, São Paulo, SP, Brasil.
- CALÔBA, L. P., 2002, "Introdução ao Uso de Redes Neurais na Modelagem de Sistemas Dinâmicos e Séries Temporais", In: *XIV Congresso Brasileiro de Automática*, Natal, Brasil.

CAMPOS, R. M., 2009, *Análise dos Extremos de Onda no Rio de Janeiro Associados a Ciclones Extratropicais no Atlântico Sul*, Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CAPTAIN, C., 2005, "Previsão do tempo – explicações detalhadas" , artigo encontrado no site <http://www.escolaserradamoeda.com.br/Artigos.asp?CodArtigo=23>, acessado em 03 de março de 2009.

CARVALHO, N. V., 1998, *Investigações sobre o Clima de Ondas na Bacia de Campos e Correlação com Situações Meteorológicas Associadas*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CHERESKIN, T. K. , 1995, "Direct Evidence for an Ekman Balance in the California Current". In: *Journal of Geophysical Research*, v.100, n.C9, pp. 18261-18269.

COLI, A., CONLEY, D. C., SANTOS, J. A., PIRES-SILVA, A. A., 2007, "Estimation of Offshore Directional Spectra by Inverse Methodology at Porto Ferro, Sardinia". In: *Proceedings of the 17th International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE), Lisboa, Portugal*, Paper ISC-535.

CULBERSON, C., 2000, "Versamap version 2.07 (shareware)", programa encontrado no site <http://www.versamap.com> , Newark, U.S.A.

CUNHA, C, GUEDES SOARES, C., 1996, , "Transformações e Preenchimento de Lacunas em Séries Temporais de Altura Significativa de Onda", In: III Congresso Anual da Sociedade Portuguesa de Estatística de Guimarães, Portugal.

CUNHA, C., GUEDES SOARES, C., 1997, "On the choice of data transformation for modelling time series of significant wave height", *Ocean Engineering* n. 26, pp 489-506.

CUNHA, C., GUEDES SOARES, C., "Transformação e Preenchimento de Lacunas em Séries Temporais de Altura Significativa de Onda", In: *Bom Senso e Sensibilidade - Traves Mestras da Estatística*, J. Branco, P. Gomes, J. Prata (Eds), Lisboa, 1995, v. 5, pp-449-466.

DAVIS, R. E. ; DESZOEKET, R. ; HALPERN, D. ; NIILER, P., 1981."Variability in the Upper Ocean during MILE. Part I: The Heat and Momentum Balances". In: *Deep-Sea Research*, v. 28A, n. 12, pp. 1427-1451.

DNV, 1977, "Rules for the design construction and inspection of offshore structures", Det Norske Veritas.

EBECKEN, N. F. F., 2004, Notas de aula da disciplina *Data Mining* do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ.

EHLERS, R. S., 2005, *Análise de Séries Temporais*, 3 ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná.

EVANS, D.L., SIGNORINI, S.S., MIRANDA, L. B., 1983, "A note on the transport of the Brazil Current", *Journal of Physical Oceanography*, v. 13, pp. 1732-1738.

EVANS, D.L., SIGNORINI, S.S., 1985, "Vertical structure of the Brazil Current", *Nature*, No. 315, pp. 48-50.

FARIAS, E. R., ROCHA, F. J. S., LIMA, R. C., 2000, "Critérios de Seleção de Modelos Sazonais de Séries Temporais: Uma Aplicação Usando a Taxa de Desemprego da Região Metropolitana de Recife". In: *III Encontro Regional de Estudos do Trabalho – ABET*, Recife, PE, Brasil.

FILHO, E. M., ALVES, J. H. G. M., 1993, "Nota sobre a Chegada de Ondulações Longínquas à Costa Brasileira". In: *I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul*, Brasil.

FOUZAR, C. B., 1994, "A Circulação Atmosférica na América do Sul, os Grandes Sistemas Planetários e Subsistemas Regionais que atingem o Continente: localização e trajetórias", *Cadernos de Geociências IBGE*, v.11, pp. 11-33, Jul/Set.

GARFIELD, N., 1990, *The Brazil Current at Subtropical Latitudes*, Ph.D. dissertation, University of Rhode Island, 122 pp.

GUEDES SOARES, C., 1984, "Representation of Double-Peaked Sea Wave Spectra", In: *Ocean Engineering*, v. 11, n. 2, pp. 185-207.

GUEDES SOARES, C., NOLASCO, M. C., 1992, "Spectral Modelling of Sea States with Multiple Wave Systems". In: *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. v.114, pp. 278-284.

GUEDES SOARES, C., FERREIRA, A. M., CUNHA, C., 1994, "Auto-Regressive Model for the Long Term Series of Significant Wave Height in the Portuguese Coast". In: *Seminário Luso Francês de Modelação em Hidráulica Marítima*, Coimbra, Portugal.

HAYKIN, S., 2001, *Redes Neurais, Princípios e Prática*. 2 ed., Porto Alegre, Bookman.

HILL, M. N., 1962, *The Sea, Physical Oceanography*, 1 ed., New York, John Wiley & Sons, Inc.

HSIEH, W. W., TANG, B., 1998, "Applying Neural Network Models to Prediction and Data Analysis in Meteorology and Oceanography". In: *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.79, n.9, pp. 1855-1869.

KRAUSS,W., 1993, "Ekman Drift in Homogeneous Water". In: *Journal of Geophysical Research*, vol. 98, no. c11, 20187-20209.

LIMA, J. A. M., 1997, *Oceanic Circulation on the Brazilian Shelf Break and Continental Slope at 22°S*, Ph. D. dissertation, University of New South Whales, Austrália.

LIMA, J. A. M, NUNES, L. M. P., 2001, *Caracterização Oceanográfica da Região da Plataforma SS-6 (Bacia de Campos)*. Relatório RT/MC-019/2001, CENPES/PETROBRAS.

LIMA, J. A. M., RIBEIRO, C. E. P., RIBEIRO, E. O., FISH, C. I., 2004, "Manual do Programa Onda 1G ". Documento interno da PETROBRAS, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Melo.

MENDES, A. L. T., 2005, *Investigação Sobre a Dispersão de Ondas de Gravidade na Bacia de Campos*, Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MULLER, T. J., IKEDA, Y., ZANGENBERG, N., NONATO, L. V., 1998, "Direct Measurements of Western Boundary Currents off Brazil between 20°S and 28°S", In: *Journal of Geophysical Research*, v. 103, n.c3, pp 5429-5437.

NUNES, L. M. P., 1997, "Técnica para Estimativa da Corrente Induzida pelo Vento a partir de Medições Simultâneas de Vento e Corrente na Bacia de Campos". In: *III Seminário de Ondas e Marés*, Instituto de Pesquisas Almirante Paulo Moreira da Silva, Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil.

NUNES, L. M. P, ANTUNES, L. C. R, DIAS, G. J., GUERRA, L. A. A., 2006, *19 Anos de Dados Meteorológicos na Bacia de Campos*. Relatório RT/MC-041/2006, CENPES/PETROBRAS.

NUNES, L. M. P, 2005, *Dados Simultâneos de Onda e Corrente Superficial para Dimensionamento do Thruster da P32 (Marlim)*. In: Relatório RT/MC-109/2005, CENPES/PETROBRAS.

NUNES, L. M. P, SOARES, C. G., LIMA, J. A. M., 2008, "Separation of Wave Systems in Time Series of Combined Sea States". In: *Proceedings of the 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE), Lisboa, Portugal*, Paper OMAE-2008/57643.

OLIVEIRA, M. A., FAVERO, L. P. L., 2003, "Uma Breve Descrição de Algumas Técnicas para Análise de Séries Temporais: Séries de Fourier, Wavelets, ARIMA, Modelos Estruturais para Séries de Tempo e Redes Neurais". In: *Seminários em Administração da Faculdade de Economia e Administração da USP*.

PAES, R. C. O. V., 2006, "Reconhecimento de Feições Oceanográficas de Meso-Escala da Costa Sul-Sudeste Brasileira a partir de Imagens Orbitais e Técnicas de Processamento Digital", trabalho de qualificação acadêmica ao doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

PARENTE, C. E., 1999, *Uma Nova Técnica Espectral para Análise Direcional de Ondas*, Tese D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

PARENTE, C. E., CARVALHO, N. V., LIMA, J. A., ASSUNÇÃO, C. B., 2001, "Wave and Wind Extreme Values in Good Weather Situations in the Campos Basin, Off Rio de Janeiro". In: *OMAE-2001/OFT-1014*, Rio de Janeiro, Brasil.

PETERSON, R.G., STRAMMA, L. 1991, "Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean", *Progress in Oceanography*, v.26, pp. 1-73.

PEZZA, A. B.; AMBRIZZI, T., 2003, "Variability of Southern Hemisphere Cyclone and Anticyclone Behavior: Further Analysis", *J. Climate*, v.16, pp. 1075-1083.

PIELKE, R. A., SEGAL, M., 1986, "Mesoscale circulations forced by differential terrain heating", In *Mesoscale Meteorology and Forecasting*, Ray, P., Ed., American Meteorological Society, 516-548

PINHO, U. F., 2003, *Caracterização de Estados de Mar na Bacia de Campos*, Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

POND, S., PICKARD, G. L., 1983, *Introductory Dynamical Oceanography*. 2 ed. Inglaterra, Pergamon Press.

PRICE, J. F. ; WELLER, R. A. ; SCHUDLICH, R. R., 1987, "Wind-driven Ocean Currents and Ekman Transport". In: *Science*, v. 238, pp. 1534-1538.

RAO, S. e MANDAL, S., 2005, "Hindcasting of storm waves using neural networks", In: *Ocean Engineering*, n. 32, pp.667-684.

REBOITA, M. S., 2008, *Ciclones Extratropicais Sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade*, Tese de D.Sc., IAG/USP, São Paulo, SP, Brasil.

REID, J. L., 1989, "On the total geostrophic circulation of the South Atlantic Ocean: Flow patterns, tracers and transports", In: *Progress in Oceanography*, n.23, pp. 149-244.

RODRIGUEZ, G., SOARES, C. G., 1999, "A Criterion for the Automatic Identification of Multimodal Sea Wave Spectra", *Applied Ocean Research*, n. 21, pp. 329-333.

SEIXAS, N. A. B., 1997, *Clima de Ondas na Bacia de Campos: Análise de Dados e proposta de Parametrização*, Tese de D.Sc., Observatório Nacional, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SIGNORINI, S. S., 1978, "On the Circulation and Volume Transport of the Brazil Current between Cape of Sao Tome and Guanabara Bay", In: *Deep-Sea Research*, n. 25, pp. 481-490.

SILVA, F. L. C. , 2008, *Investigações Sobre a Chegada de Ondulações (SWELL) em situações de bom tempo na Bacia de Campos*, Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SILVA, P. M., 1972, *Oceanografia Física*, publicação do Conselho Nacional de Pesquisas do Brasil.

SILVEIRA, I. C. A., 2006, *O Sistema Corrente do Brasil na Bacia de Campos, RJ*, Tese de Livre Docência do Departamento de Oceanografia Física, Química e Geológica da Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

SIMPSON, P. K., 1995, "Neural Networks Theory, Technology and Applications", In: *IEEE – Technology Update Series*. ISBN 0-7803-2564-8.

SOUZA, M. H. S., 1988, *Clima de Ondas ao Norte do Estado do Rio de Janeiro*, Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

STEVENSON, M. R., 1996, "Recirculation of the Brazil Current South of 23°S", In: *International WOCE Newsletter*, n.22, pp. 30-32.

STRAMMA, L., IKEDA, Y., PETERSON, R. G., 1990, "Geostrophic Transport in the Brazil Current north of 20° S", In: *Deep-Sea Research*, n.37, pp. 1875-1886.

STRAMMA, L., ENGLAND, M., 1999, "On the Water Masses and Mean Circulation of the South Atlantic Ocean", In: *Journal of Geophysical Research*, v.104, n.C9, pp. 20863-20883.

TOLMAN, H. L., 2002, User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22. NOAA / NWS / NCEP / OMB technical note 222, 133 pp.

TOMMASI, L. R. , 1994, "Programa de Monitoramento Ambiental Oceânico da Bacia de Campos, Relatório Final", Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas da USP (FUNDESPA).

VIANELLO, R., ALVES, A., 2002, *Meteorologia Básica e Aplicações*, 2 ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa.

WHALEN, R. W. , 1984, *Shore Protection Manual*, 4 ed. Washington, USA, U.S. Government Printing Office.

APÊNDICE A - CARACTERÍSTICAS DOS MEDIDORES DE ONDA

BÓIA WAVERIDER



Specifications

Heave	Range	-20 m - +20 m
	Resolution	1 cm
	Scale accuracy (gain error)	< 0.5% of measured value after calibration < 1.0% of measured value after 3 year
	Period time	1.6 s - 30 s
Direction	Range	0° - 360°
	Resolution	1.5°
	Buoy heading error	0.4° - 2° (depending on latitude) typical 0.5°
	Reference	magnetic north
	Period time (free floating)	1.6 s - 30 s
Standard features	HF transmitter	frequency range 27 MHz - 40 MHz transmission range 50 Km (RX-D receiver)
	Data logger	type 1 Compact Flash Module, size 64 MB - 2 GB
	Flash light	4 LEDs, colour yellow (590 nm), pattern 5 flashes every 20 s
	GPS position	every 30 min, precision 10 m
	Water temperature	range -5 °C - +46 °C, resolution 0.05 °C, accuracy 0.2 °C
Options	Argos	satellite communication
	Orbcomm	satellite communication (available soon)
	GSM	mobile communication (available soon)
General	Hull diameter	0.7 m (excluding fender)
	Material	stainless steel AISI316/Cunifer10
	Weight	approx. 105 Kg
	Batteries	operational life 1 year, 1 section of 20 batteries, type Leclanché 4931670.0 (black)
	Mooring	standard, 30 m of 27 mm rubber cords
	Processing	32 bits
	Temperature range	operating -5 °C - +35 °C storage -5 °C - +40 °C (+ 55 °C short term, weeks only)
	Receiver	RX-D or Warec (older Warecs may need modification)

RADAR MIROS

Motion-compensated Directional Wave and Surface Current Radar

The MIROS WAVE RADAR is a special purpose microwave sensor designed for real time measurements of directional ocean wave spectra and surface current. The system is available in two configurations. Shore mounted or fixed platform (SM-001) and motion compensated (SM-050) for floating platform operation. SM-050 may also display vessel or platform motion. The WAVE RADAR sensor outputs processed directional wave spectra and integrated wave parameters over a digital serial interface. Both types may be supplied with sun radiation shield and/or forced cooling for hot climates and protective dome for arctic or other conditions requiring particular protection.



SM-050

Data Sensor

Waves* Physical Specifications

Height: 0-30 m ± 5% Height: 870 mm

Period: 3-30 s ± 5% Width: 830 mm

Direction: 0-360 deg ± 7 deg Depth: 650/550 mm (with/without cooling unit)

*from directional spectra Weight (including 5 m external cabling):

SOM-050: 88/73 kg (with/without cooling unit)

Surface Current (option) Material: Aluminium – A1 57S

Magnitude: 0-2,5 m/s ± 5 cm/s Finish: Enamelled

Direction: 0-360 deg ± 7 deg Colour: Orange, RAL 2004

Wave Directional Spectra Environmental Specifications

(41 frequencies x 12 directions) Temperature: -15 to +30 °C (to +40 °C with cooling unit)

frequency Humidity: 0-100 %RH

resolution: 0.0078125 Hz Enclosure: Designed to meet IEC IP-65

range: 0-0.3125 Hz Wind rating: <75m/s direction

Electrical Specifications

resolution: 30 deg Frequency of operation: 5.8 GHz

range: 360 deg pulse Bandwidth: 20 MHZ

Antenna beam-width: 24 deg (3 db)

Update interval

Transmitted power: 10 W peak, 275 mW average

15 min Power requirements: 110-240 VAC, 47-400 Hz

Power consumption:

Installation - electronics 150 W

20-100 m above sea level - heater¹ 120/50 W (turn on/steady state)

Sensor base to be horizontal + 1 deg - cooling unit² 200 W (optional)

Clear field of view over min. 180 deg

Radar data port: RS422 ASCII coded, 4800 baud

Radar service port: RS422 ASCII coded, 9600 baud

MRU PORT: RS422 ASCII coded, 4800 baud

LAN PORT (optional): Ethernet 10BaseT

APÊNDICE B - SIGLAS E DEFINIÇÕES

ACAS – Água Central do Atlântico Sul.

ADCP – sigla de perfilador acústico de correntes (Acoustic Dopples Current Profiler). Alguns ADCPs têm capacidade para medir ondas.

ADV – sigla de medidor de corrente acústico (Acoustic Doppler Velocimeters). Alguns ADVs têm capacidade para medir ondas.

AIA – Água Intermediária Antártica.

ARMA – tipo de modelo para previsão de valores em séries temporais de dados, cuja sigla significa Auto Regressive Mean Average.

AVHRR – Average Very High Radar Radiometer. Sensor instalado em satélites que tem, como uma de suas aplicações estimar a temperatura da superfície do mar.

Batimetria – representação do relevo submarino através de curvas de nível de igual profundidade.

Barotrópico – é quando os planos de igual densidade da água ou do ar são superfícies paralelas à superfície da terra, com a densidade apresentando o mesmo valor para a mesma profundidade.

Baroclínico – é quando os planos de igual densidade não são mais paralelos à superfície da terra. Isto acontece pela presença de gradientes de temperatura e salinidade (no caso do mar) que fazem a densidade variar num plano horizontal.

CCI – Contra Corrente Intermediária.

COPAS - Reconstituição dos Campos de Ondas Pretéritos no oceano Atlântico Sul.

COROAS – Circulação Oceânica da Região Oeste do Atlântico Sul. Projeto de pesquisa da USP como contribuição brasileira ao WOCE.

Dir – direção de pico espectral. É a direção média das ondas mais energéticas do espectro de energia das ondas.

DnV – Det Norsk Veritas, Agência Classificadora Norueguesa.

ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.

Estado-de-mar – conjunto de ondas geradas a partir de um mesmo “forçante” ambiental (vento). Em geral classificado como *sea* ou *swell*.

FUNDESPA/USP – Fundação Universidade de São Paulo.

GOES – Geostationary Operational Environmental Satellites.

IEAPM – Instituto de Pesquisas Almirante Paulo Moreira da Silva (Marinha do Brasil).

ISÓBATA – linha de igual profundidade do oceano.

HORA ZULU ou de Greenwich ou HMT: é a hora no meridiano zero (em Greenwich). Este meridiano é considerado como padrão para conversão do tempo numa referência única em trabalhos de escala global. No caso da Bacia de Campos, a hora local é 3 horas mais cedo que em Greenwich, logo para passar de hora local (Bacia de Campos) para zulu temos que somar 3 horas.

Hs – altura significativa de onda, obtida no domínio da freqüência e que corresponde à área embaixo do espectro de energia do mar.

NCEP – National Centers for Environmental Prediction, Órgão pertencente à National Oceanic and Atmospheric Administration dos Estados Unidos.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration.

Plataforma Continental – trecho que comprehende desde a linha de costa até a quebra da plataforma continental, no entorno de 150 m de profundidade. Sua largura varia ao longo da costa, estando próxima de 120 km no litoral do Rio de Janeiro. Apresenta declividade bem suave, em contraste com o talude continental.

Período de retorno – é o tempo médio entre 2 eventos de grande magnitude. Por exemplo, vento com intensidade de 30 m/s tem período de retorno de 100 anos, o que significa que em média temos ventos de magnitude igual ou maior que 30 m/s a cada 100 anos.

Pista – dimensão aproximadamente retilínea sobre a superfície do mar, sobre o qual o vento sopra gerando ondas.

POM – Princeton Ocean Model. Modelo de circulação oceânica tridimensional capaz de reproduzir o campo de correntes tridimensional.

Roll – movimento angular de uma embarcação segundo o seu eixo longitudinal, geralmente ocasionado pela incidência de ondas transversais ao navio.

ROMS - Regional Ocean Modeling System.

Sea – ondulação gerada próximo à sua medição, bastante variável em altura, período e direção.

Swell – ondulação longínqua com características de regularidade de altura, período e direção.

Talude Continental – região compreendida entre a quebra da plataforma continental e o sopé continental, apresenta declividade média de 1:40.

Termoclina – região que apresenta variação brusca da temperatura e salinidade da água na vertical.

Tp – período de pico espectral. É o período das ondas mais energéticas do espectro de energia das ondas.

Vorticidade Ciclônica – movimento circular no sentido horário no hemisfério sul.

WOCE - World Ocean Circulation Experiment.

ZCIT – Zona de Convergência Inter Tropical. Os ventos convergem para esta região situada na linha do equador terrestre.

APÊNDICE C – FLUXOGRAMA DO PROGRAMA SEGUE4MARES

Lê data, horacorrida e os parâmetros espectrais originais (data,horacorr1900,hs1,tp1,dir1,hs2,tp2,dir2,hs3,tp3,dir3)	Lê os dados de planilha EXCEL
Calcula o numero de linhas do arquivo de dados (k)	
Inicializa as séries a,b,c,d, as incubadoras e o lixo como: hsa=hs1;tpa=tp1;dira=dir1 hsb=hs2;.... hsc=hs3;tpc=dir3;dirc=dir3; hsd=tpd=dird=0 hsincuba1e2=hslixo=0;...=dirincuba1e2=dirlixo=0	Faz isso desde i=1 até k
Inicializa variáveis internas do programa freqa=freqb=freqc=freqd=freqincuba1=freqincuba2=0 tserie=30;tbusca=12;nmin=9	os valores podem ser alterados pelo usuario
Plota as series originais hs1,hs2,tp1,tp2,dir1,dir2	Figuras 1, 2 e 3
Estima as tolerâncias de hs, tp e dir em função dos desvios-padrão destes parâmetros para as séries a,b,c e d. Precisa das rotinas <i>desviopadraohs.m</i> ; <i>desviopadraotp.m</i> e <i>desviopadraodir.m</i>	As tolerancias são usadas para ver se um ponto é diferente das series ativas
Pergunta ao usuário quais os “pesos” que se quer dar para Hs, Tp e Dir. Isto permite que se dê maior importância à determinado parâmetro. Faz rangehs = pesohsxdesviopadraohs,	
Início do looping de i=tserie até k	
Procura primeiro valor não-nulo até “tbusca” passos de tempo para comparação com o ponto atual (i) nas series a,b,c,d. Caso não ache zera valores deste ponto (hsxantes,txantes,dirxantes)	“x” pode ser a,b,c ou d. Usa a rotina <i>busca3pontosproximos</i>
Calcula todos os índices de diferença “id” entre os pontos no instante atual das 4 series e os primeiros valores não-nulos. Isto é feito 16 vezes (4x4) para cobrir todas as combinações possíveis. $idxy(i) = (idhsxy(i) + idtpxy(i) + iddirxy(i)) / 3$	xy pode ser qualquer combinação das series a,b,c,d. P.ex: aa,bb,cc, dd, ab, etc
Existem 24 possíveis combinações para “arrumar” os pontos no instante atual i nas series abcd do instante anterior. O programa faz estas combinações (s(1) até s(24)) e escolhe a que tiver menor soma dos valores de id. Por exemplo, se a combinação for bacd (soma s(7)) : $s(7)=idab(i)+idba(i)+idcc(i)+idd(i)$ p(i)=7	A variavel p(i) armazena a combinação que teve a menor soma no instante “i”.
Cria variáveis temporárias p/ salvar parâmetros antes das trocas. hse=hsa(i),tpe=tpa(i),dire=dira(i); hsf=hsb(i),tpf=tpb(i),dirf=dirb(i); hsg=hsc(i),tpg=tpc(i),dirg=dirc(i); hsh=hsd(i),tph=tpd(i),dirh=dird(i);	As variaveis temporarias não são vetores.
Faz a troca dos pontos de uma serie para outra no instante i conforme a combinação “p(i)” de menor id	
Verifica se, mesmo após as trocas, existe algum ponto no instante i com hs, tp ou dir com diferença para o ponto anterior acima das tolerâncias. Caso exista, joga o ponto para a incubadora e zera os valores da serie de onde o ponto saiu no instante i. Hsincuba(i)=hsx(i); hsx(i) =0,	Utilize a rotina <i>verificapontodiferente</i>
Conta as frequencias de ocorrência de valores não-nulos para os últimos “tserie” valores freqa(i),freqb(i),freqc(i),freqd(i),freqincuba(i)	
Se freqincuba(i)>=nmin, pode iniciar uma nova serie. Verifica qual serie está vaga (freqx(i)=0) e faz hsx(i)=hsincuba(i), ... hsincuba(i)=0,	
Fim do looping de i=tserie,k	
Plota as séries temporais de hs, tp e dir (a,b,c e d) após o programa ter efetuado as trocas nos parâmetros dos espectros	Figuras 4, 5 e 6
Salva os parâmetros espectrais das séries a, b, c e d numa planilha	Final do programa

- freqa(i) = frequencia de ocorrência de pontos não-nulos dentro da janela de “tserie” valores.
Da mesma forma freqb(i), freqc(i), freqd(i), freqincuba1(i) e freqincuba2(i)
- nmin = numero mínimo de valores não-nulos em tserie para iniciar uma nova serie
- tbusca = tempo utilizado para procurar o primeiro valor não-nulo nas séries a,b,c,d,incubadora
- tolhs = tolerância para valores sequencias de hs pertencerem à mesma série. Da mesma forma, toltp e toldir
- tserie = tempo para verificação do numero de ocorrências de hs não-nulo