



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-15256-TDI/1341

**APLICAÇÃO DE DADOS DE SENSORES REMOTOS
ORBITAIS NO ESTUDO DA VARIABILIDADE ESPACIAL E
TEMPORAL DA PLUMA DO RIO AMAZONAS NO
PERÍODO DE 2000 A 2004**

Gustavo Souto Fontes Moller

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelos Drs. Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo e Milton Kampel, aprovada em
31 de março de 2008.

O original deste documento está disponível em:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/02.12.12.07>>

INPE
São José dos Campos
2008

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO:

Presidente:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Jefferson Andrade Ancelmo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Simone A. Del-Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Marilúcia Santos Melo Cid - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva e Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Viveca Sant'Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-15256-TDI/1341

**APLICAÇÃO DE DADOS DE SENSORES REMOTOS
ORBITAIS NO ESTUDO DA VARIABILIDADE ESPACIAL E
TEMPORAL DA PLUMA DO RIO AMAZONAS NO
PERÍODO DE 2000 A 2004**

Gustavo Souto Fontes Moller

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelos Drs. Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo e Milton Kampel, aprovada em
31 de março de 2008.

O original deste documento está disponível em:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/02.12.12.07>>

INPE
São José dos Campos
2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M736a Moller, Gustavo Souto Fontes.

Aplicação de dados de sensores remotos orbitais no estudo da variabilidade espacial e temporal da pluma do Rio Amazonas no período de 2000 a 2004/ Gustavo Souto Fontes Moller. – São José dos Campos: INPE, 2008.

155p. ; (INPE-15256-TDI/1341)

1. Rio Amazonas. 2. Plumas de salinidade. 3. Sensoriamento remoto. 4. Variabilidade espacial e temporal.
I. Título.

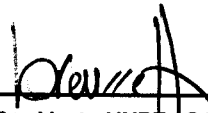
CDU 528.711.7

Copyright © 2008 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, microfilmico, reprográfico ou outros, sem a permissão escrita da Editora, com exceção de qualquer material fornecido especificamente no propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2008 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, microfilming, recording or otherwise, without written permission from the Publisher, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto

Dr. João Antonio Lorenzzetti



Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dra. Evelyn Marcia Leão de Moraes Novo



Orientadora / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Milton Kampel



Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. José Luiz Stech



Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Cláudio Clemente de Faria Barbosa



Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dra. Cristina Maria Bentz



Convidado(a) / PETROBRAS / Rio de Janeiro - RJ

Aluno (a): Gustavo Souto Fontes Moller

São José dos Campos, 31 de Março de 2008

“Não faça aos outros aquilo que não queres que façam contigo.”

Confúcio

A meus pais e a meu irmão.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, pela oportunidade de estudo e utilização de suas instalações.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro de dois anos de bolsa de mestrado.

Aos meus orientadores Prof^a. Dr^a. Evelyn M. L. de M. Novo e Prof. Dr. Milton Kampel, pela confiança, apoio e orientação deste trabalho. Devo agradecer também aos momentos em que se dispuseram a me atender e aconselhar no decorrer da minha formação no curso de Mestrado em Sensoriamento Remoto do INPE.

Aos professores da Pós-Graduação do INPE pelos conhecimentos compartilhados.

Aos coordenadores acadêmicos do curso de Sensoriamento Remoto, aos funcionários da secretaria que sempre me ajudaram.

À turma do ano de 2006 do curso de mestrado, pela amizade e momentos de alegria.

À Mircea que me surpreendeu desde o primeiro momento e continua a me surpreender pelo seu companheirismo, carinho e apoio, independente do bons ou maus humores que apresentei durante a realização deste trabalho.

A meu irmão pelo apoio e amizade incondicional que funcionam 24 horas por dia.

A meus pais por sempre me apoiarem e permitir realizar meus sonhos e ambições.

RESUMO

O Rio Amazonas é um dos mais expressivos rios do planeta no tocante à dimensão da bacia hidrográfica, descarga de água e de sedimentos no Oceano Atlântico. Este grande volume de material orgânico e inorgânico descarregado no oceano tem significativo impacto sobre a dinâmica da região costeira nordeste da América do Sul e do Oceano Atlântico Equatorial. A pluma do Rio Amazonas e, conseqüentemente, o material descarregado estão sujeitos à influência de diversas variáveis ambientais, cujos efeitos se sobrepõem em diferentes escalas temporais e espaciais. Portanto, caracterizar as variabilidades espaço-temporais associadas a estas variáveis é de grande importância para o entendimento da dinâmica da pluma deste rio. O presente estudo tem por objetivo caracterizar a variabilidade espacial (km) e temporal (bi-semanal) da pluma do Rio Amazonas e quantificar a influência das variáveis ambientais sobre esta dinâmica, no período de 2000 a 2004. O mapeamento da pluma foi realizado com base em valores de salinidade sintética, definida a partir de correlações lineares da salinidade *in situ* com o coeficiente de absorção pela matéria orgânica dissolvida colorida e detritos ($a_{dg(443)}$) estimado pelo sensor *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS). A partir das imagens de salinidade sintética foi estabelecida uma metodologia para o mapeamento e extração de métricas da pluma do Rio Amazonas, tais como, área, distância da pluma à foz, direção média, e variância da direção. As variáveis ambientais analisadas foram a vazão na foz do Rio Amazonas, o campo de ventos em superfície estimado pelo escaterômetro QuikSCAT e o campo de correntes oceânicas superficiais estimado pelo modelo *Ocean Surface Current Analysis* (OSCAR). A análise dos espectros de *wavelet* das séries temporais das métricas da pluma e das variáveis ambientais permitiu identificar a presença dos ciclos anual e semestral. Estes espectros, também, permitiram observar a influência de fenômenos de interação oceano-atmosfera como o *El Niño* e *La Niña*. Ventos de NE, predominantes na região de estudo, apresentaram maior intensidade nos meses de dezembro a maio e menor, de junho a novembro. A vazão na foz do Rio Amazonas e o empilhamento/escoamento das águas deste rio causados por variações no campo de ventos, caracterizaram-se como as principais variáveis que influenciam a variabilidade da área e da distância da pluma à foz. A direção média e a variância da direção, por fornecerem informações referentes à forma da pluma, respondem à interação conjunta das variáveis ambientais. A metodologia de mapeamento e extração das métricas da pluma do Rio Amazonas estabelecida neste estudo permitiu, a partir de dados de sensoriamento remoto orbital e técnicas de análise de séries temporais, caracterizar a dinâmica espaço-temporal da forma e da dimensão desta feição.

APPLICATION OF REMOTE SENSING DATA IN THE STUDY OF SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF AMAZON RIVER PLUME, FROM 2000 TO 2004

ABSTRACT

The Amazon River is one of the most important rivers of the planet in relation to basin dimensions, water and sediment discharge into the Atlantic Ocean. The great volume of organic and inorganic material discharged has an important impact on the NE cost of South America and the Equatorial Atlantic Ocean dynamics. The Amazon River plume and, consequently, the discharged material are influenced by diverse environmental variables whose effects occur over different spatial and temporal scales. Hence, it is of great importance for the understanding of the Amazon River plume dynamics the characterization of the space-time variabilities associated with these variables. The present work aims to characterize the spatial (km) and temporal (bi-weekly) variability of the Amazon River plume and to quantify the influence of environmental variables over its dynamics, from 2000 to 2004. The plume was mapped based on synthetic salinity, defined here through linear correlation between the *in situ* salinity and the gelbstoff and detritus absorption coefficient at 443 nm ($a_{dg}[443]$) derived from Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) data. From the synthetic salinity images a methodology was established to map and extract some metrics from the Amazon River plume, such as, its area, distance to the river mouth, mean direction and variance. The environmental variables analyzed were the river discharge, QuikSCAT wind fields and surface ocean currents estimated from the *Ocean Surface Current Analysis* (OSCAR) model. The wavelet power spectrum analysis of the metrics and environmental variables time series yielded evidences of annual and semiannual cycle presence. The influence of ocean-atmosphere phenomena as El Niño and La Niña were also identified. Northeasterly winds dominate in the study area, showing higher intensities from December to May, and lower, from June to November. The Amazon River discharge and the wind filed oscillation are characterized as the main variables driving the plume area and distance to the mouth variability. The mean direction and variance, that provided shape information of the plume, respond to the combined interaction between the environmental variables. The methodology developed to map the Amazon River plume and to extract the proposed metrics in this study, based on remote sensing data and time-series analyses, allowed to characterize the spatial and temporal dynamics of the plume's shape and dimension.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1	27
INTRODUÇÃO	27
1.1 Objetivo Geral	30
1.1.1 Objetivos Específicos	30
CAPÍTULO 2	33
REVISÃO DA LITERATURA	33
2.1 Localização equatorial e clima na área de estudo e na bacia Amazônica	33
2.2 Plataforma Continental Amazônica (PCA)	37
2.3 Variáveis ambientais que influenciam a pluma do Rio Amazonas	39
2.3.1 Energia proveniente das marés	39
2.3.2 Correntes oceânicas	39
2.3.3 Direção e intensidade dos ventos	42
2.3.4 Vazão do Rio Amazonas	43
2.4 Análise wavelets (AW)	44
CAPÍTULO 3	51
MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1 Área de estudo	51
3.2 Modelo de salinidade sintética	53
3.2.1 Amostras de salinidade <i>in situ</i>	53
3.2.2 Imagens do sensor SeaWiFS	54
3.2.3 Correlação linear dos dados	55
3.3 Mapeamento da pluma do Rio Amazonas e extração das métricas da pluma	57
3.3.1 Série temporal de imagens de SRCO	57
3.3.2 Mapeamento da pluma do Rio Amazonas	59
3.3.3 Aquisição das métricas	62
3.3.4 Distância da foz	62
3.3.5 Área	63
3.3.6 Direção média e variância da direção	64
3.4 Processamento das séries temporais das variáveis ambientais	65
3.4.1 Dados de vazão dos rios Amazonas, Xingu e Tapajós	66
3.4.2 Dados de vento superficial (VS)	67
3.4.3 Dados de Corrente Oceânica Superficial (COS)	69
3.5 Análise e correlações das séries temporais	70
3.5.1 Análise por wavelet	72
3.5.2 Análise multi-resolução por wavelet	74
3.5.3 Correlações Cruzadas	75

CAPÍTULO 4	79
RESULTADOS E DISCUSSÕES	79
4.1 Modelo de salinidade sintética	80
4.2 Análise das séries temporais	85
4.2.1 Vazão na Foz do Rio Amazonas	85
4.2.2 Vento superficial (VS)	90
4.2.3 Corrente oceânica superficial (COS)	95
4.2.4 Métricas da pluma do Rio Amazonas	102
Área da pluma do Rio Amazonas	102
Distância da foz do Rio Amazonas	105
Direção média da pluma do Rio Amazonas	108
Variância da direção da pluma do Rio Amazonas	111
Correlações entre as métricas da pluma do Rio Amazonas	114
4.3 Sazonalidade das variáveis hidrológicas, meteorológicas, oceanográficas e as métricas da pluma do Rio Amazonas	114
4.4 Correlações cruzadas	117
4.4.1 Área da pluma do Rio Amazonas	117
4.4.2 Distância da pluma do Rio Amazonas	121
4.4.3 Direção média da pluma do Rio Amazonas	124
4.4.4 Variância da direção da pluma do Rio Amazonas	127
4.5 Correlações cruzadas das séries temporais decompostas por wavelet	130
4.5.1 Área da pluma do Rio Amazonas	131
4.5.2 Distância da pluma do Rio Amazonas	133
4.5.3 Direção Média da pluma do Rio Amazonas	136
4.5.4 Variância da direção da pluma do Rio Amazonas	137
CAPÍTULO 5	141
CONCLUSÕES	141
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147

LISTA DE FIGURAS

1.1 – Área da Bacia Amazônica no território brasileiro.....	28
2.1 – Anomalias de temperatura da superfície do mar, no período de 1997-2997, na região do Niño 3.4 (5° N-5° S, 120°-170° O), tendo como base a climatologia de 1972-2000.....	36
2.2 – Sazonalidade da localização da ITCZ com base na climatologia de 1945-1989 ao longo da longitude de 30° O.....	37
2.3 – (a) Localização e limites da Plataforma Continental Amazônica com base na isóbata de 100 metros (ver texto). (b) Modelo numérico de terreno da PCA em perspectiva com inclinação de 45°.....	38
2.4 – Mapa esquemático demonstrando a distribuição horizontal das principais correntes do Oceano Atlântico Tropical entre as profundidades de 0-100m. (1) Outono e (2) Primavera. A linha vermelha tracejada indica os limites da área de estudo desta dissertação. Corrente Norte Equatorial (CNE), Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE), Domo da Guiné (DG), Corrente Norte do Brasil (CNB), Corrente Sul Equatorial (norte) (n CSE), Corrente Sul Equatorial (central) (c CSE), Corrente Sul Equatorial (sul) (s CSE), Corrente Sul Equatorial (leste) (l CSE), Sub Corrente Equatorial (SCE), Contra Corrente Sul Equatorial (CCSE), Corrente do Brasil (CB), (u) indicação das subcorrentes.....	41
2.5 – Variações das direções dos ventos (acima), das descargas de sedimentos (linha contínua), da vazão do Rio Amazonas (linha tracejada) e da Corrente Norte do Brasil (linha em negrito).....	44
2.6 – Diferenças entre os métodos de análise de sinais por (a) transformada de Fourier e (b) wavelets.....	45
2.7 – Exemplo de um espectro de energia de wavelet. O eixo y está em escala logarítmica. O eixo x está na escala das amostras da série temporal.	48
2.8 – Demonstração do processo de filtragem realizado na análise multi-resolução em 1 nível por wavelet.....	49
2.9 – Exemplo da decomposição de um sinal pela wavelet de Coiflets 2 com 1 nível de decomposição, conforme ilustrado na Figura anterior. A nomenclatura das componentes (à direita do gráfico) geradas pela decomposição é a mesma que a da Figura anterior. Gráfico gerado na ferramenta “wavelets tools” do programa Matlab, versão 7.....	49
3.1 – Mapa de localização da área de estudo (linha vermelha tracejada).....	52
3.2 – Fluxograma da metodologia aplicada na etapa de geração do modelo de salinidade sintética.....	53
3.3 – Localização das 31 estações oceanográficas utilizadas nas correlações lineares com produtos de SRCO.....	56
3.4 – Fluxograma da metodologia aplicada no mapeamento e extração das métricas da pluma do Rio Amazonas.....	57
3.5 – Localização dos rios utilizados para verificar a influência destes no aporte continental na área de estudo.....	60
3.6 – Porcentagem relativa à vazão dos rios no aporte continental total da área de estudo. A legenda Foz do Rio Amazonas refere-se à soma das porcentagens das vazões dos rios Amazonas, Xingu e Tapajós. As	

demais legendas dizem respeito à soma das vazões dos rios por países, com exceção do Rio Orinoco que é o mais significativo rio da Venezuela que está presente na área de estudo.	61
3.7– Mapa ilustrativo do método de aquisição da métrica referente à distância da foz do Rio Amazonas. A linha em amarelo determina o limite da foz do Rio Amazonas utilizado nesta dissertação. A linha em vermelho ilustra a posição do segmento de reta utilizado para extrair a métrica da distância da foz.	63
3.8 – Mapa ilustrativo do método de aquisição das métricas da área, direção média e variância da pluma, referente ao período de 29 de julho a 11 de agosto. O retângulo em vermelho identifica áreas de salinidades acima de 34 psu formadas por anéis resultantes da retroflexão da Corrente Norte do Brasil. No caso deste período, a direção média, a variância da direção e a área foram de 133,75°, 0,62 e $1.326 \times 10^3 \text{ km}^2$, respectivamente.	65
3.9 – Fluxograma da etapa da metodologia onde foram realizados os processamentos das séries temporais das variáveis ambientais.	66
3.10 – Vazões dos rios Amazonas, Xingú e Tapajós e a vazão na foz do Rio Amazonas no período de 2000 a 2004.	67
3.11 – Sinais representativos das direções do vento.	69
3.12 – Localização dos pontos de interesse onde foram extraídas as séries temporais das componentes do vento superficial e da corrente oceânica superficial.	72
3.13 – Fluxograma da técnica de análise por wavelets e análise multi-resolução por wavelet aplicada.	73
3.14 – Demonstração das funções mões Morlet (a) e DOG (b) no domínio do tempo. A linha contínua representa, na figura, a parte real e a linha tracejada a parte imaginária das funções.	74
3.15 - Fluxograma da técnica de correlação cruzada aplicada nesta parte da metodologia.	76
4.1 – Diagrama de dispersão da relação entre o produto adg_443_gsm (x) e a salinidade <i>in situ</i> (y).	84
4.2 – Mapa de salinidade sintética extraído a partir do modelo $\text{SAL} = -126,032 (\text{adg_443_gsm}) + 37,259$ para o período de 22 de agosto a 4 de setembro de 2004.	85
4.3 – (a) Precipitação para no mês abril, que apresentou os valores de máximos de vazão do Rio Amazonas no período de estudo, e o mês anterior a este. (b) Precipitação no mês de novembro, que apresentou os valores mínimos de vazão e o mês anterior a este.	87
4.4 – (a) Série temporal da vazão na foz do Rio Amazonas para o período de estudo. A linha pontilhada grossa indica o valor médio da série temporal. As linhas pontilhadas finas indicam os desvios padrão da série temporal. (b) Espectro de wavelet da série temporal da vazão na foz do Rio Amazonas. As datas dos eixos x estão inseridas em intervalos de 5 semanas.	89
4.5 – Vetores de velocidades (m s^{-1}) do vento nos 3 pontos de interesse (ponto 1, 9° N e 53° O; ponto 2, 7° N e 48° O; ponto 3, 3° N e 47° O) na área de estudo.	90

4.6 – Velocidade e direção do vento referentes aos valores de velocidades (a) máxima, período de 9 a 22 de fevereiro de 2003, e (b) mínima, período de 24 de agosto a 6 de setembro de 2003, da componente perpendicular à costa no ponto 2. A linha tracejada vermelha indica a posição da ITCZ..	93
4.7 – (a) Série temporal da componente perpendicular à costa do vento superficial no ponto 2. A linha pontilhada grossa indica o valor médio da série temporal. As linhas pontilhadas finas indicam os desvios padrão da série temporal. (b) Espectros de wavelet da série temporal do ponto 2. As datas dos eixos x estão inseridas em intervalos de 5 semanas.	94
4.8 - Vetores de velocidades (m s^{-1}) da corrente oceânica superficial nos 3 pontos de interesse (ponto 1, 9° N e 53° O; ponto 2, 7° N e 48° O; ponto 3, 3° N e 47° O) na área de estudo.....	96
4.9 - Velocidade e direção das correntes superficiais oceânicas referentes aos valores de (a) máxima e (b) mínima velocidades na componente paralela à costa dos 3 pontos de interesse (P1, P2 e P3). As imagens apresentadas acima passaram por um processo de interpolação linear a fim de melhorar a qualidade visual.	100
4.10 - Séries temporais da componente paralela à costa da corrente oceânica superficial nos pontos 1 (a), ponto 2 (c) e ponto 3 (e). A linha pontilhada grossa indica o valor médio da série temporal. As linhas pontilhadas finas indicam os desvios padrão das séries temporais. Espectros de wavelet das séries temporais dos pontos: 1 (b), 2 (d) e 3 (f). As datas dos eixos x estão inseridas em intervalos de 5 semanas.....	101
4.11 – Mapas ilustrativos da pluma do Rio Amazonas referentes aos valores de (a) área máxima, período de 13 a 26 de julho de 2003, (b) área média, período de 8 a 21 de abril de 2001 e (c) área mínima, período de 2 a 15 de dezembro de 2001. A linha vermelha tracejada indica a localização de um anel.	103
4.12 – (a) Série temporal da área da pluma do Rio Amazonas. A linha pontilhada grossa indica o valor médio da série temporal. As linhas pontilhadas finas indicam os desvios padrão da série temporal. (b) Espectro de wavelet da série temporal da área da pluma do Rio Amazonas. As datas dos eixos x estão inseridas em intervalos de 5 semanas.	104
4.13 – Mapas ilustrativos da pluma do Rio Amazonas referentes aos valores de (a) distância máxima, período de 22 de abril a 5 de maio de 2001, (b) distância média, período de 23 de fevereiro a 8 de março de 2003 e (c) distância mínima, período de 11 a 24 de março de 2001.	106
4.14 - (a) Série temporal da distância da pluma do Rio Amazonas. A linha vermelha tracejada indica a distância da desembocadura do Rio Amazonas à quebra da Plataforma Continental Amazônica (270 km). A linha pontilhada grossa indica o valor médio da série temporal. As linhas pontilhadas finas indicam os desvios padrão da série temporal. (b) Espectro de wavelet da série temporal da distância da pluma do Rio Amazonas. As datas dos eixos x estão inseridas em intervalos de 5 semanas.	107

4.15 - Pluma do Rio Amazonas referentes aos valores de (a) direção média máxima, período de 21 de setembro a 4 de outubro de 2003, (b) direção média, período de 26 de agosto a 8 de setembro de 2001 e (c) direção média mínima, período de 15 a 28 de junho de 2003. As setas representam os vetores das direções médias de cada data.....	109
4.16 - (a) Série temporal da direção média da pluma do Rio Amazonas. A linha pontilhada grossa indica o valor médio da série temporal. As linhas pontilhadas finas indicam os desvios padrão da série temporal. (b) Espectro de wavelet da série temporal da direção média da pluma do Rio Amazonas. As datas dos eixos x estão inseridas em intervalos de 5 semanas.	110
4.17 – Pluma do Rio Amazonas referentes aos valores de (a) variância da direção máxima (0,81), período de 21 de setembro a 4 de outubro de 2003, (b) variância da direção média (0,54), período de 25 de março a 7 de abril de 2001 e (c) variância da direção mínima (0,18), período de 23 de fevereiro a 8 de março de 2003.	112
4.18 - (a) Série temporal da variância da direção da pluma do Rio Amazonas. A linha pontilhada grossa indica o valor médio da série temporal. A linha pontilhada fina indica o desvio padrão da série temporal. (b) Espectro de wavelet da série temporal da variância da direção da pluma do Rio Amazonas. As datas dos eixos x estão inseridas em intervalos de 5 semanas.	113
4.19 – Comportamento no período de 1 ano das métricas da pluma do Rio Amazonas e das principais variáveis hidrológicas, oceanográficas e meteorológicas presentes na área de estudo.....	116
4.20 – Correlação cruzada entre a métrica da área da pluma do Rio Amazonas e a vazão na foz do Rio Amazonas.	118
4.21 - Mapas de correlações entre a métrica da área da pluma do Rio Amazonas e a componente perpendicular à costa do vento superficial e paralela à costa da corrente oceânica superficial. Cada lag representa um período de 14 dias. A imagem da componente da corrente superficial oceânica passou por um processo de interpolação linear a fim de melhorar a qualidade visual.....	120
4.22 - Correlação cruzada entre a métrica da distância da pluma do Rio Amazonas e a vazão na foz do Rio Amazonas.	121
4.23 - Mapas de correlações entre a métrica da distância da pluma do Rio Amazonas e a componente perpendicular à costa do vento superficial e paralela à costa da corrente oceânica superficial. Cada lag representa um período de 14 dias. A imagem da componente da corrente superficial oceânica passou por um processo de interpolação linear a fim de melhorar a qualidade visual.....	123
4.24 - Correlação cruzada entre a métrica da direção média da pluma do Rio Amazonas e a vazão na foz do Rio Amazonas.	124
4.25 - Mapas de correlações entre a métrica da direção média da pluma do Rio Amazonas e a componente perpendicular à costa do vento superficial e paralela à costa da corrente oceânica superficial. Cada lag representa um	

período de 14 dias. A imagem da componente da corrente superficial oceânica passou por um processo de interpolação linear a fim de melhorar a qualidade visual.....	148
4.26 - Correlação cruzada entre a métrica da variância da direção da pluma do Rio Amazonas e a vazão na foz do Rio Amazonas.	127
4.27 - Mapas de correlações entre a métrica da variância da direção da pluma do Rio Amazonas e a componente perpendicular à costa do vento superficial e paralela à costa da corrente oceânica superficial. Cada lag representa um período de 14 dias. A imagem da componente da corrente superficial oceânica passou por um processo de interpolação linear a fim de melhorar a qualidade visual.....	129
4.28 – (a) Correlação cruzada entre as séries temporais da área da pluma do Rio Amazonas com a vazão na foz do Rio Amazonas. (b) Correlação cruzada entre as séries temporais decompostas da área da pluma do Rio Amazonas com a vazão na foz do Rio Amazonas.....	131
4.29 – Correlação cruzada entre área da pluma do Rio Amazonas com o VS na componente perpendicular à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.	132
4.30 - Correlação cruzada entre área da pluma do Rio Amazonas com a COS na componente perpendicular à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.....	133
4.31 - Correlação cruzada entre a distância da pluma do Rio Amazonas e a vazão na foz do Rio Amazonas (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.	134
4.32 - Correlação cruzada entre a distância da pluma do Rio Amazonas e o VS na componente perpendicular à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.....	134
4.33 - Correlação cruzada entre a distância da pluma do Rio Amazonas e a COS na componente paralela à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.....	135
4.34 - Correlação cruzada entre a direção média da pluma do Rio Amazonas e a vazão na foz do Rio Amazonas (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.	136
4.35 - Correlação cruzada entre a direção média da pluma do Rio Amazonas e o VS na componente perpendicular à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais.	137
4.36 - Correlação cruzada entre a direção média da pluma do Rio Amazonas e a COS na componente paralela à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.....	137
4.37 - Correlação cruzada entre a variância da direção da pluma do Rio Amazonas e a vazão na foz do Rio Amazonas (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.....	138
4.38 - Correlação cruzada entre a variância da direção da pluma do Rio Amazonas e o VS na componente perpendicular à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais.	139

4.39 - Correlação cruzada entre a variância da direção da pluma do Rio Amazonas e a COS na componente paralela à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.....	139
--	-----

LISTA DE TABELAS

3.1 – Rios utilizados no cálculo do aporte continental total e suas respectivas áreas da bacia de drenagem e vazões médias anuais.	59
4.1 – Modelos de salinidade sintética gerados a partir de produtos de SRCO.	80
4.2 – Os p valores (<i>p-value</i>) referentes ao teste-t realizados a fim de identificar se as diferenças entre os coeficientes de determinação (r^2) obtidos a partir dos modelos de salinidade sintética.....	80
4.3 – Matriz de correlação entre os produtos de SRCO.....	81
4.4 – Matriz de correlação, com nível de significância de 95%, entre os 3 pontos de interesse na componente perpendicular à costa do VS.	91
4.5 – Informações relativas à série temporal da componente do vento perpendicular à costa do ponto 2 e as datas de ocorrência das velocidades máxima e mínima.....	91
4.6 - Matriz de correlação, com nível de significância de 95%, entre os 3 pontos de interesse na componente paralela à costa da COS.	96
4.7 - Informações relativas às séries temporais das componentes do vento paralela à costa para os pontos 1, 2 e 3 e as datas de ocorrência das velocidades máxima e mínima.	97
4.8 – Matriz de correlação (r) entre as métricas da pluma do Rio Amazonas.	114

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

adg_443_gsm	coeficiente de absorção pela matéria orgânica dissolvida colorida e detritos, em 443 nm, algoritmo desenvolvido por Maritorena et al. (2002)
adg_443_carder	coeficiente de absorção pela matéria orgânica dissolvida colorida e detritos, em 443 nm, algoritmo desenvolvido por Carder et al. (1997)
ANA	Agência Nacional de Águas
ATF	Análise por Transformada de Fourier
AW	Análise wavelets
CB	Corrente do Brasil
CCNE	Contra Corrente Norte Equatorial
CCSE	Contra Corrente Sul Equatorial
c CSE	Corrente Sul Equatorial (central)
Chl_OC4	Concentração de clorofila <i>a</i> , algoritmo OC4 v.4
CNB	Corrente Norte do Brasil
CNE	Corrente Norte Equatorial
COS	Corrente Oceânica Superficial
CSE	Corrente Sul Equatorial
DG	Domo da Guinea
ENSO	<i>El Niño Southern Oscillation</i>
HiBAm	Projeto Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica
ITCZ	<i>Intertropical Convergence Zone</i>
I CSE	Corrente Sul Equatorial (leste)
K_490	Coeficiente de absorção da água em 490 nm
L	Leste
MDP	Materiais Dissolvidos e Particulados
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
n CSE	Corrente Sul Equatorial (norte)
NE	Nordeste
nLw_555	Radiância emergente da água normalizada em 555 nm
NO	Noroeste
PCA	Plataforma Continental Amazônica
Rrs_670	Reflectância de Sensoriamento Remoto em 670 nm
s CSE	Corrente Sul Equatorial (sul)
SCE	Sub Corrente Equatorial
SD	Séries Temporais Decompostas
SE	Sudeste
SeaWiFS	<i>Sea-viewing Wide Field Sensor</i>
SRCO	Sensoriamento Remoto da Cor do Oceano
SND	Séries Temporais Não Decompostas
SOI	<i>Southern Oscillation Index</i>
TSM	Sedimento Total em Suspensão (<i>total suspended matter</i> , em inglês)
U	indicação das Subcorrentes
VS	Vento Superficial

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Os rios são importantes componentes de integração do ambiente continental ao oceânico, dentre os quais destacam-se os grandes rios, visto que aproximadamente 40% da água doce que chega ao oceano é transportada pelos 10 maiores rios do planeta. Os impactos destes grandes rios são importantes em escalas regional, continental e global (DAGG et al., 2004).

Neste contexto, o Rio Amazonas, localizado na Região Norte do Brasil (Figura 1.1), apresenta-se como um dos mais expressivos do planeta em relação às seguintes características: (i) descarga de água ($630 \times 10^{10} \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$), o que corresponde a, cerca de, 16% do total de água doce descarregada nos oceanos; (ii) descarga de sedimentos ($115 \times 10^7 \text{ ton ano}^{-1}$) constituídos por cerca de 90% de silte a argila; e (iii) dimensões da bacia de drenagem ($6,1 \times 10^6 \text{ km}^2$) (DAGG et al., 2004; MILLIMAN e MEADE, 1983; MULLER-KARGER et al., 1988; WRIGHT e NITTROUER, 1995).

A descarga de água doce do Rio Amazonas é tão volumosa e constante que a água salgada marinha, segundo estudos realizados até o momento, não penetra na sua foz, fazendo com que os processos estuarinos ocorram na plataforma continental adjacente. A pluma de salinidade, $<34 \text{ psu}$ (LENTZ, 1995b), deste rio alcança distâncias, em relação à foz, que variam entre 100 e 500 km mar à dentro (GEYER et al., 1996; LENTZ e LIMEBURNER, 1995).

O grande volume de material orgânico e inorgânico descarregado pelo Rio Amazonas tem enorme influência na região costeira nordeste da América do Sul (Costa Norte do Brasil até o Caribe) e Oceano Atlântico Equatorial no que concerne aos seguintes aspectos: (i) morfologia costeira (erosão e deposição) (ALLISON et al., 2000; FROIDEFOND et al., 2004; GEYER et al., 1996; KINEKE et al., 1996; NITTROUER e DEMASTER, 1996); (ii) ecologia marinha

(*bloom* fitoplanctônico, produtividade primária) (DEMASTER e POPE, 1996; DEMASTER et al., 1996; GEYER e KINEKE, 1995; LENTZ e LIMEBURNER, 1995; SMITH e DEMASTER, 1996); (iii) propriedades biogeoquímicas da água (depósito de carbono¹ e aporte de nutrientes) (RICHEY et al., 1990; SMITH e DEMASTER, 1996; TERNON et al., 2000), (iv) propriedades ópticas (propriedades ópticas inerentes e bio-ópticas) (FROIDEFOND et al., 2002; HU et al., 2004; MULLER-KARGER et al., 1988; VECCHIO e SUBRAMANIAM, 2004), e (v) interações oceano-atmosfera (formação de anéis e furacões) (FFIELD, 2007; FRATANTONI e GLICKSON, 2002).

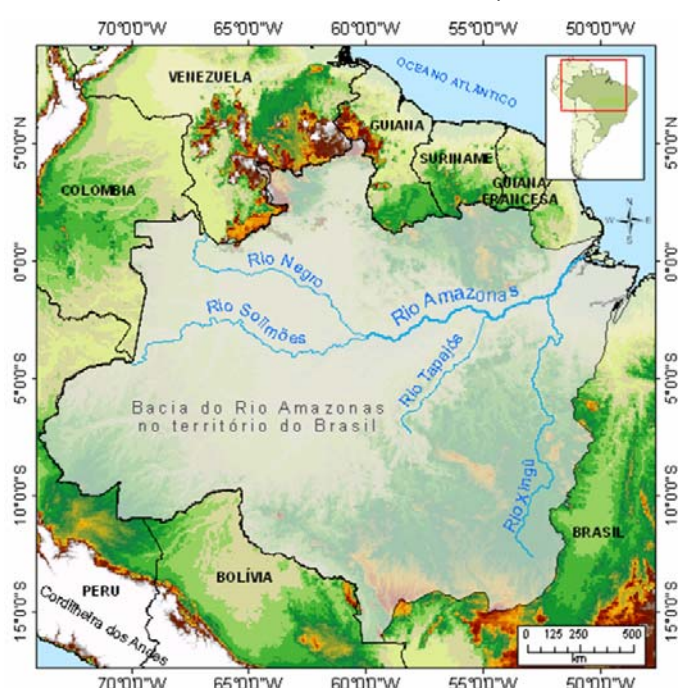


Figura 1.1 – Área da Bacia Amazônica no território brasileiro.

Fonte: Agência Nacional de Águas (www.ana.gov.br), 2008.

A alta variabilidade espacial e temporal da pluma do Rio Amazonas e, conseqüentemente, do material orgânico e inorgânico descarregado, é o resultado da influência de diversas variáveis ambientais que se sobrepõem e

¹ Esta característica confere a pluma do Rio Amazonas importante destaque, pois tem grande participação no equilíbrio climático global SCHIMMEL, D. S. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. 1995. **Global Change Biology**, v. 1, n. 1, p. 77–91.

atuam em diferentes escalas espaciais e temporais, como por exemplo: as correntes oceânicas, as marés, os ventos e as variações sazonais na vazão deste rio². Além destes fatores, pode-se citar, também, a localização latitudinal da foz do rio, o que atenua a ação da força de Coriolis sobre a dispersão da pluma e, também, intensifica os ventos alísios e as amplitudes de maré (GEYER et al., 1996; GEYER e KINEKE, 1995; HU et al., 2004; LENTZ, 1995a; NITTROUER e DEMASTER, 1996).

No entanto, os diversos processos que influenciam a pluma do Rio Amazonas apresentam grande variabilidade temporal (de dias até anos) e espacial (escalas global, regional e local), o que dificulta estabelecer a relação destes com a dinâmica da pluma conforme apontado por Geyer e Beardsley (1995) ao comentarem os resultados do projeto *Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study* (AMASSEDs) e por outros autores que realizaram estudos nesta região (DEMASTER et al., 1996; HU et al., 2004; MULLER-KARGER et al., 1988).

Portanto, identificar em que escalas espaciais e temporais ocorrem as influências das variáveis oceanográficas, meteorológicas e hidrológicas na pluma de salinidade do Rio Amazonas é de grande importância para o entendimento dos processos geomorfológicos, físicos, químicos e biológicos que ocorrem na região costeira nordeste da América do Sul e no Oceano Atlântico Equatorial (DEMASTER et al., 1996; GEYER e BEARDSLEY, 1995; GEYER et al., 1996).

Os estudos anteriormente realizados desta feição utilizam-se de imagens de satélites, apenas, para verificar qualitativamente a variabilidade da pluma ou para validar modelos matemáticos desta feição gerados a partir de dados *in situ* (HU et al., 2004; NIKIEMA et al., 2007; VECCHIO e SUBRAMANIAM, 2004). Portanto, estudos que quantifiquem a variabilidade temporal e espacial da pluma de salinidade do Rio Amazonas não foram realizados até o presente momento.

² Estes processos serão comentados com maiores detalhes na Revisão da Literatura.

Isto porque a grande dimensão e a dinâmica da pluma compõem significativos obstáculos no monitoramento e aquisição de dados *in situ*. Neste sentido, o sensoriamento remoto da cor do oceano (SRCO) constitui uma importante ferramenta de aquisição de dados de modo sinóptico, econômico, rápido e com alta frequência de recobrimento para o monitoramento da pluma do Rio Amazonas (CHEN et al., 1991; CURRAN e NOVO, 1988; HU et al., 2004).

Nesta linha, diversos estudos demonstram que os materiais orgânicos e inorgânicos em suspensão na água provocam significativas feições espectrais em corpos de água caracterizados por grandes concentrações destes componentes na água (como em águas costeiras, rios, pluma de rios, lagos e reservatórios, por exemplo) (CHEN et al., 1992; CURRAN e NOVO, 1988; PRIEUR e SATHYENDRANATH, 1981; THOMAS e WEATHERBEE, 2006; WARRICK et al., 2004).

Com base nas considerações apresentadas anteriormente, verificou-se, nesta dissertação, a hipótese de que é possível estabelecer relação, por meio da utilização de técnicas de análise de séries temporais, entre a variabilidade espacial e temporal da pluma do Rio Amazonas e variáveis ambientais, sendo estas adquiridas a partir da integração de dados *in situ* e de sensoriamento remoto orbital.

1.1 Objetivo Geral

Caracterizar, no período de 2000 a 2004, a variabilidade espacial (km) e temporal (bi-semanal) da pluma de salinidade (<34 psu) do Rio Amazonas e quantificar a influência das variáveis oceânicas, meteorológicas e hidrológicas nesta dinâmica.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Determinar o produto de sensoriamento remoto da cor do oceano mais adequado para mapear a pluma de salinidade (<34 psu) do Rio Amazonas;

- Mapear, desenvolver e extrair as métricas (área, distância da foz, direção média e variância da direção) da pluma do Rio Amazonas;
- Analisar a variabilidade das séries temporais das métricas da pluma do Rio Amazonas e das variáveis ambientais: (i) vazão na foz do Rio Amazonas, (ii) componentes do vento superficial e (iii) componentes da corrente oceânica superficial;
- Quantificar a influência da vazão na foz do Rio Amazonas, das componentes do vento superficial e da corrente oceânica superficial na variabilidade das métricas da pluma do Rio Amazonas, e
- Identificar as regiões na área de estudo onde as componentes do vento superficial e da corrente oceânica superficial apresentam maior influência nas métricas da pluma do Rio Amazonas.

CAPÍTULO 2

Revisão da Literatura

Nesta seção do texto serão abordados quatro tópicos fundamentais para o presente projeto.

No primeiro tópico (2.1), são caracterizadas as influências do clima e da localização latitudinal na área de estudo e na bacia de Amazônica.

No segundo tópico (2.2), são apresentadas as principais características da Plataforma Continental Amazônica (PCA), local onde o Rio Amazonas desemboca.

No terceiro tópico (2.3) são descritas as principais variáveis ambientais que, segundo a literatura, apresentam significativa influência na dinâmica da pluma do Rio Amazonas.

No quarto tópico (2.4) é apresentada a da técnica de análise de séries temporais por wavelets (ou ondeletas) que será utilizada para caracterizar a variabilidade temporal das métricas extraídas da pluma do Rio Amazonas.

2.1 Localização equatorial e clima na área de estudo e na bacia Amazônica

A localização equatorial da foz do Rio Amazonas faz com que a influência dinâmica da Força de Coriolis na pluma deste rio seja atenuada, diferentemente do que ocorre em rios de altas latitudes (GEYER et al., 1996). Por outro lado, processos físicos atuantes nesta região são intensificados como, por exemplo, os ventos alísios e as amplitudes de marés (NITTROUER e DEMASTER, 1996).

Em relação à bacia Amazônica, a sua localização equatorial faz com que esta apresente características de um clima quente e úmido (FISCH et al., 1996). A grande área da bacia Amazônica e a sua localização fazem com que esta esteja sujeita a elevados valores de temperaturas do ar e precipitação.

O período de chuvas ou de forte convecção na região Amazônica é compreendido de Novembro a Março, sendo que o período de seca, com pequena atividade convectiva, ocorre entre os meses de Maio e Setembro. Os meses de Abril a Outubro são caracterizados como meses de transição entre um regime e outro (FISCH et al., 1996).

A região Amazônica possui uma precipitação média de aproximadamente 2300 mm ano⁻¹, embora tenham regiões, na fronteira entre Brasil e Colômbia e Venezuela, em que o total anual atinge 3500 mm. Nestas regiões não existe período de seca.

Estes valores de precipitação elevada próximo à Cordilheira dos Andes devem-se à ascensão orográfica da umidade transportada pelos ventos alísios de leste da Zona de Convergência Intertropical ou *Intertropical Convergence Zone* (ITCZ). Na região costeira (litoral do Pará ao Amapá), a precipitação também é alta e sem período de seca definido, devido a influência das linhas de instabilidade que se formam ao longo da costa litorânea, durante o período da tarde, forçadas pela brisa marítima (FISCH et al., 1996).

Devido a estas características as variações anuais nas descargas do Rio Amazonas são relativamente pequenas, excluindo-se os anos em que ocorrem grandes oscilações nos índices *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) e *Southern Oscillation Index* (SOI)³ (FISCH et al., 1996; FOLEY et al., 2002; LABAT et al., 2005)

³ Os efeitos do ENSO e do SOI na descarga do Rio Amazonas são comentados no item 2.3.4.

Os efeitos do evento ENOS na hidrologia da Amazônia são apresentados em uma série de estudos (FISCH et al., 1996; FOLEY et al., 2002; LABAT et al., 2005). Foley et al. 2002 comentam que em períodos de *El Niño* ocorre uma tendência à diminuição de chuva na Amazônia do Norte. Em consequência disto, estes autores descrevem que em períodos de *El Niño* ocorre uma significativa mudança na vazão da bacia Amazônica. Nos casos dos anos de *La Niña* ocorrem os efeitos opostos, e são identificados aumentos na precipitação e, conseqüentemente, nas vazões dos rios da bacia Amazônica. Esta influência nos períodos de chuva na bacia Amazônica também está relacionada ao comportamento da ITCZ. Diversos trabalhos demonstram que esta tende a se localizar mais ao norte em anos de *El Niño* alterando, conseqüentemente, o regime e localização das chuvas na bacia Amazônica (FOLEY et al., 2002; HASTENRATH, 2006). Os anos de ocorrência de *El Niño* e *La Niña*, no período de 1997 a 2007, são apresentados na Figura 2.1.

Conforme comentado acima, outro importante sistema atuando na região da Bacia Amazônica é a ITCZ. Este é um dos mais importantes sistemas meteorológicos atuando nos trópicos (FISCH et al., 1996; NOBRE e SHUKLA, 1996; WALISER e GAUTIER, 1993). Devido à sua estrutura física, a ITCZ tem se mostrado decisiva na caracterização das diferentes condições de tempo e de clima em diversas áreas da região tropical (FISCH et al., 1996).

A ITCZ possui um deslocamento norte-sul ao longo do ano, alcançando sua posição mais ao norte (8° - 10° N) durante o verão do Hemisfério Norte, e a sua posição mais ao sul (1° N) durante o mês de abril Figura 2.2. Além dessa oscilação anual, a ITCZ apresenta oscilações com maiores freqüências, com o período variando de semanas a dias.

A influência da ITCZ no tempo e no clima das áreas tropicais faz com que esta esteja envolvida na manutenção do balanço térmico global (FISCH et al., 1996; FU et al., 2001; NOBRE e SHUKLA, 1996). Na escala planetária, a ITCZ está localizada no ramo ascendente da célula de Hadley, atuando no sentido de

transferir calor e umidade dos níveis inferiores da atmosfera das regiões tropicais para os níveis superiores da troposfera e para as médias e altas latitudes (FISCH et al., 1996).

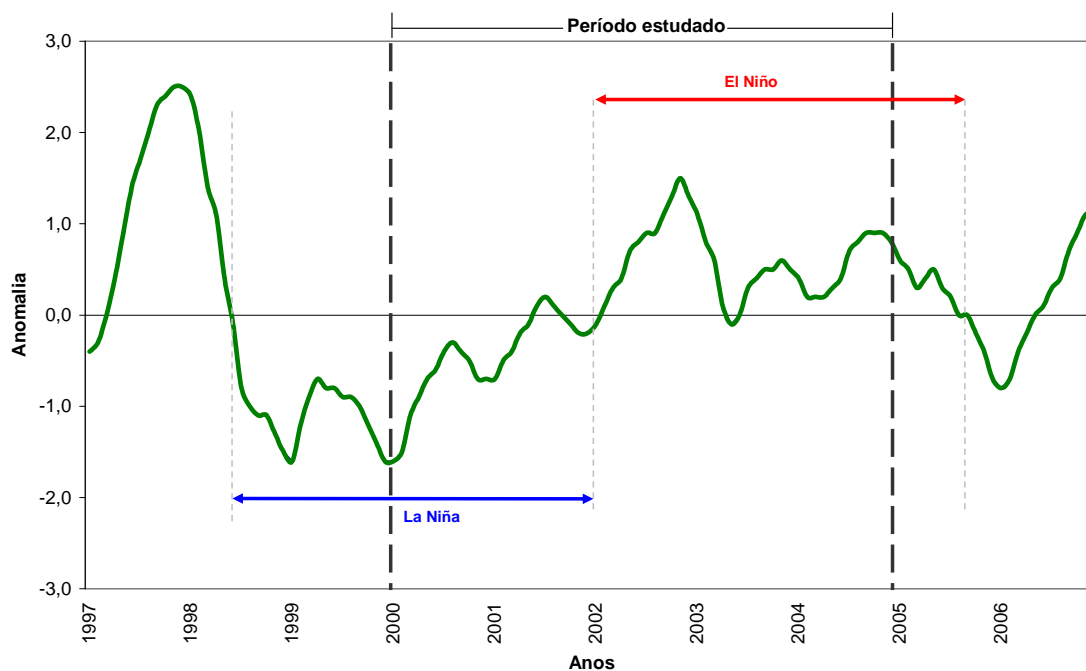


Figura 2.1 – Anomalias de temperatura da superfície do mar, no período de 1997-2006, na região do Niño 3.4 (5° N- 5° S, 120° - 170° O), tendo como base a climatologia de 1972-2000.

Fonte: *Climate Prediction Center* –
(http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml), 2007.

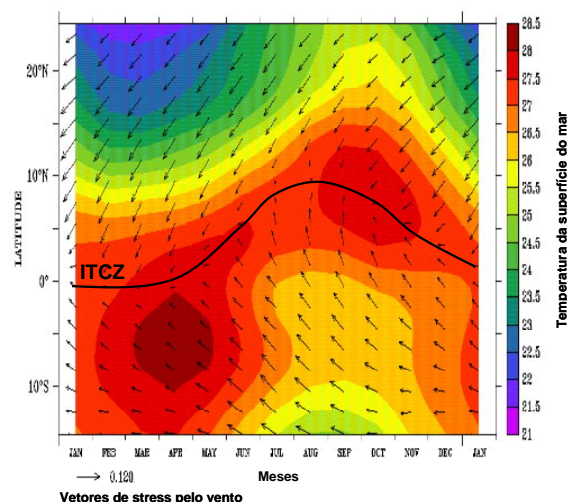


Figura 2.2 – Sazonalidade da localização da ITCZ com base na climatologia de 1945-1989 ao longo da longitude de 30° O.
Fonte: Adaptado de (DA SILVA et al., 1995).

2.2 Plataforma Continental Amazônica (PCA)

A PCA é uma feição que se destaca na plataforma continental brasileira. É nesta plataforma que as águas do Rio Amazonas deságuam e a maior parte dos sedimentos descarregados é depositada. Na PCA ocorre a influência de diversas variáveis ambientais cujas principais características serão descritas a seguir (item 2.3).

A PCA está situada entre o Cabo Orange (4°N) e o Turiaçu (2°S), sendo cortada, portanto, pela linha do equador (Figura 2.3). A largura desta plataforma varia consideravelmente por toda a sua extensão. Perto de Turiaçu, a plataforma possui uma largura de 170 km e aumenta conforme se aproxima da foz do Rio Amazonas onde alcança a largura de 320 km onde se localiza um extenso delta submarino. Após a foz esta plataforma diminui continuamente chegando a uma largura de 125 km no Cabo Orange (CASTRO e MIRANDA, 1998). A profundidade da quebra de plataforma varia ao longo da costa entre as isóbatas de 75 e 115m (NETO e SILVA, 2004).

O extenso delta submarino formado a noroeste da desembocadura do Rio Amazonas mostra a forte influência de sedimentação fluvial que é

constantemente retrabalhada pela ação das correntes de maré, aporte fluvial e corrente oceânica (NETO e SILVA, 2004). Nesta extensão da plataforma são identificados bancos arenosos formados a partir da ação das correntes de maré.

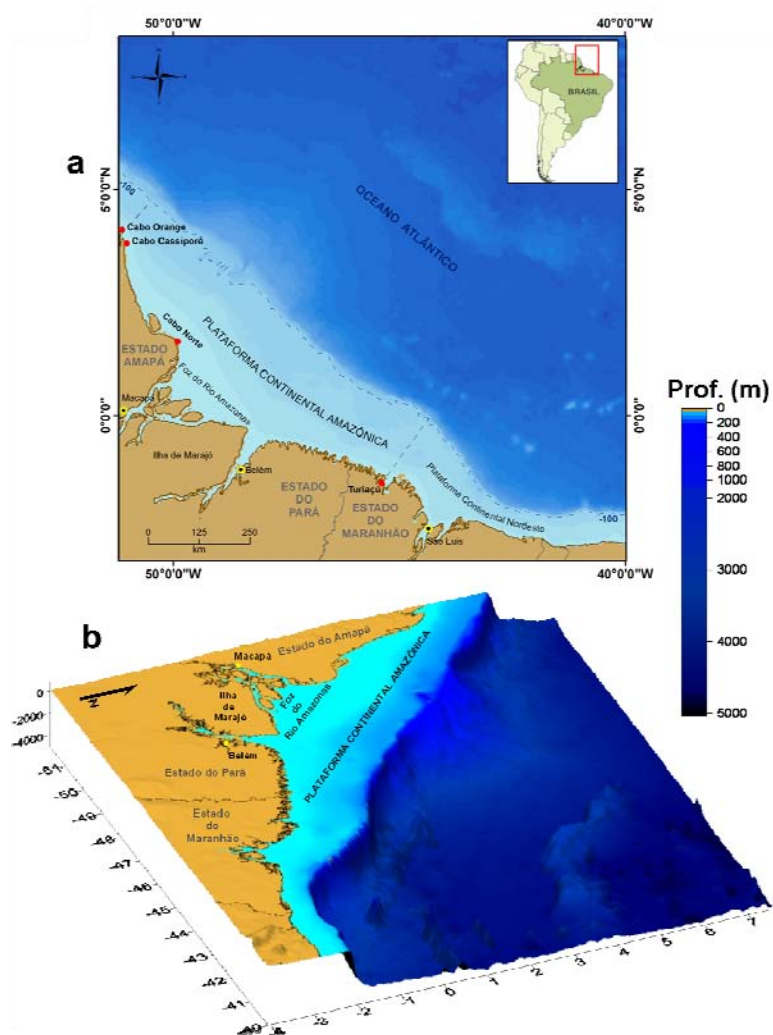


Figura 2.3 – (a) Localização e limites da Plataforma Continental Amazônica com base na isóbata de 100 metros (ver texto). (b) Modelo numérico de terreno da PCA em perspectiva com inclinação de 45°. Fonte: ETOPO 2 - *National Geophysical Data Center* – (<http://www.ngdc.noaa.gov>), 2007.

2.3 Variáveis ambientais que influenciam a pluma do Rio Amazonas

2.3.1 Energia proveniente das marés

Na região costeira adjacente à foz do Rio Amazonas a maré atinge amplitudes variadas, chegando a mais de 3 metros entre o Cabo Cassiporé e o Cabo Norte e a mais de 1,5 metros na foz do Rio Amazonas (Figura 2.4) (BEARDSLEY et al., 1995).

Segundo Beardsley *et al.* (1995), na PCA foram identificadas linhas de fase constante de 30° contornando a costa, o que corresponde a intervalos de 1 hora. Estes dados indicam que a maré demora cerca de 5 horas para se propagar desde a quebra da plataforma até à foz do Rio Amazonas. Tal característica faz com que em um mesmo instante de tempo a pluma do Rio Amazonas esteja sob a influência de diferentes amplitudes de marés ao longo da PCA (BEARDSLEY et al., 1995).

Ainda sobre o efeito da maré na pluma, Geyer (1995) e Kineke *et al.* (1996), comentam que as fortes correntes geradas pelas ondas de maré fazem com que ocorra um grande deslocamento de sua zona frontal (mais que 20 km). A zona frontal é caracterizada como um local de interface, principalmente vertical, onde massas de água de diferentes densidades convergem, se separam ou se movem lateralmente.

As fortes correntes geradas pelas ondas de maré são, portanto, uma das grandes fontes de energia de mistura de massas de água (salinidade e temperatura), principalmente na coluna de água, e no transporte de sedimentos (re-suspensão) na PCA (GEYER, 1995; KINEKE et al., 1996).

2.3.2 Correntes oceânicas

A principal corrente oceânica que atua na PCA e, conseqüentemente, no transporte dos materiais descarregados pelo Rio Amazonas para a direção noroeste (NO) é a Corrente Norte do Brasil (CNB) (GEYER et al., 1996). A

formação desta corrente se dá, geralmente, próxima a latitude 10° S onde ocorre a bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE) (Figura 2.4) (JOHNS et al., 1998; STRAMMA e SCHOTT, 1999).

Ao norte do equador, na latitude aproximada de 5° N, o fluxo de água da CNB alimenta os seguintes sistemas de correntes: Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE) de junho a janeiro e a das Guianas de fevereiro a maio. Esta última corrente é a responsável por carregar os materiais descarregados pelo Rio Amazonas até a região do Caribe (GEYER et al., 1996; JOHNS et al., 1998).

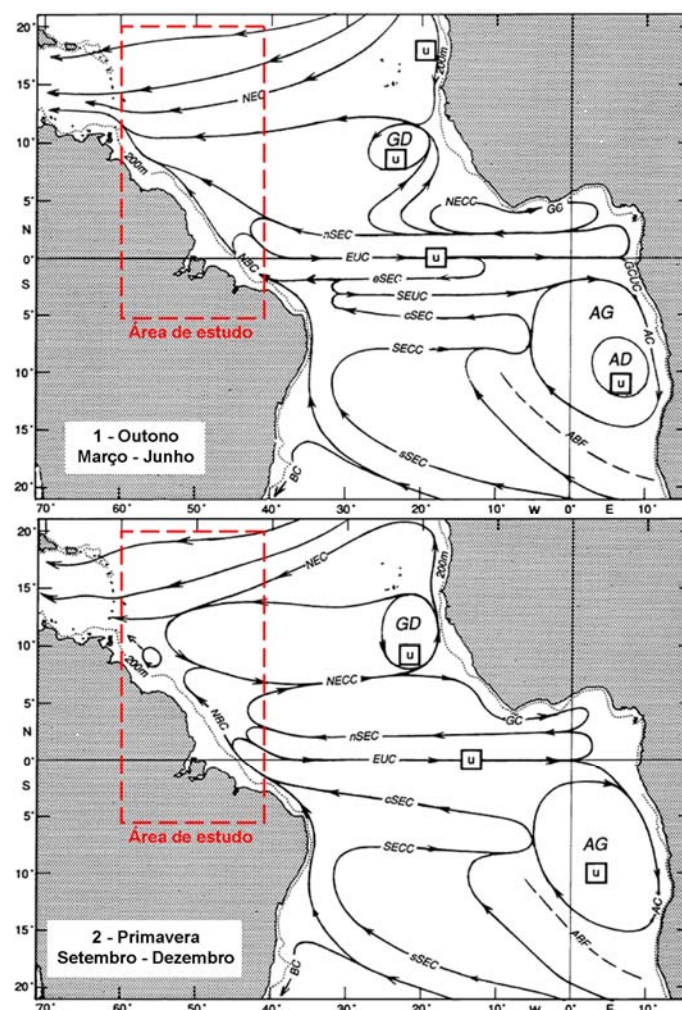


Figura 2.4 – Mapa esquemático demonstrando a distribuição horizontal das principais correntes do Oceano Atlântico Tropical entre as profundidades de 0-100m. (1) Outono e (2) Primavera. A linha vermelha tracejada indica os limites da área de estudo desta dissertação. Corrente Norte Equatorial (CNE), Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE), Domo da Guiné (DG), Corrente Norte do Brasil (CNB), Corrente Sul Equatorial (norte) (n CSE), Corrente Sul Equatorial (central) (c CSE), Corrente Sul Equatorial (sul) (s CSE), Corrente Sul Equatorial (leste) (l CSE), Sub Corrente Equatorial (SCE), Contra Corrente Sul Equatorial (CCSE), Corrente do Brasil (CB), (u) indicação das subcorrentes.

Fonte: Adaptado de Stramma e Schott (1999).

A CNB apresenta uma grande variabilidade sazonal (Figura 2.4), com um máximo de transporte na primavera, quando esta apresenta largas extensas e alcança grandes profundidades, e mínimo no outono, quando se caracteriza

como um fluxo raso e costeiro fazendo com que a maior parte do transporte ocorra na plataforma continental brasileira (JOHNS et al., 1998).

No período de intensificação da CNB ocorre a retroflexão desta corrente que é o segmento responsável por alimentar a CCNE (JOHNS et al., 1998; STRAMMA et al., 2005; STRAMMA e SCHOTT, 1999). A formação dos anéis se dá na fase final da retroflexão da CNB e ao longo do ano ocorrem em média 6 anéis, principalmente, no período de outubro a fevereiro (FFIELD, 2005; FRATANTONI e GLICKSON, 2002; GONI e JOHNS, 2001.).

O ciclo sazonal das correntes superficiais na área de estudo é um reflexo de um ajustamento dinâmico à variabilidade do campo de vento no Atlântico Tropical. Esta variabilidade tem grande influência da sazonalidade do deslocamento latitudinal da ITCZ (JOHNS et al., 1998; STRAMMA e SCHOTT, 1999).

2.3.3 Direção e intensidade dos ventos

A pluma do Rio Amazonas, conforme comentado no item anterior, flui preferencialmente para a direção NO devido à influência da CNB. Entretanto, estudos realizados *in situ* mostram que variações na intensidade e direção dos ventos na PCA são uma das principais forçantes que influenciam a forma da pluma, sua velocidade e a direção de transporte dos materiais descarregados pelo Rio Amazonas (LENTZ, 1995a, 1995b).

Os ventos dominantes nesta região são dos quadrantes sudeste (SE) e nordeste (NE) (Figura 2.5) e a variação destes está diretamente relacionada com o deslocamento da ITCZ (BAPTISTA, 2003; LENTZ, 1995a).

Lentz (1995a) verificou que em casos de permanência (dias até semanas) de ventos do quadrante NE na PCA, a pluma tende a se expandir em direção ao mar, chegando a distâncias de até 500 km da costa. Nestas situações, estes ventos impedem ou bloqueiam o transporte da pluma para NO causando um

empilhamento do material dissolvido e particulado próximo à foz do Rio Amazonas.

Quando o vento dominante é da direção SE ocorre um aumento do escoamento do material descarregado pelo Rio Amazonas para NO e um encurtamento da pluma em relação à costa (GEYER et al., 1996).

2.3.4 Vazão do Rio Amazonas

A descarga de água e de materiais dissolvidos e particulados (MDP) do Rio Amazonas estão entre as maiores do planeta. Esta característica se deve ao fato de que o Rio Amazonas está inserido na maior bacia hidrográfica do planeta com, aproximadamente, $6.110 \cdot 10^3 \text{ km}^2$, conforme a Agência Nacional de Águas (ANA) (<http://www.ana.gov.br>). Devido à grande área da bacia, a variabilidade interanual da descarga de água e de MDP é pequena. Entretanto, a variabilidade sazonal é grande (Figura 2.5).

Conforme dados obtidos do projeto Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica (HiBAm) (<http://www.ana.gov.br/hibam/>) a vazão média de água do Rio Amazonas na estação de Óbidos ($1,56^\circ \text{ S} - 55,50^\circ \text{ O}$) para o período de fevereiro de 1968 à outubro de 2006 é de $172.649 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Para este mesmo período foram, também, calculados os valores de máxima e mínima vazão, sendo estes $278.700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (29/5/2006) e $72.440 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (9/11/1997), respectivamente.

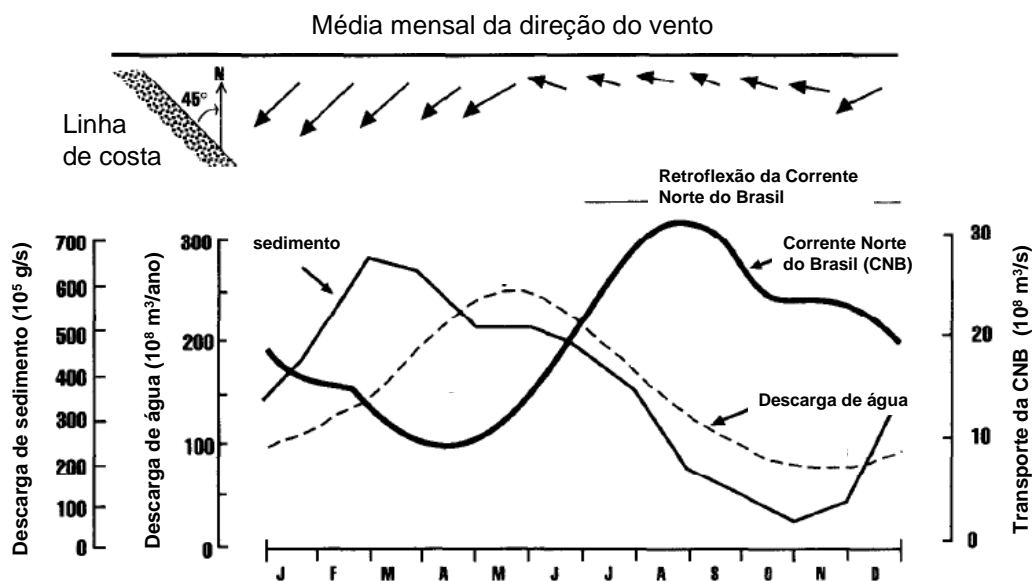


Figura 2.5 – Variações das direções dos ventos (acima), das descargas de sedimentos (linha contínua), da vazão do Rio Amazonas (linha tracejada) e da Corrente Norte do Brasil (linha em negro).
Fonte: Adaptado de Nittrouer e DeMaster (1996).

Devido à grande bacia de drenagem e à grande vazão do Rio Amazonas, eventos de escalas local e regional como a alta precipitação ou longos períodos de estiagem não são suficientes para resultar em significativas mudanças na vazão média mensal deste rio (John D. Milliman, comunicação pessoal, 2007). Entretanto, estudos recentes utilizando a técnica *wavelets* para a análise de séries temporais (*wavelet analysis*) têm demonstrado a influência de eventos de escala global como o SOI e ENSO na vazão deste rio (LABAT et al., 2005). Estes estudos demonstram que existe uma significativa correlação entre as variações a cada 2, 4, 7 e 20 anos na vazão do Rio Amazonas e o fenômeno SOI. Para o fenômeno do ENSO as correlações são maiores para períodos de 3 a 6 anos.

2.4 Análise wavelets (AW)

O aspecto fundamental na aplicação do método de (AW) ou ondeletas é a possibilidade de analisar sinais ou séries temporais em diferentes componentes de frequências e escalas (GRAPS, 1995). Estas são as principais diferenças

em relação ao método de análise por transformada de Fourier (ATF) (Figura 2.6), bastante conhecido na área de processamento digital de imagens e sinais. Isto ocorre porque a ATF se utiliza apenas das funções seno e co-seno, o que pode obscurecer informações contidas em dados descontínuos e que apresentam picos irregulares de grande magnitude (GRAPS, 1995; LABAT, 2005). A ATF fornece, apenas, informações das freqüências presentes no sinal, e não quando elas ocorrem (VALENS, 1999).

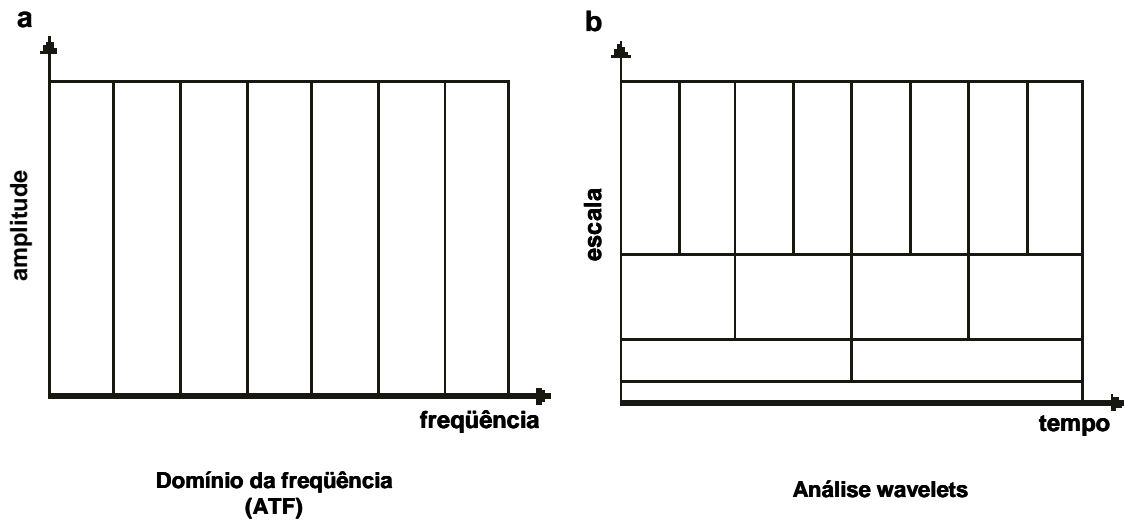


Figura 2.6 – Diferenças entre os métodos de análise de sinais por (a) transformada de Fourier e (b) wavelets.

No caso das AW, uma função mãe ou *mother function*, que pode ser de várias formas, é rotacionada, dilatada e comprimida em diversas escalas (Equações 1 e 2). As funções filhas ou *doughter functions* vão varrer o sinal em “janelas”, todas com diferentes resoluções (análise em multi-resoluções), o que resulta em uma coleção de representações no tempo e freqüência do sinal (Figura 2.6). Estas representações fornecerão a informação da data de ocorrência das diferentes freqüências (VALENS, 1999).

$$\mathfrak{W}_f^\psi(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(u) \bar{\psi}_{a,b}(u) du \quad a > 0 \quad , \quad (1)$$

em que,

$$\psi_{a,b}(u) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left(\frac{u-b}{a} \right) \dots\dots\dots ..(2)$$

O parâmetro a se refere a escala, b é um parâmetro de translação ou localização da função wavelet mãe e $\overline{\psi}_{a,b}(u)$ é o complexo conjugado de $\psi_{a,b}(u)$. A variação do parâmetro a tem o efeito de dilatação (quando $a > 1$) e de contração (quando $a < 1$) da função wavelet mãe. Com isto, podem-se analisar respectivamente os aspectos de longo ou curto período na série. À medida que b varia, a função f é analisada localmente em torno desse ponto (DOMINGUES et al., 2003).

Por este motivo, a análise por wavelets é o método mais indicado para estudar eventos com altas frequências localizadas ou para eventos com grande variabilidade temporal no campo da frequência (não periódicos) (LABAT, 2005). Esta capacidade de análise dos dados tanto no tempo quanto na frequência permite identificar a evolução, variabilidade e periodicidade de processos em diferentes escalas temporais (GRAPS, 1995; LABAT, 2005; TORRENCE e COMPO, 1998).

Entretanto, existem diversos tipos de funções mães que podem ser utilizadas em AW. Uma das grandes questões neste tipo de análise é a determinação da “melhor” função mãe a ser adotada com um tipo particular de sinal ou série temporal (ARGOUD et al., 2004).

A capacidade de a AW em representar ou decompor um determinado sinal tem uma dependência crucial da função wavelet utilizada. A escolha da função vai determinar a forma como os resultados obtidos devem ser analisados (ARGOUD et al., 2004; TORRENCE e COMPO, 1998).

Devem ser levados em conta diversos fatores ao se escolher uma função wavelet (TORRENCE e COMPO, 1998):

1 – Ortogonalidade ou não ortogonalidade: Wavelets ortogonais, Haar e Coiflet, por exemplo, são comumente utilizadas na análise de sinais (decomposição de sinais). As wavelets com esta característica têm como particularidade o fato de dividirem o sinal em caixas ou “boxes” independentes entre si, ou seja, não há superposição do sinal. Esta característica permite que o sinal uma vez decomposto, possa ser reconstruído sem que haja alteração das suas características iniciais. As wavelets não ortogonais (Morlet e DOG) ao contrário das anteriores apresentam superposição dos sinais. Entretanto, este tipo de wavelet é mais indicado para a análise de séries temporais, pois permite identifica variações mais contínuas e suaves.

2 – Complexa ou real: uma função wavelet complexa irá retornar informações tanto de fase quanto de amplitude. Estas funções são mais indicadas para analisar séries temporais com comportamentos oscilatórios (função de Morlet). As funções reais são mais indicadas para analisar picos isolados e descontinuidades nas séries temporais (função DOG e Mexican hat);

3 – Comprimento: A resolução de uma função wavelet é determinada por um balanço entre o comprimento no espaço real e o comprimento no espaço de Fourier (frequência). Uma função curta (em tempo) terá uma boa resolução em tempo, mas uma fraca no domínio da frequência e vice-versa, e

4 – Forma: a forma da função wavelet deve refletir as características das feições presentes na série temporal. Entretanto, se o interesse principal é sobre o espectro de energia ou potência (*power spectrum*) da wavelet, a preocupação com a forma não é tão crítica, pois os resultados qualitativos serão parecidos.

A Figura 2.7 mostra diversos elementos que devem ser interpretados no espectro de wavelet. Nesta figura pode ser observado delimitado pela linha amarela, o cone de influência, que determina a parte do espectro que não apresenta erros significativos devido aos extremos da série temporal. Como pode ser visto este cone não tem início na primeira amostra da série temporal. O eixo x permite identificar quando que ocorreram ao longo da série temporal

os diferentes períodos. O eixo y permite identificar as diferentes frequências existentes na série temporal. A barra de cores na direita permite identificar a variação da energia ao longo da série temporal.

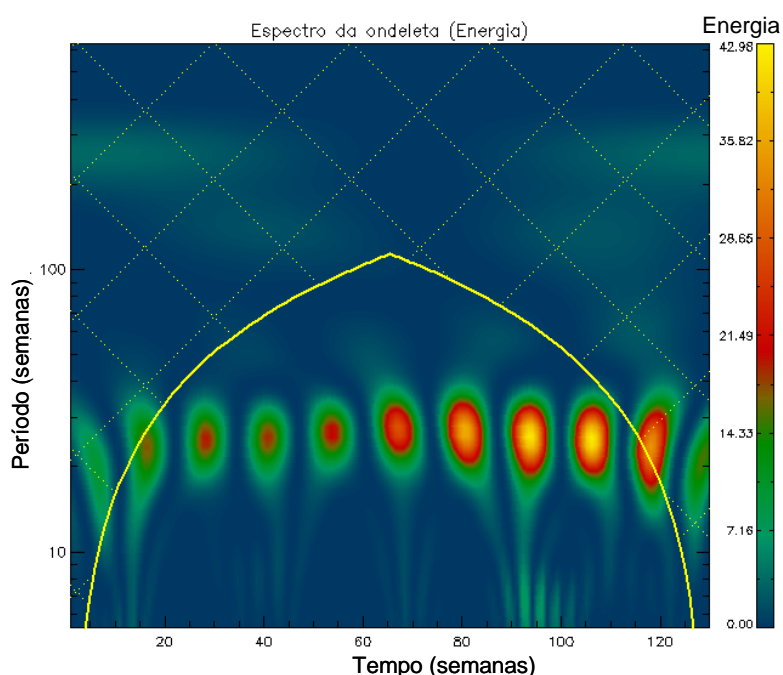


Figura 2.7 – Exemplo de um espectro de energia de wavelet. O eixo y está em escala logarítmica. O eixo x está na escala das amostras da série temporal.

Análise multi-resolução por wavelets

A análise séries temporais a partir da utilização da técnica de análise multi-resolução por wavelets visa destacar os sinais representativos de: (i) ruído, (ii) sazonalidade e (iii) tendências (VOS, 2007). A decomposição consiste na aplicação de filtros passa-baixa e alta-baixa na série temporal (Figura 2.8). A aplicação destes filtros resulta na separação da série temporal em séries que representam detalhes em diferentes escalas da dinâmica do processo estudado (Figura 2.9) (SOLTANI, 2002). Este tipo de representação é muito útil para comparar a variação entre séries temporais em diferentes escalas (OH et al., 2003).

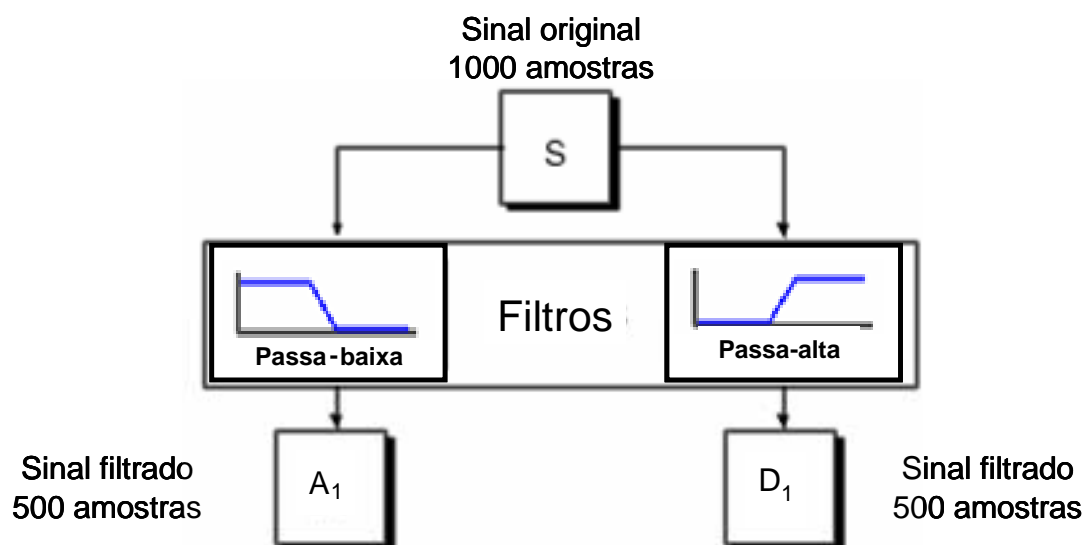


Figura 2.8 – Demonstração do processo de filtragem realizado na análise multi-resolução em 1 nível por wavelet.
 Fonte: Adaptado do tutorial do Matlab (MATLAB, 2007).

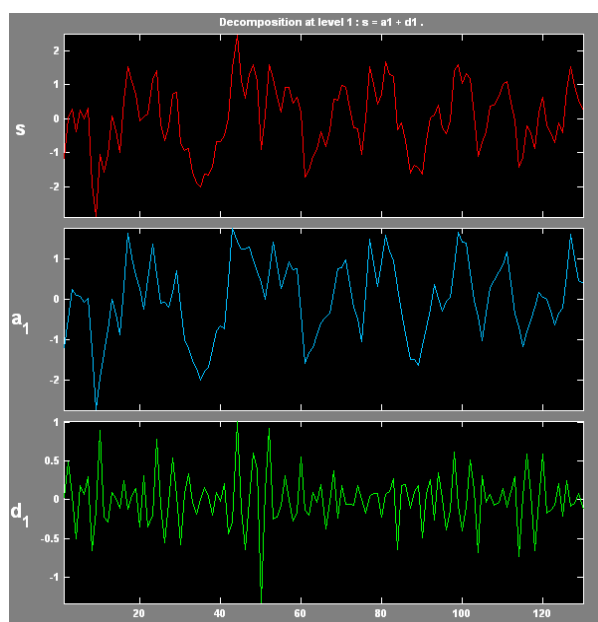


Figura 2.9 – Exemplo da decomposição de um sinal pela wavelet de Coiflets 2 com 1 nível de decomposição, conforme ilustrado na Figura anterior. A nomenclatura das componentes (à direita do gráfico) geradas pela decomposição é a mesma que a da Figura anterior. Gráfico gerado na ferramenta “wavelets tools” do programa Matlab, versão 7.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

A descrição da metodologia aplicada nesta dissertação foi separada em 5 tópicos. No primeiro tópico (3.1) é delimitada a área de estudo utilizada neste trabalho. O segundo tópico (3.2) descreve o procedimento para determinar a correlação linear entre os dados *in situ* de salinidade superficial e os produtos de SRCO do sensor *Sea-viewing Wide Field Sensor* (SeaWiFS). Nesta etapa também são comentadas as análises estatísticas empregadas na determinação do produto de SRCO que será utilizado para gerar um modelo de salinidade sintética para, então, mapear a pluma do Rio Amazonas (D'SA et al., 2002). O terceiro tópico (3.3) descreve o procedimento adotado no mapeamento da pluma do Rio Amazonas e na aquisição das métricas desta feição. O quarto tópico (3.4) descreve os processamentos realizados nos dados de vazão na foz do Rio Amazonas, componentes do vento superficial (VS) e componentes da corrente oceânica superficial (COS). O quinto tópico (3.5) descreve as técnicas de análises de séries temporais utilizadas nesta dissertação.

3.1 Área de estudo

A área de estudo foi inicialmente definida com base em trabalhos da literatura desenvolvidos que tiveram como objeto de estudo a pluma do Rio Amazonas (HU et al., 2004; VECCHIO e SUBRAMANIAM, 2004). Nestes trabalhos a área de estudo utilizada ficou limitada entre as latitudes 20° N - 5° S e as longitudes 60° O – 40° O, conforme Figura 3.1.

Entretanto, conforme será discutido no item 3.3.2 deste capítulo, devido à descarga de outros rios de grande porte nesta área de estudo, optou-se por reduzir seus limites a fim de diminuir influência destes rios no mapeamento da pluma do Rio Amazonas. Portanto, os limites da área de estudo (latitudes 20° N

– 5° S, longitudes 59° O – 40° O) utilizados nesta dissertação são identificados pela linha vermelha tracejada na Figura 3.1.

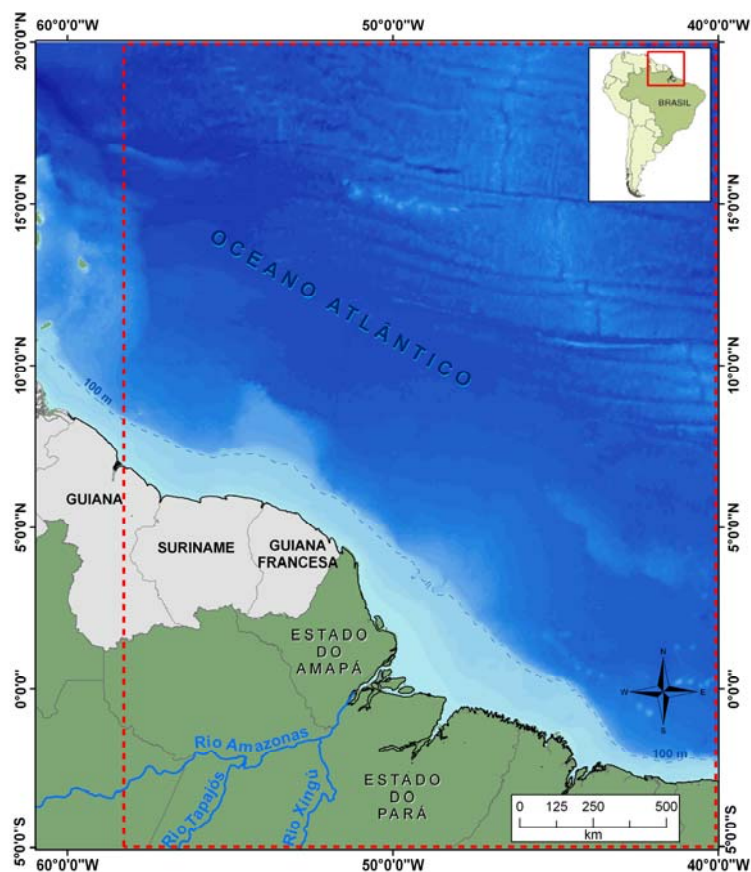


Figura 3.1 – Mapa de localização da área de estudo (linha vermelha tracejada).

3.2 Modelo de salinidade sintética

Na Figura 3.2 é apresentado o fluxograma dos procedimentos realizados nesta parte da metodologia descrita a seguir.

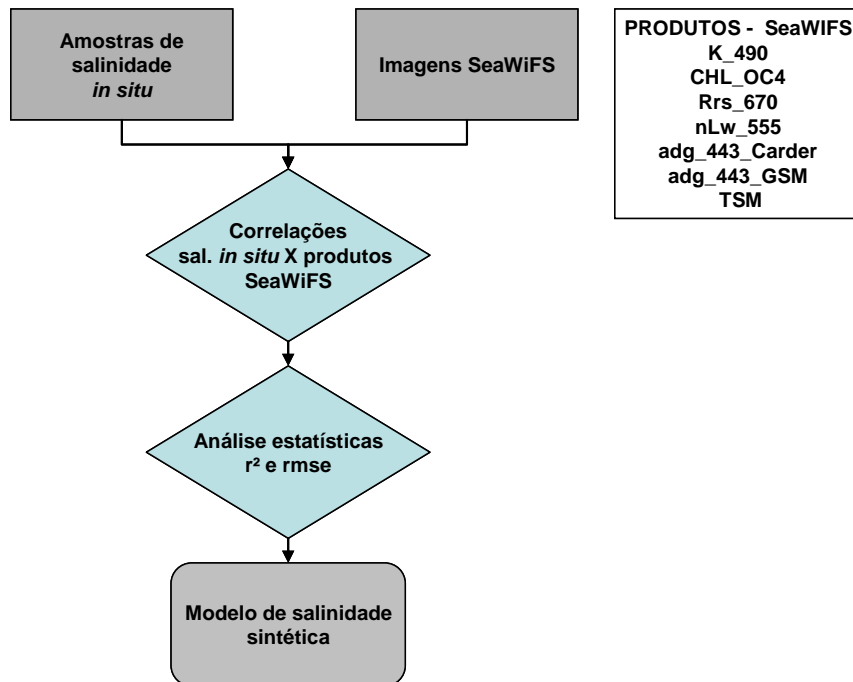


Figura 3.2 – Fluxograma da metodologia aplicada na etapa de geração do modelo de salinidade sintética.

3.2.1 Amostras de salinidade *in situ*

A principal variável utilizada para determinar o aporte de águas continentais na região costeira e oceânica adjacente à sua foz é a salinidade (LENTZ, 1995b; LENTZ e LIMEBURNER, 1995). Entretanto, até o presente momento, ainda não se dispõe de sensor remoto orbital capaz de estimar a salinidade superficial. Portanto, nesta dissertação a salinidade superficial foi estimada a partir de imagens de sensores remotos orbitais dando origem à chamada salinidade sintética (D'SA et al., 2002). Para isso foram testados diversos produtos de SRCO que apresentam significativa resposta ao aporte continental.

Seguindo esta abordagem, foram compilados 479 dados *in situ* de salinidade superficial (< 5 m) provenientes de diversas fontes: 312 dados obtidos de derivadores ARGO (<http://www.usgoda.gov/argo/argo.html>), 81 estações oceanográficas do Programa Programa REVIZEE Norte-III da Marinha do Brasil, 57 perfis disponibilizados pelo *Intenational Council of The Seas* (<http://www.ices.dk/>) e 29 perfis do *World Ocean Database* (<http://www.nodc.noaa.gov/>). Os dados foram limitados na área compreendida entre as seguintes coordenadas: 11° N – 5° S e 60° O – 45° O. Optou-se por utilizar dados de uma área de dimensões menores do que a da área de estudo proposta para evitar o uso de dados não representativos da pluma do Rio Amazonas, devido à sua variabilidade temporal e espacial, e para obter uma melhor distribuição espacial das amostras.

3.2.2 Imagens do sensor SeaWiFS

Foram utilizadas imagens do sensor SeaWiFS com nível de processamento 1A e 4 km de resolução espacial, obtidas a partir do *Goddard Ocean Biology Processing Group* (OGBP) (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>), para cada data correspondente aos 479 dados de salinidade *in situ*. As imagens diárias foram processadas para nível 2 sendo georreferenciadas para o sistema de coordenadas Lat/Long segundo a projeção Cilíndrica Eqüidistante. Neste processamento também foram gerados os produtos da cor do oceano: (i) $adg^4_{443_carder}$ (CARDER et al., 1997), (ii) adg_{443_gsm} (MARITORENA et al., 2002), (iii) coeficiente de absorção da água em 490 nm (K_{490}) (O'REILLY et al., 2000), (iv) concentração de clorofila *a*, algoritmo OC4 versão 4 (Chl_{OC4}) (O'REILLY et al., 2000), (v) sedimento total em suspensão (*total suspended matter* - TSM) (CLARK, 1997), (vi) reflectância de sensoriamento remoto em 670 nm (Rrs_{670}) (GORDON e WANG, 1994), (vii) radiância

⁴ O termo adg (absorption due to gelbstof and detritus) refere-se ao coeficiente de absorção pela matéria orgânica dissolvida colorida e detritos CARDER, K. L.; HAWES, S. K.; BAKER, K. A.; SMITH, R. C.; STEWARD, R. G.; MITCHELL, B. G. Reflectance model for quantifying chlorophyll *a* in the presence of productivity degradation products. 1991. **Journal of Geophysical Research**, v. 96, n. C11, p. 20599–20611.

emergente da água normalizada em 555 nm (nLw_555) (GORDON e WANG, 1994). Estes produtos de SRCO foram escolhidos por apresentarem resposta singular à descarga de material continental.

3.2.3 Correlação linear dos dados

Os dados referentes a cada produto de SRCO citado no item anterior foram extraídos nas coordenadas e nos dias referentes aos dados de salinidade *in situ*. Empregaram-se dois critérios para a aquisição dos valores dos pixels: (1) foram utilizados os valores dos pixels referentes somente às coordenadas das estações, ou seja, não se aplicaram médias de janelas espaciais, (2) foram descartados os pixels, correspondentes aos dados *in situ*, que apresentaram valores contaminados pela presença de nuvens em pixels adjacentes.

Ao final deste procedimento de seleção restaram apenas 31 pontos (Figura 3.3), sendo estes utilizados para calcular a correlação linear entre as medidas de salinidade *in situ* e as medidas derivadas dos produtos descritos no tópico anterior. Os 31 dados *in situ* ficaram compreendidos entre o período de maio de 1999 a outubro de 2003. O valor médio, máximo e mínimo de salinidade dos 31 pontos selecionados são 35,15, 36,62 e 31,73 (psu), respectivamente.

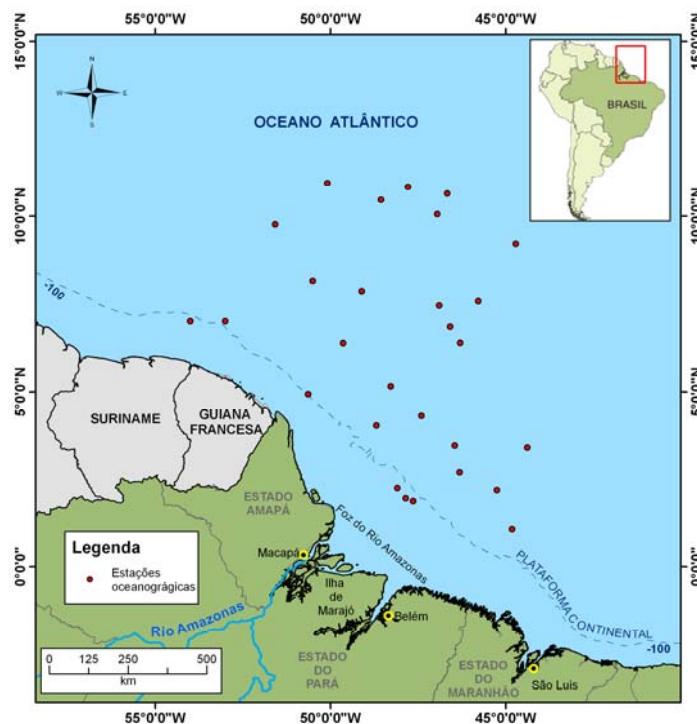


Figura 3.3 – Localização das 31 estações oceanográficas utilizadas nas correlações lineares com produtos de SRCO.

A análise estatística das correlações lineares foi realizada a partir dos valores de coeficiente de determinação (r^2) (Equação 3.1) e raiz quadrada do erro médio quadrático (rmse) (Equação 3.2). Optou-se por utilizar estas duas técnicas de análise estatística devido ao fato de serem medidas, de certa forma simples, mas eficazes em descrever: (i) no caso do r^2 , a proporção de variação total da variável dependente Y (salinidade) que é explicada pela variação da variável independente X (produto de SRCO), (ii) no caso do rmse, o quanto (em média) que o valor estimado difere do valor das amostras (NETER et al., 1996).

$$r^2 = 1 - \frac{\sum (Y_i - Y'_i)^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (3.1)$$

$$rmse = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - Y'_i)^2}{n - 2}} \quad (3.2)$$

Onde, Y_i é o valor da amostra (salinidade), Y'_i é o valor estimado, \bar{Y} é a média dos valores das amostras e n é o numero de amostras.

3.3 Mapeamento da pluma do Rio Amazonas e extração das métricas da pluma

A Figura 3.4 apresenta o fluxograma dos procedimentos adotados na parte deste trabalho onde foi realizado o mapeamento da pluma do Rio Amazonas e posterior extração das métricas desta feição.

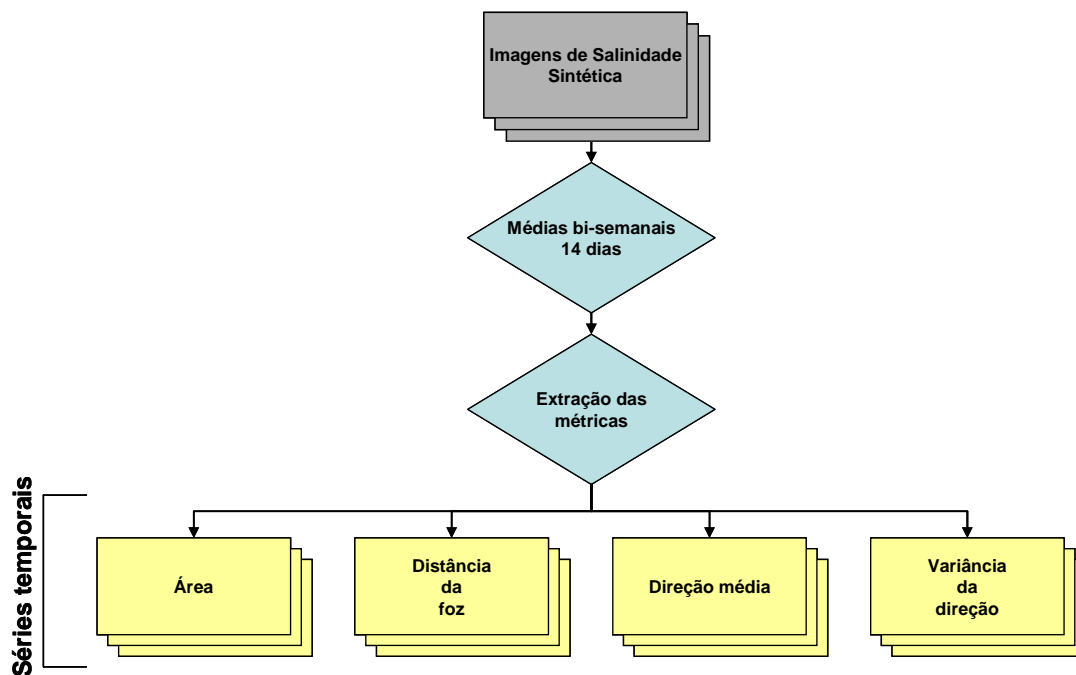


Figura 3.4 – Fluxograma da metodologia aplicada no mapeamento e extração das métricas da pluma do Rio Amazonas.

3.3.1 Série temporal de imagens de SRCO

Devido à grande cobertura de nuvens presente na região equatorial e também às características de imageamento do sensor SeaWiFS (largura de faixa imageada de 1,502 km), as quais não permitem uma total cobertura da área de

estudo, não foi possível utilizar imagens diárias. Portanto, foram testadas médias semanais, bi-semanais (14 dias) e mensais das imagens do produto de SRCO que apresentou os melhores resultados para um período de 7 meses, de janeiro à julho de 2000. Estes testes foram realizados com o objetivo de verificar qual o período de tempo necessário para gerar médias temporais em que a influência de nuvens no mapeamento da pluma fosse menor.

A média bi-semanal e a média mensal apresentaram os melhores resultados, ou seja, pouca influência das nuvens. Contudo, optou-se por utilizar a média bi-semanal, pois esta implicaria em um aumento no número de observações, permitindo, portanto, identificar maiores variações da pluma em relação à média mensal.

Assim sendo, foi gerada a série temporal, bi-semanal - 14 dias, do produto SRCO que apresentou os melhores resultados, no período compreendido entre janeiro de 2000 e dezembro de 2004, o que resultou em um total de 130 imagens, aproximadamente 26 imagens para cada ano. Nas imagens onde foram encontrados pixels com ausência de dados devido à intensa cobertura de nuvens, optou-se por completar tais lacunas com os valores referentes à média das imagens bi-semanais anterior e posterior a elas. Ao final deste processamento, foi aplicado o filtro mediana (3x3) às imagens para diminuir os ruídos e melhorar sua qualidade (MATHER, 1999).

É importante destacar que a média temporal gerada é contínua, ou seja, as médias bi-semanais de 14 dias entre os anos não são comparáveis (ex. o primeiro período de 14 dias do ano 2000 não apresenta os mesmos dias que o primeiro período do ano 2001). Optou-se por esta abordagem a fim de que todas as imagens correspondessem às médias de 14 dias e, também, para facilitar o processamento dos dados (tempo computacional).

3.3.2 Mapeamento da pluma do Rio Amazonas

Como a região costeira inserida na área estudo proposta, apresenta um grande número de rios desaguando no oceano, fez-se necessário verificar a influência da vazão destes rios no aporte continental total na área de estudo.

Portanto, foram levantados os dados referentes às médias mensais das vazões dos rios citados na Tabela 3.1 (Figura 3.5). Cabe salientar que os dados referentes à descarga de materiais orgânicos e inorgânicos, dissolvidos e particulados não foram utilizadas devido à inexistência deste tipo de dados da grande maioria dos rios levantados.

Tabela 3.1 – Rios utilizados no cálculo do aporte continental total e suas respectivas áreas da bacia de drenagem e vazões médias anuais.

País	Rio	Área (km ²)	Vazão média anual (m ³ s ⁻¹)
Brasil	Amazonas	4618746	155244,2
Brasil	Xingu	446573	8606,7
Brasil	Tapajós	389856	8928,1
Venezuela	Orinoco	850000	25067,5
Guyana	Essequibo	66600	2213,6
Guyana	Oyapock	25100	893,4
Guyana	Cuyuni	53400	1099,7
Suriname	Marowijne/Maroni	63700	1864,4
Suriname	Corantijn	51600	1086,0
Suriname	Coppename	12300	327,3
Suriname	Nickerie	5160	88,9

Fonte: *River Discharge Database* (<http://www.sage.wisc.edu/riverdata/>).



Figura 3.5 – Localização dos rios utilizados para verificar a influência destes no aporte continental na área de estudo.

Na Figura 3.6 são apresentadas às contribuições relativas às vazões de cada rio ao aporte continental total na área de estudo. Cabe destacar que os rios presentes na costa do Estado do Maranhão não foram inseridos neste levantamento porque, segundo dados da Agência Nacional das Águas (ANA - <http://www.ana.gov.br/>), a vazão média dos rios desta região, denominada de Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental, é de 2.514 m³/s, ou seja, muito inferior ao total da vazão dos rios do Suriname, a região que apresentou a menor vazão.

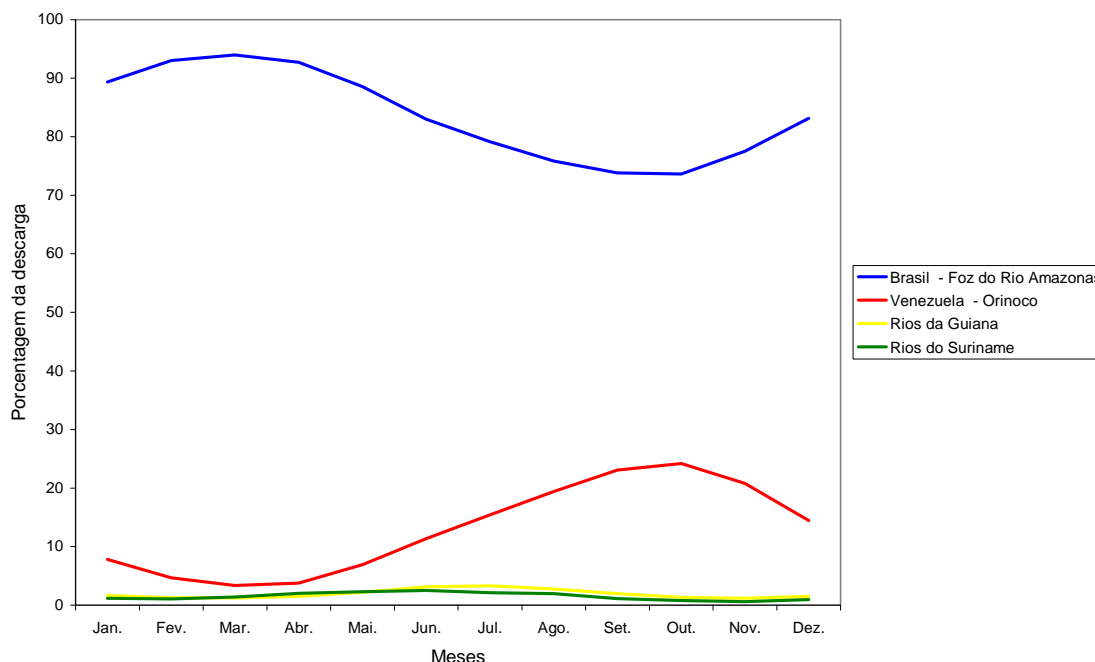


Figura 3.6 – Porcentagem relativa à vazão dos rios no aporte continental total da área de estudo. A legenda Foz do Rio Amazonas refere-se à soma das porcentagens das vazões dos rios Amazonas, Xingu e Tapajós. As demais legendas dizem respeito à soma das vazões dos rios por países, com exceção do Rio Orinoco que é o mais significativo rio da Venezuela que está presente na área de estudo.

Nesta análise, portanto, foi constatado que o aporte continental de água na área de estudo é em média 84% devido à vazão na foz do Rio Amazonas que é a soma das vazões dos Rios Amazonas, Xingu e Tapajós (Figura 3.6). O Rio Orinoco contribui em média com 13% e os demais rios com, cerca de, 3%. Apesar de relativamente pequena a contribuição do Rio Orinoco ao aporte continental na área de estudo, optou-se por reduzir a área onde seria mapeada a pluma do Rio Amazonas. Assim sendo, para o mapeamento da pluma e aquisição das métricas, os limites da área de estudo foram reduzidos para as latitudes entre 20° N e 5° S e as longitudes entre 59° O e 40° O (Figura 3.1).

Deste modo, como a influência das vazões dos rios que desembocam na área de estudo é expressivamente menor que a influência da vazão na foz do Rio Amazonas, optou-se, nesta dissertação, por considerar como pluma do Rio

Amazonas as águas, dentro da área de estudo (20° N - 5° S e 59° O - 40° O), que apresentassem salinidades menores que 34 psu (LENTZ, 1995b).

3.3.3 Aquisição das métricas

A escolha das métricas da pluma do Rio Amazonas (área, distância da foz, direção média e variância da direção) baseou-se no fato de que, a partir delas pode-se inferir sobre o comportamento da pluma, ou seja, sua variabilidade no espaço, dimensão e forma. Além disso, elas permitiram identificar a área influenciada por esta feição na região costeira NE da América do Sul.

As métricas foram extraídas das 130 imagens da série temporal a partir da geração de uma linha de contorno que delimitou, a partir do limiar de salinidade estabelecido, a feição da pluma de salinidade para cada imagem. Posteriormente, este contorno foi utilizado como base para a aquisição e cálculo das métricas.

É importante esclarecer que foi verificada, para cada imagem, a presença de nuvens que pudessem interferir no mapeamento e aquisição das métricas. No caso da presença de nuvens o contorno foi editado manualmente a fim de que essas não alterassem, de forma significativa, a aquisição das métricas.

3.3.4 Distância da foz

Para adquirir esta medida foi estipulado um segmento de reta que teve início no local de encontro entre os rios Amazonas e Xingú (ver exemplo na Figura 3.7) e apresenta como orientação um ângulo de 45° em relação ao norte geográfico que, aproximadamente, segue a orientação do Rio Amazonas desde o encontro com o Rio Xingu até a área próxima à foz. Cabe destacar que se optou por posicionar o segmento de reta na parte mais ao norte da desembocadura do Rio Amazonas porque nesta região ocorre a maior descarga do rio (LENTZ e LIMEBURNER, 1995).

Entretanto, as medidas das distâncias que serão utilizadas nesta dissertação correspondem ao segmento recortado do limite da foz estipulado até o limite máximo da pluma em relação ao seguimento de reta, conforme demonstrado na Figura 3.7. Como não foi encontrada na literatura referência para o limite da foz do Rio Amazonas, optou-se por utilizar feições geográficas conhecidas, neste caso a Ponta do Guará ($1,11^{\circ}$ N e $-49,94^{\circ}$ O) e Ilha Tijoca ($-0,64^{\circ}$ S e $-47,96^{\circ}$ O) (Figura 3.7).

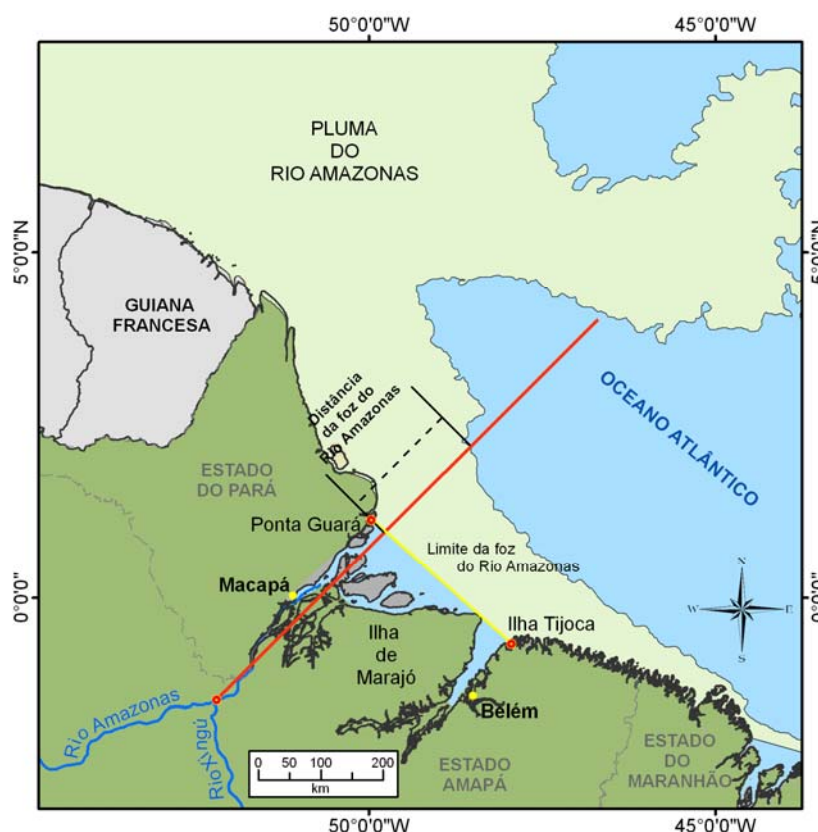


Figura 3.7– Mapa ilustrativo do método de aquisição da métrica referente à distância da foz do Rio Amazonas. A linha em amarelo determina o limite da foz do Rio Amazonas utilizado nesta dissertação. A linha em vermelho ilustra a posição do segmento de reta utilizado para extrair a métrica da distância da foz.

3.3.5 Área

O cálculo da área da pluma é de significativa importância para identificar a variabilidade da área influenciada pela pluma do Rio Amazonas.

O cálculo desta métrica foi realizado dentro dos limites comentados anteriormente (20° N - 5° S e 59° O - 40° O). A foz do Rio Amazonas também foi utilizada como limite para o cálculo da área (Figura 3.7).

A área foi calculada considerando a pluma como uma feição contínua, ou seja, não foram calculadas as áreas com salinidades abaixo de 34 psu que estavam desprendidas da pluma. As áreas que apresentaram baixas salinidades referentes aos anéis formados, principalmente, devido à retroflexão da Corrente Norte do Brasil (FRATANTONI e GLICKSON, 2002; GONI e JOHNS, 2001.) também não foram calculadas, conforme ilustrado na Figura 3.8.

3.3.6 Direção média e variância da direção

A direção média e a variância da direção da pluma são métricas importantes, pois fornecem informações sobre sua forma o que, conseqüentemente, permite identificar os locais para onde o material descarregado pelo Rio Amazonas é transportado e em quais épocas do ano.

A direção média e a variância da direção da pluma foram calculadas com a utilização da ferramenta “Spatial Statistics Tools” do software ArcMap 9.2. A função “Linear Directional Mean” desta ferramenta permite realizar o cálculo da direção média e da variância da direção. Para isso, foi preciso utilizou-se os limites externos dos contornos extraídos das imagens (linha verde clara na Figura 3.8). Esta linha foi convertida em segmentos de reta com o comprimento de $0,5^{\circ}$. Esta ferramenta, então, transforma estes segmentos de reta em vetores, fornecendo, portanto, a direção de cada vetor. O *zoom* apresentado na Figura 3.8 demonstra como são gerados os vetores referentes aos segmentos de reta.

A direção média é calculada em graus no sentido anti-horário a partir do Leste. A medida de variância da direção indica o quanto que a direção variou em relação à direção média.

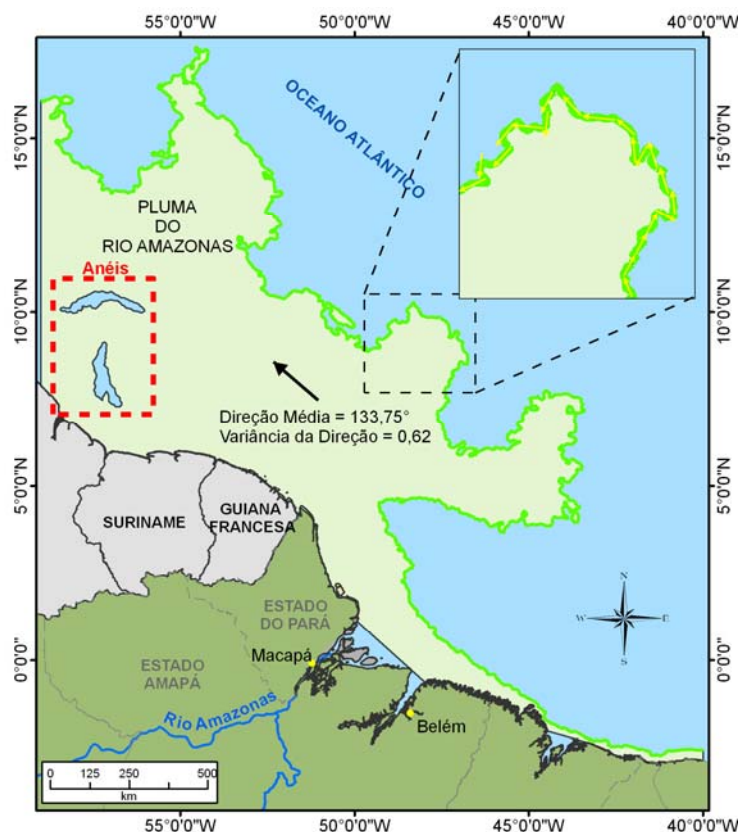


Figura 3.8 – Mapa ilustrativo do método de aquisição das métricas da área, direção média e variância da pluma, referente ao período de 29 de julho a 11 de agosto. O retângulo em vermelho identifica áreas de salinidades acima de 34 psu formadas por anéis resultantes da retroflexão da Corrente Norte do Brasil. No caso deste período, a direção média, a variância da direção e a área foram de 133,75°, 0,62 e $1.326 \times 10^3 \text{ km}^2$, respectivamente.

3.4 Processamento das séries temporais das variáveis ambientais

O fluxograma da Figura 3.9 apresenta os procedimentos aplicados para a geração das séries temporais das variáveis: vazão na foz do Rio Amazonas, componentes do vento superficial (VS) e componentes da corrente oceânica superficial (COS).

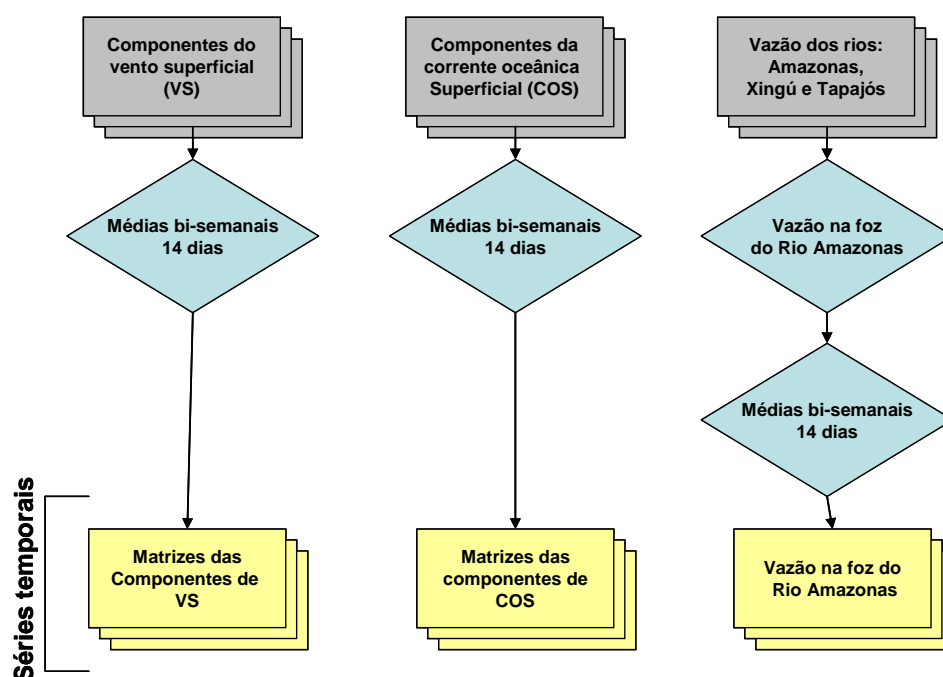


Figura 3.9 – Fluxograma da etapa da metodologia onde foram realizados os processamentos das séries temporais das variáveis ambientais.

3.4.1 Dados de vazão dos rios Amazonas, Xingu e Tapajós

Os dados de vazão diária dos rios Amazonas, Xingu e Tapajós foram adquiridos no site da ANA para o período de 2000 a 2004. Optou-se por utilizar, também, a vazão dos rios Xingu (estação Altamira, $-3,21^{\circ}$ S e $-52,21^{\circ}$ O, nº 18850000) e Tapajós (estação Acará, $-4,88^{\circ}$ S e $-56,72^{\circ}$ O, nº 17650002), pois são os principais afluentes do Rio Amazonas após a estação fluviométrica de Óbidos ($1,91^{\circ}$ S e $55,55^{\circ}$ O, nº 17050001), que é a última estação a jusante do Rio Amazonas. Conforme pode ser observado na Figura 3.10 a vazão destes rios apresenta influência na vazão da foz do Rio Amazonas devido à defasagens nos regimes de vazão.

Este fato é explicado pelas diferentes localizações geográfica das bacias destes rios. As bacias dos rios Xingú e Tapajós estão localizadas em áreas que possuem regimes pluviométricos distintos em relação à bacia do Rio Amazonas (FOLEY et al., 2002).

Portanto, nesta dissertação a vazão na região da foz do Rio Amazonas é considerada como a soma das vazões dos rios Amazonas, Xingú e Tapajós (Figura 3.10).

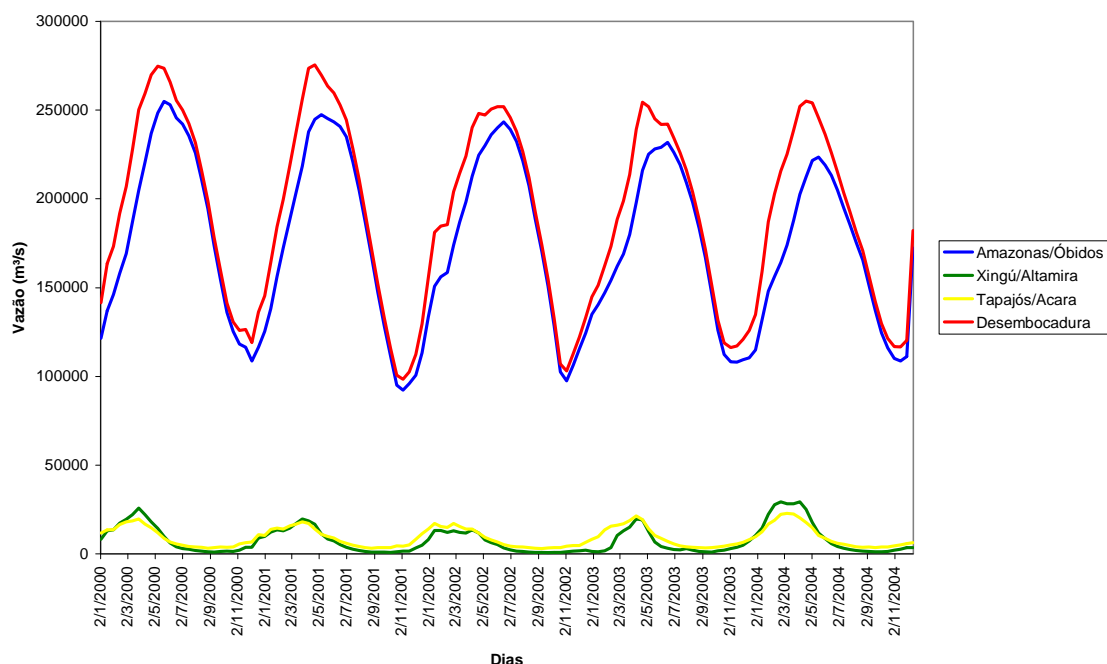


Figura 3.10 – Vazões dos rios Amazonas, Xingú e Tapajós e a vazão na foz do Rio Amazonas no período de 2000 a 2004.

Fonte: Agência Nacional de Águas (www.ana.gov.br), 2008.

3.4.2 Dados de vento superficial (VS)

Conforme comentado na revisão da literatura, a intensidade e a direção dos ventos são importantes fatores na dispersão da pluma do Rio Amazonas. Os principais ventos que atuam na dispersão desta feição são provenientes do quadrante NE e SE (LENTZ, 1995a, 1995b).

Devido às grandes dimensões da área de estudo, dados de estações meteorológicas não representariam toda a variabilidade do vento na região, assim sendo, optou-se pela utilização dos dados semanais (7 dias) de VS (10

metros) do escaterômetro QuikSCAT com 0,25° de resolução espacial. Os desvios padrões calculados entre os dados observados e os estimados por este modelo são de 2 m s⁻¹. Estes dados foram adquiridos no site da *Remote Sensing Systems* (<http://www.ssmi.com/>), sendo recortados utilizando-se as mesmas coordenadas aplicadas no mapeamento da pluma.

Os dados semanais do escaterômetro QuikSCAT foram processados para se extrair as componentes zonal ou u (leste – oeste) e meridional ou v (norte – sul). Posteriormente, foi calculada a média dos dados a cada duas semanas a fim de igualar as escalas temporais da série de dados de VS com a série de temporal das métricas da pluma.

Entretanto, os dados QuikSCAT fornecem apenas informações de velocidade do VS nas componentes zonal e meridional. Como os ventos de nordeste (paralelo à costa) e sudeste (perpendicular à costa) são os mais significativos para a dispersão da pluma, foi necessário rotacionar as matrizes das componentes do vento zonal e meridional para que estas fossem representativas destas direções (Equações 3.3 e 3.4). Para isso, com base na literatura, optou-se por utilizar o ângulo de 45° para rotacionar as matrizes (NITTROUER e DEMASTER, 1996). Segundo estes autores este ângulo representaria, aproximadamente, o direcionamento da costa na região próxima a foz do Rio Amazonas.

$$\begin{bmatrix} u' \\ v' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Assim sendo,

$$\begin{aligned} u' &= u \cos \theta + v \sin \theta \\ v' &= -u \sin \theta + v \cos \theta \end{aligned} \quad (3.4)$$

Onde, u e v são as coordenadas originais, u' e v' são as coordenadas rotacionadas, e θ é o ângulo de rotação.

A Figura 3.11 demonstra o direcionamento das componentes do vento u (leste – oeste), v (norte – sul) e paralela à costa (noroeste – sudeste) e perpendicular à costa (nordeste – sudoeste). Cabe lembrar que os valores positivos e negativos na figura são indicativos da direção para onde o vento está soprando. Entretanto, nesta dissertação ao se comentar da direção do vento será utilizada a convenção meteorológica, ou seja, a direção indica de onde o vento está soprando. Como forma de exemplo, o vento nordeste (soprando a partir de nordeste) na componente perpendicular à costa terá valores negativos, no caso dos ventos de sudoeste (soprando a partir de sudoeste) os valores na componente paralela à costa serão positivos.

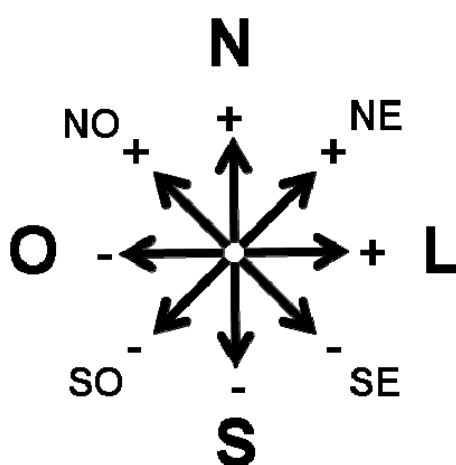


Figura 3.11 – Sinais representativos das direções do vento.

3.4.3 Dados de Corrente Oceânica Superficial (COS)

Os dados das componentes meridional e zonal da COS foram adquiridos no site da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) (<http://www.oscar.noaa.gov/>). Estes, com 1° (~111km) de resolução espacial, são estimados a partir de dados de altura da superfície do oceano (TOPEX/Poseidon), componentes de velocidade superficial do vento do sensor *Special Sensor Microwave Imager* (SSM/I) e temperatura superficial do oceano

(AVHRR 1 + dados *in situ*). Os dados absolutos de velocidade foram complementados com dados de altura dinâmica obtida do *World Ocean Atlas* (WOD) (BONJEAN e LAGERLOEF, 2002). Os desvios padrões calculados entre os dados observados e os estimados por este modelo ficaram entre 0,08 m s⁻¹ a 0,03 m s⁻¹.

Contudo, os dados de COS do modelo são disponibilizados somente para períodos de 5 dias. Por este motivo, foi necessário adaptar, ou seja, realizar médias a partir de duas ou três matrizes dos dados de corrente para que estes coincidissem com a série temporal bi-semanal utilizada para gerar as métricas da pluma. Assim sendo, os períodos de dias contidos nas matrizes geradas a partir das médias em muitos casos não coincidiram com os períodos das métricas adquiridas da pluma. Entretanto, os erros nestes períodos não foram maiores que 4 dias.

Os dados das componentes zonal e meridional da corrente superficial oceânica passaram pelo mesmo processo de rotação das matrizes comentado anteriormente para os dados de vento a fim de se obter as componentes paralela e perpendicular à costa.

3.5 Análise e correlações das séries temporais

Até esta etapa da metodologia foram geradas as séries temporais, para o período de 2000 a 2004, dos dados: (i) métricas da pluma, (ii) vazão na foz do Rio Amazonas, (iii) componentes do VS e (iv) componentes da COS.

Como não foi encontrado na literatura referência sobre locais específicos onde o VS e a COS tivessem maior influência na dinâmica da pluma do Rio Amazonas, foram determinados 3 pontos de interesse na área de estudo em regiões que apresentam processos oceanográficos e meteorológicos de significativa influência nesta feição (LENTZ, 1995a, 1995b; NITTROUER e DEMASTER, 1996). A partir destes locais serão extraídas as séries temporais das componentes, paralela e perpendicular à costa do VS e da COS. Os dados

de vento, devido à sua maior resolução espacial (0,25°), foram extraídos das coordenadas a partir da utilização de uma média espacial de 3x3 pixels.

O primeiro ponto está localizado na região onde há uma quebra no direcionamento da linha de costa da região nordeste da América do Sul (9° N e 53° O) (Figura 3.12). A partir desta mudança na linha de costa, supôs-se que os processos oceanográficos e meteorológicos atuassem de forma diferente na pluma do Rio Amazonas. Este ponto representa, também, de modo aproximado o limite norte extremo de alcance da ITCZ (FERREIRA, 1996).

O segundo ponto corresponde, aproximadamente, à região onde ocorre a retroflexão da Corrente Norte do Brasil (Figura 3.12). Como esta é uma feição de grandes dimensões muitos autores comentam que esta se localiza entre as latitudes de 6° N - 8° N, optou-se por localizar o ponto nas coordenadas 7° N e 48° O (FONSECA et al., 2004; JOHNS et al., 1998; STRAMMA e SCHOTT, 1999).

O terceiro ponto localiza-se próximo à foz do Rio Amazonas (3° N e 47° O) (Figura 3.12). Este local poderá fornecer informações quanto ao comportamento da pluma devido às influências dos processos oceanográficos e meteorológicos próximas à região da foz do Rio Amazonas.

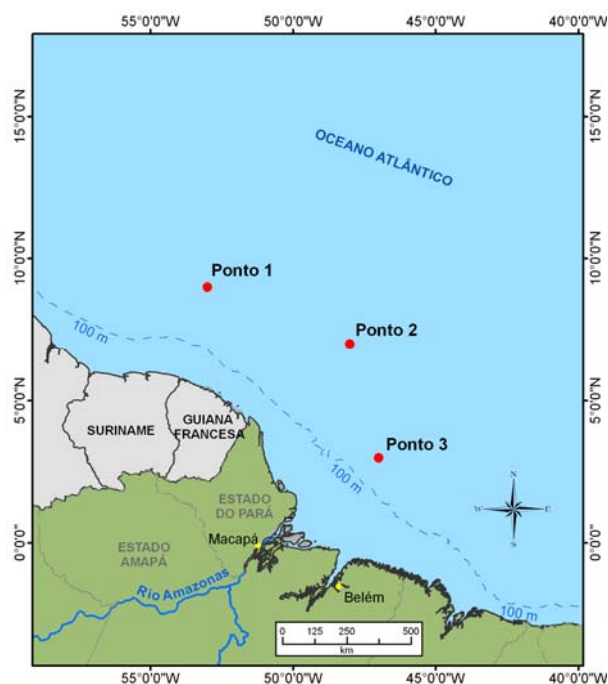


Figura 3.12 – Localização dos pontos de interesse onde foram extraídas as séries temporais das componentes do vento superficial e da corrente oceânica superficial.

3.5.1 Análise por wavelet⁵

O fluxograma da Figura 3.13 apresenta os procedimentos aplicados na geração dos espectros de wavelet e das análises multi-resolução por wavelet.

⁵ A análise wavelet foi realizada a partir de uma ferramenta em IDL fornecida pelo prof. Dr. Nelson Jesus Ferreira.

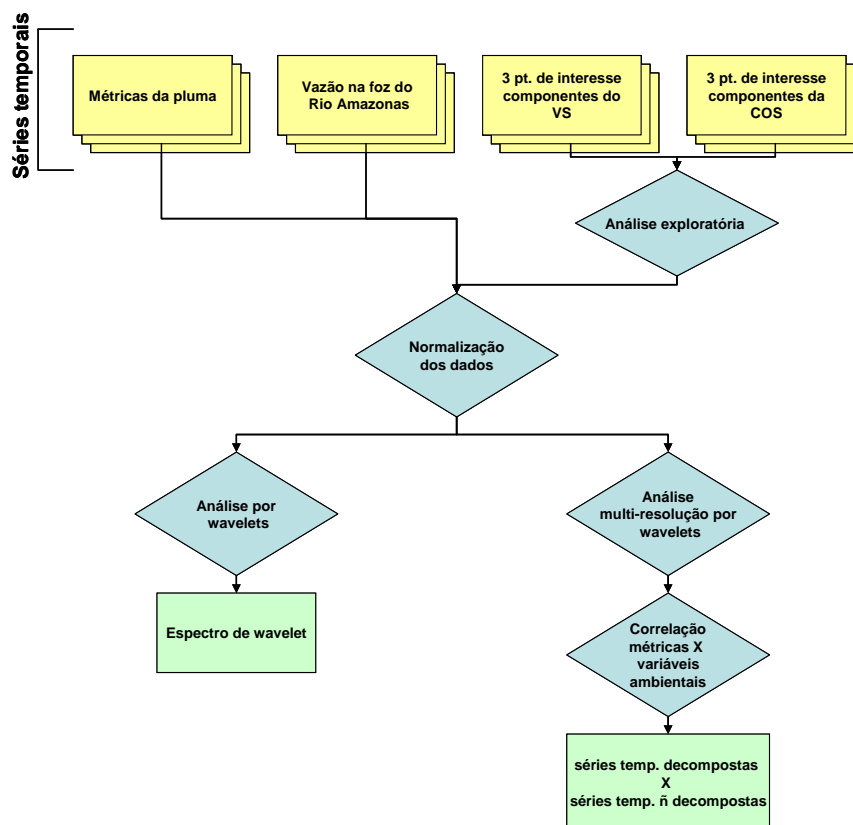


Figura 3.13 – Fluxograma da técnica de análise por wavelets e análise multi-resolução por wavelet aplicada.

Foram realizadas 2 análises exploratórias nas séries temporais do VS e das COS antes de realizar a análise por wavelet dos 3 pontos de interesse. A primeira consistiu em identificar as componentes tanto do VS quanto da COS que representassem as direções mais representativas do comportamento destas variáveis.

A segunda análise consistiu em identificar se havia correlação entre os 3 pontos de interesse na componente mais representativa identificada na primeira análise.

Devido à grande quantidade de séries temporais extraídas dos dados e, portanto, sinais muito variados, foram testadas, visualmente, 2 funções mães Morlet (Figura 3.14-a) e DOG (Figura 3.14-b) a fim de verificar qual delas se ajustaria melhor às características das séries temporais geradas. Estas

funções, conforme comentado no item 2.4, identificam sinais de caráter oscilatório (Morlet) e sinais de picos isolados e de discontinuidades (DOG) (TORRENCE e COMPO, 1998).

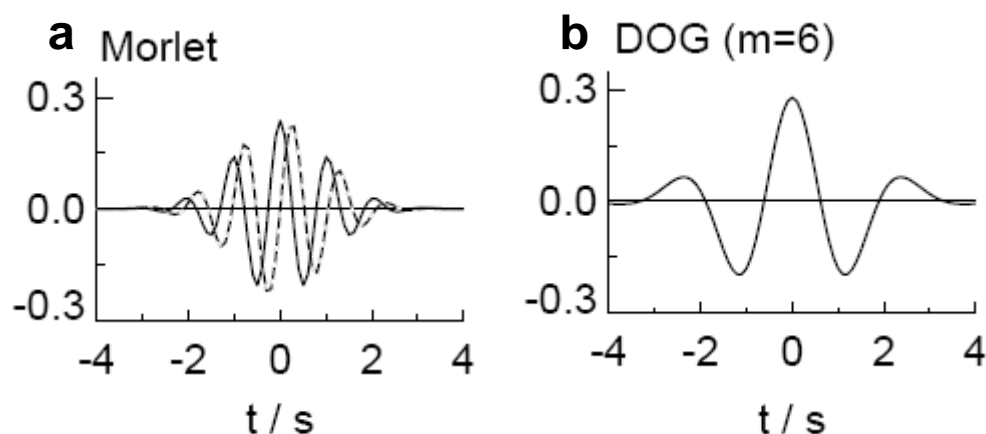


Figura 3.14 – Demonstração das funções mães Morlet (a) e DOG (b) no domínio do tempo. A linha contínua representa, na figura, a parte real e a linha tracejada a parte imaginária das funções.

Os testes demonstraram que, visualmente, a função wavelet de DOG (Figura 3.14-b) identificou com melhor detalhamento as variações de frequências nas séries temporais das métricas da pluma do Rio Amazonas utilizadas para realizar os testes.

3.5.2 Análise multi-resolução por wavelet

Devido às diferentes formas de aquisição dos dados das séries temporais das métricas da pluma, da vazão na foz do Rio Amazonas, do VS, da COS, além das dinâmicas intrínsecas a cada um destes elementos, foi aplicada a técnica de análise multi-resolução por wavelets. Sua aplicação teve por objetivo separar os sinais das altas frequências e das baixas frequências para então realizar as correlações cruzadas entre os sinais das métricas e os sinais das variáveis ambientais: (1) vazão na foz do Rio Amazonas, (2) componentes do VS e (3) componentes da COS nos 3 pontos de interesse. A aplicação da correlação cruzada nas séries decomposta visa identificar se há melhora das

correlações quando as séries temporais são correlacionadas a partir das diferentes frequências presentes em cada série.

Na análise multi-resolução por wavelet, diferentemente, da análise por wavelet serão utilizadas as séries temporais dos 3 pontos de interesse na componente mais representativa do comportamento do VS e da COS visando identificar as diferenças nas correlações devido às localizações entre os pontos.

A decomposição das séries temporais foi realizada na ferramenta “wavelets tools” do programa Matlab, versão 7. Entretanto, como no caso da análise por wavelet, não existe na literatura indicações quanto qual a melhor função mãe utilizar para realizar a decomposição de séries temporais. Portanto, optou-se por utilizar a wavelet de Coiflets 2 com 1 nível de decomposição, conforme demonstrado na revisão da literatura, que apresentou, visualmente, os melhores resultados entre as wavelets de Haar e Daubechies, também testadas.

3.5.3 Correlações Cruzadas

O fluxograma da Figura 3.15 apresenta os procedimentos realizados na etapa da geração das correlações cruzadas e mapas de correlações.

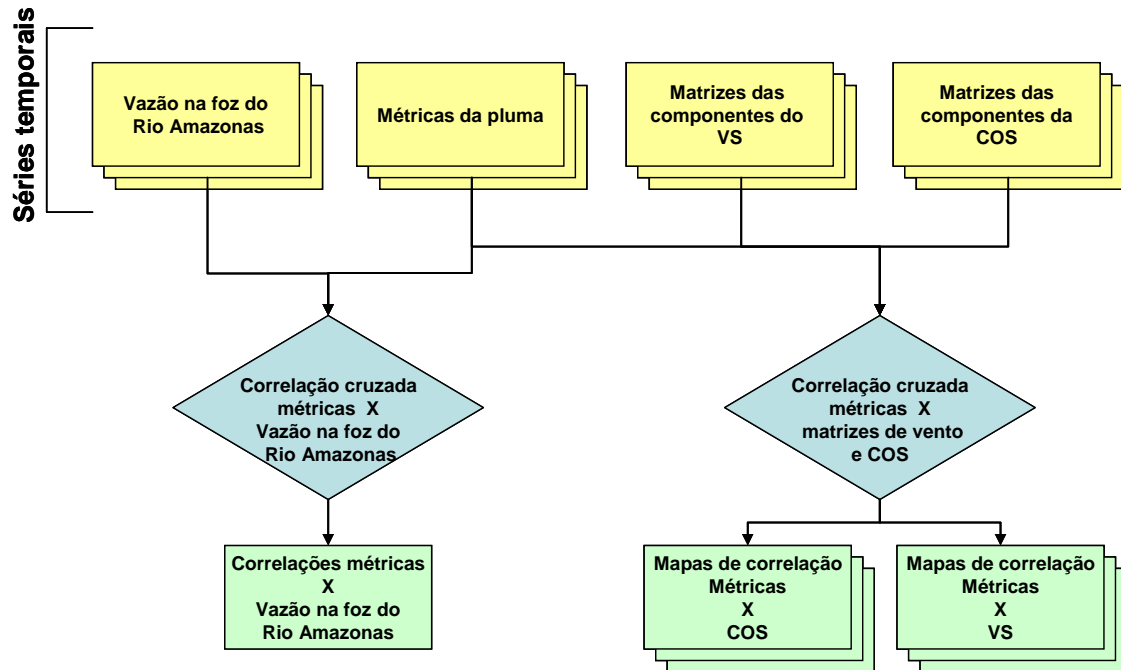


Figura 3.15 - Fluxograma da técnica de correlação cruzada aplicada nesta parte da metodologia.

A técnica de correlação cruzada é utilizada para fornecer informação sobre a similaridade, no domínio do tempo, entre sinais ou séries temporais (EMERY e THOMSON, 2004). A principal vantagem da correlação cruzada é a possibilidade de verificar a variação nas correlações devido à existência de atrasos ou “delays” ou “lags” entre as séries temporais (Equação 7).

$$r_{xy}[m] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]y^*[n-m] \quad (7)$$

Onde, r é o coeficiente de correlação, x e y são os sinais estudados, n é o número de amostras dos sinais estudados, m é o lag.

Como um dos objetivos desta dissertação é quantificar a influência das variáveis hidrológicas (vazão na foz do Rio Amazonas), meteorológicas (VS) e oceanográficas (COS) na variabilidade espacial e temporal da pluma do Rio Amazonas, serão apresentadas apenas as correlações cruzadas referentes aos lags positivos. Cada lag representando um período de 14 dias.

No caso das componentes do VS e da COS, foram gerados mapas de correlações a fim de identificar, na área de estudo, como variam as correlações entre as métricas da pluma do Rio Amazonas em relação às componentes mais representativas do VS e da COS.

Para a construção do mapa de correlação foram extraídas as séries temporais de cada pixel da matriz de dados (VS ou COS). A partir destas séries foram calculados os valores dos coeficientes de correlação entre as séries de cada pixel e a série temporal das métricas. Nos locais dos pixels na matriz de dados, foram inseridos os valores dos coeficientes de correlação. Tendo ao final do processo o mapa de correlação para das componentes do VS e COS com cada métrica da pluma do Rio Amazonas.

Todas as correlações cruzadas realizadas entre as séries temporais tiveram 95 % como nível de significância.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e as discussões desta dissertação são apresentados em quatro tópicos:

1. No primeiro tópico são apresentados os resultados das correlações lineares dos dados *in situ* de salinidade com os produtos de SRCO do sensor SeaWIFS. São descritos e discutidos os resultados de análises estatísticas que permitiram determinar o produto de SRCO mais adequado para o mapeamento da pluma do Rio Amazonas, e utilizado nas fases posteriores da pesquisa;
2. No segundo tópico são apresentadas as séries temporais e os espectros de wavelets dos dados de: (i) vazão na foz do Rio Amazonas; (ii) VS nos 3 pontos de interesse definidos no item 5.3 da metodologia; (iii) COS nos mesmos 3 pontos, e (iv) métricas da pluma do Rio Amazonas. Nesta etapa são descritos os principais padrões de variabilidade dos dados descritos acima, assim como suas propriedades estatísticas descritivas - média, desvio padrão, valores máximos e mínimos.
3. No terceiro tópico são realizadas as correlações cruzadas entre as métricas extraídas da pluma do Rio Amazonas e a vazão na foz deste rio. Nesta etapa também são identificadas as regiões que apresentaram as maiores correlações entre as matrizes das componentes do VS e COS com as métricas da pluma, e
4. No quarto tópico são apresentadas e discutidas as comparações realizadas entre as correlações das séries temporais das métricas com as variáveis ambientais que foram decompostas pela análise de multi-resolução por wavelet e as séries temporais que não passaram por este processo.

4.1 Modelo de salinidade sintética

Na Tabela 4.1 são apresentados os modelos de salinidade sintética, os coeficientes de determinação (r^2) e a raiz quadrada do erro médio quadrático (rmse) gerados a partir das regressões lineares entre os 31 dados *in situ* e os dados extraídos dos produtos de SRCO. A partir desta tabela é possível constatar que os produtos *adg_443_gsm*, *Chl_OC4*, *adg_443_carder*, *K_490*, *TSM*, apresentaram valores muito próximos de r^2 e rmse. A fim de identificar se as diferenças encontradas entre os valores de r^2 dos modelos eram significativas foi realizado um teste-t, com 95% de significância, entre estes valores (Tabela 4.2).

Tabela 4.1 – Modelos de salinidade sintética gerados a partir de produtos de SRCO.

Salinidade sintética = a * (produto) + b				
Produtos	a	b	r^2	rmse
<i>adg_443_gsm</i>	-126,03	37,25	0,76	0,53
<i>Chl_OC4</i>	-6,64	36,86	0,74	0,56
<i>adg_443_carder</i>	-149,89	37,37	0,72	0,61
<i>K_490</i>	-54,76	37,89	0,62	0,83
<i>TSM</i>	-14,73	38,32	0,60	0,87
<i>nLw_555</i>	-6,87	37,95	0,32	1,49
<i>Rrs_670</i>	-1271,65	35,78	0,10	1,98

Tabela 4.2 – Os p valores (*p-value*) referentes ao teste-t realizados a fim de identificar se as diferenças entre os coeficientes de determinação (r^2) obtidos a partir dos modelos de salinidade sintética.

Produtos	<i>Chl_OC4</i>	<i>adg_443_carder</i>	<i>K_490</i>	<i>TSM</i>	<i>nLw_555</i>	<i>Rrs_670</i>
<i>adg_443_gsm</i>	0,4412	0,3872	0,1658	0,1431	0,0065	0,0002
<i>Chl_OC4</i>		0,4449	0,2049	0,1787	0,0094	0,003
<i>adg_443_carder</i>			0,2461	0,2168	0,0132	0,004
<i>K_490</i>				0,4613	0,0591	0,0034
<i>TSM</i>					0,071	0,0044
<i>nLw_555</i>						0,1131

Os dados da Tabela 4.2 mostram que as diferenças entre os coeficientes de determinação (r^2) dos modelos de salinidade sintética *adg_443_gsm*,

adg_443_carder, K_490, Chl_OC4 e TSM não são significativas com 95 % de significância.

Este fato ocorre porque as bandas utilizadas nos algoritmos referentes aos produtos são, muitas vezes, semelhantes ou próximas. Por este motivo, conforme é demonstrado na Tabela 4.3, os produtos apresentam-se altamente correlacionados.

Tabela 4.3 – Matriz de correlação entre os produtos de SRCO.

Produtos	adg_443_gsm	TSM	K_490	nLw_555	Rrs_670	Chl_OC4	adg_443_carder
adg_443_gsm	1,00						
TSM	0,88	1,00					
K_490	0,89	0,97	1,00				
nLw_555	0,58	0,81	0,80	1,00			
Rrs_670	0,29	0,55	0,56	0,74	1,00		
Chl_OC4	0,95	0,96	0,96	0,77	0,46	1,00	
adg_443_carder	0,99	0,87	0,90	0,57	0,37	0,93	1,00

A fim de identificar qual o melhor produto de SRCO para ser utilizado no mapeamento da pluma do Rio Amazonas, foram levantadas na literatura informações quanto às características e limitações das aplicações dos algoritmos que se apresentaram altamente correlacionados.

Os algoritmos empíricos utilizados nos produtos K_490 (O'Reilly et al., 2000) e Chl_OC4 (O'REILLY et al., 2000), citados acima, foram criados para estimar o coeficiente de atenuação da água (m^{-1}) e a concentração de clorofila *a* ($mg\ m^{-3}$), respectivamente, para águas do Caso 1 (MOREL e PRIEUR, 1977). Estas águas são caracterizadas pela presença do fitoplâncton e outros constituintes opticamente ativos que co-variam (com o próprio fitoplâncton) responsáveis pelas variações nas propriedades ópticas da água. Contudo, grande parte das águas presentes na área de estudo pode ser classificada devido à influência da descarga de material proveniente do Rio Amazonas, como águas do Caso 2 (HU et al., 2004; MULLER-KARGER et al., 1988; VECCHIO e SUBRAMANIAM, 2004). Nas águas do Caso 2, as propriedades ópticas da água são influenciadas por substâncias que variam independentemente da concentração

de fitoplâncton, como por exemplo, o material particulado e as substâncias orgânicas dissolvidas cromofórmicas (MOREL e PRIEUR, 1977).

Diversos estudos já demonstraram que os algoritmos empíricos não funcionam satisfatoriamente em águas do Caso 2, para estimar K₄₉₀ ou Chl_{OC4} (DARECKI e STRAMSKI, 2004; DARECKI et al., 2003; MCKEE et al., 2007; SIEGEL et al., 2005; WOZNIAK e STRAMSKI, 2004). Isto ocorre porque estes algoritmos são baseados em razões de bandas com valores de reflectância de sensoriamento remoto ou de radiância normalizada emergente da água. E muitas vezes, as variações das razões entre as bandas não são exclusivamente devido à concentração de fitoplâncton, como é o caso em águas do Caso 2. Nestas águas, devido à presença de diferentes concentrações de matéria orgânica dissolvida e detritos ocorre suficiente absorção de energia na banda do azul para que, empiricamente, ocorra aumento da concentração de clorofila *a* ou atenuação da água estimada por este tipo de algoritmo (CARDER et al., 2004; DARECKI e STRAMSKI, 2004; MARITORENA et al., 2002; SIEGEL et al., 2005). Este fato excluiu a possibilidade de utilizar os produtos Chl_{OC4} e K₄₉₀ para mapear a pluma do Rio Amazonas.

O algoritmo utilizado para estimar a concentração total de sedimentos em suspensão (ou total de sólidos em suspensão – TSM em inglês) estimado segundo algoritmo proposto por Clark (1998) também não foi selecionado para o mapeamento da pluma porque, apesar de ter sido implementado para aplicações com dados do sensor SeaWiFS, este nunca foi extensivamente validado por resultados publicados na literatura especializada⁶.

Um grande número de trabalhos, entretanto, já demonstrou que existe uma correlação negativa entre a salinidade e a matéria orgânica dissolvida e detritos (BINDING e BOWERS, 2003; BOWERS et al., 2004; HU et al., 2004;

⁶ Esta informação foi obtida junto ao site da *Goddard Ocean Biology Processing Group* (OGBP) (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) no dia 15 de novembro de 2007, onde são disponibilizadas as imagens do sensor SeaWiFS e informações dos algoritmos de SRCO.

MANTOURA e WOODWARD, 1983; VECCHIO e SUBRAMANIAM, 2004). Estes trabalhos explicam que esta correlação existe porque o principal responsável pela entrada de matéria orgânica dissolvida e detritos no oceano é o aporte continental, principalmente de rios, que, por sua vez, apresentam salinidade menor que as águas oceânicas adjacentes.

Os coeficientes de absorção pela matéria orgânica dissolvida e detritos adg_{443_carder} (CARDER et al., 1997) e adg_{443_gsm} (MARITORENA et al., 2002) são estimados por algoritmos semi-analíticos. Nestes algoritmos são relacionados valores de reflectância ou radiância normalizada com as propriedades ópticas inerentes da água, espalhamento e absorção. A partir da inversão destes modelos é possível obter informações relacionadas às propriedades ópticas da água como: (1) o coeficiente de absorção por materiais orgânicos dissolvidos e particulados, (2) o coeficiente de espalhamento por partículas e (3) até estimar a concentração de clorofila *a* (MARITORENA et al., 2002).

Em casos de águas mais complexas como na foz do Rio Amazonas, os algoritmos semi-analíticos apresentam-se mais promissores que os algoritmos empíricos, pois consideram a influência dos diferentes constituintes opticamente ativos presentes na água e suas inter-relações (MARITORENA et al., 2002; O'REILLY et al., 1998; SIEGEL et al., 2005).

Entretanto, os algoritmos referentes aos produtos adg_{443_gsm} e adg_{443_carder} são muito semelhantes. As principais diferenças entre estes estão nos coeficientes respectivos de ajustes dos modelos (CARDER et al., 1997; MARITORENA et al., 2002).

Um fator positivo que deve ser destacado referente ao produto adg_{443_gsm} é que este foi validado a partir de comparações entre dados *in situ* e estimativas obtidas pelo sensor SeaWiFS, mesmo sensor utilizado no desenvolvimento desta pesquisa. No caso do algoritmo empregado para estimar produto adg_{443_carder} , a implementação original foi realizada com dados do sensor

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (CARDER et al., 1997).

Portanto, diante do exposto acima, e com base nos coeficientes de determinação (r^2) e raiz quadrada do erro médio quadrático (rmse), definiu-se estimar a salinidade sintética para o mapeamento da pluma a partir do produto `adg_443_gsm` (MARITORENA et al., 2002). Na Figura 4.1 é apresentado o diagrama de dispersão da relação entre o produto `adg_443_gsm` (eixo x) e a salinidade *in situ* (eixo y) (Figura 4.1).

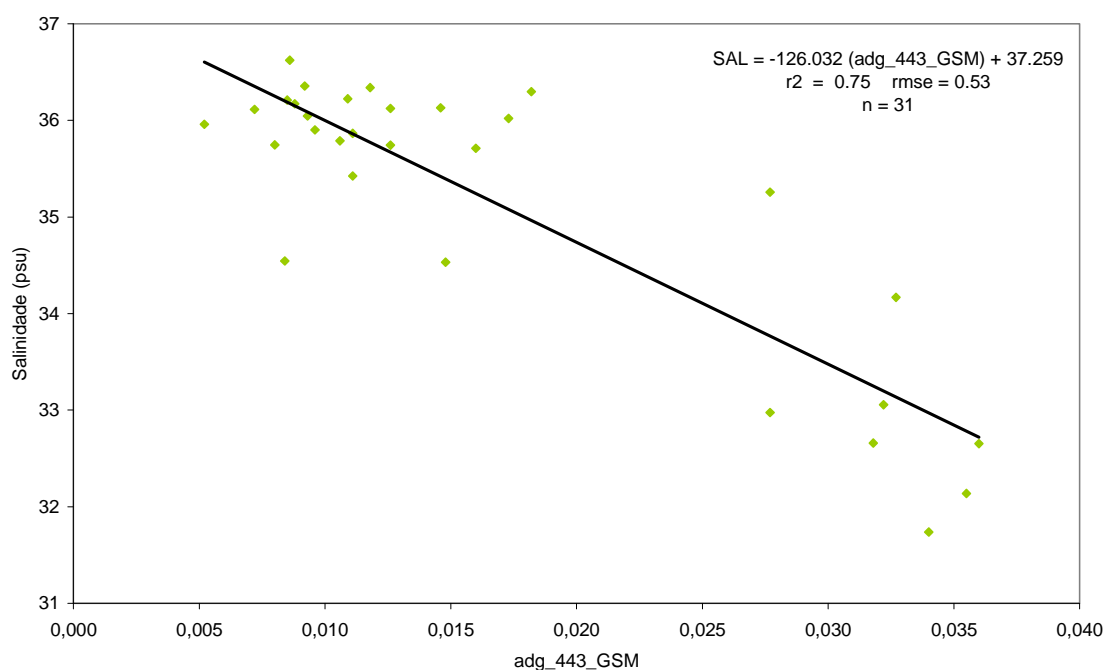


Figura 4.1 – Diagrama de dispersão da relação entre o produto `adg_443_gsm` (x) e a salinidade *in situ* (y).

A partir deste modelo foram gerados mapas de salinidade das 130 imagens do produto `adg_443_gsm` (MARITORENA et al., 2002). Um exemplo de um mapa de salinidade gerado a partir deste modelo é mostrado na Figura 4.2, abaixo.

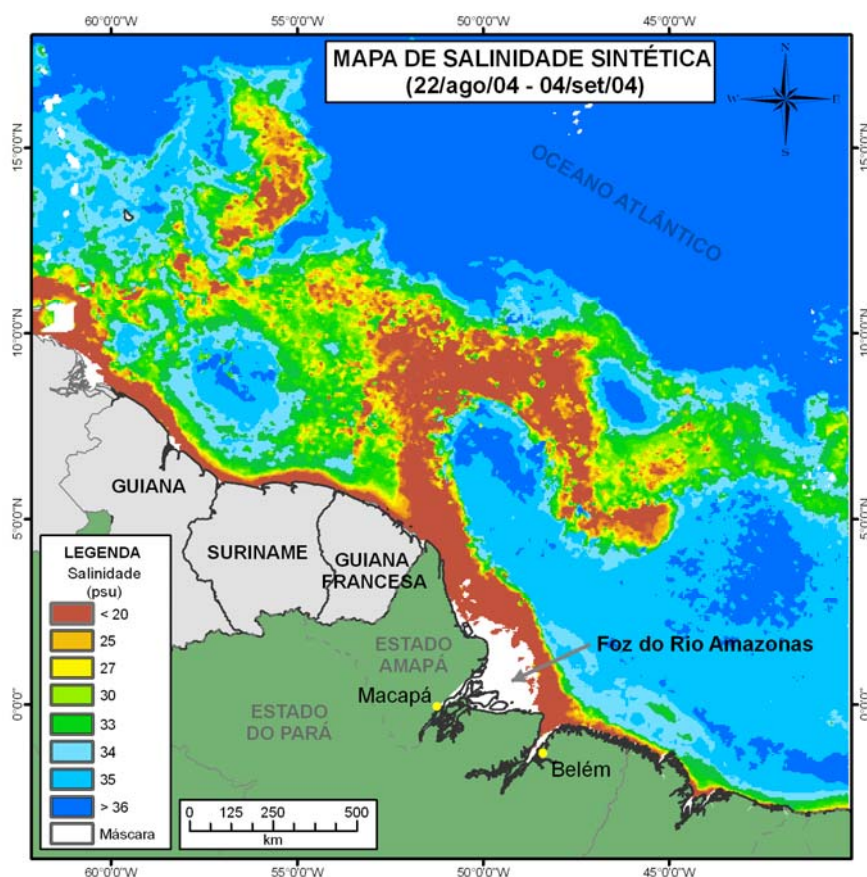


Figura 4.2 – Mapa de salinidade sintética extraído a partir do modelo $SAL = -126,032 (adg_443_gsm) + 37,259$ para o período de 22 de agosto a 4 de setembro de 2004.

4.2 Análise das séries temporais

Conforme comentado no início deste capítulo, neste tópico serão apresentadas as séries temporais e suas informações estatísticas de média, desvio padrão, máximo e mínimo para o período de estudo. No caso das componentes do VS e da COS os valores máximos e mínimos são, também, indicativos da direção nestas componentes.

4.2.1 Vazão na Foz do Rio Amazonas

A vazão na foz do Rio Amazonas é o resultado da somatória das vazões dos rios Amazonas, Xingú e Tapajós (ver metodologia, item 3.4.1). Esta vazão

apresentou uma média de $191 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. O desvio padrão calculado foi de $51 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Figura 4.4-a).

O valor máximo de vazão foi de $275 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ entre 22 de abril a 5 de maio de 2001 e o valor mínimo de vazão foi de $98 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ referente ao período de 4 de novembro a 17 de novembro de 2001.

Em 2001 foram identificados os valores máximo e mínimo de vazão. Como mencionado no item 2.1 da revisão da bibliografia, este ano foi caracterizado por um período de transição de um regime sob influência do fenômeno *La niña*, que causa aumento na pluviosidade na região norte do Brasil, para o *El niño*, que causa uma diminuição na pluviosidade nesta região. Estes fenômenos, conforme já demonstrados em diversos trabalhos anteriores, apresentam, também, como conseqüências alterações nos regimes de vazão nos principais rios da bacia Amazônica (FOLEY et al., 2002; LABAT et al., 2005).

Foram verificados, a partir de dados de precipitação, os meses que apresentaram vazão máxima, mínima e, também dos meses anteriores a estes. A Figura 4.3-a mostra os valores totais de precipitação, em mm, para os meses de maio e abril, mês de máxima vazão do ano de 2001. Pode-se observar que foram medidos valores altos de precipitação nas bacias dos rios Amazonas, Xingu e Tapajós.

Na Figura 4.3-b é apresentado o mês de novembro de 2001, mês de mínima vazão, e o mês anterior a este. Conforme pode ser observado na figura, nestes meses foram registrados valores baixos de vazão.

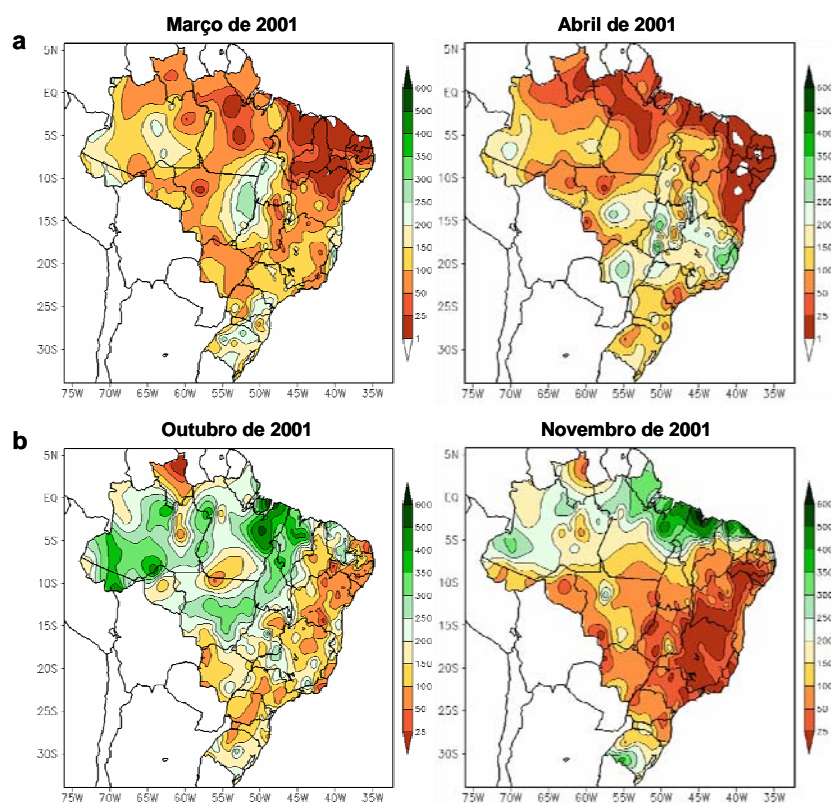


Figura 4.3 – (a) Total de precipitação para no mês abril, que apresentou os valores de máximos de vazão do Rio Amazonas no período de estudo, e o mês anterior a este. (b) Total de precipitação no mês de novembro, que apresentou os valores mínimos de vazão e o mês anterior a este.

Fonte: (CLIMANÁLISE, 2001d, 2001c, 2001b, 2001a).

O espectro de wavelet mostra que a vazão na foz do Rio Amazonas apresenta um período anual e semestral (Figura 4.4-b) (NITTROUER e DEMASTER, 1996). Esta sazonalidade acompanha o ciclo de chuvas da região equatorial. As chuvas por sua vez estão diretamente relacionadas à sazonalidade do deslocamento latitudinal da ITCZ e em escalas globais a períodos de *El niño* - *La niña* (FOLEY et al., 2002; FU et al., 2001; MARENGO e HASTENRATH, 1993; NOBRE e SHUKLA, 1996).

Este espectro permite identificar que a partir da metade do ano de 2002 ocorre uma diminuição significativa da energia do sinal sazonal. Este fato ocorre, provavelmente, porque os anos de 2002, 2003 e 2004 estão sob a influência do fenômeno *El niño*, conforme comentado anteriormente.

A partir da análise da série temporal e do espectro de energia é possível identificar a duração aproximada dos períodos em que a vazão do Rio Amazonas está acima da média (março a julho-agosto) e os períodos que apresentaram as vazões abaixo da média (agosto a março).

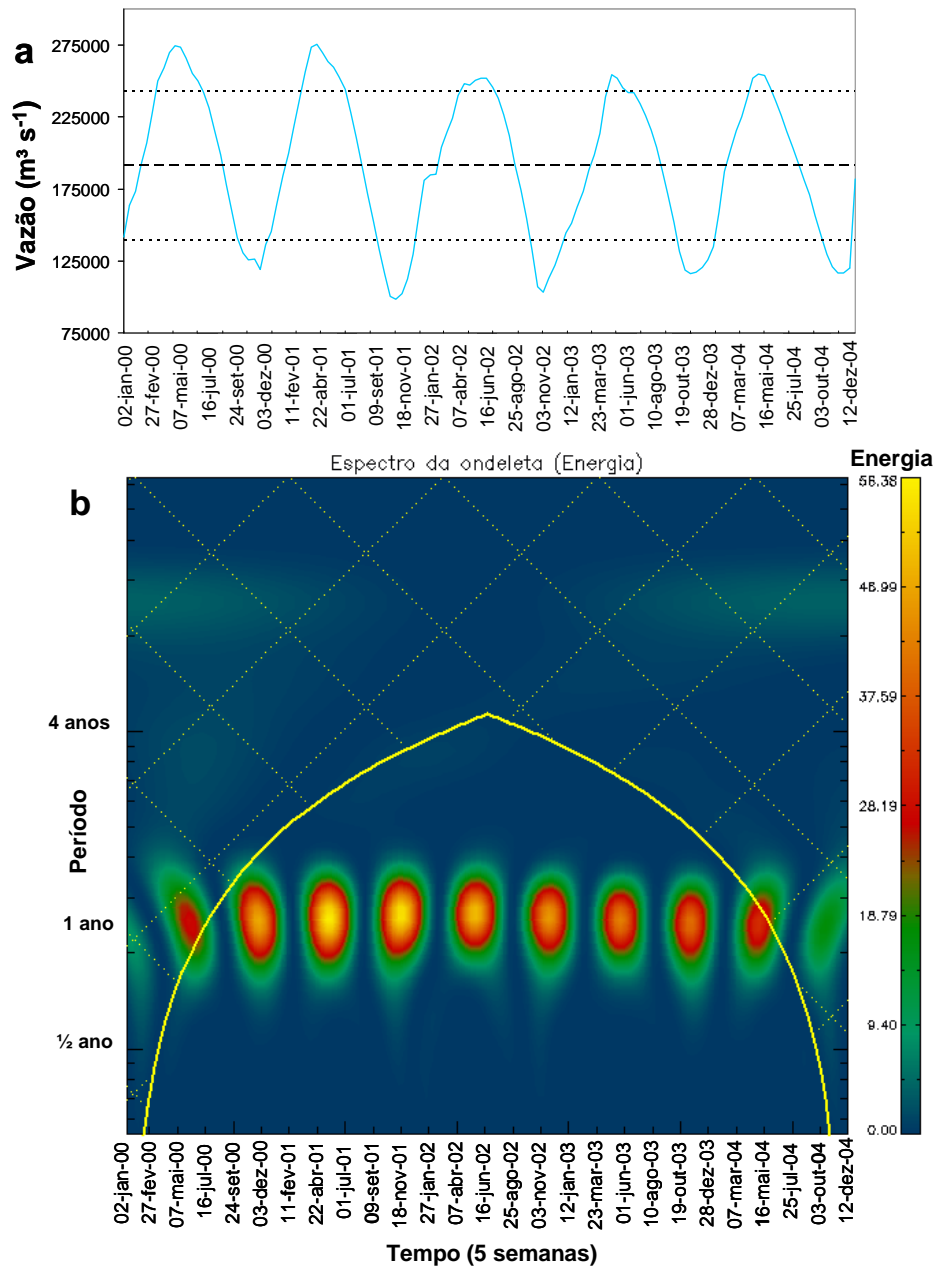


Figura 4.4 – (a) Série temporal da vazão na foz do Rio Amazonas para o período de estudo. A linha pontilhada grossa indica o valor médio da série temporal. As linhas pontilhadas finas indicam os desvios padrão da série temporal. (b) Espectro de wavelet da série temporal da vazão na foz do Rio Amazonas. As datas dos eixos x estão inseridas em intervalos de 5 semanas.

4.2.2 Vento superficial (VS)

A Figura 4.5 apresenta o comportamento do vento nos três pontos julgados de interesse durante o período de estudo. Esta figura mostra que o vento de NE, componente perpendicular à costa, é o vento predominante na região. Como pode ser observado nesta figura, os três pontos, devido às suas diferentes latitudes, mostram pequenas variações nas direções e velocidades do VS.

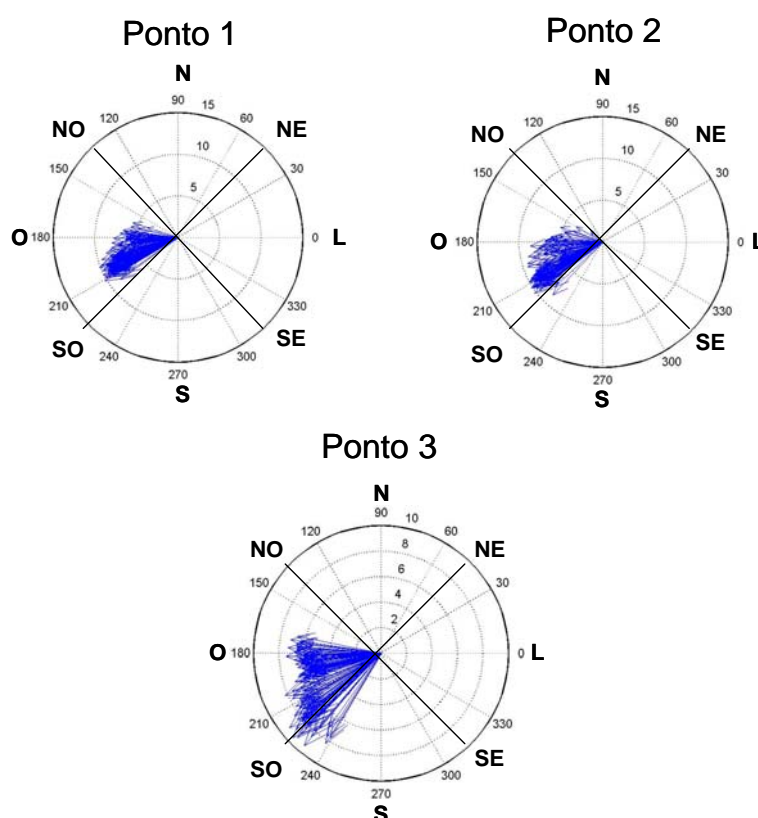


Figura 4.5 – Vetores de velocidades (m s^{-1}) do vento nos 3 pontos de interesse (ponto 1, 9° N e 53° O ; ponto 2, 7° N e 48° O ; ponto 3, 3° N e 47° O) na área de estudo.

Uma análise posterior realizada consistiu em identificar as correlações entre as séries temporais dos 3 pontos, na componente perpendicular à costa (NE-SO) (Tabela 4.4).

A Tabela 4.4 mostra que os 3 pontos são altamente correlacionados entre si. O ponto 2 apresentou as maiores correlações com os demais pontos. Esta alta

correlação entre os pontos ilustra a influência, principalmente, do fenômeno da ITCZ sobre a variabilidade do campo de vento na área de estudo.

Tabela 4.4 – Matriz de correlação, com nível de significância de 95%, entre os 3 pontos de interesse na componente perpendicular à costa do VS.

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Ponto 1	1,00		
Ponto 2	0,93	1,00	
Ponto 3	0,76	0,89	1,00

A partir do que foi comentado acima, serão apresentados e discutidos os resultados da análise por wavelet, apenas da série temporal do VS no ponto 2 da componente perpendicular à costa.

A componente do VS perpendicular à costa no ponto 2 apresentou o valor médio de velocidade de $-6,64 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 4.7-a, Tabela 4.5). Este valor médio comprova o que foi afirmado anteriormente de que o vento do quadrante NE é o principal atuando na região. O desvio padrão relativo neste ponto foi de $2,94 \text{ m s}^{-1}$. Os valores, máximo e mínimo, calculados foram $-10,52 \text{ m s}^{-1}$ e $0,38 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente.

Tabela 4.5 – Informações relativas à série temporal da componente do vento perpendicular à costa do ponto 2 e as datas de ocorrência das velocidades máxima e mínima.

Velocidade (m/s)	
Média	-6,18
Desvio Pad.	2,94
Máximo	-10,52
Mínimo	0,38
Datas	
Máximo	09/fev/03 – 22/fev/03
Mínimo	24/ago/03 – 06/set/03

O valor positivo do ponto 2, como pode ser observado na Figura 4.6-b, indica um período de vento de L causado por um deslocamento mais ao norte do que a média climatológica da ITCZ, indicado pela linha vermelha tracejada, neste período (CLIMANÁLISE, 2003).

O valor de velocidade máximo indica um período em que a ITCZ se localizava mais ao sul (Figura 4.6-a). A região sob a influência da ITCZ é facilmente caracterizada por ventos de baixa intensidade e de direções predominantes do quadrante leste. Isto porque nos períodos em que a ITCZ está mais ao sul haverá uma intensificação dos ventos perpendiculares à costa (direção NE). Nos meses do ano em que esta se localiza mais ao norte são os períodos de menor velocidade da componente perpendicular (NITTROUER e DEMASTER, 1996; NOBRE e SHUKLA, 1996).

A partir da Figura 4.7-a é possível identificar que os menores valores de velocidade desta componente ficaram compreendidos, aproximadamente, entre os meses de junho-julho a novembro e as maiores velocidades, por sua vez, limitaram-se aos meses de dezembro a junho. Este comportamento ocorre porque nos meses de julho a novembro a ITCZ se encontra mais ao norte, entre 10° e 5° N. Nos meses de dezembro a junho esta se encontra mais ao sul, entre 3° N e 3° S (MELO et al., 2000).

O espectro de wavelet mostrado na Figuras 4.7-b permite verificar que esta componente apresenta um ciclo anual. Dentro deste período é possível identificar variações na energia da série temporal correspondendo às variações semestrais presentes na série. Esta sazonalidade está diretamente relacionada com o deslocamento latitudinal da ITCZ (FERREIRA, 1996; MELO et al., 2000; NOBRE e SHUKLA, 1996).

Na Figura 4.7-b pode ser observado um aumento da energia no espectro de wavelet a partir de 2003. Este aumento está relacionado ao deslocamento maior para norte da ITCZ do que a média climatológica, devido ao período de 2002 a 2004 ser influenciado pelo fenômeno *El Niño* (MELO et al., 2000; NOBRE e SHUKLA, 1996).

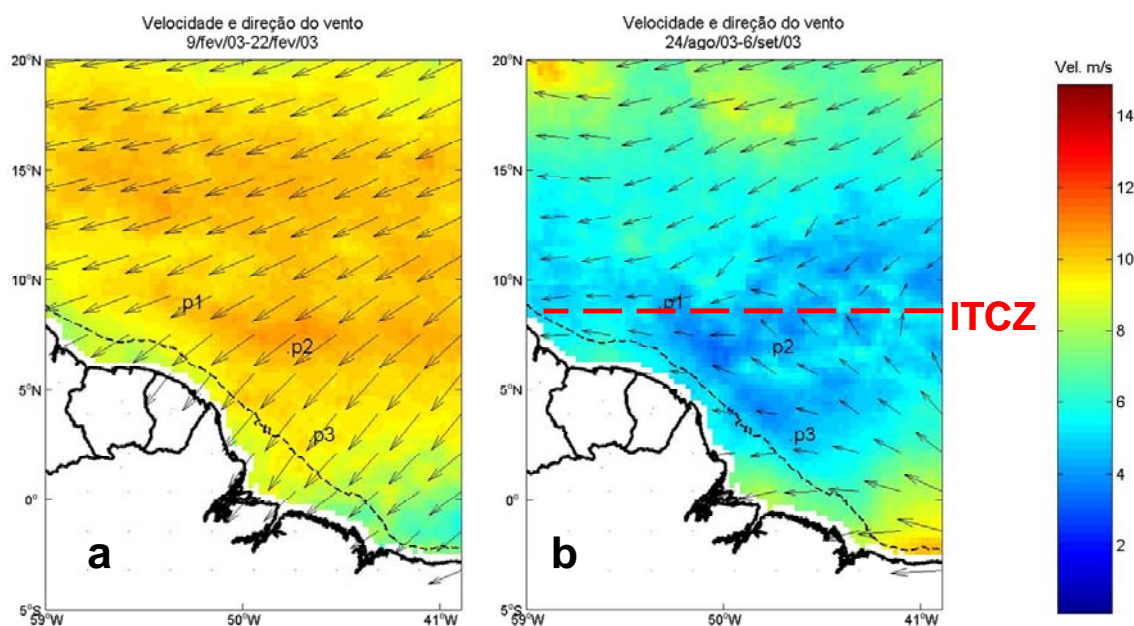


Figura 4.6 – Velocidade e direção do vento referentes aos valores de velocidades (a) máxima, período de 9 a 22 de fevereiro de 2003, e (b) mínima, período de 24 de agosto a 6 de setembro de 2003, da componente perpendicular à costa no ponto 2. A linha tracejada vermelha indica a posição da ITCZ.

Os sinais mais alongados nos ciclos anuais são devidos, principalmente, às características da wavelet mãe “DOG” utilizada neste estudo. Esta fornece informações de descontinuidades e picos isolados nas séries temporais (ver item 2.4). Estes alongamentos são, portanto, indicativos dos locais que apresentaram descontinuidades bruscas na série temporal.

Estas descontinuidades, no ponto 2, estão apresentando sinais de frequências maiores com período de, aproximadamente, 10 meses. Estes sinais, provavelmente, estão relacionados a pequenas variações na localização latitudinal da ITCZ que geram, conseqüentemente, variações na direção e intensidade dos ventos desta componente. Entretanto, estas variações apresentaram energias pequenas em relação ao ciclo anual.

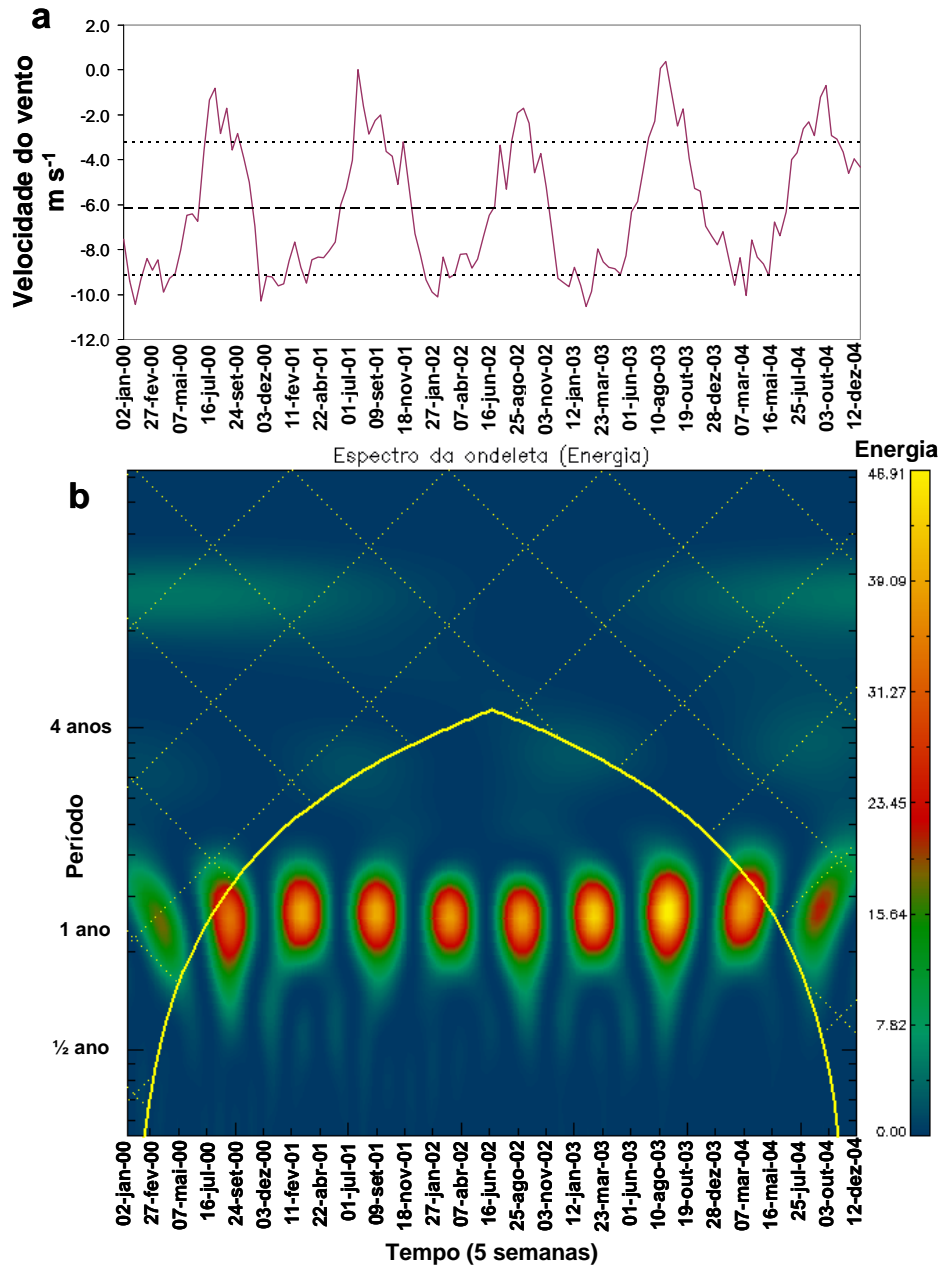


Figura 4.7 – (a) Série temporal da componente perpendicular à costa do vento superficial no ponto 2. A linha pontilhada grossa indica o valor médio da série temporal. As linhas pontilhadas finas indicam os desvios padrão da série temporal. (b) Espectros de wavelet da série temporal do ponto 2. As datas dos eixos x estão inseridas em intervalos de 5 semanas.

4.2.3 Corrente oceânica superficial (COS)

A Figura 4.8 apresenta o comportamento da COS nos três pontos de coordenadas ao longo do período de estudo. Pode-se constatar que, em relação ao VS, a COS apresenta uma maior variabilidade tanto na direção quanto na velocidade.

Os pontos 1 e 3 exibem agrupamentos dos vetores de correntes na direção SE. Pela localização destes pontos e pela direção preferencial da corrente pode-se inferir que no, ponto 1, a Corrente das Guianas (CG) e, no ponto 2, a CNB são as principais COS atuando nestes pontos (JOHNS et al., 1998; STRAMMA et al., 2005; STRAMMA e SCHOTT, 1999). A CG, conforme comentado na revisão da literatura, é uma continuação da CNB. Entretanto, mesmo sendo influenciados, relativamente, pela mesma COS, estes pontos apresentaram diferentes valores de velocidades entre si. Esta diferença demonstra uma significativa diminuição da intensidade das COS ao longo da costa.

O ponto 2 apresenta agrupamento dos vetores de correntes na direção noroeste (NO). Este fato indica que a retroflexão da CNB é a principal COS atuando neste ponto (FONSECA et al., 2004; JOHNS et al., 1998).

Portanto, optou-se por utilizar as séries temporais dos 3 pontos referentes à componente paralela à costa (SE-NO) como variável para analisar o comportamento da COS na área de estudo.

Uma segunda análise consistiu em correlacionar as COS no três pontos de interesse (Tabela 4.6). Esta tabela mostra que, diferentemente dos dados de VS, as componentes da COS superficiais nos 3 pontos não apresentam altas ($>0,5$) correlações entre si. Isto comprova que a área de estudo apresenta uma grande dinâmica em relação as correntes oceânicas (ver item 2.3.2) (JOHNS et al., 1998; STRAMMA et al., 2005; STRAMMA e SCHOTT, 1999).

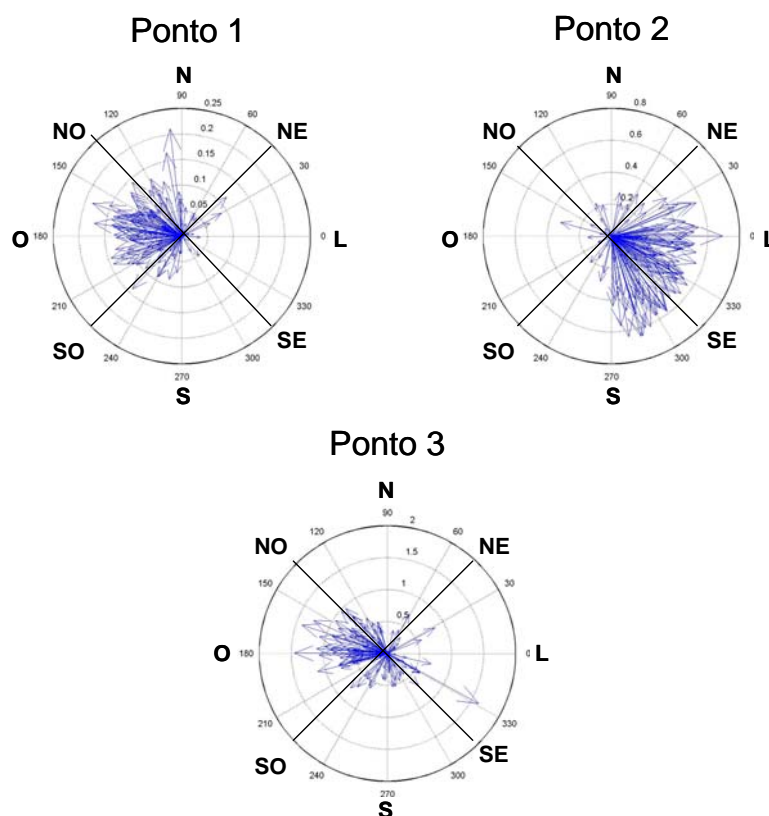


Figura 4.8 - Vetores de velocidades (m s^{-1}) da corrente oceânica superficial nos 3 pontos de interesse (ponto 1, 9° N e 53° O ; ponto 2, 7° N e 48° O ; ponto 3, 3° N e 47° O) na área de estudo.

Tabela 4.6 - Matriz de correlação, com nível de significância de 95%, entre os 3 pontos de interesse na componente paralela à costa da COS.

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Ponto 1	1,00		
Ponto 2	0,17	1,00	
Ponto 3	0,15	0,03	1,00

A partir do que foi comentado anteriormente, serão apresentadas e discutidas as séries temporais e as análises wavelets dos 3 pontos de interesse na componente paralela à costa.

Os dados estatísticos das séries temporais dos três pontos são apresentados na Tabela 4.7. Os valores médios de velocidades da corrente na componente paralela à costa dos pontos 1, 2 e 3 são $0,10$, $-0,27$ e $0,22 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente. O desvio padrão destes pontos foi de $0,17$, $0,20$ e $0,43 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente (Figura 4.10-a,c,e).

Tabela 4.7 - Informações relativas às séries temporais das componentes do vento paralela à costa para os pontos 1, 2 e 3 e as datas de ocorrência das velocidades máxima e mínima.

Velocidades m s^{-1}			
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Média	0.10	-0.27	0.22
Desvio pad.	0.17	0.20	0.43
Máximo	0.61	-0.58	-1.56
Mínimo	-0.40	0.28	1.26
Datas			
Máximo	16/dez/01 – 29/dez/01	25/jul/04 – 07/ago/04	23/set/01 – 06/out/01
Mínimo	9/set/01 – 22/set/01	23/abr/00 – 06/mai/00	13/fev/00 – 26/fev/00

Os valores das médias nos pontos 1 e 3 comprovam a maior influência de correntes na direção SE nestes pontos (Figura 4.10-a,c,e). O ponto 2, o único a apresentar média negativa, indica a principal influência é de correntes da direção NO.

No ponto 3 foi identificado um valor ($-1,56 \text{ m s}^{-1}$) que se destacou muito em relação aos valores encontrados na série temporal e em uma direção contrária a Corrente Norte do Brasil, principal corrente que atua na área de estudo (JOHNS et al., 1998; SILVEIRA et al., 1994; STRAMMA e SCHOTT, 1999). Entretanto, na série temporal deste ponto foram identificados outros valores negativos e que segundo o espectro de wavelet apresentaram uma periodicidade anual e ficaram situadas entre os meses de maio a novembro (Figura 4.10-e). Estes valores indicam que em determinadas datas existe uma corrente direcionada à NO.

Por este motivo foram observadas as imagens de correntes oceânicas superficiais, geradas neste estudo, referentes às datas que apresentaram os valores negativos maiores que o desvio padrão. A partir destas imagens e com base na literatura foi verificado que os valores negativos podem ser explicados pelos seguintes fatores: (1) A Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE) apresentou um maior deslocamento ao sul influenciando o ponto 3, (2) a presença da Subcorrente Equatorial (SCE) que apresenta grande influência nesta região principalmente nos meses de março a junho e que em

determinadas situações pode ressurgir (BARNIER et al., 2001; JOHNS et al., 1998; SCHOTT et al., 1998; STRAMMA e SCHOTT, 1999), e (3) a localização do ponto 3 próximo a área costeira gera ruídos ou erros na precisão do modelo de COS.

Na Figura 4.9 são apresentadas as imagens de velocidade e os vetores de direção da COS referentes às datas que apresentaram os valores máximos e mínimos de velocidade em cada ponto. Nesta figura também podem ser identificados anéis, pela linha vermelha tracejada, que se formam a partir de retroflexão da CNB. Os anéis identificados nesta figura apresentaram diâmetros que variaram de 5° (~555 km) a 2° (~222 km) concordando com a literatura (FRATANTONI e GLICKSON, 2002).

O espectro de wavelet (Figura 4.10-b) da série temporal do ponto 1 mostra uma grande variação nas frequências ao longo do período de estudo. Nos meses de julho a dezembro dos anos 2001 a 2004, são identificadas altas frequências (< 6 meses). Este período do ano é marcado pela maior atividade da CNB e da retroflexão da CNB (FONSECA et al., 2004; JOHNS et al., 1998; STRAMMA e SCHOTT, 1999). Estas altas frequências, portanto, são indicativas da variabilidade da CNB nos meses de julho a dezembro.

O ponto 2 apresentou o espectro de energia com uma forte periodicidade anual e semestral (Figura 4.10-d). Este ponto apresenta maior energia nos meses de janeiro a junho e de julho a dezembro. Conforme comentado anteriormente este padrão de variabilidade está diretamente relacionado com a retroflexão da Corrente Norte do Brasil. Neste ponto, as frequências maiores de período de, aproximadamente seis meses, apresentaram baixas energias, estando estas, possivelmente, relacionadas às variações no comportamento da retroflexão da CNB.

O ponto 3 mostra, assim como o ponto 2, fortes sinais no período de 1 ano com variações na energia referentes a períodos de seis meses (Figura 4.10-d,f). Nestes pontos, a partir do segundo semestre de 2002 e início de 2003, foram

identificados sinais com maior energia em relação ao restante da série. Isto indica períodos em que ocorreram aumentos na intensidade da CNB e da retroflexão da CNB.

As altas frequências (< 6 meses) presentes no ponto 3 mostram uma periodicidade bem demarcada apenas no período de 2000 a 2002. As baixas frequências representativas de períodos anuais ficaram melhor demarcadas no período de entre 2002 e 2004 (Figura 4.10-f).. Este fato indica uma grande variabilidade da COS no ponto 3, concordando com a análise dos vetores de velocidade (Figura 4.8). Esta alta variabilidade pode estar relacionada, também, à presença de outras correntes ou ruídos relativos à localização do ponto 3, conforme comentado anteriormente.

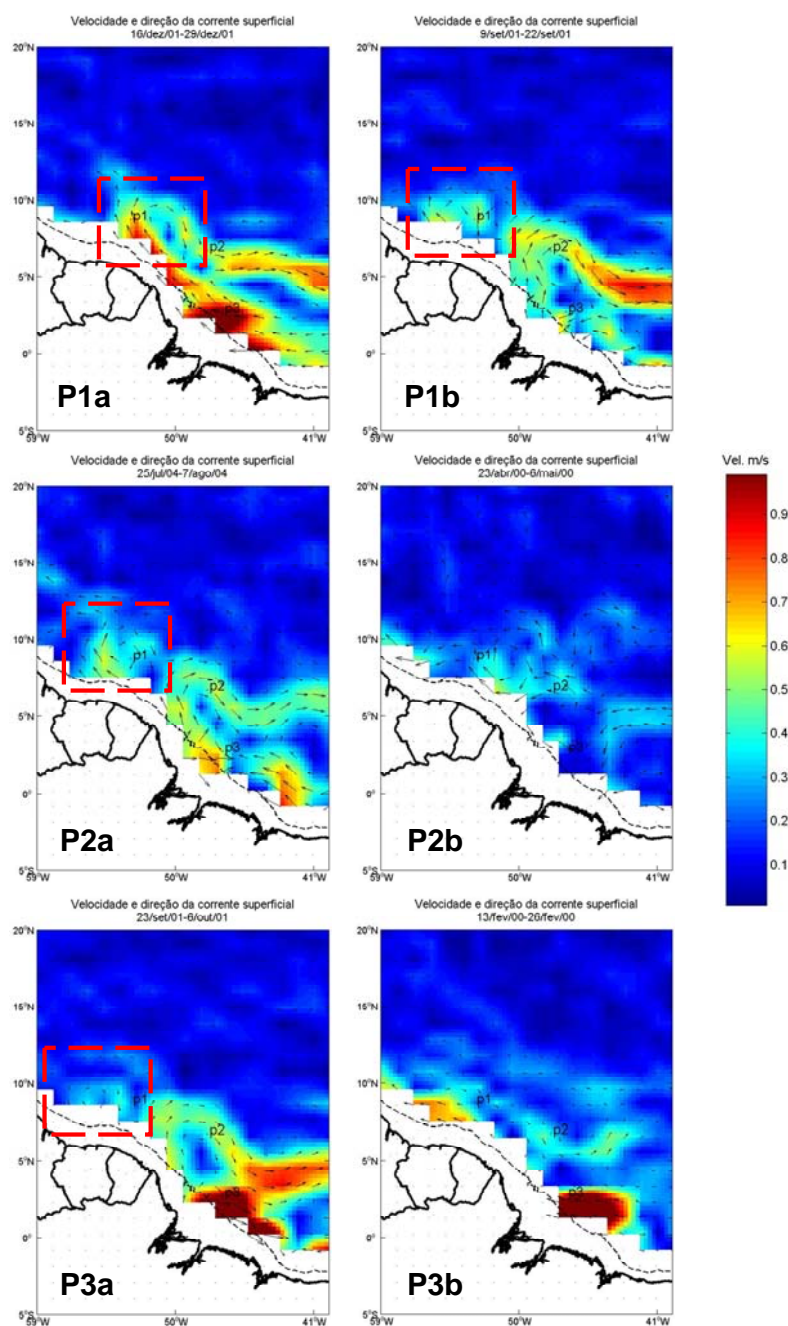


Figura 4.9 - Velocidade e direção das correntes superficiais oceânicas referentes aos valores de (a) máxima e (b) mínima velocidades na componente paralela à costa dos 3 pontos de interesse (P1, P2 e P3). As imagens apresentadas acima passaram por um processo de interpolação linear a fim de melhorar a qualidade visual.

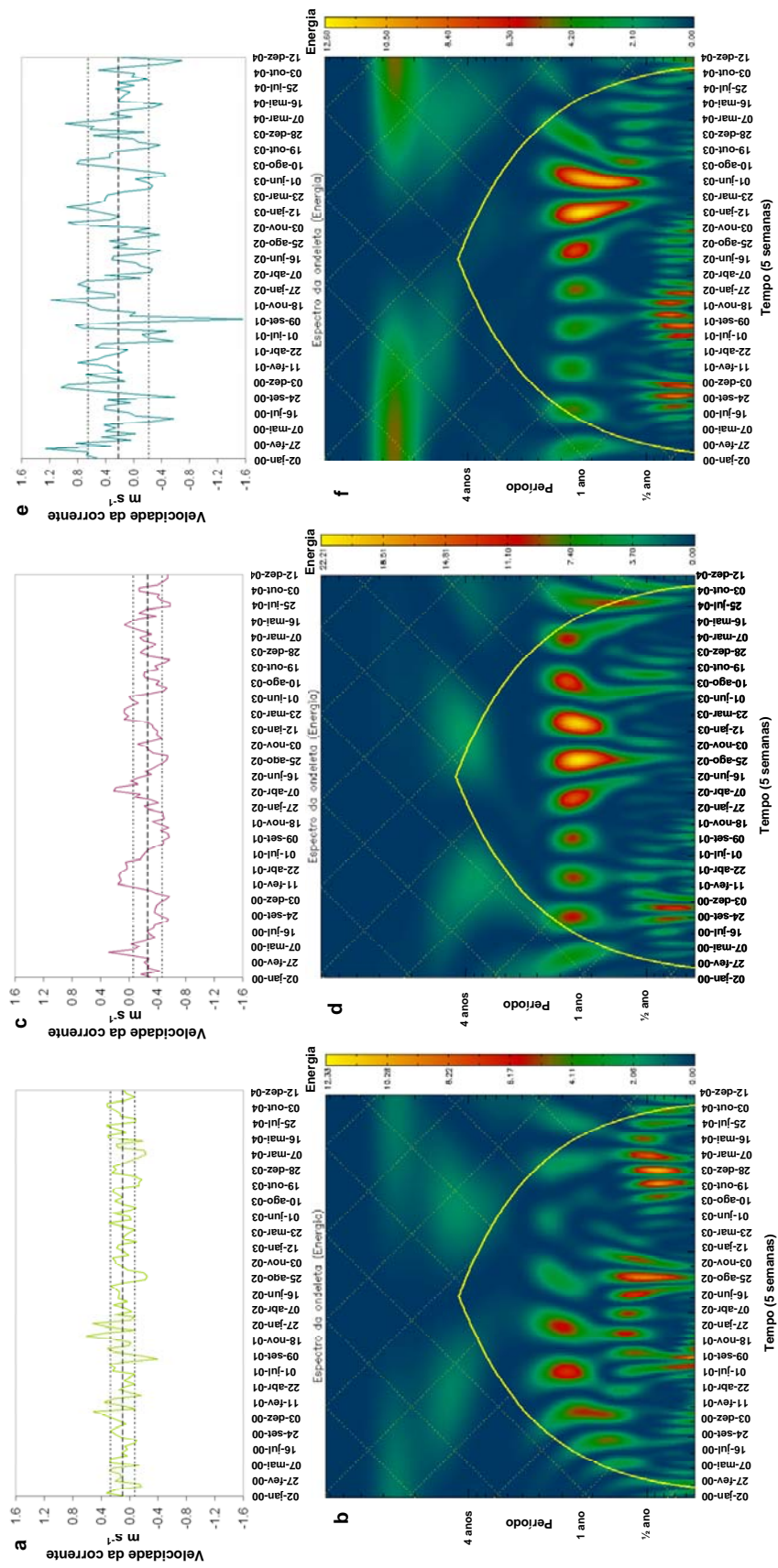


Figura 4.10 - Séries temporais da componente paralela à costa da corrente oceânica superficial nos pontos 1 (a), ponto 2 (c) e ponto 3 (e). A linha pontilhada grossa indica o valor médio da série temporal. As linhas pontilhadas finas indicam os desvios padrão das séries temporais. Espectros de wavelet das séries temporais dos pontos: 1 (b), 2 (d) e 3 (f). As datas dos eixos x estão inseridas em intervalos de 5 semanas.

4.2.4 Métricas da pluma do Rio Amazonas

Área da pluma do Rio Amazonas

A métrica referente à área da pluma do Rio Amazonas apresentou valor médio de $680 \times 10^3 \text{ km}^2$ (Figura 4.11-b e Figura 4.12-a). O maior valor de área calculado foi de $1.506 \times 10^3 \text{ km}^2$ correspondendo ao período entre os dias 13 de julho à 26 de julho de 2003 (Figura 4.11-a). O valor mínimo encontrado foi de $268 \times 10^3 \text{ km}^2$, referente ao período entre os dias 2 a 15 dez de 2001 (Figura 4.11-c). A área da pluma do Rio Amazonas teve um desvio padrão de $313 \times 10^3 \text{ km}^2$ (Figura 4.12-a). As maiores áreas da pluma calculadas encontram-se entre os meses de maio a setembro e as menores área entre os meses de outubro a março (Figura 4.12-a).

A Figura 4.11 mostra exemplos da variabilidade da métrica da área da pluma do Rio Amazonas. A partir desta figura é possível observar as diferentes formas que a pluma do Rio Amazonas adquire nos períodos de: (a) área máxima, (b) área média e (c) área mínima. A escolha de um exemplo de imagem referente ao valor médio da área foi realizada procurando-se uma data que apresentou valor de área mais próximo à média calculada. Este critério foi aplicado, também, para as demais métricas.

Na Figura 4.11-a é possível visualizar a forma característica que a pluma do Rio Amazonas adquire devido à retroflexão da CNB (HU et al., 2004; MULLER-KARGER et al., 1988). Nesta figura também se pode observar um anel, delimitado pela linha vermelha tracejada, que se formou a partir desta retroflexão (FRATANTONI e GLICKSON, 2002; JOHNS et al., 1998; SILVEIRA et al., 1994). Este anel apresentou um diâmetro aproximado de 5° (~555 km).

A Figura 4.11-b ilustra um período em que a pluma apresenta-se em fase de transição entre período de máxima e mínima área. A partir da Figura 4.11-c é possível constatar que nos períodos de menor área da pluma, esta se encontra adjacente à costa.

O espectro wavelet desta métrica mostra que a variação da área da pluma apresenta um forte ciclo anual. Dentro deste ciclo foram identificados sinais de altas energias correspondendo às variações semestrais presentes na série temporal (Figura 4.12-b).

É possível observar, também, que ocorreram variações na energia do espectro ao longo dos anos, principalmente no ano de 2002, onde houve diminuição na energia (Figura 4.12-b). Esta característica, também, foi identificada nas demais métricas. Esta diminuição na energia da série no ano de 2002 pode ser indicativa da influência do fenômeno *El Niño* em alguma das variáveis ambientais que, conseqüentemente, repercutiu no sinal da série temporal da área da pluma.

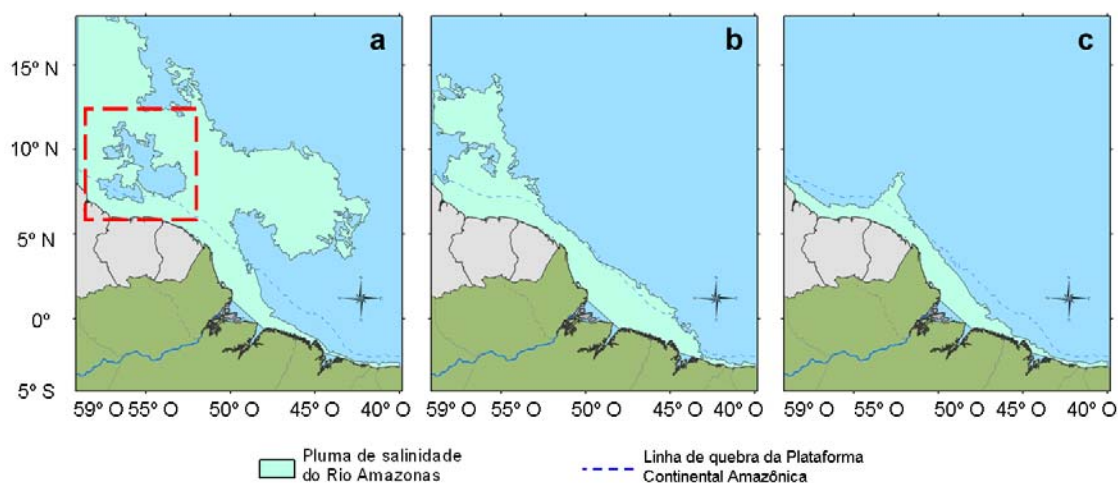


Figura 4.11 – Mapas ilustrativos da pluma do Rio Amazonas referentes aos valores de (a) área máxima, período de 13 a 26 de julho de 2003, (b) área média, período de 8 a 21 de abril de 2001 e (c) área mínima, período de 2 a 15 de dezembro de 2001. A linha vermelha tracejada indica a localização de um anel.

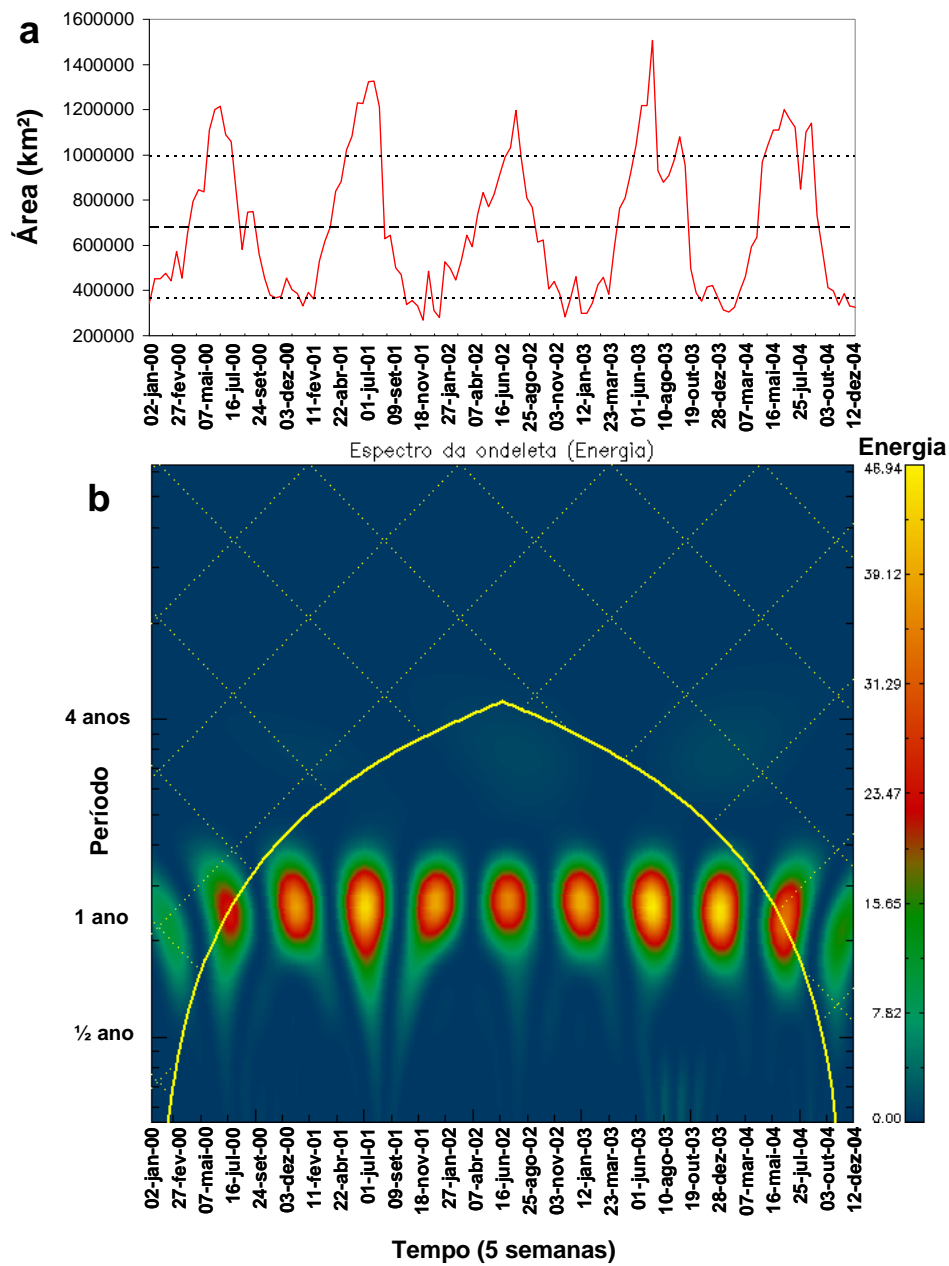


Figura 4.12 – (a) Série temporal da área da pluma do Rio Amazonas. A linha pontilhada grossa indica o valor médio da série temporal. As linhas pontilhadas finas indicam os desvios padrão da série temporal. (b) Espectro de wavelet da série temporal da área da pluma do Rio Amazonas. As datas dos eixos x estão inseridas em intervalos de 5 semanas.

Distância da foz do Rio Amazonas

A métrica referente à distância que a pluma alcança em relação à foz do Rio Amazonas apresentou valor médio de 216,20 km (Figura 4.13-b e Figura 4.14-a). A distância máxima desta métrica foi de 377,64 km no período que compreendeu os dias 22 de abril a 5 de maio de 2001 (Figura 4.13-a). A distância mínima calculada foi de 170,00 km no período de 11 de março a 24 de março de 2001 (Figura 4.13-c). O desvio padrão calculado para esta métrica foi de 37,78 km (Figura 4.14-a).

Na Figura 4.13 pode-se perceber que a métrica da distância da pluma à foz do Rio Amazonas independe da forma e da área da pluma, porque seu cálculo é feito com base na variação em apenas um ponto da pluma. Por este motivo, é importante destacar que o método utilizado para calcular esta métrica pode apresentar uma quantidade maior de incertezas nos resultados do que os das demais.

A fim de se ter uma relação da variação desta métrica com a quebra da PCA na profundidade de 100 m (ver item 2.2 na revisão da literatura), foi calculada a distância entre a foz do Rio Amazonas, utilizada nesta dissertação, e a quebra da plataforma. Para isso foram utilizados os mesmos limites aplicados para extrair esta métrica e o mesmo segmento de reta. A distância calculada entre a quebra da PCA e a foz do Rio Amazonas nesta dissertação é de 270 km (Figura 4.14-a).

Como pode ser observado na Figura 4.14-a, em todos os anos existem períodos em que a pluma alcança distâncias além da PCA. Este fato ocorre entre os meses de fevereiro a julho. As menores distâncias alcançadas pela pluma encontram-se, aproximadamente, entre os meses agosto a janeiro.

O espectro de wavelet da métrica da distância da pluma apresentou, assim como a área da pluma, ciclos anual e semestral (Figura 4.14-a). Entretanto, no caso da distância da pluma, ocorreu uma significativa diminuição da energia

nos anos de 2002, 2003 e 2004. Esta diminuição pode estar diretamente relacionada à influência do fenômeno *El Niño* em algumas das variáveis ambientais que apresentam relação com esta métrica e, conseqüentemente, alterou a energia presente no sinal da série temporal da distância da pluma à foz.

Os alongamentos observados nos sinais referentes aos picos semestrais estão relacionados às variações bruscas na série temporal. Estas variações ocorreram, principalmente, no período de 11 a 24 de março de 2001, 22 de abril a 5 de maio de 2001 e 18 de abril a 1 de maio de 2004.

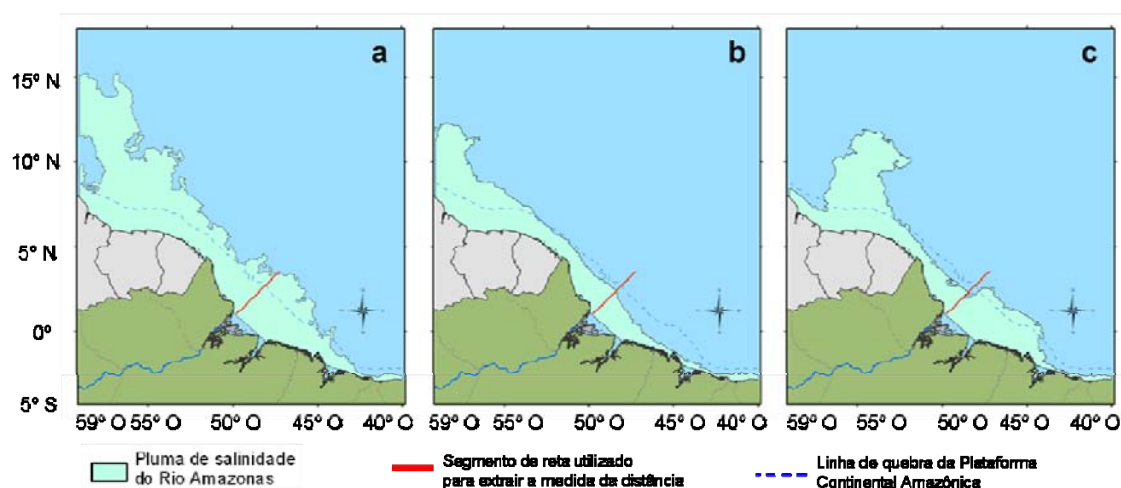


Figura 4.13 – Mapas ilustrativos da pluma do Rio Amazonas referentes aos valores de (a) distância máxima, período de 22 de abril a 5 de maio de 2001, (b) distância média, período de 23 de fevereiro a 8 de março de 2003 e (c) distância mínima, período de 11 a 24 de março de 2001.

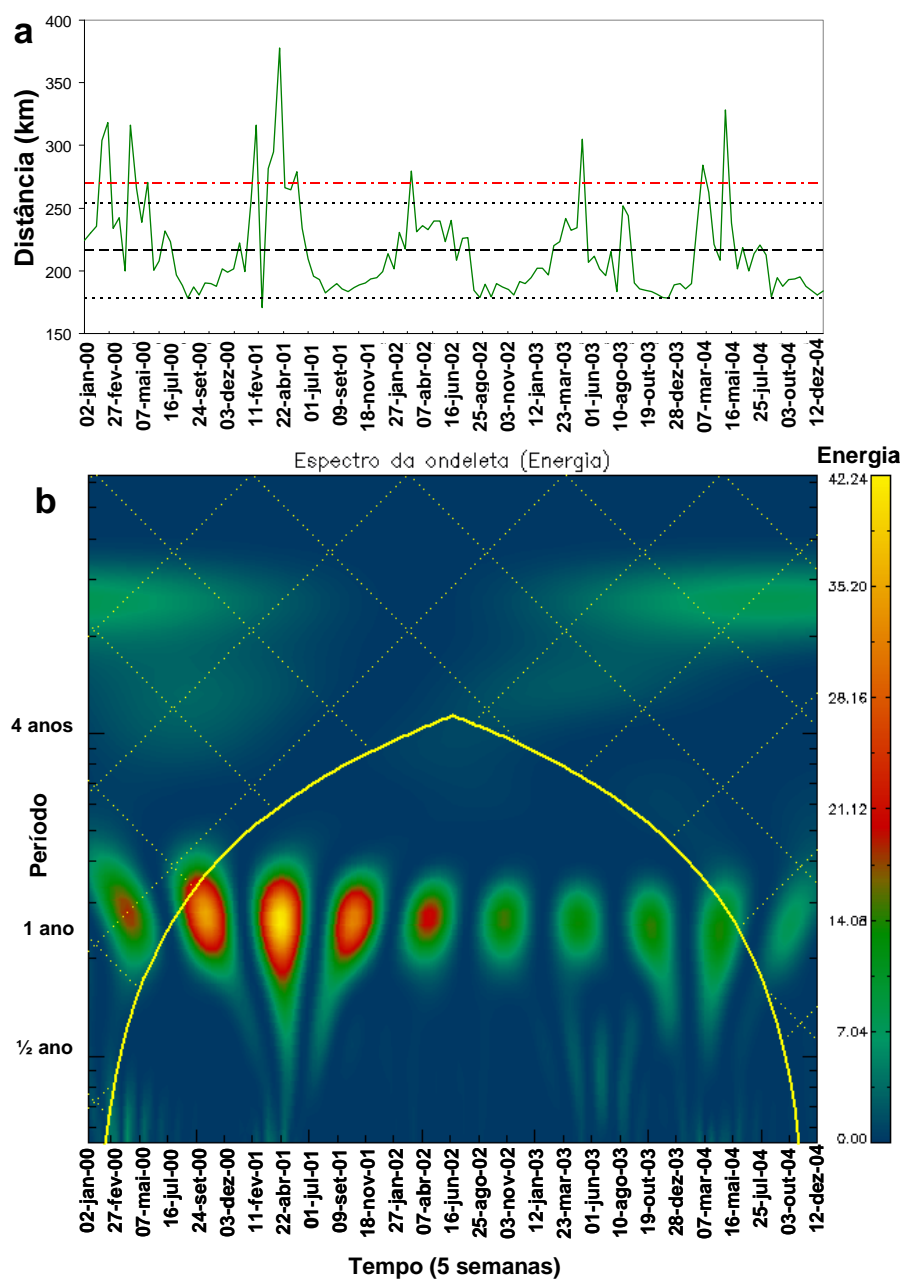


Figura 4.14 - (a) Série temporal da distância da pluma do Rio Amazonas. A linha vermelha tracejada indica a distância da desembocadura do Rio Amazonas à quebra da Plataforma Continental Amazônica (270 km). A linha pontilhada grossa indica o valor médio da série temporal. As linhas pontilhadas finas indicam os desvios padrão da série temporal. (b) Espectro de wavelet da série temporal da distância da pluma do Rio Amazonas. As datas dos eixos x estão inseridas em intervalos de 5 semanas.

Direção média da pluma do Rio Amazonas

As métricas da direção média e variância da pluma identificam, conforme comentado na metodologia, o comportamento da pluma do Rio Amazonas, ou seja, a variabilidade de sua forma. Esta métrica permite, portanto, determinar quando e para onde está sendo carregado o material descarregado pelo Rio Amazonas.

A média calculada para a métrica da direção média foi de $144,72^\circ$ (Figura 4.15-b e Figura 4.16-a). O valor máximo foi de $162,55^\circ$ ocorreu entre os dias de 21 de setembro a 4 de outubro de 2003. O menor valor calculado para esta métrica foi de $125,84^\circ$ observado entre os dias 15 a 28 de junho de 2003. O desvio padrão calculado foi de $7,46^\circ$ (Figura 4.16-a).

Os menores valores da direção média calculados para todos os anos compreenderam os meses de maio a julho e os maiores valores limitaram-se aos meses de agosto a abril (Figura 4.16-a). Como mostrado nesta figura, os períodos nos quais se observa valores de direção média maiores são mais longos do que os períodos associados aos de valores menores. Isto está diretamente relacionado à forma da pluma (Figura 4.15).

A Figura 4.15 mostra as diferenças entre valores extraídos desta métrica que representam a direção média máxima (a), média (b) e mínima (c). É importante destacar que devido à característica desta métrica é possível identificar as épocas do ano em que a pluma: (a) se dispersa em direção a região central do Oceano Atlântico Equatorial, julho a fevereiro; (b) apresenta dimensões menores e encontra-se mais próxima a costa, transição entre os períodos, e (c) apresenta grande dispersão em direção a região do Caribe, março a junho.

O espectro de wavelet (Figura 4.16-b) permite observar que a direção média da pluma do Rio Amazonas mostrou um período anual com altas energias indicando uma variação semestral. Entretanto, diferentemente das métricas anteriores, esta apresentou baixa energia nos anos de 2000 a 2002. A partir do

ano de 2003 foram identificadas as maiores energia na série temporal. Isto indica que, ao contrário das demais métricas, a direção média apresenta um aumento da energia no período identificado pela influência do fenômeno *El Niño* (Figura 4.16-b).

O espectro de wavelet permite observar, também, que a direção média exibe variações mais bruscas, ou seja, de maiores frequências, na série temporal que as demais métricas. Isto mostra uma maior variabilidade da forma da pluma em relação a métrica da área e da distância da foz.

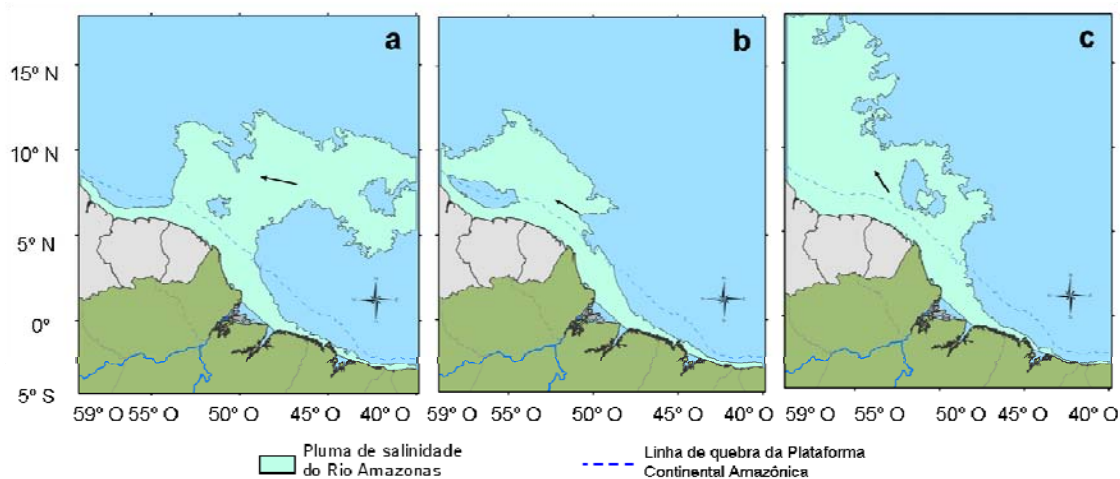


Figura 4.15 - Pluma do Rio Amazonas referentes aos valores de (a) direção média máxima, período de 21 de setembro a 4 de outubro de 2003, (b) direção média, período de 26 de agosto a 8 de setembro de 2001 e (c) direção média mínima, período de 15 a 28 de junho de 2003. As setas representam os vetores das direções médias de cada data.

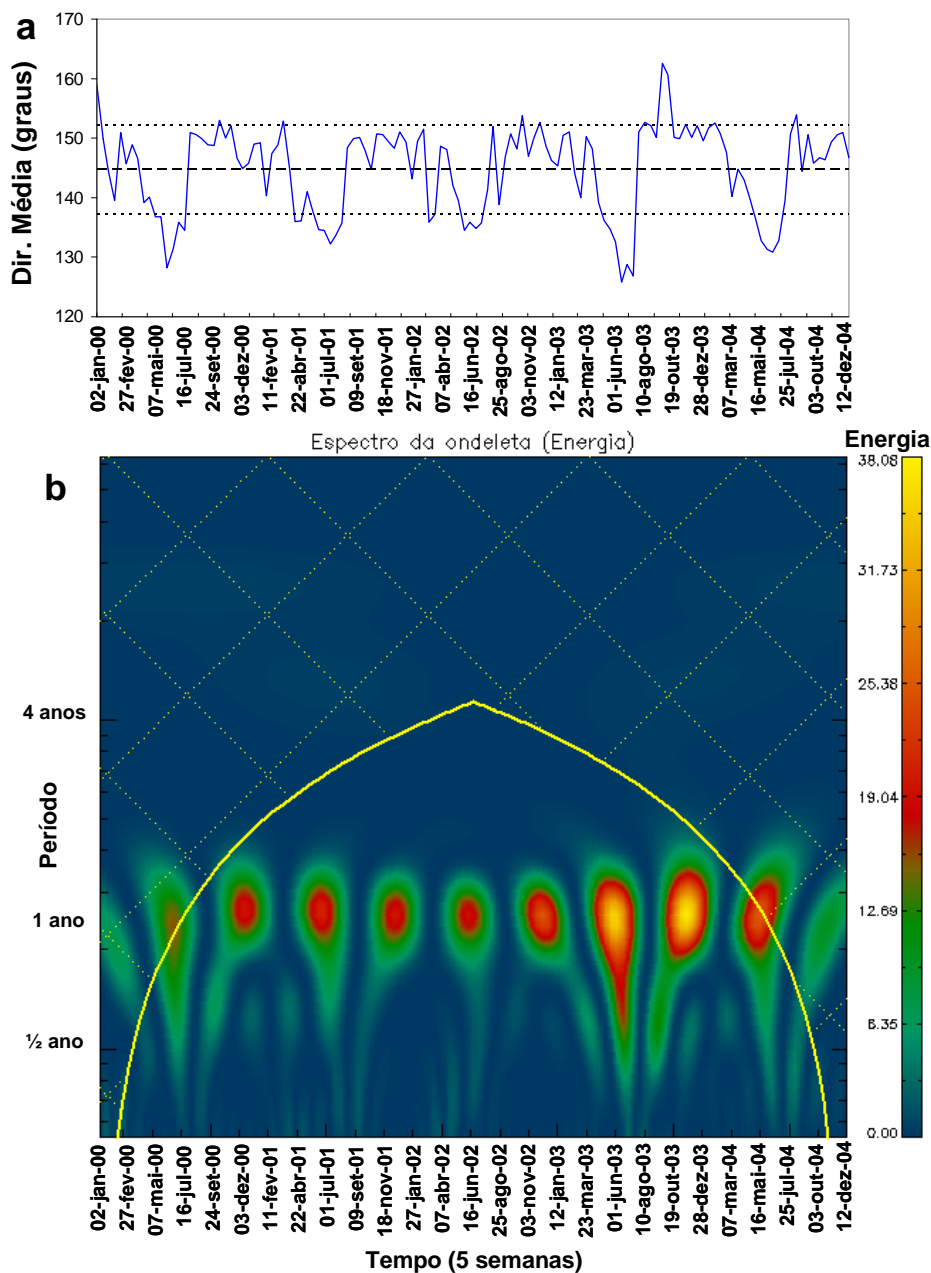


Figura 4.16 - (a) Série temporal da direção média da pluma do Rio Amazonas. A linha pontilhada grossa indica o valor médio da série temporal. As linhas pontilhadas finas indicam os desvios padrão da série temporal. (b) Espectro de wavelet da série temporal da direção média da pluma do Rio Amazonas. As datas dos eixos x estão inseridas em intervalos de 5 semanas.

Variância da direção da pluma do Rio Amazonas

A variância da direção média da pluma do Rio Amazonas calculada foi 0,54 (Figura 4.18-a). O variância máxima foi de 0,81, referente ao período de 21 de setembro a 4 de outubro de 2003. A menor variância da direção média foi de 0,18 no período de 23 de fevereiro de a 8 de março de 2003. Em geral, ao longo do período estudado, os valores mínimos da variância da direção ficaram limitados ao período de dezembro a maio e os valores máximos de junho a novembro.

A variância da direção, assim como a direção média, permitiu identificar diferentes comportamentos de dispersão da pluma, tais como: (a) maior variância, dispersão para a região do Oceano Atlântico Equatorial, (b) variância média, dispersão para a região do Caribe e (c) menor variância, dispersão de menores dimensões e mais adjacente à costa (Figura 4.17).

Os períodos onde são identificados os valores de maior variância coincidem com os meses de maior intensidade da retroflexão da CNB mostrando a grande influencia desta corrente na variabilidade da forma da pluma (Figura 4.18-a).

O espectro de wavelet mostra que a variância da direção apresenta um período anual com altas energias indicando uma variação semestral (Figura 4.18-b). É possível identificar nesta figura que, assim como na série temporal da direção média, os anos de 2000 a 2002 apresentaram baixa energia e os anos de 2003-2004 altas energias.

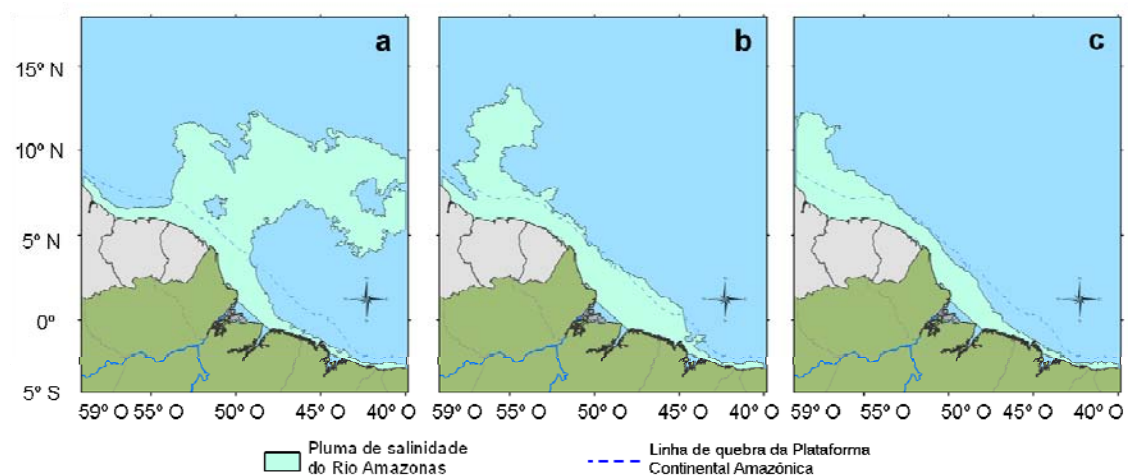


Figura 4.17 – Pluma do Rio Amazonas referentes aos valores de (a) variância da direção máxima (0,81), período de 21 de setembro a 4 de outubro de 2003, (b) variância da direção média (0,54), período de 25 de março a 7 de abril de 2001 e (c) variância da direção mínima (0,18), período de 23 de fevereiro a 8 de março de 2003.

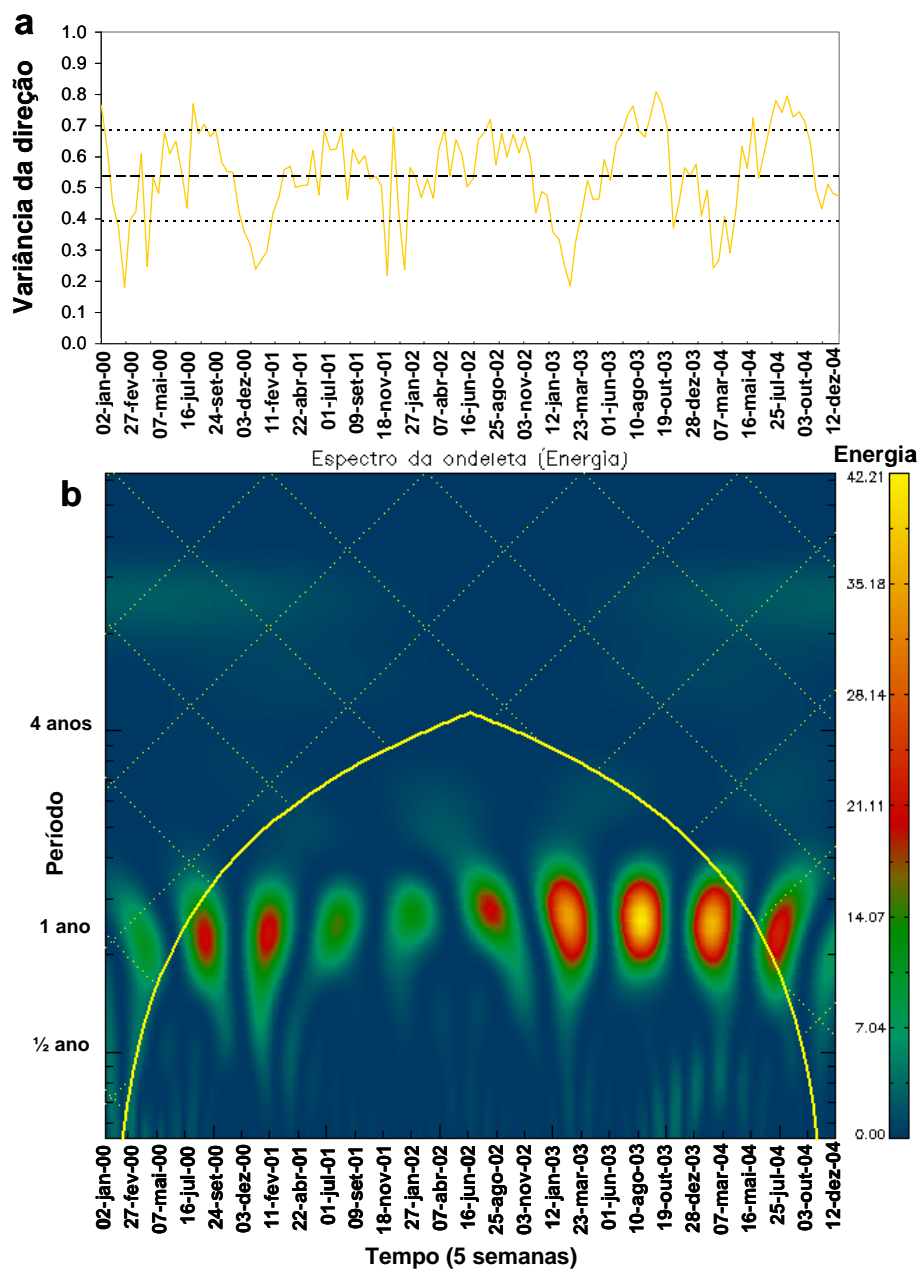


Figura 4.18 - (a) Série temporal da variância da direção da pluma do Rio Amazonas. A linha pontilhada grossa indica o valor médio da série temporal. A linha pontilhada fina indica o desvio padrão da série temporal. (b) Espectro de wavelet da série temporal da variância da direção da pluma do Rio Amazonas. As datas dos eixos x estão inseridas em intervalos de 5 semanas.

Correlações entre as métricas da pluma do Rio Amazonas

A Tabela 4.8, abaixo, apresenta a matriz de correlação entre as métricas da pluma do Rio Amazonas. Esta tabela mostra que as maiores correlações ($r > 0,5$) foram identificadas entre a métrica da área com a direção média e com a variância da direção da pluma.

Apesar de ambas as métricas da direção média e variância da direção fornecer informações referentes à forma da pluma, estas não se apresentaram correlacionadas. As baixas correlações entre as métricas indicam que estas estão representando características singulares de forma e dimensão da pluma.

Tabela 4.8 – Matriz de correlação (r) entre as métricas da pluma do Rio Amazonas.

	Área	Distância	Dir. Média	Var. da Dir.
Área	1,00			
Distância	0,13	1,00		
Dir. Média	-0,66	-0,30	1,00	
Var. da Dir.	0,56	-0,27	-0,04	1,00

4.3 Sazonalidade das variáveis hidrológicas, meteorológicas, oceanográficas e as métricas da pluma do Rio Amazonas

A partir da análise das series temporais da vazão na foz do Rio Amazonas, das componentes do VS, das componentes da corrente oceânica superficial e das métricas da pluma apresentadas anteriormente foi possível identificar características similares nos comportamentos destas variáveis.

Foram identificadas em todas as análises dos espectros de wavelet, a partir do ano de 2002, intensificações ou atenuações relativas à energia do espectro ao longo das séries temporais. A principal explicação para esta característica é o fato de que neste ano, ocorreu uma transição entre um período de *La Niña* para um período de *El Niño* (ver Figura 2.1). Conforme foi comentado na revisão da literatura, em períodos de *El Niño* ocorrem alterações na ITCZ que

se desloca mais ao norte alterando o comportamento dos ventos e a distribuição e quantidade de precipitação na região. Estas alterações geram consequências na intensidade das correntes oceânicas e no regime de vazão dos rios da bacia Amazônica, respectivamente (FOLEY et al., 2002; HASTENRATH, 2006; NOBRE e SHUKLA, 1996).

As análises das séries temporais permitiram, também, determinar, de maneira geral, o comportamento das principais variáveis presentes na área de estudo ao longo do período de 1 ano (Figura 4.19). Os meses em vermelho indicam os períodos em que as séries temporais respectivas a cada variável apresentaram valores acima da média e os meses em azul indicam os períodos em que os valores se encontraram abaixo das médias. É importante destacar que os período dos meses que representam os valores máximos e mínimos muitas vezes oscilam ao longo das séries temporais. Por este motivo deve ser considerada uma variação de, aproximadamente, ± 1 mês para os limites máximos e mínimos referentes a cada variável.

A partir da Figura 4.19 é possível identificar que as métricas da pluma estão sujeitas a uma série de variáveis hidrológicas, meteorológicas e oceanográficas que apresentam comportamentos distintos ao longo do ano. A forma como cada métrica se correlaciona com as variáveis ambientais será quantificada, a seguir, a partir das correlações cruzadas.

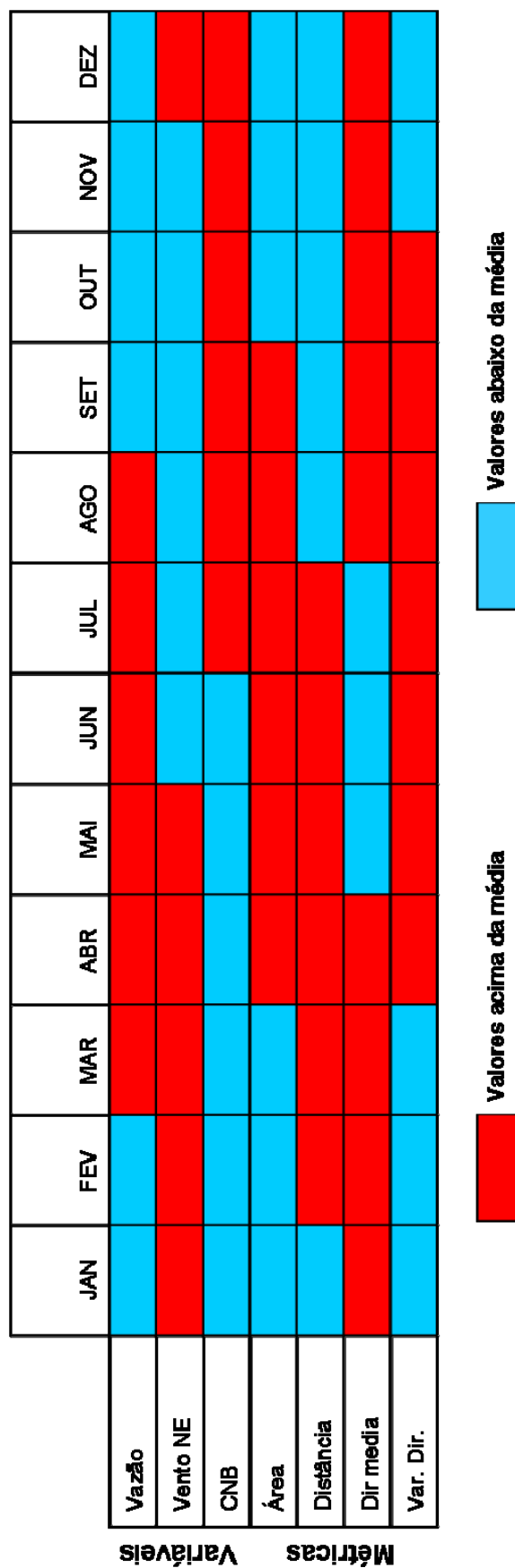


Figura 4.19 – Comportamento no período de 1 ano das métricas da pluma do Rio Amazonas e das principais variáveis hidrológicas, oceanográficas e meteorológicas presentes na área de estudo.

4.4 Correlações cruzadas

Neste item são apresentadas as correlações cruzadas realizadas entre a vazão na foz do Rio Amazonas, as matrizes das componentes de VS perpendicular à costa e a COS paralela à costa, com as métricas da pluma do Rio Amazonas.

A fim de melhorar a compreensão dos resultados apresentados a seguir, cabe lembrar que os sinais das velocidades nas componentes utilizadas de VS e COS são indicativos das direções destas variáveis. Portanto, ao analisar os valores das correlações, o leitor deve considerar também a influência dos sinais indicativos das direções.

4.4.1 Área da pluma do Rio Amazonas

A área da pluma do Rio Amazonas apresentou correlação positiva com a vazão na foz do Rio Amazonas, sendo que o máximo de correlação ($r = 0,86$) ocorreu com 1,5 meses de defasagem entre as séries ($\text{lag} = 3$) (Figura 4.20). Entretanto, cabe salientar que a diferença entre os coeficientes de correlação dos lags 2 ($r = 0,83$) e 3 ($r = 0,86$) não foi estatisticamente significativa com um nível de confiança de 95%.

Esta constatação mostra que a área da pluma responde com uma defasagem de 1 - 1,5 meses a variação no regime da vazão na foz do Rio Amazonas. Esta defasagem identificada entre as séries temporais é devido às grandes dimensões da pluma que faz com que seja necessária a descarga de grandes volumes de água, de forma contínua, para que ocorram significativas alterações na área da pluma.

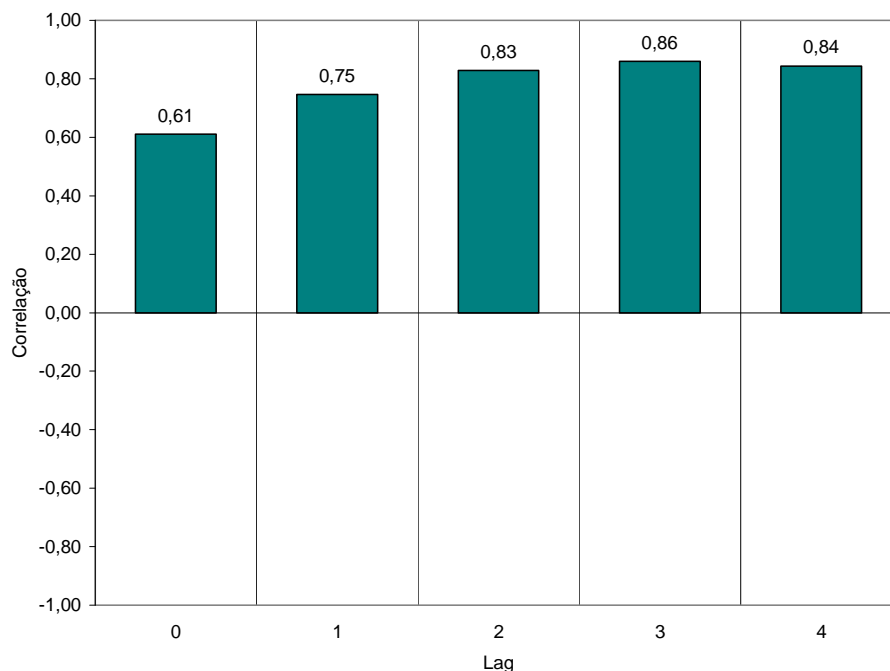


Figura 4.20 – Correlação cruzada entre a métrica da área da pluma do Rio Amazonas e a vazão na foz do Rio Amazonas.

Na Figura 4.21, pode-se observar que os ventos da componente perpendicular à costa apresentam, no lag 0, uma alta correlação positiva ($r > 0,5$) com ventos que atuam na região localizada nas latitudes menores que 10° N. Esta correlação pode ser explicada pelo fato de que quando os ventos de NE são predominantes na região de estudo, ocorre diminuição da área da pluma do Rio Amazonas. Isto porque ventos deste quadrante geram um empilhamento das águas do Rio Amazonas na região mais próxima à costa, impedindo sua dispersão (LENTZ, 1995a; NIKIEMA et al., 2007). O caso contrário ocorre quando há uma diminuição dos ventos de NE e aumento dos ventos da direção L-SE. Ventos desta direção favorecem o escoamento das águas do Rio Amazonas.

Um grande número de correntes e contracorrentes atua na área de estudo, devido, principalmente, às suas grandes dimensões e a sua localização no Oceano Atlântico (FONSECA et al., 2004; JOHNS et al., 1998; SILVEIRA et al., 1994; STRAMMA et al., 2005; STRAMMA e SCHOTT, 1999). Por este motivo,

diferentemente do mapa de correlação do VS, o mapa da COS apresenta uma grande variabilidade nos valores e localizações das correlações dentro da área de estudo (Figura 4.21). Esta característica também foi constatada nas demais métricas.

A correlação entre a componente da COS paralela à costa e a área da pluma do Rio Amazonas mostrou valores negativos próximos a $r = -0,5$, no lag 0, na região, entre 0° e 5° N. Esta região é caracterizada pela influência da CNB e da nCSE (Figura 4.21 e Figura 2.4). Isto porque, como pode ser visto na Figura 4.21, nos meses em que a área da pluma está diminuindo ocorre o aumento na intensidade da CNB. Este fato explica, também, porque nos lags maiores que 1 (> que 1 mês de defasagem) ocorreu aumento nas correlações positivas desta métrica com na região da CCNE. Nos períodos de maior intensidade da CCNE ocorre diminuição da métrica da área da pluma do Rio Amazonas.

Entretanto, as correlações apresentadas anteriormente devem ser analisadas de forma integrada. Muitos destes valores podem ser explicados porque no período referente aos meses das maiores áreas calculadas, junho e julho, ocorre, em diferentes intensidades, a sobreposição de diversas variáveis na região de estudo. A vazão do Rio Amazonas está atingindo seus valores máximos no mês de maio. No período de maio a junho, está havendo a inversão da direção dos ventos de NE para leste-sudeste. E nos meses de junho e julho ocorre o aumento da intensidade da CNB e, conseqüentemente, da retroflexão da CNB. A integração destas variáveis influencia a variabilidade temporal e espacial da pluma do Rio Amazonas.

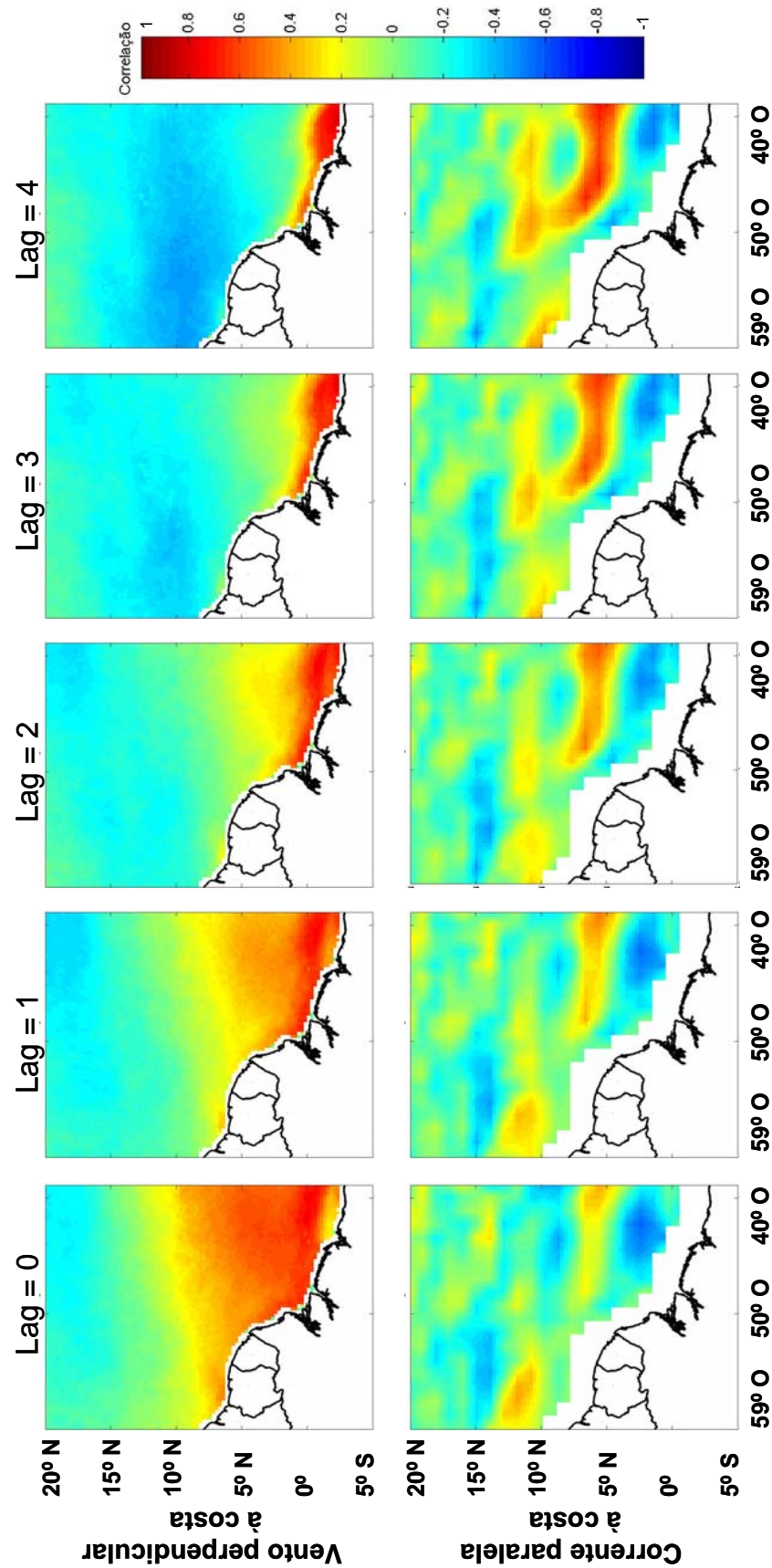


Figura 4.21 - Mapas de correlações entre a métrica da área da pluma do Rio Amazonas e a componente perpendicular à costa do vento superficial e paralela à costa da corrente oceânica superficial. Cada lag representa um período de 14 dias. A imagem da componente da corrente superficial oceânica passou por um processo de interpolação linear a fim de melhorar a qualidade visual.

4.4.2 Distância da pluma do Rio Amazonas

A distância da pluma, diferentemente da área, apresenta uma resposta mais imediata às variações na vazão na foz do Rio Amazonas (Figura 4.22). Isto devido ao local de cálculo desta métrica ser situado próximo à foz deste rio. A maior correlação positiva foi de $r = 0,61$ no lag 0.

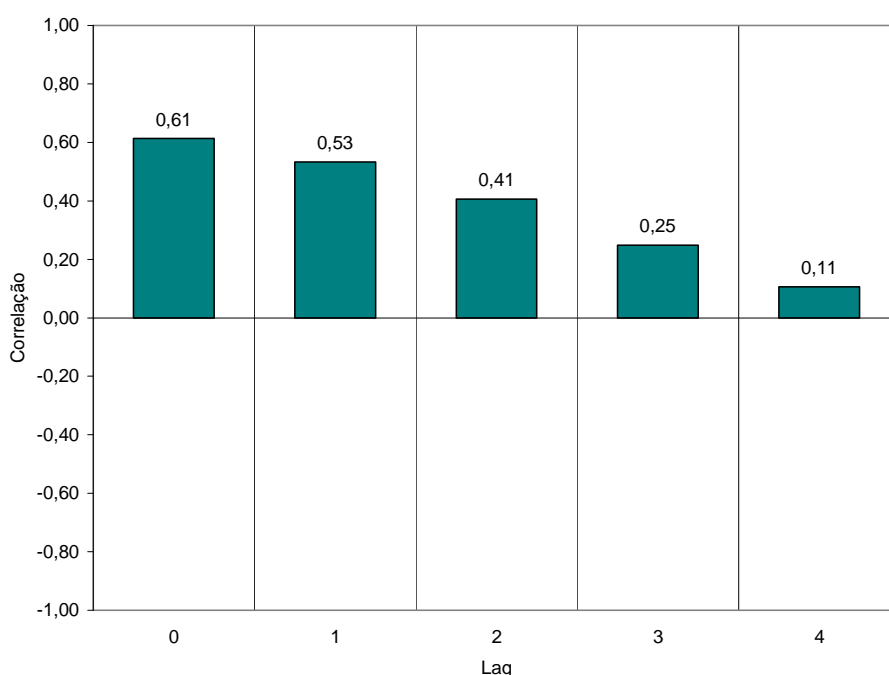


Figura 4.22 - Correlação cruzada entre a métrica da distância da pluma do Rio Amazonas e a vazão na foz do Rio Amazonas.

A maior correlação entre a distância da pluma e a componente perpendicular à costa do VS é negativa, como pode ser observado na Figura 4.23. Isto indica que a distância varia inversamente com o vento de NE, ou seja, quando há um aumento de ventos desta direção ocorre um aumento da distância da pluma em relação à foz do Rio Amazonas. Este aumento é indicativo do empilhamento das águas do Rio Amazonas na região costeira adjacente à sua foz (LENTZ, 1995a; NIKIEMA et al., 2007). Entretanto, diferentemente da área, a distância demonstra que é necessário que o vento do quadrante NE esteja atuando por

um período maior de tempo, aproximadamente, 1 mês ($\text{lag} = 2$) sobre a região para que ocorra influência na distância da pluma.

A distância da pluma do Rio Amazonas em relação à componente paralela à costa da COS apresentou correlações positivas na região sob influência da retroflexão da CNB e da CCNE (Figura 4.23). Estas correlações são devido ao fato de que a maior intensidade da retroflexão da CNB e da CCNE na região de estudo ocorre nos períodos de intensificação da CNB e dos ventos de L-SE os quais favorecem o escoamento das águas do Rio Amazonas.

A distância da pluma apresentou altas correlações ($r > 0,5$) com todas as variáveis apresentadas anteriormente. Esta alta correlação ocorre porque na variabilidade espacial da distância também ocorre uma integração de variáveis. Os meses de maior distância, abril e maio, coincidem com os meses de maior vazão e, também pela presença predominante dos ventos do quadrante NE. A CNB e junto com aumento de ventos da direção L-SE, de forma contrária, favorecem o escoamento das águas do Rio Amazonas e, portanto, diminuem sua distância da foz.

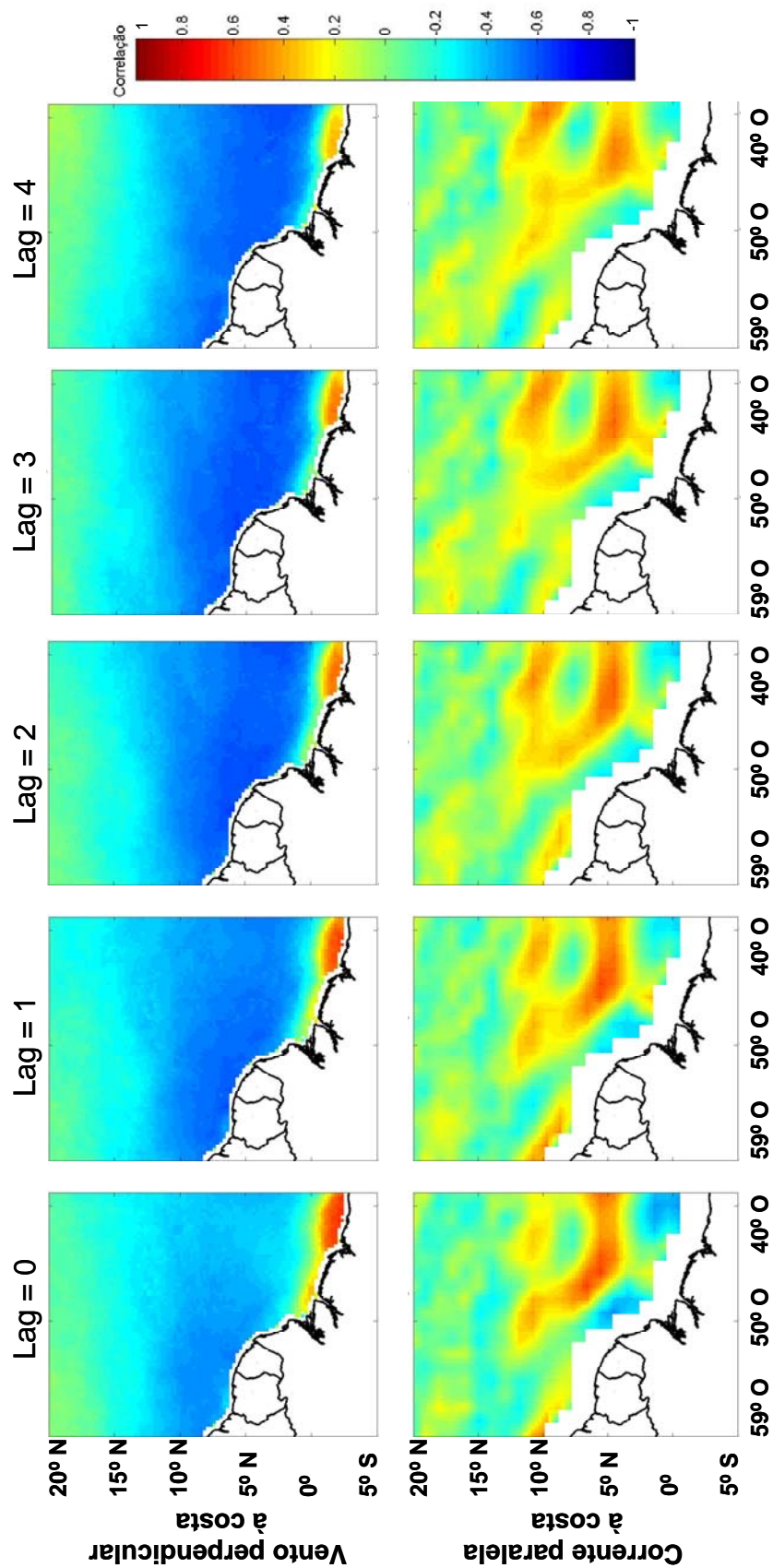


Figura 4.23 - Mapas de correlações entre a métrica da distância da foz da pluma do Rio Amazonas e a componente perpendicular à costa do vento superficial e paralela à costa da corrente oceânica superficial. Cada lag representa um período de 14 dias. A imagem da componente da corrente superficial oceânica passou por um processo de interpolação linear a fim de melhorar a qualidade visual.

4.4.3 Direção média da pluma do Rio Amazonas

A direção média apresentou correlações negativas com a vazão na foz do Rio Amazonas (Figura 4.24). O test-t realizado entre os coeficientes de correlação dos lags 0 ($r = -0,63$) e 1 ($r = -0,65$), demonstrou que a diferença não é significativa com 95%. Este fato indica que a direção média da pluma responde de forma mais imediata e inversamente às variações na vazão na foz do Rio Amazonas, ou seja, nos períodos de maior vazão ocorre diminuição da direção média. Conforme pode ser observado na Figura 4.15-c, a menor direção média ocorre quando a pluma apresenta uma grande dispersão em direção à região do Caribe.

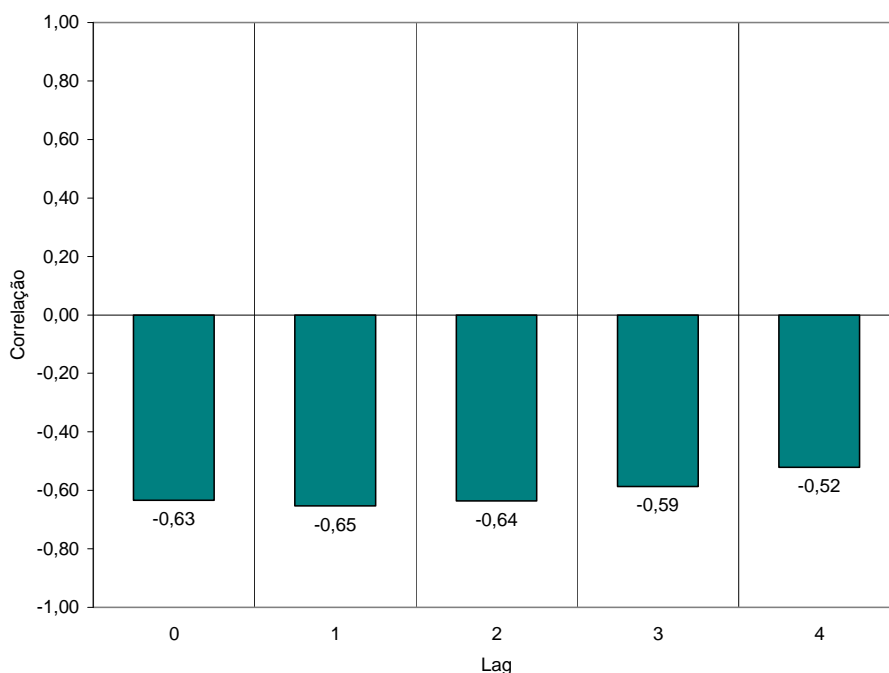


Figura 4.24 - Correlação cruzada entre a métrica da direção média da pluma do Rio Amazonas e a vazão na foz do Rio Amazonas.

A direção média da pluma apresentou as maiores correlações ($r > 0,5$) com a componente do VS perpendicular à costa a partir do lag 2 e 3, indicando uma defasagem de 1 a 1,5 meses entre a resposta desta métrica à variação do vento. Estas correlações ficaram localizadas, principalmente, entre as latitudes de 15° N e 5° N (Figura 4.25). As correlações positivas indicam que a direção

média diminui com a intensificação dos ventos de NE. A correlação negativa identificada próxima à costa sugere que quando há uma diminuição de ventos de NE naquela região ocorre uma diminuição na direção média da pluma.

A direção média apresentou as maiores correlações ($r > 0,5$) positivas na região entre 0° e 5° N caracterizada pela influência da CNB e nCSE (Figura 4.25). A influência da retroflexão da CNB e da CCNE é apresentada pelas correlações negativas entre 5° e 10° N. Estes valores de correlação indicam que quando há um aumento da retroflexão da CNB e da CCNE ocorre um aumento da direção média. Esta constatação pode ser comprovada pela Figura 4.15-a que mostra que a maior direção média identificada no período de estudo ocorre no período de retroflexão da CNB e da CCNE.

A métrica da direção média apresentou, em geral, correlações próximas a $\pm 0,5$ com as variáveis. Entretanto, diferentemente das métricas anteriores, nenhuma variável se destacou no valor das correlações. Isto porque esta métrica fornece informações quanto à forma da pluma e, portanto, a sua resposta a influência de apenas uma variável é menor.

Como pode ser observado na Figura 4.19, esta métrica apresentou por um período maior de tempo valores acima da média. Esta característica indica que a pluma exibe um padrão de dispersão que se conserva entre os meses de agosto a abril. Estes meses são caracterizados pela intensificação da retroflexão da CNB e CCNE e pela maior presença de ventos de L-SE na região. Neste período, a vazão na foz do Rio Amazonas apresenta-se baixa (Figura 4.19).

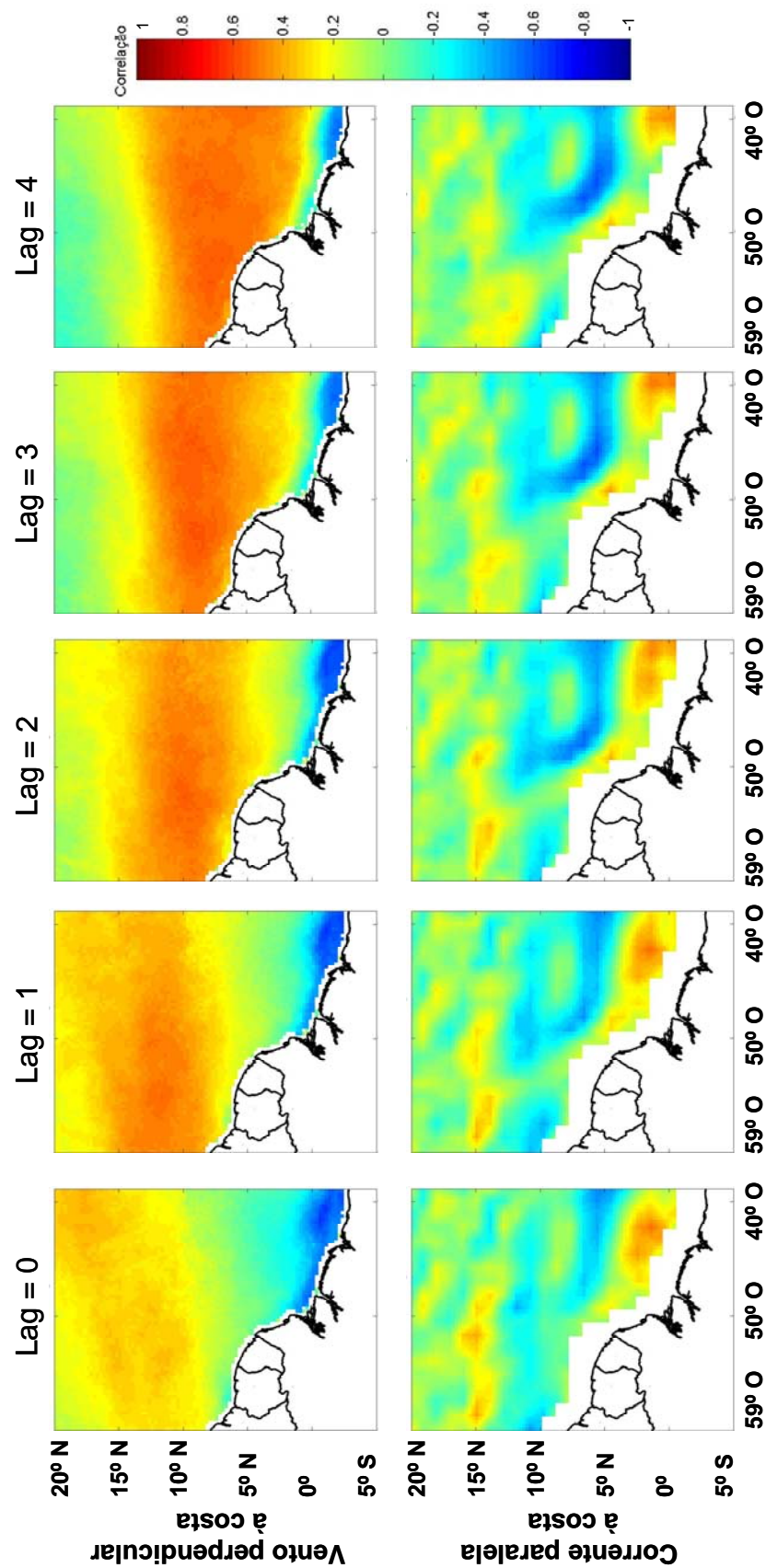


Figura 4.25 - Mapas de correlações entre a métrica da direção média da pluma do Rio Amazonas e a componente perpendicular à costa do vento superficial e paralela à costa da corrente oceânica superficial. Cada lag representa um período de 14 dias. A imagem da componente da corrente superficial oceânica passou por um processo de interpolação linear a fim de melhorar a qualidade visual.

4.4.4 Variância da direção da pluma do Rio Amazonas

A variância da direção apresentou a maior correlação com uma defasagem de 2 meses ($\text{lag} = 4$) entre a resposta desta métrica e a variação na vazão na foz do Rio Amazonas (Figura 4.26). Esta defasagem indica que a vazão na foz do Rio Amazonas, de caráter mais imediato, não é a principal variável influenciando na variabilidade da métrica da variância da pluma do Rio Amazonas. Isto porque a variância da direção esta mais relacionada à forma da pluma do Rio Amazonas e não às dimensões.

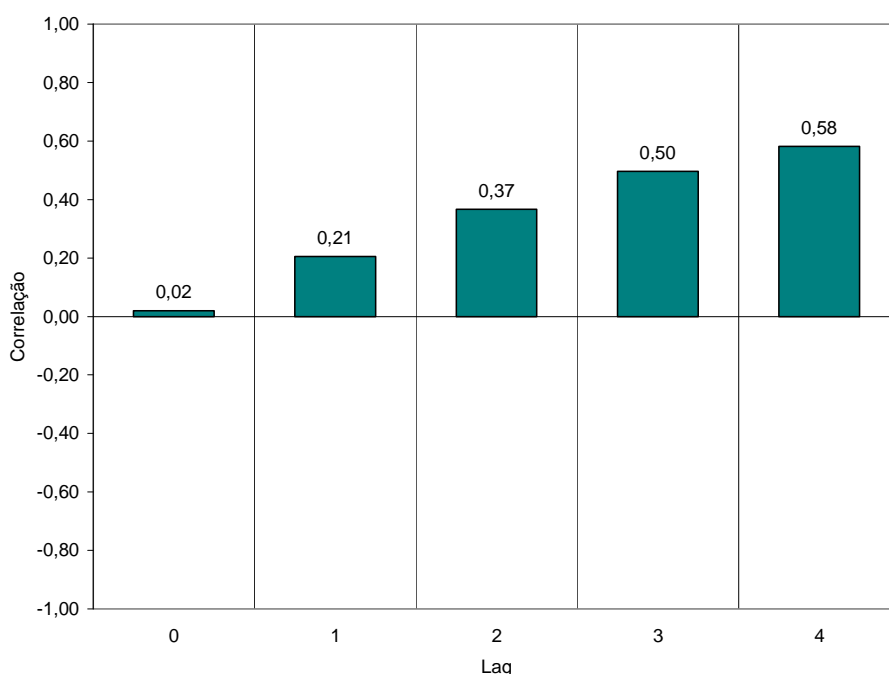


Figura 4.26 - Correlação cruzada entre a métrica da variância da direção da pluma do Rio Amazonas e a vazão na foz do Rio Amazonas.

A variância da direção, diferentemente da direção média, apresenta maiores correlações ($r > 0,5$) em relação às variações do vento na região no lag 0 (Figura 4.27). O aumento dos ventos de NE, perpendicular à costa, ocasiona a diminuição da variância da direção, pois, conforme comentado anteriormente, estes ventos tendem a empilhar as águas descarregadas pelo Rio Amazonas

na região costeira. Este empilhamento faz com que a forma da pluma varie menos, e, portanto, a sua variância fica menor.

Na componente paralela à costa da COS a variância da direção apresentou, em geral, correlações baixas ($r < 0,5$) (Figura 4.27). A região, localizada na latitude de 10° N, que exibiu correlações negativas, indica uma área sob influência da CCNE (STRAMMA e SCHOTT, 1999). Entretanto, é importante comentar que estes valores de correlação não estão apresentando, devido às defasagens nas sazonalidades das séries temporais, as reais influências da CCNE e a retroflexão da CNB na variância da pluma do Rio Amazonas. Como pode ser observada na Figura 4.19, as maiores variâncias da direção calculadas para a pluma do Rio Amazonas ocorreram em períodos de forte influência da retroflexão da CNB e da CCNE.

No período de intensificação da CCNE e da retroflexão da CNB está ocorrendo uma maior predominância de ventos de L-SE (Figura 4.19). As interações entre estas variáveis são, possivelmente, as principais causas da variabilidade desta métrica.

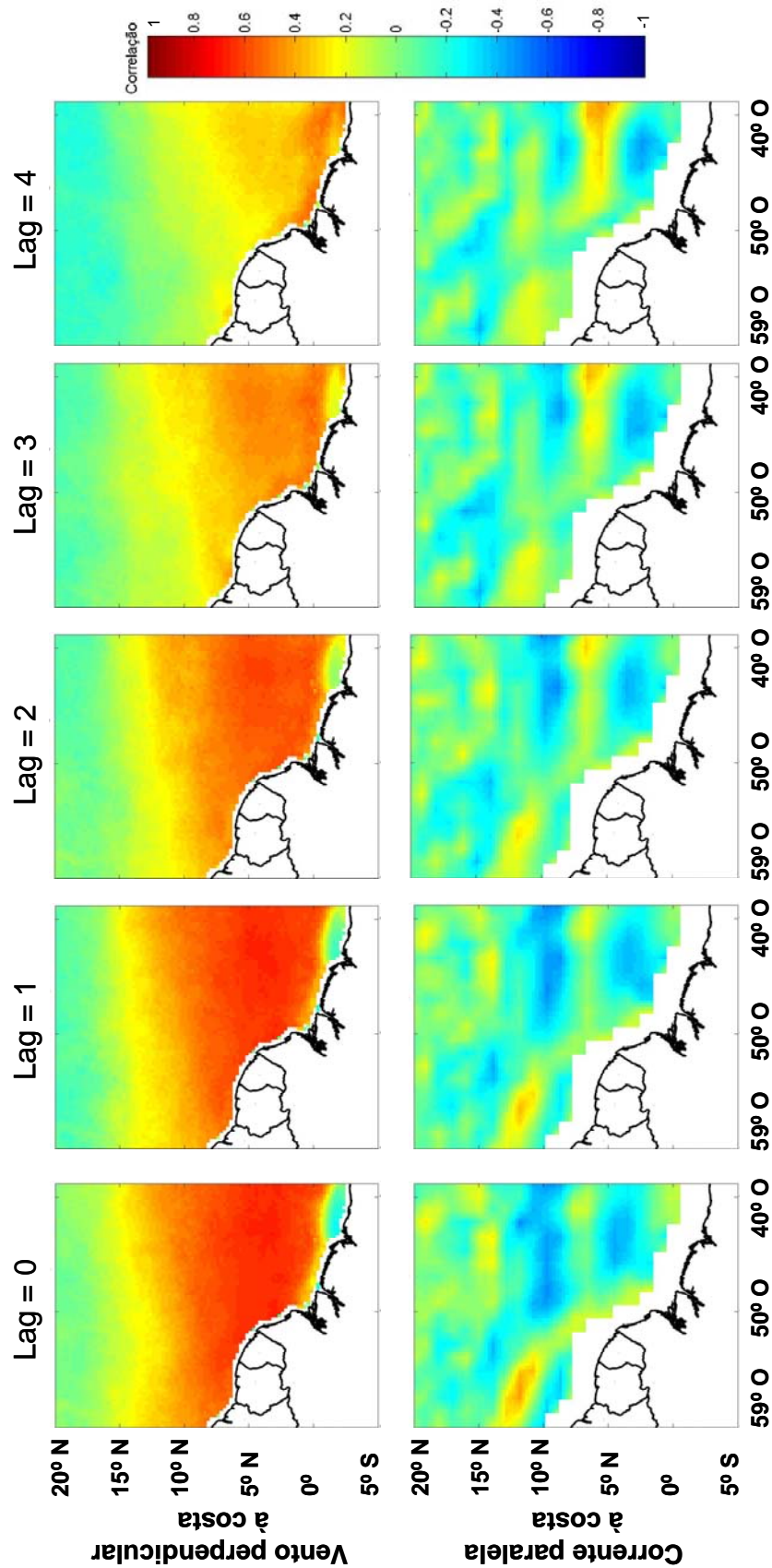


Figura 4.27 - Mapas de correlações entre a métrica da variância da direção da pluma do Rio Amazonas e a componente perpendicular à costa do vento superficial e paralela à costa da corrente oceânica superficial. Cada lag representa um período de 14 dias. A imagem da componente da corrente superficial oceânica passou por um processo de interpolação linear a fim de melhorar a qualidade visual.

4.5 Correlações cruzadas das séries temporais decompostas por wavelet

No processo de decomposição por wavelet das séries temporais das métricas, das variáveis hidrológicas, meteorológicas e oceanográficas foram gerados 2 sinais A1 e D1, referentes às baixas e altas frequências, respectivamente, para cada série temporal (ver item 3.4.2). Estes sinais são resultantes da aplicação de filtros passa-baixa e passa-alta nas séries temporais. Por este motivo a resolução do sinal fica degradada, ou seja, a série temporal que antes tinha amostras representativas de períodos de 14 dias, após o processo de decomposição as séries apresentaram amostras de períodos de, aproximadamente, 30 dias. Isto significa que cada lag das séries temporais decompostas representa um período de 1 mês.

As correlações cruzadas das séries temporais decompostas D1 das métricas com as séries temporais das variáveis decompostas D1 apresentaram, em geral, valores de correlação menores que $\pm 0,3$. As baixas correlações podem ser explicadas pelo fato de que estas altas frequências são indicativas da variabilidade intrínseca a cada variável sem influência significativa nas métricas, assim como, de ruídos resultantes do processo de geração das séries temporais. Devido às baixas correlações, as séries decompostas D1 não serão apresentadas nesta dissertação.

Portanto, neste item serão comparados os resultados das correlações entre as séries temporais decompostas (SD) A1 com as séries temporais não decompostas (SND) a fim de verificar se há melhoria nos valores das correlações entre as variáveis e as métricas da pluma do Rio Amazonas. A fim de verificar se a diferença entre os coeficientes de correlação é significativa, foi utilizado o teste estatístico, teste-t, com nível significância de 95%.

No caso das correlações entre as séries temporais da componente perpendicular à costa do VS e da componente paralela à costa da COS, foram utilizados os mesmos 3 pontos de interesse (ponto 1, 9° N – 53° O; ponto 2, 7°

N – 48° O; ponto 3, 2° N – 48° O) escolhidos para analisar as séries temporais das componentes destas variáveis. É importante comentar que foram analisadas as diferenças entre os coeficientes de correlação das SD e SND mesmo para as séries temporais que se apresentaram altamente correlacionadas, como é o caso dos pontos 1, 2 e 3 das componentes do VS. Isto porque nesta etapa serão analisadas também as diferenças entre as correlações nos 3 pontos de coordenadas.

4.5.1 Área da pluma do Rio Amazonas

A correlação das SND da área da pluma do Rio Amazonas com a vazão na foz do Rio Amazonas apresentou correlação maior no lag 3 ($r = 0,86$), 1,5 meses, de defasagem (Figura 4.28-a). No caso das SD a maior correlação foi identificada no lag 1 ($r = 0,83$) com 1 mês de defasagem (Figura 4.28-b). O teste-t demonstrou que a diferença entre estes coeficientes não é significativa.

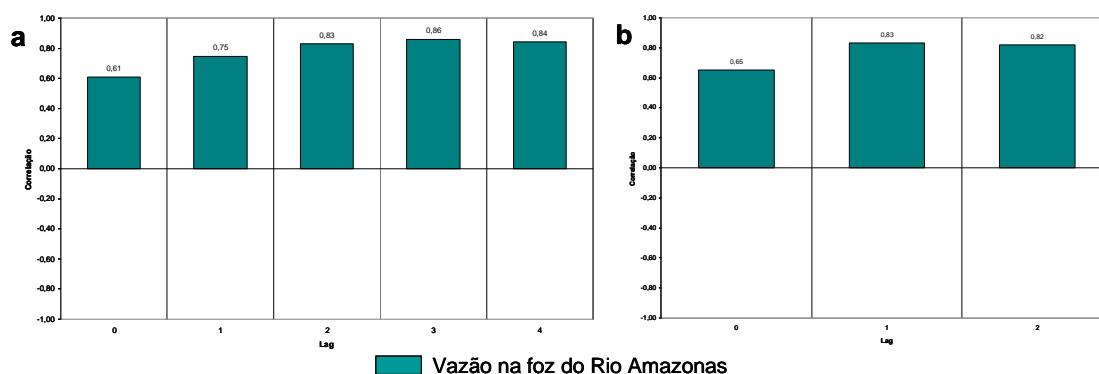


Figura 4.28 – (a) Correlação cruzada entre as séries temporais da área da pluma do Rio Amazonas com a vazão na foz do Rio Amazonas. (b) Correlação cruzada entre as séries temporais decompostas da área da pluma do Rio Amazonas com a vazão na foz do Rio Amazonas.

As correlações da área da pluma com a componente do vento perpendicular à costa, tanto nas SD quanto nas SND, apresentaram os maiores coeficientes de correlação no ponto 3, que se localiza mais próximo à foz do rio Amazonas. Os

valores dos coeficientes das séries decompostas e não decompostas foram estatisticamente semelhantes (Figura 4.29).

Estes resultados mostram que mesmo a área da pluma sendo uma métrica de grandes dimensões, esta é mais influenciada pelo regime de ventos na região próxima a foz do Rio Amazonas. Este fato pode ser explicado pelo empilhamento das águas do Rio Amazonas na região costeira ou pelo maior escoamento devido à variação do vento do quadrante NE, conforme o que foi comentado no item 4.4.1.

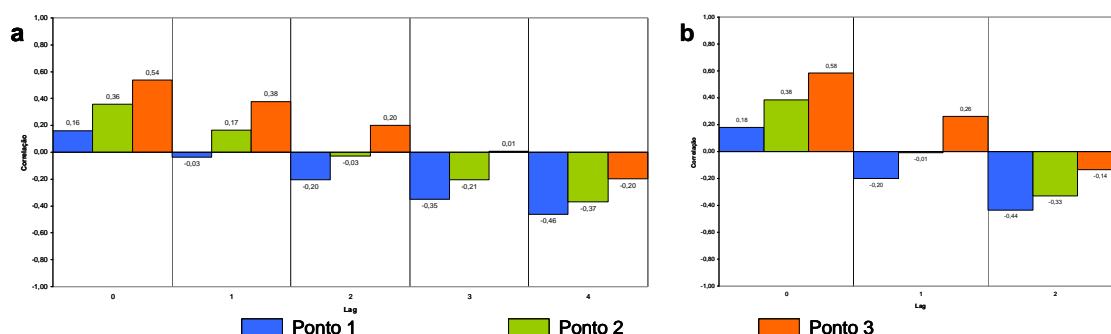


Figura 4.29 – Correlação cruzada entre área da pluma do Rio Amazonas com o VS na componente perpendicular à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.

Os maiores coeficientes de correlação entre a área e a componente da COS paralela à costa foram encontradas no ponto 3 ($r = -0,36$), no lag 0, para as SND e $r = -0,54$ para as SD (Figura 4.30). Assim como no VS, a COS apresentou maior influência na variabilidade da área da pluma na região próxima à foz do Rio Amazonas.

O ponto 2 da COS apresentou alta correlação com a área nos lags 3 e 4 da SND e no lag 2 da SD. Pode-se afirmar que esta alta correlação nas séries temporais é devido à localização deste ponto na região da retroflexão da CNB, provando que esta feição tem grande influência na área da pluma do Rio Amazonas. Entretanto, esta influência ocorre com uma defasagem de 1,5

meses. Neste ponto, o resultado das correlações entre as SD mostrou maiores valores que os calculados na correlação entre as SND.

Portanto, no caso das COS, os resultados das correlações entre as SD apresentaram uma significativa melhora em relação às séries temporais não decompostas (Figura 4.30). Esta melhora pode estar relacionada as séries temporais da COS extraídas nos 3 pontos de interesse que, diferentemente das séries do VS, mostraram a presença de altas frequências no espectro de wavelet. Estas altas frequências estariam prejudicando as correlações entre a área da pluma e a COS.

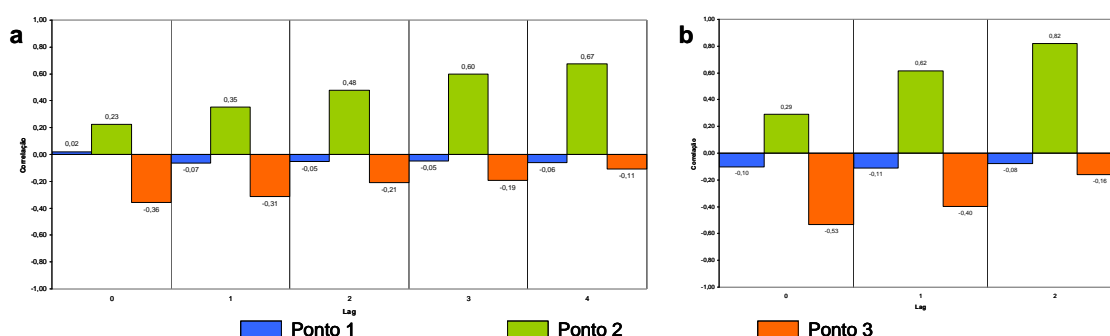


Figura 4.30 - Correlação cruzada entre área da pluma do Rio Amazonas com a COS na componente perpendicular à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas

Em relação a área da pluma, os resultados das correlações das SD do VS e da COS mostraram significativas melhorias em relação aos resultados da correlações das SND. No caso da vazão na foz do Rio Amazonas, por ser uma série que não foram identificadas altas frequências, os resultados das correlações entre as SD e SND não apresentaram significativas melhorias.

4.5.2 Distância da pluma do Rio Amazonas

Os coeficientes de correlação entre as séries temporais da distância da pluma com a vazão na foz do Rio Amazonas, tanto nas SD quanto nas SND, apresentaram valores iguais (Figura 4.31).

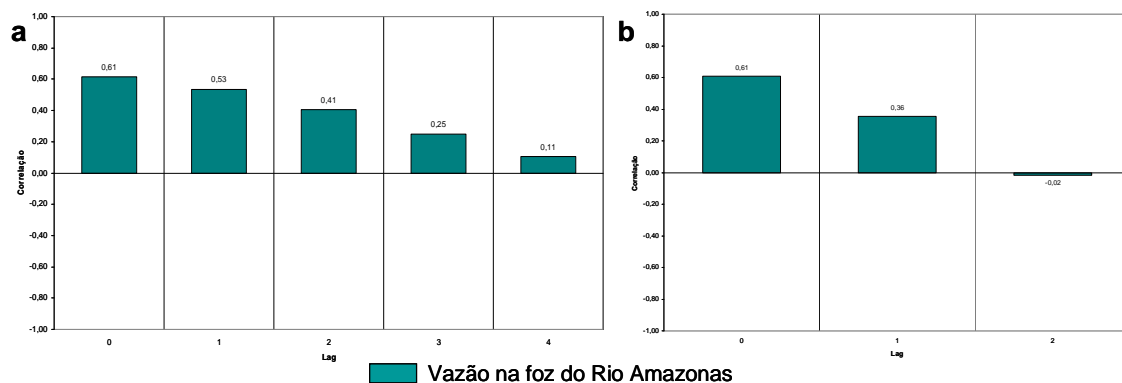


Figura 4.31 - Correlação cruzada entre a distância da pluma do Rio Amazonas e a vazão na foz do Rio Amazonas (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.

Na componente do VS perpendicular à costa não foram identificadas significativas defasagens entre os 3 pontos tanto nas SD quanto nas SND (Figura 4.32). Este resultado, conforme comentado no item 4.2.2, é devido a influencia da ITCZ na região que é o principal responsável pelas variações no campo de vento na área de estudo.

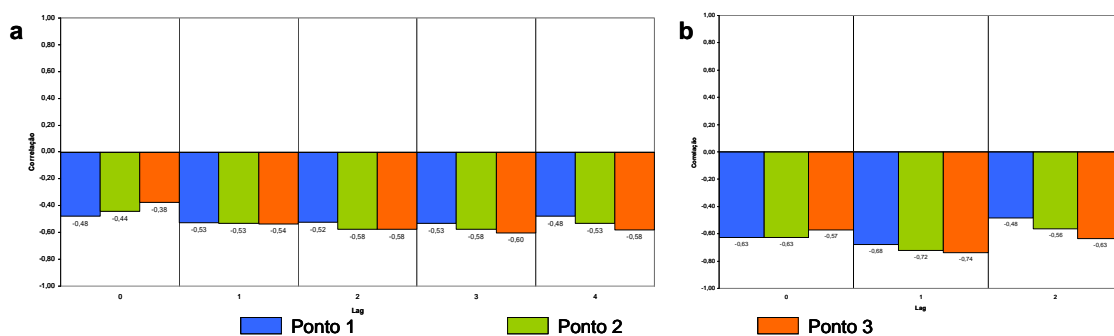


Figura 4.32 - Correlação cruzada entre a distância da pluma do Rio Amazonas e o VS na componente perpendicular à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.

Foi identificado significativo aumento nos coeficientes de correlação entre as SD em relação às SND. Este aumento nos coeficientes está relacionado às

características da SND desta métrica que apresentou sinais de altas frequências que, possivelmente, influenciaram os valores das correlações.

As maiores correlações da distância da pluma com a componente paralela à costa da COS foi localizada no ponto 2, região sob forte influência da CCNE e da retroflexão da CNB (Figura 4.33) (JOHNS et al., 1998; STRAMMA e SCHOTT, 1999).

No caso das COS, as diferenças entre os coeficientes de correlação das SND e das SD não foram significativas para o ponto 2. Este resultado mostra que, diferentemente da área da pluma, as correlações não diminuíram devido aos sinais de altas frequências identificados nas séries da COS.

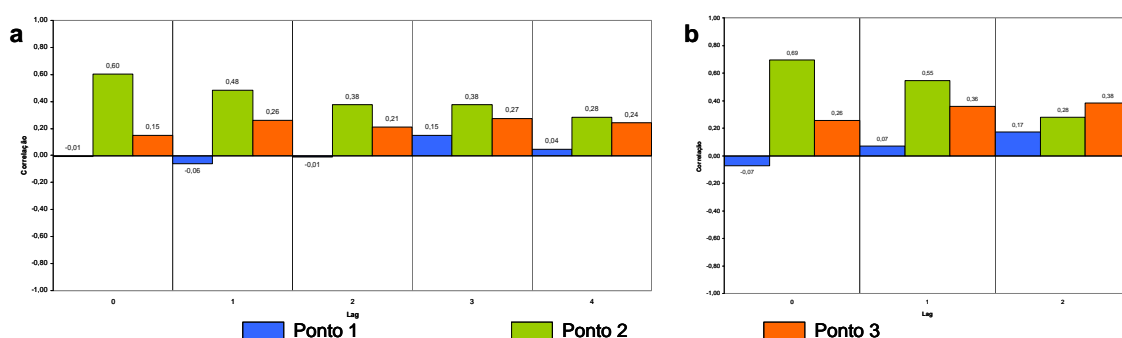


Figura 4.33 - Correlação cruzada entre a distância da pluma do Rio Amazonas e a COS na componente paralela à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.

A distância à foz da pluma apresentou um aumento nos valores dos coeficientes de correlação das correlações realizadas entre as SD desta variável com a componente perpendicular à costa do VS. Nas correlações desta métrica com a vazão e com a COS, não foram identificados aumentos significativos nas correlações tanto entre as SD quanto nas SND. Este resultado mostra que apenas na correlação desta métrica com a componente perpendicular do vento ocorreu uma significativa influência dos sinais das altas frequências nos valores dos coeficientes de correlação.

4.5.3 Direção Média da pluma do Rio Amazonas

As correlações da direção média da pluma do Rio Amazonas com a vazão do na foz do Rio Amazonas não apresentaram significativa diferença entre os coeficientes de correlação das SND e das SD (Figura 4.34).

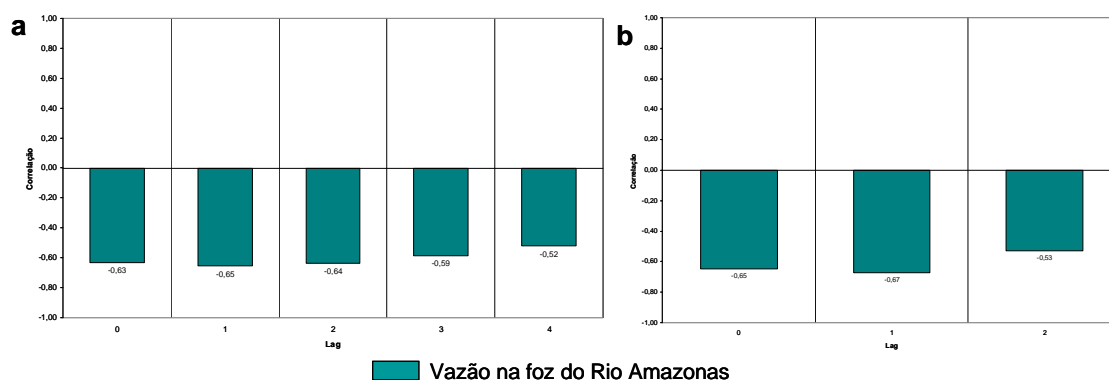


Figura 4.34 - Correlação cruzada entre a direção média da pluma do Rio Amazonas e a vazão na foz do Rio Amazonas (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.

Apesar das correlações entre a direção média da pluma e a componente perpendicular apresentarem-se maiores nas SND a diferença não se mostrou significativa com as SD (Figura 4.35). Em geral, as correlações foram próximas a 0,5, mostrando que a influência desta componente do vento na direção média da pluma é pequena.

A correlação entre a direção média e a componente paralela à costa da COS apresentou os melhores resultados no ponto 2 a partir do lag 2 na SND e a partir do lag 1 na SD (Figura 4.36). Estes resultados mostram que a região da CCNE e da retroflexão da CNB apresenta maior correlação com a variabilidade da direção média da pluma (HU et al., 2004; MULLER-KARGER et al., 1988).

As diferenças entre os coeficientes de correlação das SND e das SD não foram significativas. Este resultado mostra que as altas frequências identificadas na série temporal da COS não influenciaram nos valores das correlações.

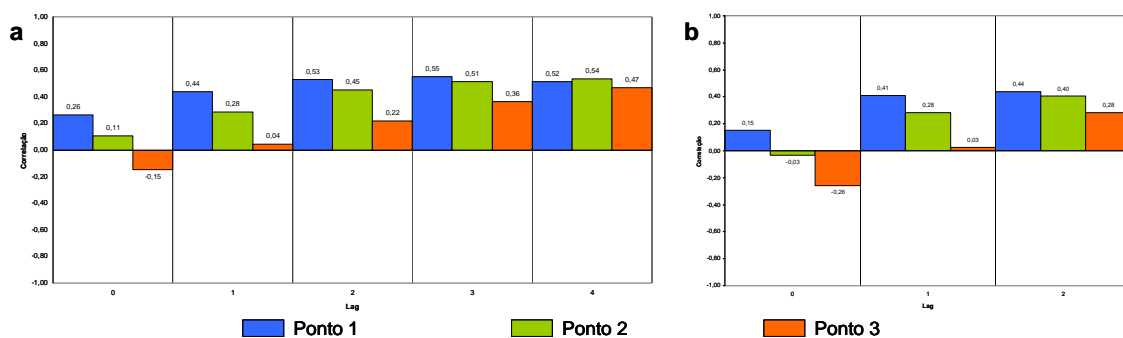


Figura 4.35 - Correlação cruzada entre a direção média da pluma do Rio Amazonas e o VS na componente perpendicular à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.

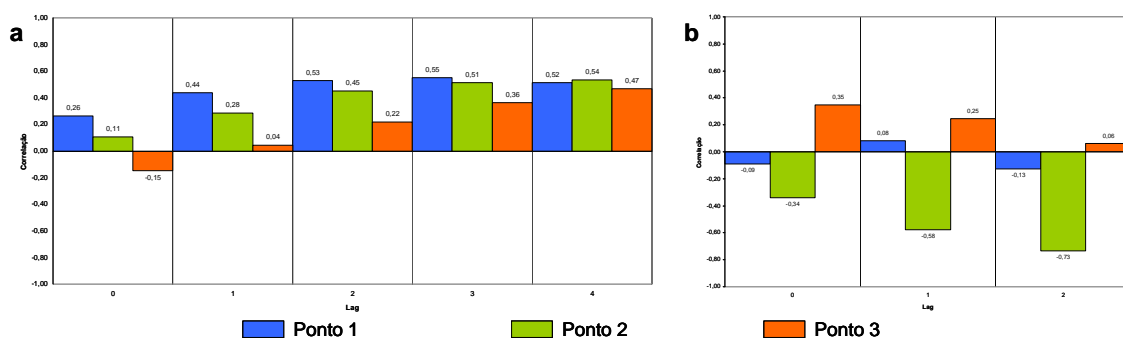


Figura 4.36 - Correlação cruzada entre a direção média da pluma do Rio Amazonas e a COS na componente paralela à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.

No caso da direção média da pluma do Rio Amazonas, não foram identificadas diferenças significativas entre os valores dos coeficientes de correlação calculados para as correlações entre as SND e as SD. Este resultado mostra que as altas frequências presentes nos sinais do VS, da COS e da direção média não apresentaram influência nas correlações entre estas variáveis.

4.5.4 Variância da direção da pluma do Rio Amazonas

A correlação entre as SND da vazão na foz do Rio Amazonas e da variância da direção da pluma apresentou os maiores coeficientes positivos a partir do lag 4 (0,58), ou seja, 2 meses de defasagem entre a resposta desta métrica a

variação da vazão (Figura 4.37-a). No caso das correlações entre as SD, o maior coeficiente de determinação foi identificado no lag 2 ($r = 0,62$) (Figura 4.37-b). Entretanto, as diferenças entre estes coeficientes de correlação não se mostrou significativa.

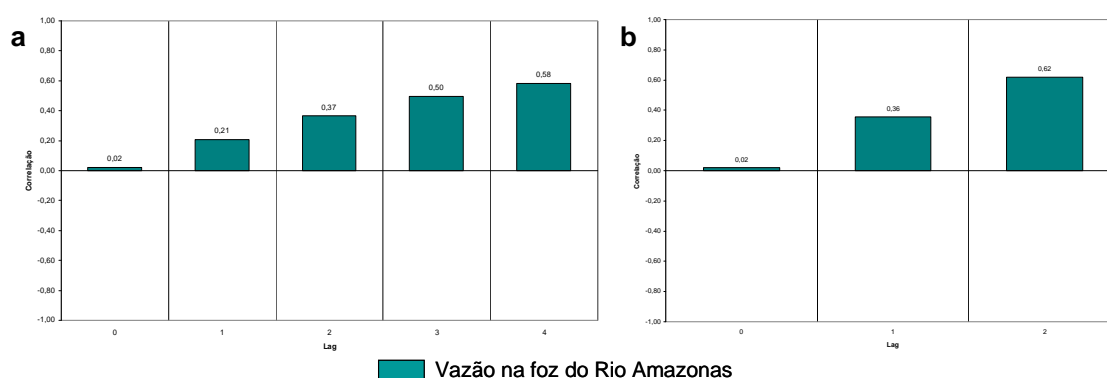


Figura 4.37 - Correlação cruzada entre a variância da direção da pluma do Rio Amazonas e a vazão na foz do Rio Amazonas (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.

Os maiores coeficientes de correlação identificados entre a componente perpendicular à costa do VS e a variância da direção estão localizados no ponto 2 e 3 tanto nas SND quanto nas SD (Figura 4.38). O ponto 1 apresentou resposta diferente em relação aos demais pontos, diferentemente do que foi identificado nas demais métricas. Este resultado indica que a variância da pluma sofre maior influência de ventos localizados na região entre os pontos 2 e 3.

A variância da direção apresentou maior correlação com esta componente do VS, porque, como foi comentado no item 4.4.5, os ventos do quadrante NE tendem a empilhar as águas do Rio Amazonas na região próxima à costa, diminuindo, portanto, a variância da direção da pluma deste rio.

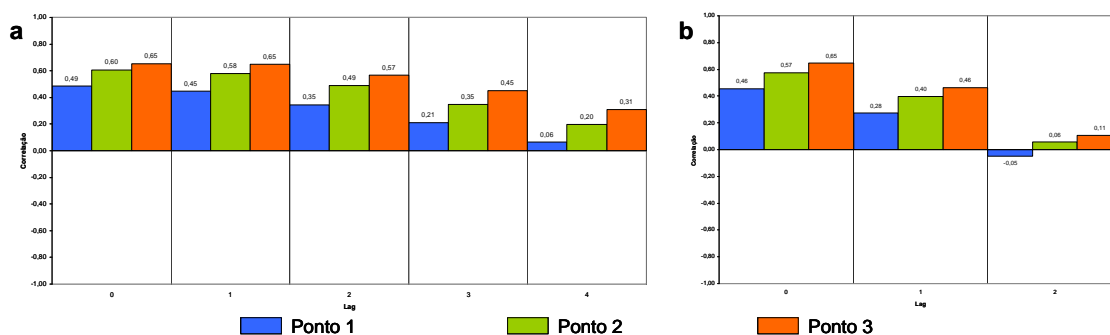


Figura 4.38 - Correlação cruzada entre a variância da direção da pluma do Rio Amazonas e o VS na componente perpendicular à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais.

Os coeficientes de correlação entre a variância da direção e a componente paralela à costa da COS tanto das SND quanto das SD não apresentaram valores altos ($r < 0,5$) (Figura 4.39). A maior correlação foi com o ponto 3, mais próximo à foz do Rio Amazonas. Este resultado mostra que, diferentemente da direção média, a variância da direção da pluma não sofre significativa influência da COS.

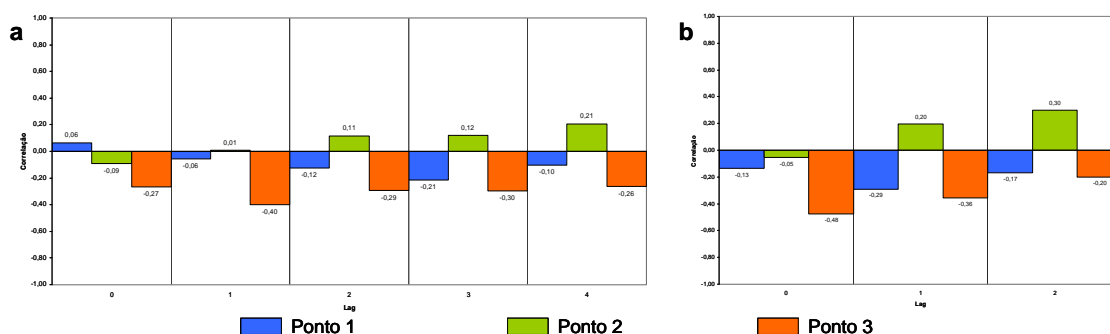


Figura 4.39 - Correlação cruzada entre a variância da direção da pluma do Rio Amazonas e a COS na componente paralela à costa. (a) séries temporais não decompostas e (b) séries temporais decompostas.

A variância da direção não mostrou significativa melhora nos coeficientes de correlação entre correlações realizadas entre as SND e as SD, ou seja, os sinais das altas freqüências identificados na série temporal desta métrica, no VS e na COS não apresentaram influência nos valores das correlações.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Este estudo mostrou que a utilização de forma integrada de dados *in situ* e de sensoriamento remoto orbital permitiu caracterizar, a partir de técnicas de análise de séries temporais, a variabilidade espacial e temporal da pluma do Rio Amazonas e quantificar a influência das variáveis ambientais na dinâmica desta feição.

O modelo de salinidade sintética utilizado para mapear a pluma do Rio Amazonas baseado no coeficiente de absorção pela matéria orgânica dissolvida colorida e detritos (produto *adg_443_gsm*) apresentou os melhores resultados estatísticos ($r^2 = 0,76$ e $rmse = 0,53$) para representar a salinidade superficial na área de estudo no período de 2000 a 2004. Apesar de outros produtos também apresentarem altas correlações, a abordagem semi-analítica do produto selecionado é a mais indicada para as águas consideradas opticamente complexas presentes na área de estudo.

A metodologia utilizada para mapear e extrair as métricas da pluma do Rio Amazonas proposta neste estudo permitiu gerar dados e informações relevantes quanto à variabilidade espacial e temporal da pluma do Rio Amazonas.

As análises dos espectros de wavelet das séries temporais das métricas e das variáveis hidrológicas, meteorológicas e oceanográficas permitiram identificar a existência, em geral, de períodos anuais e semestrais. Estes espectros apresentaram, a partir do ano de 2002, variações nas energias referentes a cada série, associadas à transição de um período de influência de fenômeno global de interação oceano-atmosfera *La Niña* para um período de influência do fenômeno *El Niño*.

A análise da série temporal de vazão na foz do Rio Amazonas permitiu identificar que os maiores valores de vazão encontram-se nos meses entre março e agosto e os menores entre setembro a fevereiro, concordando com a literatura existente.

Os 3 pontos de interesse estabelecidos neste trabalho permitiram caracterizar a variabilidade do VS e das COS em diferentes regiões da área de estudo. Nos 3 pontos os ventos de NE apresentaram-se como os dominantes na região. Este vento exibiu maior intensidade nos meses de dezembro a maio e menor de junho a novembro. A CNB foi a principal COS identificada na área de estudo a partir dos 3 pontos de interesse. Esta apresentou maior intensidade nos meses entre julho e dezembro e menor nos meses entre janeiro e junho.

A métrica da área da pluma do Rio Amazonas apresentou os maiores valores no período de abril a setembro e mínimos entre outubro e março. Esta apresentou maior correlação ($r = 0,86$) com uma defasagem de 1 – 1,5 meses na resposta da métrica à vazão na foz do Rio Amazonas. Isto porque é necessário que um grande volume da água seja descarregado na foz deste rio, de forma contínua, para que ocorram significativas alterações na área da pluma. Outra variável que apresentou alta correlação foi a componente perpendicular do VS indicando que esta apresenta significativa influência no empilhamento e escoamento da vazão na região próxima à foz do Rio Amazonas. A componente paralela à costa da COS apresentou as maiores correlações, com defasagem de 1,5 meses na resposta da área, nas regiões associadas à CNB e a CCNE.

As maiores distâncias da pluma do Rio Amazonas à foz foram identificadas no período de fevereiro a julho e as menores de agosto a janeiro. Nos meses de fevereiro a maio, em especial, a pluma do Rio Amazonas ultrapassa a da quebra da PCA. Esta métrica exibiu correlação positiva ($r = 0,60$) com a vazão do Rio Amazonas.

Com relação às variações na componente perpendicular do VS, a distância da pluma apresentou máxima correlação com defasagem de 1 mês. Ventos de NE podem provocar aumento da distância da pluma a medida que geram empilhamento das águas do rio na região costeira adjacente à foz. Os ventos L-SE favorecem o escoamento das águas do Rio Amazonas. Em relação às COS, obtiveram-se as maiores correlações positivas nas regiões associadas à CNB e a CCNE.

As métricas da direção média e variância da pluma do Rio Amazonas, por serem métricas relacionadas à forma desta feição, mostraram uma variabilidade mais dinâmica, quando comparadas às demais. Portanto, estas métricas dependem de forma singular da influência mútua entre as variáveis hidrológicas, oceanográficas e meteorológicas. Estas permitiram identificar diferentes comportamentos da pluma, agrupados como segue: (1) dispersão em direção a região central do Oceano Atlântico Equatorial, de julho a fevereiro; (2) grande dispersão em direção à região do Caribe, de março a junho e (3) pouca dispersão e mais localizada próxima à costa, períodos de transição aos anteriores.

Os maiores e menores valores identificados para a direção média da pluma ao longo do período de estudo ocorreram entre agosto a abril e entre maio a julho, respectivamente. Em relação a direção média, nenhuma variável se destacou, os valores das correlações foram, em geral, próximos a $\pm 0,6$. A vazão na foz do rio Amazonas apresentou correlação negativa com esta métrica. Os ventos do quadrante NE exibiram as maiores correlações com defasagem de 1,5 meses. Com relação as correntes, as regiões retroflexão da CNB da CCNE apresentaram as maiores correlações com esta métrica.

A variância da direção da pluma apresentou os maiores valores entre abril a outubro e os menores entre novembro a março. Esta métrica foi a que apresentou as menores correlações, em relação às demais métricas, com a vazão do Rio Amazonas. Os ventos de NE estiveram negativamente

correlacionados à variância da direção em função de sua influência no empilhamento das águas do Rio Amazonas na região costeira adjacente. As principais correntes relacionadas à variância da pluma do Rio Amazonas são a CNB na região da retroflexão e a CCNE.

Desta forma, pode-se afirmar que a análise das métricas extraídas da pluma do Rio Amazonas extraídas da série temporal de imagens da cor do oceano permitiram caracterizar a dinâmica espacial, em termos de sua forma e dimensão, e temporal, quanto à sua periodicidade.

As correlações cruzadas realizadas entre as séries temporais decompostas relativas às altas frequências das métricas da pluma e as das variáveis ambientais mostraram que, neste nível de frequência, as correlações não apresentaram valores significativamente altos ($r > 0,5$).

As correlações realizadas entre as menores frequências, representativas a períodos de 1 mês, extraídas das séries temporais demonstraram que ocorre, em geral, aumento nos valores das correlações das variáveis com as métricas. Isto mostra a possibilidade de se utilizar séries mensais para correlacionar a variabilidade das métricas da pluma com as variáveis ambientais.

Como forma de dar continuidade a este estudo, sugere-se:

- a) Aumentar a robustez do modelo de salinidade sintética a partir de um número maior de pares de dados salinidade *in situ versus* adg_443_gsm (*match-ups*);
- b) Ampliar a série temporal de imagens e outros dados abrangendo um período maior de estudo. Espera-se com isso, caracterizar melhor a variabilidade e periodicidade das métricas da pluma, assim como, a influência de fenômenos globais como *El-Niño* e *La-Niña*;
- c) Testar novos métodos de interpolação dos dados de correntes oceânicas superficiais obtidas com uso do modelo OSCAR, a fim de melhorar o

ajuste dos dados do modelo às séries temporais bi-semanais geradas em outras etapas do trabalho;

- d) Testar outras fontes de dados de correntes oceânicas superficiais;
- e) Caracterizar, de forma independente, a sazonalidade latitudinal do posicionamento da ITCZ que se mostrou uma importante variável na região de estudo. E correlacionar esta variável com as métricas da pluma do Rio Amazonas;
- f) Aperfeiçoar a metodologia para estimativa da distância da foz do Rio Amazonas, testando novas regiões para extração desta métrica;
- g) Ainda que grande parte das ferramentas utilizadas no presente trabalho tenha sido desenvolvida na forma de scripts nas linguagens de programação *Interactive Data language* (IDL) e Matlab, a extração das métricas da pluma foi melhor realizada na forma manual. Sugere-se o desenvolvimento de algoritmos mais sofisticados que venham a automatizar este processo, e
- h) Aplicar a metodologia desenvolvida neste trabalho em outros estuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLISON, M. A.; LEE, M. T.; OGSTON, A. S.; ALLER, R. C. Origin of Amazon mudbanks along the northeastern coast of South America. 2000. **Marine Geology**, v. 163, n. 1-4, p. 241–256.

ARGOUD, F. I. M.; AZEVEDO, F. M. D.; NETO, J. M. Estudo comparativo entre funções wavelet e suas diferentes aplicabilidades em reconhecimento de padrões epileptogênicos em eletroencefalograma. 2004. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v. 20, n. 2-3, p. 49-59.

BAPTISTA, M. C. **Uma análise do campo de vento de superfície sobre o Oceano Atlântico Tropical e Sul usando dados do escatêmetro do ERS.** 2000-06-20. 131 p. (INPE-9607-TDI/840). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/marciana/2003/04.10.08.37>>. Acesso em: 25 junho 2007.

BARNIER, B.; REYNAUD, T.; BECKMANN, A.; BÖNING, C.; MOLINES, J.-M.; BARNARD, S.; JIA, Y. On the seasonal variability and eddies in the North Brazil Current: insights from model intercomparison experiments. 2001. **Progress In Oceanography**, v. 48, n. 2-3, p. 195-230.

BEARDSLEY, R. C.; CANDELA, J.; LIMEBRNER, R.; GEYER, W. R.; LENTZ, S. J.; CASTRO, B. M.; CACCHIONE, D.; CARNEIRO, N. The M2 tide on the Amazon shelf. 1995. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. C2, p. 2283-2319.

BINDING, C. E.; BOWERS, D. G. Measuring the salinity of the Clyde Sea from remotely sensed ocean colour. 2003. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 57, n. 4, p. 605–611.

BONJEAN, F.; LAGERLOEF, G. S. E. Diagnostic model and analysis of the surface currents in the tropical pacific ocean. 2002. **Journal of Physical Oceanography**, v. 32, n. 10, p. 2938-2954.

BOWERS, D. G.; EVANS, D.; THOMAS, D. N.; ELLIS, K.; WILLIAMS, P. J. L. B. Interpreting the color of an estuary. 2004. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 59, n. 1, p. 13-20.

CARDER, K. L.; CHEN, F. R.; CANNIZZARO, J. P.; CAMPBELL, J. W.; MITCHELL, B. G. Performance of the MODIS semi-analytical ocean color algorithm for chlorophyll-a. 2004. **Advances in Space Research**, v. 33, n. 7, p. 1152–1159.

CARDER, K. L.; HAWES, S. K.; BAKER, K. A.; SMITH, R. C.; STEWARD, R. G.; MITCHELL, B. G. Reflectance model for quantifying chlorophyll a in the presence of productivity degradation products. 1991. **Journal of Geophysical Research**, v. 96, n. C11, p. 20599–20611.

CARDER, K. L.; HAWES, S. K.; LEE, Z.; CHEN, F. R. **MODIS:Case 2 chlorophyll a algorithm**. 1997. MODIS ATBD-19, URL: http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/DOCS/atbd_mod19.pdf.

CASTRO, B. M.; MIRANDA, L. B. Physical oceanography of the western Atlantic Continental Shelf located between 4° N and 34° S. In: ROBINSON, A. R.; BRINK, K. H. (Ed.). **The sea**. Harvard: John Wiley & Sons Inc., 1998. 209-251 p.

CHEN, Z.; CURRAN, P. J.; HANSOM, J. D. Derivative reflectance spectroscopy to estimate suspended sediment concentration. 1992. **Remote Sensing of Environment**, v. 40, n. 1, p. 67-77.

CHEN, Z.; HANSON, J. D.; CURRAN, P. J. The form of the relationship between suspended sediment concentration and spectral reflectance: its implications for the use of Daedalus1268 data. 1991. **Remote Sensing Letters**, v. 12, n. 1, p. 215-222.

CLARK, D. K. **Algorithm Theoretical Basis Document, Bio-Optical Algorithms-Case 1 Waters**. 1997. MODIS ATBD-18, Disponível em: http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/DOCS/atbd_mod18.pdf. Acesso em: 19/11/2007.

CLIMANÁLISE. Análise da Precipitação no Brasil. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 16, n. 11, 2001a. nov 2001. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1101/analise_prec.html>. Acesso em: 07 fev. 2008

CLIMANÁLISE. Análise da Precipitação no Brasil. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 16, n. 10, 2001b. out 2001. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1001/analise_prec.html>. Acesso em: 07 fev. 2008.

CLIMANÁLISE. Análise da Precipitação no Brasil. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 16, n. 03, 2001c. mar 2001. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/0301/analise_prec.html>. Acesso em: 07 fev. 2008.

CLIMANÁLISE. Análise da Precipitação no Brasil. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 16, n. 04, 2001d. abr 2001. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/0401/analise_prec.html>. Acesso em: 07 fev. 2008.

CLIMANÁLISE. Zona de Convergência Intertropical. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 18, n. 07, 2003. jul 2003. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/0703/zcit.html>>. Acesso em: 07 fev. 2008.

CURRAN, P. J.; NOVO, E. M. M. The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: a review. 1988. **Journal of Coastal Research**, v. 4, n. 3, p. 351-368.

D'SA, E. J.; HU, C.; MULLER-KARGER, F. E.; CARDER, K. L. Estimation of colored dissolved organic matter and salinity fields in case 2 waters using SeaWiFS: Examples from Florida Bay and Florida Shelf. 2002. **Journal of Earth System Science (Indian Academy of Science)**, v. 111, n. 3, p. 197-207.

DA SILVA, A. M.; YOUNG, C. C.; LEVITUS, S. **Atlas of surface marine data**. 1995. v. 2: Anomalies of directly observed quantities. US Department of Commerce, NOAA, SDIS 7.

DAGG, M.; BENNER, R.; LOHRENZ, S.; LAWRENCE, D. Transformation of dissolved and particulate materials on continental shelves influenced by large rivers: plume processes. 2004. **Continental Shelf Research**, v. 24, n. 7-8, p. 833-858.

DARECKI, M.; STRAMSKI, D. An evaluation of MODIS and SeaWiFS bio-optical algorithms in the Baltic Sea. 2004. **Remote Sensing of Environment**, v. 89, n. 3, p. 326-350.

DARECKI, M.; WEEKS, A.; SAGAN, S.; KOWALCZUK, P.; KACZMAREK, S. Optical characteristics of two contrasting Case 2 waters and their influence on remote sensing algorithms. 2003. **Continental Shelf Research**, v. 23, n. 3-4, p. 237-250.

DEMASTER, D. J.; POPE, R. H. Nutrient dynamics in Amazon shelf waters: results from AMASSEDs. 1996. **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 3, p. 263-289.

DEMASTER, D. J.; SMITH, W.; NELSON, D. M.; ALLER, J. Y. Biogeochemical processes in Amazon shelf waters: chemical distributions and uptake rates of silicon, carbon and nitrogen. 1996. **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 5-6, p. 617-643.

DOMINGUES, M. O.; JÚNIOR, O. M.; COSTA, A. M. D. Algumas aplicação wavelet na análise de sinais atmosféricos. In: 2º Congresso Temático de Aplicações de Dinâmica e Controle da Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional (SBMAC), 2003, São José dos Campos, SP, Brasil, 18-22 Agosto de 2003. **Proceedings...** 2003. p. 1-25.

EMERY, W. J.; THOMSON, R. E. **Data analysis methods in physical oceanography**. Amsterdam: Elsevier, 2004. 621 p.

FERREIRA, N. S. Zona de Convergência Intertropical. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. on line, n. Especial 10 anos, 1996. (INPE-11888-PRE/7235). Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/fish.html>>. Acesso em: 07 fev. 2008.

FFIELD, A. North Brazil current rings viewed by TRMM Microwave Imager SST and the influence of the Amazon Plume. 2005. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 52, n. 1, p. 137-160.

FFIELD, A. Amazon and Orinoco River Plumes and NBC Rings: Bystanders or Participants in Hurricane Events. 2007. **Journal of Climate**, v. 20, n. 2, p. 316–333.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Clima da Amazônia. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. on line, n. Especial 10 anos, 1996. (INPE-11888-PRE/7235). Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/fish.html>>. Acesso em: 07 fev. 2008.

FOLEY, J. A.; BOTTA, A. L.; COE, M. T.; COSTA, M. H. El Niño–Southern oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazonia. 2002. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 16, n. 4, p. 1-17.

FONSECA, C. A.; GONI, G. J.; JOHNS, W. E.; CAMPOS, E. J. D. Investigation of the North Brazil Current retroflection and North Equatorial Countercurrent variability. 2004. **Geophysical Research Letters**, v. 31, n. 21, p. L21304.1-L21304.5.

FRATANTONI, D. M.; GLICKSON, D. A. North Brazil Current ring generation and evolution observed with SeaWiFS. 2002. **Journal of Physical Oceanography**, v. 32, n. 3, p. 1058-1074.

FROIDEFOND, J. M.; GARDEL, L.; GUIRAL, D. L.; PARRA, M.; TERNON, J. F. Spectral remote sensing reflectances of coastal waters in French Guiana under the Amazon influence. 2002. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 2, p. 225–232.

FROIDEFOND, J. M.; LAHET, F.; HUC, D. D.; GUIRAL, D.; PROST, M. T.; TERNON, J.-F. Mudflats and mud suspension observed from satellite data in French Guiana. 2004. **Marine Geology**, v. 208, n. 2-4, p. 153–168.

FU, R.; DICKINSON, R. E.; CHEN, M.; WANG, H. How do tropical sea surface temperatures influence the seasonal distribution of precipitation in the Equatorial Amazon. 2001. **Journal of Climate**, v. 14, n. 20, p. 4003–4026.

GEYER, W. R. Tide-induced mixing in the Amazon frontal zone. 1995. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. C2, p. 2341-2353.

GEYER, W. R.; BEARDSLEY, R. C. Introduction to special section on physical oceanography of the Amazon shelf. 1995. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. C2, p. 2281-2282.

GEYER, W. R.; BEARDSLEY, R. C.; LENTZ, S. J.; CANDELA, J.; LIMBURNER, R.; JOHNS, W. E.; CASTRO, B. M.; SOARES, I. D. Physical oceanography of the Amazon shelf. 1996. **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 5-6, p. 575-616.

GEYER, W. R.; KINEKE, G. C. Observations of currents and water properties in the Amazon frontal zone. 1995. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. C2, p. 2321-2339.

GONI, G.; JOHNS, W. A census of North Brazil Current Rings observed from TOPEX-POSEIDON altimetry:1992-1998. 2001. **Geophysical Research Letters**, v. 28, n. 1-4, p. 1-4.

GORDON, H. R.; WANG, M. Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWiFS: a preliminary algorithm. 1994. **Applied Optics**, v. 33, n. 3, p. 443-452.

GRAPS, A. An introduction to wavelets. 1995. **IEEE Computational Science and Engineering**, v. 2, n. 2, p. 50-61.

HASTENRATH, S. Circulation and teleconnection mechanisms of Northeast Brazil droughts. 2006. **Progress In Oceanography**, v. 70, n. 2-4, p. 407-415.

HU, C.; MONTGOMERY, E. T.; SCHMITT, R. W.; MULLER-KARGER, F. E. The dispersal of the Amazon and Orinoco River water in the tropical Atlantic and Caribbean Sea: observation from space and S-PALACE floats. 2004. **Deep-Sea Research II**, v. 51, n. 10-11, p. 1151–1171.

JOHNS, W. E.; LEE, T. N.; BEARDSLEY, R. C.; CANDELA, J.; LIMBURNER, R.; CASTRO, B. Annual Cycle and Variability of the North Brazil Current. 1998. **Journal of Physical Oceanography**, v. 28, n. 1, p. 103–128.

KINEKE, G. C.; STERNBERG, R. W.; TROWBRIDGE, J. H.; GEYER, W. R. Fluid-mud processes on the Amazon continental shelf. 1996. **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 5/6, p. 667-696.

LABAT, D. Recent advances in wavelet analyses: Part 1. A review of concepts. 2005. **Journal of Hydrology**, v. 314, n. 1-4, p. 275–288.

LABAT, D.; RONCHAIL, J.; GUYOT, J. L. Recent advances in wavelet analyses: Part 2. Amazon, Parana, Orinoco and Congo discharges time scale variability. 2005. **Journal of Hydrology**, v. 314, n. 1-4, p. 289–311.

LENTZ, S. J. The Amazon River plume during AmasSeds: subtidal current variability and the importance of wind forcing. 1995a. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. C2, p. 2377-2390.

LENTZ, S. J. Seasonal variations in the horizontal structure of the Amazon Plume inferred from historical hydrographic data. 1995b. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. C2, p. 2391-2400.

LENTZ, S. J.; LIMBURNER, R. The Amazon River Plume during AMASSEDs: Spatial characteristics and salinity variability. 1995. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. C2, p. 2355-2375.

MANTOURA, R. F. C.; WOODWARD, E. M. S. Conservative behaviour of riverine dissolved organic carbon in the Severn Estuary: chemical and geochemical implications 1983. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 47, n. 7, p. 1293-1309.

MARENGO, J. A.; HASTENRATH, S. Case Studies of Extreme Climatic Events in the Amazon Basin. 1993. **Journal of Climate**, v. 6, n. 4, p. 617–627.

MARITORENA, S. P.; SIEGEL, D. A.; PETERSON, A. R. Optimization of a semianalytical ocean color model for global-scale applications. 2002. **Applied Optics**, v. 41, n. 15, p. 2705-2714.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely sensed images: an introduction**. Ed. 2. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1999. 292 p.

MATLAB. **Tutorial do Matlab 7**. Natick, MA: The MathWorks, Inc., 2007. 240 p.

MCKEE, D.; CUNNINGHAM, A.; DUDEK, A. Optical water type discrimination and tuning remote sensing band-ratio algorithms: Application to retrieval of chlorophyll and Kd(490) in the Irish and Celtic Seas. 2007. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 73, n. 3-4, p. 827-834.

MELO, A. B. C.; NOBRE, P.; MELO, M. L. D.; SANTANA, S. C. Estudo climatológico da posição da ZCIT no atlântico equatorial e sua influência sobre o Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2000, Rio de Janeiro (RJ). **Estudo climatológico da posição da ZCIT no atlântico equatorial e sua influência sobre o Nordeste do Brasil**. 2000. p. 1142-1147.

MILLIMAN, J. D.; MEADE, R. H. World-wide delivery of river sediment to the oceans. 1983. **Journal of Geology**, v. 91, n. 1, p. 1-21.

MOREL, A.; PRIEUR, L. Analysis of variations in ocean color. 1977. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 4, p. 709-722.

MULLER-KARGER, F. E.; MCCLAIN, C. R.; RICHARDSON, P. L. The dispersal of the Amazon's water. 1988. **Nature**, v. 333, p. 56-58.

NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. **Applied Linear Statistical Models**. Chicago, IL.: Richard D. Irwin Inc., 1996.

NETO, J. A. B.; SILVA, C. G. Morfologia do fundo oceânico. In: NETO, J. A. B.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. (Ed.). Introdução à geologia marinha. Rio de Janeiro - R.J.: Editora Interciência, 2004. 279 p.

NIKIEMA, O.; DEVENON, J.-L.; BAKLOUTI, M. Numerical modeling of the Amazon River plume. 2007. **Continental Shelf Research**, v. 27, n. 7, p. 873-899.

NITTROUER, C. A.; DEMASTER, D. J. The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. 1996. **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 5-6, p. 553-573.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of Sea Surface Temperature, Wind Stress, and Rainfall over the Tropical Atlantic and South America. 1996. **Journal of Climate** v. 9, n. 10, p. 2464–2479.

O'REILLY, J. E.; MARITORENA, S.; MITCHELL, B. G.; SIEGEL, D. A.; CARDER, K. L.; GARVER, S. A.; KAHRU, M.; MCCLAIN, C. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS. 1998. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. C11, p. 24,937–24,954.

O'REILLY, J. E.; MUELLER, J. L.; MITCHELL, B. G.; KAHRU, M.; CHAVEZ, F. P.; STRUTTON, P.; COTA, G. F.; HOOKER, S. B.; MCCLAIN, C. R.; CARDER, K. L.; MULLER-KARGER, F.; HARDING, L.; MAGNUNSON, A.; PHINNEY, D.; MOORE, G. F.; AIKEN, J.; ARRIGO, K. R.; LETELIER, R.; CULVER, M. **SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses**. Part 3, Vol. 11. NASA Tech, NASA Goddard Space Flight Center, 2000. 49 p.

OH, H.-S.; AMMANN, C. M.; NAVEAU, P.; NYCHKA, D.; OTTO-BLIESNER, B. L. Multi-resolution time series analysis applied to solar irradiance and climate reconstructions. 2003. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 65, n., p. 191 – 201.

PRIEUR, L.; SATHYENDRANATH, S. An optical classification of coastal and oceanic waters based on the specific spectral absorption curves of

phytoplankton pigments, dissolved organic matter, and other particulate materials. 1981. **Limnology and Oceanography**, v. 26, n. 4, p. 671-689.

RICHEY, J. E.; HEDGES, J. I.; DEVOL, A. H.; QUAY, P. D.; VICTORIA, R.; MARTINELLI, L.; FORSBERG, B. R. Biogeochemistry of carbon in the Amazon River. 1990. **Limnology and Oceanography**, v. 35, n. 2, p. 352-371.

SCHIMEL, D. S. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. 1995. **Global Change Biology**, v. 1, n. 1, p. 77-91.

SCHOTT, F. A.; FISCHER, J.; STRAMMA, L. Transports and Pathways of the Upper-Layer Circulation in the Western Tropical Atlantic. 1998. **Journal of Physic Oceanography**, v. 28, n. 10, p. 1904-1928.

SIEGEL, D. A.; MARITORENA, S.; NELSON, N. B.; BEHRENFELD, M. J.; MCCLAIN, C. R. Colored dissolved organic matter and its influence on the satellite-based characterization of the ocean biosphere. 2005. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. L20605, p. 1-4.

SILVEIRA, I. C.; MIRANDA, L. B.; BROW, W. S. The origin of the North Brazil Current. 1994. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, n. C11, p. 22501-22512.

SMITH, W. O.; DEMASTER, D. J. Phytoplankton biomass and productivity in the Amazon River plume: correlation with seasonal river discharge. 1996. **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 3, p. 291-319.

SOLTANI, S. On the use of the wavelet decomposition for time series prediction. 2002. **Neurocomputing**, v. 48, n. 1, p. 267-277.

STRAMMA, L.; RHEIN, M.; BRANDT, P.; DENGLER, M.; BÖNING, C.; WALTER, M. Upper ocean circulation in the western tropical Atlantic in boreal fall 2000. 2005. **Deep Sea Research Part I**, v. 52, n. 2, p. 221-240.

STRAMMA, L.; SCHOTT, F. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean. 1999. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 46, n. 1-2, p. 279-303.

TERNON, J. F.; OUDOT, C.; DESSIER, A.; DIVERRES, D. A seasonal tropical sink for atmospheric CO₂ in the Atlantic ocean: the role of the Amazon River discharge. 2000. **Marine Chemistry**, v. 68, n. 3, p. 183-201.

THOMAS, A. C.; WEATHERBEE, R. A. Satellite-measured temporal variability of the Columbia River plume. 2006. **Remote Sensing of Environment**, v. 100, n. 2, p. 167-178.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A practical guide to wavelet analysis. 1998. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 1, p. 61-78.

VALENS, C. **A really friendly guide to wavelets**. 1999. Disponível em: <http://citeseer.ist.psu.edu/valens99really.html>. Acesso em: 5/06/2007.

VECCHIO, R. D.; SUBRAMANIAM, A. Influence of the Amazon River on the surface optical properties of the western tropical North Atlantic Ocean. 2004. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, n. C11001, p. 1-13.

VOS, N. J. D. Multi-Resolution Time Series Forecasting Using Wavelet Decomposition. In: Neural Network 3, 2007, Lancaster, UK. **Proceedings...** 2007. p.

WALISER, D. E.; GAUTIER, C. A Satellite-derived Climatology of the ITCZ. 1993. **Journal of Climate**, v. 6, n. 11, p. 2162-2174.

WARRICK, J. A.; MERTES, L. A. K.; SIEGEL, D. A.; MACKENZIE, C. Estimating suspended sediment concentrations in turbid coastal waters of the Santa Barbara Channel with SeaWiFS. 2004. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1995–2002.

WOZNIAK, S. B.; STRAMSKI, D. Modeling the optical properties of mineral particles suspended in seawater and their influence on ocean reflectance and chlorophyll estimation from remote sensing algorithms. 2004. **Applied Optics**, v. 43, n. 17, p. 3489-3503.

WRIGHT, L. D.; NITTROUER, C. A. Dispersal of River Sediments in Coastal Seas: Six Contrasting Cases. 1995. **Estuaries**, v. 18, n. 3, p. 494-508.

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

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

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constan destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.