

An aerial photograph of a coastal region, likely the Tamandaré Bay in Pernambuco, Brazil. The image shows a complex network of rivers and streams flowing into a large bay. The land is densely forested, with some cleared areas visible. The water in the bay is a deep blue, contrasting with the green of the forest. The overall scene is a natural landscape with significant water bodies and a river delta system.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
PERNAMBUCO**

*Um ensaio sobre a sedimentação e suas implicações  
ecológicas nos recifes costeiros da baía de  
Tamandaré/PE.*

*Eduardo Cavalcante de Macêdo*

Recife/PE

Março de 2009

**Eduardo Cavalcante de Macedo**

***Um ensaio sobre a sedimentação e suas implicações ecológicas  
nos recifes costeiros da baía de Tamandaré/PE***

Dissertação de Mestrado submetida como parte dos requisitos ao grau de MESTRE EM OCEANOGRAFIA ao Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco

**Orientador: Professor Doutor Mauro Maida**

Recife  
2009



**M125e**

**Macedo, Eduardo Cavalcante de.**

Um ensaio sobre a sedimentação e suas implicações ecológicas nos recifes costeiros da baía de Tamandaré/PE / Eduardo Cavalcante de Macedo. - Recife: O Autor, 2009.

141 folhas, il : tabs.,grafs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2009.

Inclui Bibliografia e Anexos.

1. Oceanografia. 2. Ecossistema – Sustentabilidade. 3. Bacia Hidrográfica. 4. Sedimentação Ecológica. I. Título.

**UFPE**

**551.46**

**BCTG/ 2009-126**

Folha de Aprovação

UM ENSAIO SOBRE A SEDIMENTAÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES  
ECOLÓGICAS NOS RECIFES COSTEIROS DA BAÍA DE  
TAMANDARÉ/PE.

Dissertação aprovada pela comissão examinadora em 30 de abril de 2009.

Examinadores:



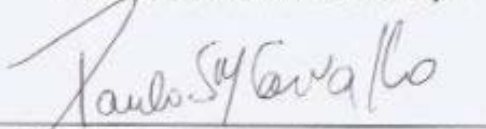
---

Dr. Mauro Maida




---

Dra. Lúcia Maria Mafra Valença



---

Dr. Paulo Sérgio Martins de Carvalho



---

Dr. Moacyr Cunha de Araújo Filho

Recife, 2009.



## RESUMO

---

A sustentabilidade dos ecossistemas recifais, principalmente os costeiros, depende de mudanças nos modelos atuais de exploração e uso, em suas bacias hidrográficas adjacentes. Mudanças geradas por ações antrópicas nas características físico-químicas das águas tropicais costeiras são tidas como a maior causa de degradação em ecossistemas recifais. Apesar disto apenas a prevenção aos impactos diretos, como pesca e turismo, tem sido considerados em grande parte das atuais propostas para sua conservação. Os indiscutíveis resultados obtidos com essas ações, muitas vezes são limitados por impactos ocasionados pela má qualidade das águas na qual esses ecossistemas estão inseridos, sendo a sedimentação uma das principais causas. Com o objetivo de entender a dinâmica de sedimentos em suspensão e suas fontes em uma área de recuperação ecossistêmica recifal, conhecida como Área Fechada de Tamandaré foram utilizadas duas iniciativas para geração de dados: 3 anos de coletas semanais com armadilhas de sedimentos seguidas de análises que quantificassem e qualificassem as amostras coletadas; e análise de 31 anos de imagens de sensores remotos orbitais, buscando assim, uma visão sinótica do fenômeno estudado. Dados meteorológicos e oceanográficos foram adicionados a estas informações, possibilitando, assim, inferir sobre quais parâmetros ambientais contribuem para o aporte sedimentar na área estudada. Altos valores de sedimentação foram encontrados, distribuídos entre as estações do ano. Correlações significativas, entre a sedimentação e os parâmetros meteorológicos e oceanográficos, indicaram altas taxas de remobilização de sedimentos, tanto carbonáticos quanto de origem terrígena oriundos de bacias hidrográficas adjacentes à área de estudo. Esta ressuspensão, diretamente influenciada pelas ondas, é regulada por variações de marés que potencializam ou minimizam a capacidade de proteção que os recifes oferecem ao embate dessas ondas. O monitoramento por sensoriamento remoto orbital permitiu concluir que a bacia hidrográfica do rio Una é a principal fonte de material terrígeno. Sua pluma sedimentar, que se torna tanto mais intensa quanto maiores os índices pluviométricos, é direcionada para esta área por ventos principalmente vindos de sul e sudeste. Além da intensidade pluviométrica, a migração da foz do rio Una é uma variável diretamente responsável, por mudanças na intensidade com que sua pluma atinge a Área Fechada de Tamandaré. A maior proximidade desta foz à Área Fechada faz com que sua pluma chegue com maior intensidade potencializando os riscos ambientais inerentes à qualidade de suas águas. Durante os últimos 31 anos estudados, a foz do rio Una se localizou na posição mais próxima dos recifes de Tamandaré por três vezes. A migração aparentemente atípica no sentido norte a partir do ano 2000 agravou o problema exposto. Durante a pesquisa foi também observado mortalidade de corais após as primeiras chuvas posteriormente ao período de maior aplicação de agrotóxicos na região. Diante do exposto, o presente estudo demonstrou que a sustentabilidade dos ecossistemas recifais costeiros de Tamandaré, assim como em grande parte do mundo, está profundamente associado aos modelos de uso e ocupação do solo de bacias hidrográficas adjacentes.

Palavras-chave: sedimentos em suspensão, recifes de coral, sensoriamento remoto

## ABSTRACT

---

The sustainability of coastal reef ecosystems depends on changes in current patterns of exploitation and land use in adjacent catchments. Changes generated by human activities in physical and chemical characteristics of tropical coastal waters are considered the major cause of degradation in reef ecosystems. Despite this, only the direct impacts, such as fishing and tourism has been considered in most current proposals for its conservation. The positive results of these actions are often limited by impacts caused by poor water quality discharged from adjacent catchments, where the sedimentation is one of the major stressors. Aiming to investigate the dynamics of suspended sediments in a reef ecosystem recovery area, known as Tamandaré No Take Zone, data were obtained both in situ and by remote sensing. In situ relates to 3 years of weekly sediment traps sampled followed by quantitative and qualitative analysis. Remote sensing relates to 31 years of satellite imagery analysis, in order to obtain a synoptic view of the studied phenomena. Meteorological and oceanographic data were added to this information, enabling us to infer what environmental factors are contributing to the runoff in the study area. High rates of sedimentation were found, which is distributed differently between the seasons. Significant correlations between the sedimentation rates and meteorological and oceanographic parameters showed a high rate of runoff and sediment remobilization of both carbonatic and terrigenous origin. This resuspension is directly influenced by waves and regulated by tide variation which maximize or minimize the protection that reefs provide to the wave transmission. The monitoring by orbiter remote sensing indicated that the Una catchment area is the main source of terrigenous material. The plume, which becomes more intense with higher rainfall indexes, is directed to Tamandaré No Take Zone primarily by winds from south and southeast. The proximity of the Una outlet to Tamandaré No Take Zone increases the plume influence, thus increasing the environmental risks in the quality of its waters. During the past 31 years the mouth of the river Una was located in the closest position in three occasions. The atypical north migration since the year 2000, aggravated the problem above mentioned. Coral mortality was observed during the first rains after a period of increased application of pesticides in the region. Based on facts above, the present study showed that the sustainability of coastal reef ecosystems is deeply linked to models of land use of the adjacent catchments.

Keywords: suspended sediments, coral reefs, remote sensing.

## AGRADECIMENTOS:

Este trabalho é fruto do esforço da equipe do Projeto Recifes Costeiros, que para isto contou com a participação direta e indireta de vários colaboradores.

Em primeiro lugar agradeço minha família pelo eterno apoio e incentivo, Mirella pelas conversas construtivas sobre o tema, ajuda e entusiasmos.

À Mauro Maida e Beatrice Padovani por criarem caminhos a serem seguidos.

À banca, por aceitar contribuir para o aprimoramento dessa pesquisa.

Inho e seu Rubens apostos em todas as horas e condições.

A UFPE e ao CEPENE pela estrutura disponibilizada

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, por tornar disponíveis as imagens dos satélites LANDSAT e CBERS para uso público.

A todos os professores e colegas do curso de mestrado em Oceanografia da UFPE pelos momentos de convívio e aprendizado.



## ÍNDICE

<b>Lista de figuras:</b> .....	6
<b>Lista de Tabelas:</b> .....	13
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	18
<b>2.1 Hidrografia</b> .....	23
<b>2.2 Solos</b> .....	25
<b>2.2.1 Uso e ocupação do Solo</b> .....	32
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	38
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	39
<b>4.1 Confeção e instalação das armadilhas de sedimentos</b> .....	40
<b>4.2 Procedimentos de mar</b> .....	42
<b>4.3 Procedimentos de laboratório</b> .....	43
<b>4.4 Coletas de dados meteorológicos e oceanográficos</b> .....	46
<b>4.5 Análises estatísticas</b> .....	48
<b>4.6 Dados Sensoriamento Remoto</b> .....	50
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	59
<b>5.1 Taxa de sedimentação</b> .....	59
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	116
<b>Referências Bibliográficas:</b> .....	118

## Lista de figuras:

Figura 1 – Imagem do satélite Landsat mostrando a abrangência e limites da APA Marinha Costa dos Corais. Imagem cedida pelo Projeto Recifes Costeiros.	18
Figura 2 – Localização da área fechada da APA Costa dos Corais, na Baía de Tamandaré. No detalhe, uma fotografia aérea do recife da Ilha da Barra (8°46'00"S, 35°05'57"W).	20
Figura 3 - Formação recifal de Tamandaré/PE. 1 – Imagem modificada do Google Earth (www) mostrando as linhas recifais. 2 – Foto dos recifes de Tamandaré. Foto: Antonio Henrique.	21
Figura 4 – Principais espécies construtoras, 1- <i>Mussismilia hartii</i> . 2- <i>Montastrea cavernosa</i> .	22
Figura 5 – Localização dos rios com maior influência nos recifes de Tamandaré. Na imagem, é evidente a diferença de cores entre as plumas dos rios Una (ao sul), Mamucabas/Ilhetas (central) e Formoso (ao norte). Imagem gerada pelo satélite Landsat 7, cedida pelo Projeto Recifes Costeiros.	24
Figura 6 - mapa de solos das bacia hidrográficas que deságuam na APA Costa dos Corais (Modificado de JACOMINE et al., 1975).	26
Figura 7 – Latossolo com vegetação nativa desmatada para plantação de cana de açúcar (foto do autor).	27
Figura 8 – Podissólico com plantação de cana de açúcar.	28
Figura 9 – Solos Gley com drenagem, para plantação de cana (a esquerda), e no momento de abertura (a direita).	29
Figura 10 – Neossolo quartizarênico com plantação de coqueiros.	30
Figura 11 – Manguezal no rio Mamucabas.	31
Figura 12 - Mudança de cores nas águas do rio Ipojuca, durante a passagem por uma usina de açúcar e álcool. A seta vermelha indica o ponto de lançamento do efluente. Nota-se também a ausência de matas ciliares. (Data de aquisição: 2008, no Google Earth em seu site).	35
Figura 13 – Componentes dos coletores de sedimentos.	40
Figura 14 – Armadilha de sedimento instalada.	41
Figura 15 – Localização das dez armadilhas de sedimentos no entorno do recife “Ilha da Barra”, Tamandaré-PE.	42

Figura 16 – Seqüência durante a substituição dos acumuladros de sedimentos. 1-retirar e tampar os acumuladores 2-limpeza dos coletores, 3- instalação de um novo acumulador.-----	43
Figura 17 – Retirada de macroalgas, moluscos e crustáceos. Após a chegada em laboratório A, passava-se o material em uma peneira B e C, deixava se decantar D.---	44
Figura 18 - Exemplo da disposição dos gráficos indicadores das correlações entre os parâmetros climatológicos e a sedimentação.-----	49
Figura 19 - Exemplo da disposição dos gráficos feitos a partir da correlação das forças de ventos com a sedimentação.-----	49
Figura 20 – Composição colorida das bandas 1,2 e 3 com as cores azul, verde e vermelho respectivamente. Imagem gerada pelo satélite Landsat-5 em 26/08/2006.----	51
Figura 21 - Efeito da manipulação do contraste na melhoria das condições para fotointerpretação.-----	52
Figura 22 - Carta com enquadramento da Área Fechada de Tamandaré, e fozes dos rios Formoso, Mamucabas / Ilhetas e Una.-----	53
Figura 23 - Disposição dos dados meteorológicos e oceanográficos nas cartas.-----	54
Figura 24 - Imagem LANDSAT2 resolução 80 metros, contraste entre a terra (amarelo) e rio Una/oceano (preto), conseguido com a composição: banda 4 para as cores vermelho e verde.-----	56
Figura 25 - Imagem LANDSAT-5 resolução 30 metros, contraste entre a terra (amarelo), rio Una/oceano (preto) e nuvens (branco), conseguido com a composição: banda 4 para as cores vermelho e verde e banda 1 para o azul.-----	57
Figura 26 - ANOVA indicando a falta de diferenças significativas entre as médias de sedimentação nos ciclos anuais estudados.-----	59
Figura 27 - Teste ANOVA fatorial da sedimentação média entre as estações do ano, indicando diferenças significativas entre as médias de sedimentação.-----	60
Figura 28 - Distribuição da sedimentação durante os três ciclos amostrados e por estação do ano.-----	61
Figura 29 - Distribuição da sedimentação total, carbonática e não carbonática durante o primeiro ciclo estudado evidenciando as diferentes estações do ano.-----	62
Figura 30 - Distribuição da sedimentação total, carbonática e não carbonática durante o segundo ciclo estudado evidenciando as diferentes estações do ano.-----	63
Figura 31 - Distribuição da sedimentação total, carbonática e não carbonática durante o primeiro ciclo estudado. Os períodos em evidencias referem-se as diferentes estações do ano.-----	64



Figura 32 - Distribuição da sedimentação total, carbonática e não carbonática durante o primeiro ciclo estudado. Os períodos em evidências referem-se as diferentes estações do ano.-----	67
Figura 33 - Teste de ANOVA fatorial entre os valores de sedimentação em cada ciclo anual amostrado. Os valores destacados referem-se as médias e a significância do teste.-	68
Figura 34 - Índice de correlação entre a sedimentação total, carbonática e não carbonática e alturas de ondas.-----	69
Figura 35 - Comparação entre a série histórica (1961 – 2007) e a pluviometria no s anos do período amostrado.-----	70
Figura 36 - ANOVA fatorial indicando a falta de diferenças significativas na pluviometria entre os ciclos amostrais estudados.-----	70
Figura 37 - Distribuição semanal da pluviometria, sedimentação total, carbonática e não carbonática durante os três ciclos estudados. Os períodos em evidências referem-se as diferentes estações do ano.-----	71
Figura 38 - Índice de correlação entre a sedimentação total, carbonática e não carbonática e a pluviometria.-----	72
Figura 39 - Distribuição das variâncias semanais de marés, sedimentação total, carbonática e não carbonática durante os três ciclos estudados. Os períodos em evidências referem-se as diferentes estações do ano.-----	74
Figura 40 - Índice de correlação entre a sedimentação total, carbonática e não carbonática e a variancia da maré.-----	75
Figura 41 - Influencia das marés e ondas na sedimentação no recife Ilha da Barra durante o verão de 2005/2006.-----	76
Figura 42 - Influencia das marés e ondas na sedimentação no recife Ilha da Barra durante o verão de 2005/2006.-----	76
Figura 43 -Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de sul durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.-----	78
Figura 44 - Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de sudeste durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.-----	79
Figura 45 - Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de sudoeste durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.-----	80

Figura 46 - Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de leste durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.-----	81
Figura 47 - Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de oeste durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.-----	82
Figura 48 - Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de norte durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.-----	82
Figura 49 - Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de nordeste durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.-----	83
Figura 50 - Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de noroeste durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.-----	83
Figura 51 - Correlação direta entre as forçantes de ventos (frequencia relativa e intensidade) vindos de oeste, sudoeste, sul e sudeste e a sedimentação e correlação inversa da freqüência relativa de ventos vindo de leste durante o primeiro ciclo amostral.-----	84
Figura 52- a) Correlação direta entre a frecuencia relativa de ventos vindos de oeste, sul, sudoeste e a sedimentação não carbonática e correlação inversa da freqüência relativa de ventos vindo de leste durante o período estudado. b) Correlação direta entre intensidade dos ventos vindo de oeste, sul e sudoeste e a sedimentação não carbonática e correlação inversa das intensidades dos ventos vindo de noroeste durante o primeiro ciclo amostral.-----	85
Figura 53 - a) Correlação direta entre a frecuencia relativa de ventos vindos de oeste e sul e a sedimentação não carbonática e correlação inversa da freqüência relativa de ventos vindo de leste durante o primeiro ciclo amostral. b) Correlação direta entre intensidade dos ventos vindo de oeste e sul e a sedimentação carbonática.-----	85
Figura 54 - a) Correlação direta entre a frecuencia relativa de ventos vindos de oeste, sudoeste, sul e sudeste e a sedimentação total e correlação inversa da freqüência relativa de ventos vindo de noroeste, nordeste e leste durante o segundo ciclo amostral. b) Correlação direta entre intensidade dos ventos vindo de sul e sudeste e a sedimentação total e correlação inversa das intensidades dos ventos vindo de nordeste durante o segundo ciclo amostral.-----	86
Figura 55 - a) Correlação direta entre a frecuencia relativa de ventos vindos de sudoeste, sul e sudeste e a sedimentação não carbonática e correlação inversa da freqüência relativa de ventos vindo de nordeste e leste durante o segundo ciclo amostral. b) Correlação direta entre intensidade dos ventos vindo de sul e sudeste e a sedimentação não carbonática e correlação inversa das intensidades dos ventos vindo de nordeste durante o segundo ciclo amostral.-----	87

Figura 56 - a) Correlação direta entre a frequência relativa de ventos vindos de sudoeste, sudoeste, sul e sudeste e a sedimentação carbonática e correlação inversa da frequência relativa de ventos vindo de nordeste e leste durante o segundo ciclo amostral. b) Correlação direta entre intensidade dos ventos vindo de sul e sudeste e a sedimentação carbonática e correlação inversa das intensidades dos ventos vindo de nordeste durante o segundo ciclo amostral.-----	87
Figura 57 - Sequência de imagens ilustrando a influencia da bacia hidrográfica do rio Una na baía de Tamandaré.-----	89
Figura 58 – Direcionamento da pluma pelos ventos.-----	91
Figura 59 - Plumas com maiores intensidades atingindo os recifes de Tamandaré, sendo direcionadas por ventos vindo de sul e sudeste.-----	91
Figura 60 - Dendograma feito a partir da análise de similaridade utilizando o índice de Bray Curtis. As datas são referentes a imagens de satélites, as variáveis utilizadas para análise foram: acumulado pluviométrico dos 5 dias anteriores à geração de cada imagem, média de intensidade de ondas no dia de geração de cada imagem, e media de sedimentação por coletor na semana na qual a imagem estava inserida. Os números abaixo das datas são referentes a ordem das imagens nos anexos 3, 4 e 5.-----	92
Figura 61 - Sedimentação semanal, acumulado pluviométrico e altura de ondas representativas de cada imagem.-----	93
Figura 62 - Variáveis do agrupamento 1.1. Condições de altas pluviosidades e alturas de ondas incidentes, geram altas cargas de sedimentos em suspensão.-----	94
Figura 63 - Imagens do agrupamento 1.1. Condições de altas pluviosidades e alturas de ondas insidentes, geram altas cargas de sedimentos em suspensão. Nas imagens fica evidente a pluma do rio Una atingindo a Área Fechada de Tamandaré.-----	95
Figura 64 – Variáveis do agrupamento 1.2. Condições de baixas pluviosidades e alturas de ondas incidentes altas.-----	95
Figura 65 – Imagens geradas nas condições climatológicas do agrupamento 1.2. Condições de baixas pluviosidades e alturas de ondas incidentes altas.-----	96
Figura 66 – Variáveis do agrupamento 2.1. Ausência de pluviometria, baixas taxas de sedimentação e alturas de ondas médias a baixas.-----	97
Figura 67 – Imagens do agrupamento 2.1. Ausência de pluviometria, baixas taxas de sedimentação e alturas de ondas médias a baixas geram imagens com ausência de plumas e sem indício de ressuspensão.-----	97
Figura 68 - Variáveis do agrupamento 2.2.1. Ausência de pluviometria, altas taxas de sedimentação e ondas com alturas elevadas.-----	98
Figura 69 - Imagens do agrupamento 2.2.1. Ausência de pluviometria, e altas ondas gerando ressuspensão que pode ser visualizada em azul claro paralelo à costa.-----	99



Figura 70 - Variáveis do agrupamento 2.2.2. Ausência de pluviometria, médias taxas de sedimentação e ondas com alturas variando de baixas a intermediárias.-----	99
Figura 71 – Imagens do agrupamento 2.2.2. Ausência de pluviometria, sedimentação média e altura de ondas variando de baixa a média gerando diferentes respostas espectrais sugerindo diferentes níveis de ressuspensão.-----	100
Figura 72 - Diferença na intensidade com que a pluma do rio Una atinge a Área Fechada de Tamandaré com sua foz mais ao norte (1), e sua foz mais ao sul (2).-----	101
Figura 73 – Rompimentos do spit marcando os ciclos migratórios da foz do rio Una. A seta aponta para a posição das fozes.-----	102
Figura 74 - Posição e velocidade de migração da Foz do rio Una entre 1977 e 1988.-	103
Figura 75 - Posição e velocidade de migração da Foz do rio Una entre 1989 e 1999.-	104
Figura 76 - Posição e velocidade de migração da Foz do rio Una entre 2000 e 2008. Imagem extraída do Google Earth (www).-----	105
Figura 77 - Fechamento artificial da foz norte do rio Una em dezembro de 2007.----	105
Figura 78 - Velocidade de migração em função da posição da Foz do rio Una entre 1977 e 2008.-----	106
Figura 79 - Distâncias entre a foz do rio Una e a Área fechada de Tamandaré ao longo dos últimos 31 anos.-----	107
Figura 80 - Evidências de uma migração mais antiga da foz do rio Una na mesma direção da ocorrida entre 2000 e 2008.-----	107
Figura 81 - Morte de parte de uma colônia de <i>Montastrea cavernosa</i> , na Área Fechada de Tamandaré, no início da estação chuvosa de 2007.-----	108
Figura 82 - Branqueamento em tecidos de corais das espécies <i>Siderastrea stelata</i> e <i>Mussismilia hartt</i> , .no início da estação chuvosa de 2007.-----	108
Figura 83 - Sedimentação semanal no ano de 2007. Em destaque, o período de registro de anomalias nos corais.-----	109
Figura 84- Gráfico pluviométrico com as fases da cultura da cana de açúcar, destacando a data em que se encontrou morte e/ou branqueamento em espécimes de corais.-----	109
Figura 85 - Morte de um coral da espécie <i>Mussismilia hispida</i> , durante as primeiras chuvas do ano de 2008.-----	110
Figura 86 - Aporte de águas com grandes cargas de sedimentos em suspensão na Baía de Tamandaré, em abril de 2008. (foto do autor).-----	110

Figura 87 - Ausência de mata ciliar na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, com o monocultivo de cana de açúcar e desmatamento da margem para agricultura de subsistência.-----	113
Figura 88 - Voçoroca criada pelo cultivo de cana-de-açúcar em terras com inclinação elevada.-----	113
Figura 89 - Retirada de areia da margem do rio Ipojuca.-----	113
Figura 90 - Retirada de material às margens de um rio para fabricação de tijolos e telhas.-----	113
Figura 91 -Retirada de material na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, para construção civil.-----	113
Figura 92 - Retirada da camada fértil de solo em relevo íngreme, por motivos não determinados.-----	114

## **Lista de Tabelas:**

Tabela 1 – Octantes de ventos incidentes.....47

Tabela 2 - Índice de correlação mostrando a influencia das marés e ondas na sedimentação no recife ilha da barra durante o verão de 2005/2006 e inverno de 2006.....77

# 1. INTRODUÇÃO

---

A exploração inadequada de bacias hidrográficas que deságuam junto aos recifes de corais costeiros põe em risco a saúde destes ecossistemas, os quais estão entre os mais diversos e complexos do mundo. Mudanças geradas por ações antrópicas nas características físico-químicas das águas tropicais costeiras são consideradas a maior causa de degradação em recifes de coral (VITOUSEK et al., 1997; TILMAN, 2001; MENG et al., 2008). Estas alterações devem-se principalmente ao aumento nas concentrações de nutrientes, nas cargas de sedimentos, promovida pela erosão do solo, e no uso intensivo de agrotóxicos (FABRICIUS, 2005).

A forma e o grau com que esses poluentes oriundos das atividades terrestres afetam os recifes de corais dependem das propriedades físicas, hidrodinâmicas, espaciais e biológicas de um determinado local, agindo muitas vezes de forma combinada (FABRICIUS, 2005).

As crescentes concentrações de nutrientes provenientes das descargas fluviais provocam mudanças nas comunidades de recifes de coral, substituindo por exemplo organismos simbióticos recicladores de nutrientes, como os corais, por macroalgas (BIRKELAND, 1987). Somado a isto, os impactos mecânicos gerados pelo aumento no aporte de sedimentos são, por muitos autores, considerados responsáveis por grande parte da degradação nesses ecossistemas (GINSBURG, 1994), podendo afetá-los de várias maneiras, entre elas: recobrimento, causando asfixia (WILKINSON, 2002); diminuição da luminosidade incidente (BURKE et al., 2002), reduzindo as taxas de crescimento; lesões aos seus tecidos por abrasão; inibição do recrutamento, por recobrir os substratos duros (MAIDA & FERREIRA, 1995); diminuição na diversidade das espécies de corais e mudança na zonação.

O aumento dos sedimentos nos ecossistemas recifais costeiros tem sido relacionados principalmente às práticas agrícolas. Na Costa Rica, por exemplo, estudos mostraram que a exposição dos solos ao longo de 30 anos de cultivo de bananas,

aumentou drasticamente o aporte de sedimentos aos recifes de coral adjacentes (CORTÉS, 1994).

Em um estudo sobre a distribuição de juvenis de corais escleractíneos em placas de assentamento e colonização na Grande Barreira de Recifes da Austrália e na região de Tamandaré-PE, Brasil, ficou evidenciado que os corais preferem colonizar os locais que apresentam pouca acumulação de sedimentos (MAIDA & FERREIRA, 1995).

Áreas recifais que sofrem com altas taxas de sedimentação podem se tornar ambientes desfavoráveis para a colonização e crescimento de corais e, conseqüentemente, comprometer os processos de formação e manutenção dos recifes e suas comunidades (MAIDA & FERREIRA, 1995).

Além dos impactos físicos, os sedimentos podem servir como vetores no transporte de agroquímicos. Os pesticidas agrícolas, ou agrotóxicos, podem alcançar os ambientes aquáticos através da aplicação intencional, e/ou através do escoamento superficial a partir de áreas onde ocorreram as aplicações. Dependendo de sua composição e condições ambientais vigentes, calcula-se que apenas 0,1% da quantidade de alguns pesticidas utilizadas no campo atingem o alvo específico, enquanto o restante (99,9%) tem potencial para se mover em diferentes compartimentos ambientais como solo, águas superficiais e subterrâneas (BELLUCK et al., 1991).

Após décadas de contaminação, estão surgindo os primeiros estudos sobre a presença e influências de contaminantes agrícolas em recifes de corais. Em um estudo sobre a influência dos herbicidas inibidores do fotossistema II (irgarol, ametryn e diuron, entre outros) na concentração de zooxantelas em tecidos de corais, JONES & KERSWELL (2003) constataram que ametryn e diuron são responsáveis pela diminuição da concentração efetiva de zooxantelas, e que a recuperação ou morte destas está associada ao tempo de exposição aos contaminantes. HAYNES et al. (2000a) constataram a presença de diuron e dimetrim em sedimentos de zona intermarés na região norte da Grande Barreira de recifes da Austrália e em fanerógamas marinhas perto de Townsville.

Diante dos grandes impactos que essas práticas têm ocasionado a estes ecossistemas, o governo australiano recentemente iniciou um programa pioneiro, no qual foram destinados cerca de 40 milhões de dólares com o objetivo de adequar as práticas do uso dos solos, visando a melhoria da qualidade das águas nos recifes costeiros (MARKEY et al., 2007).

No Brasil, os recifes de coral se distribuem por cerca de 3.000 km na costa nordeste, desde o Maranhão ao sul da Bahia, e constituem os únicos ecossistemas recifais do Atlântico Sul (MAIDA & FERREIRA, 1997).

Em uma divisão básica acerca da distribuição desses recifes ao longo da costa brasileira, temos: as formações recifais mais distantes da costa tais como Atol das Rocas, recifes de Fernando de Noronha, recifes do Arquipélago de Abrolhos e Parcel Manuel Luiz, e as formações recifais costeiras que se distribuem desde o cabo de São Roque até o litoral sul da Bahia (MAIDA & FERREIRA, 1997).

No Brasil as ameaças que pairam sobre os ecossistemas recifais costeiros são de origem antrópica e tiveram início no processo de colonização. Nos últimos 500 anos, a crescente sedimentação, desencadeada pela erosão do solo decorrente do desmatamento da Floresta Tropical Atlântica, que cedeu lugar à exploração de madeira e agricultura, é um dos principais problemas observados (MAIDA & FERREIRA, 2004).

As primeiras iniciativas voltadas para conservação dos ecossistemas recifais brasileiros se deram a partir de 1971 com a criação da Reserva Biológica do Atol das Rocas, a partir disto, em sequência cronológica, foram criados: o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos em 1983, o Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha em 1988, e o Parque Estadual Marinho do Parcel Manuel Luiz em 1991 (PRATES, 2006). Até então as Unidades de Conservação Brasileiras destinadas à proteção dos ecossistemas recifais, existiam apenas em regiões distantes da costa, e por isso, menos influenciadas por impactos advindos da poluição de origem continental.

A partir de 1993 com a criação da Área de Proteção Ambiental Estadual Ponta da Baleia/Abrolhos e Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais e o Parque

Municipal Marinho do Recife de Fora em 1997, seguida da Reserva Extrativista Marinha do Corumbau em 2000, e Área de Proteção Ambiental Estadual dos Recifes de Fora em 2001 (PRATES, 2006) e Área de Proteção Ambiental de Guadalupe (PE) em 1997 e Parque Municipal do Forte de Tamandaré (PE) 2003, surge um novo desafio para conservação desses ecossistemas, pois além dos impactos físicos gerados diretamente pelas atividades pesqueiras e turísticas, a maior proximidade desses ambientes com o continente os tornam mais vulneráveis a diversas formas de poluição.



## 2. ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado na Área de Proteção Ambiental (APA) Marinha Costa dos Corais. Esta se estende ao longo de 135 km, desde o estuário do rio Formoso, limite norte do município de Tamandaré, estado de Pernambuco, até o estuário do rio Meirim, no vilarejo de Pescaria, pertencente ao Distrito de Floriano Peixoto, em Maceió, estado de Alagoas. Seus limites estão inseridos nas coordenadas  $8^{\circ}42'16''S$  e  $35^{\circ}04'40''W$ ;  $8^{\circ}47'44''S$  e  $34^{\circ}47'20''W$ ;  $9^{\circ}46'30''S$  e  $35^{\circ}25'00''W$ ;  $9^{\circ}32'51''S$  e  $35^{\circ}36'59''W$ . A APA abrange desde a linha dos 33 metros da maré alta até 18 milhas da costa (Figura 1), o que inclui toda a plataforma até a borda do talude continental (FERREIRA et al., 2001).

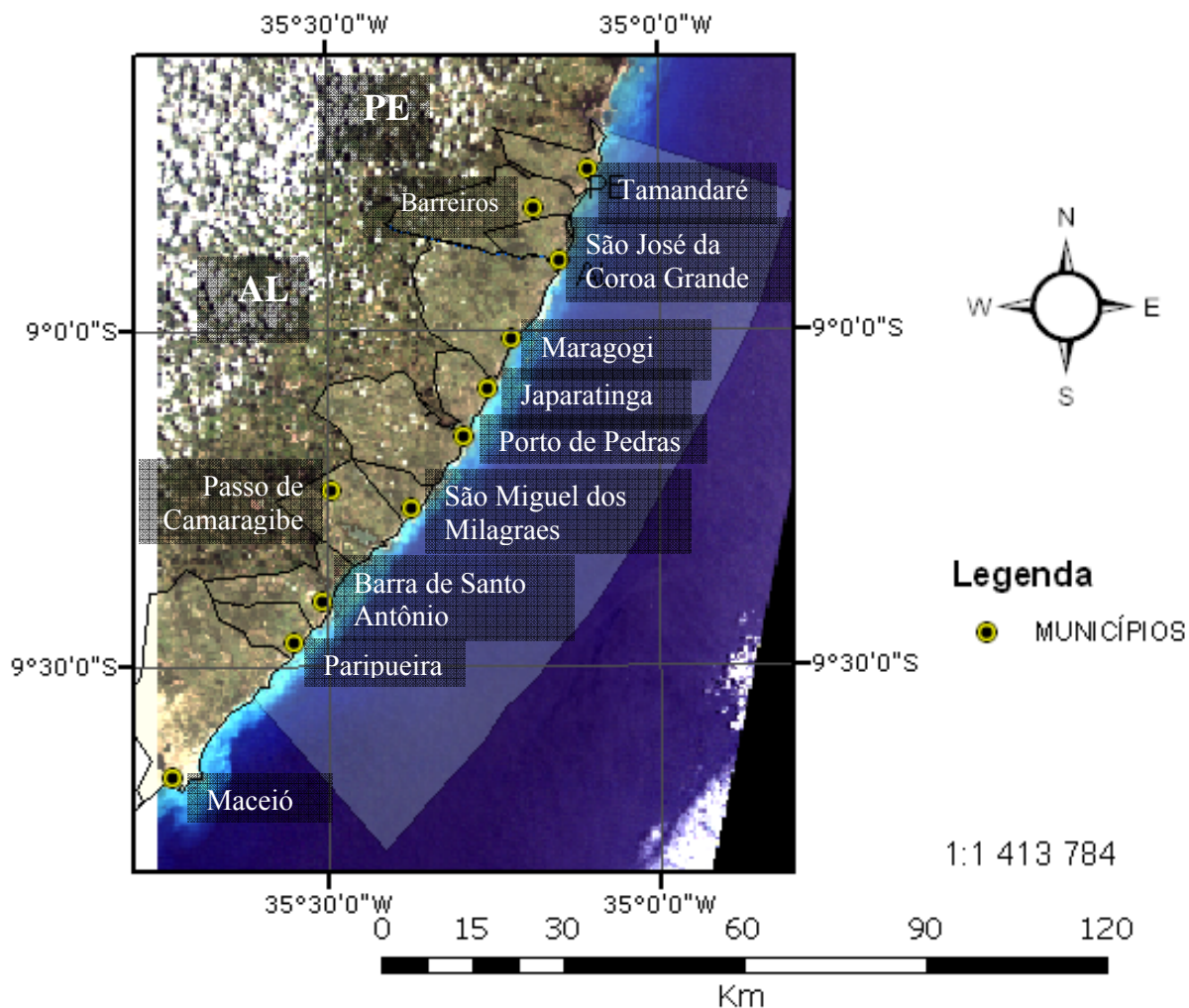


Figura 1 – Imagem do satélite Landsat mostrando a abrangência e limites da APA Marinha Costa dos Corais. Imagem cedida pelo Projeto Recifes Costeiros.

A APA Costa dos Corais contém as maiores extensões de recifes de coral costeiro do país, além de pradarias de fanerógamas e manguezais, formando a maior unidade de conservação marinha brasileira, com uma área aproximada de 413.563 hectares (FERREIRA et al., 2001).

Juntamente com os possíveis impactos advindos da pesca e do turismo, a proximidade dos recifes da APA Costa dos Corais com as fozes de rios adjacentes os tornam mais vulneráveis as diversas formas de poluição vindas com suas águas.

Ao longo dos últimos doze anos o Projeto Recifes Costeiros, surgido através da parceria interinstitucional entre Universidade Federal de Pernambuco e o Centro de Pesquisa e Gestão dos Recursos Pesqueiros do Nordeste (CEPENE/IBAMA), realizou vários estudos e ações que tiveram como objetivo subsidiar cientificamente a elaboração de um Plano de Manejo para APA Costa dos Corais, e que incluíram: educação ambiental, envolvimento comunitário, pesquisas marinhas aplicadas a conservação como gestão pesqueira e turística.

A Área Fechada de Tamandaré foi criada em abril de 1999, a partir de um acordo entre a comunidade pesqueira, as autoridades locais do município de Tamandaré, e uma parceria entre a UFPE e o CEPENE-IBAMA. Esta iniciativa possibilitou a criação do mais longo e controlado experimento, no Brasil, de recuperação e conservação de recifes costeiros. A experiência de Tamandaré é referência neste conceito. Esta iniciativa pioneira no Brasil, hoje está contemplada em diretrizes do Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas (decreto nº 5.758 de abril de 2006) que traz como uma de suas diretrizes: “o sistema representativo de áreas costeiras e marinhas deve ser formado por uma rede de áreas altamente protegidas, integradas à uma rede de uso múltiplo”.

Nesta área a exploração humana direta é proibida, sendo o acesso somente permitido para pesquisa. A fiscalização é realizada diuturnamente por agentes da comunidade capacitados ao longo dos últimos 12 anos.

A área fechada, (figura 2), com aproximadamente 400 ha, apresenta um complexo recifal com diferentes formações e habitats, representando as principais feições encontradas nos recifes da região.

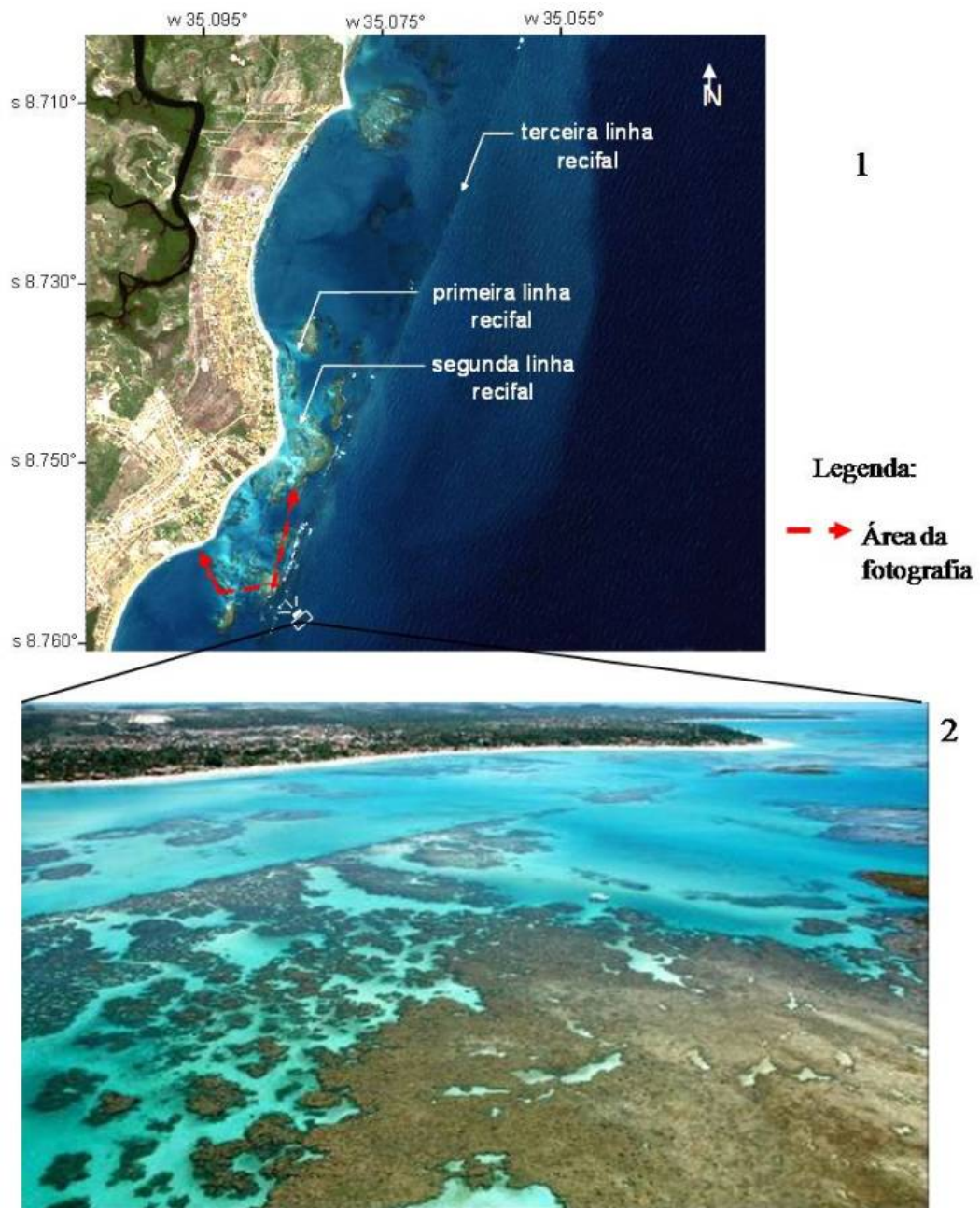


Figura 2 – Localização da área fechada da APA Costa dos Corais, na Baía de Tamandaré. No detalhe, uma fotografia aérea do recife da Ilha da Barra (8°46'00"S, 35°05'57"W).

O litoral de Tamandaré, no qual a área fechada está inserido apresenta temperaturas da água do mar variando de 24,0°C, no inverno, a 30,5°C, no verão, e a visibilidade da água varia de 1 a 20 metros, dependendo da estação, precipitação, regime de ventos e correntes (MAIDA & FERREIRA, 1997).

Na costa de Pernambuco, ocorrem mesomarsés com amplitudes em torno de 2 metros. As ondas de gravidade que atingem o litoral de Tamandaré apresentam alturas

pouco elevadas, em torno de 0,66 metros (FARIAS, 2002). Portanto, são consideradas de baixa intensidade, face aos cordões de recifes que amortecem a força das mesmas (FARIAS, 2002). Ela é parcialmente protegida do “mar aberto” por três linhas de formações recifais dispostas paralelamente à praia (figura 3).



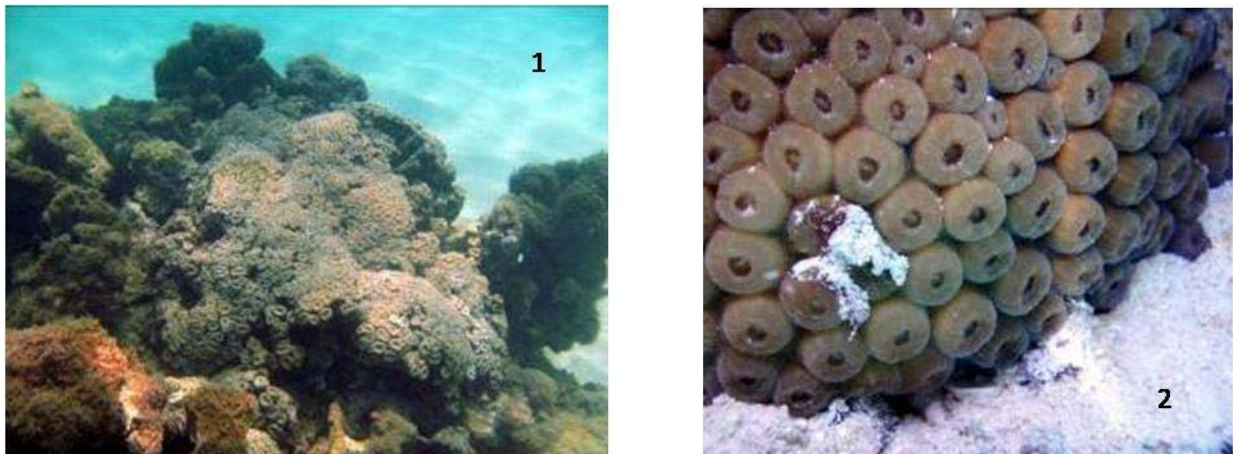
**Figura 3 - Formação recifal de Tamandaré/PE. 1 – Imagem modificada do Google Eart (www) mostrando as linhas recifais. 2 – Foto dos recifes de Tamandaré. Foto: Antonio Henrique.**

A primeira linha geralmente fica exposta nas marés de amplitudes maiores, e por isso apresenta formações pouco desenvolvidas onde são encontradas algas dos gêneros



*Sargassum*, *Caulerpa*, *Udotea*, *Neomeris*, *Padina*, *Gracilaria*, *Dictyota* e algas calcárias incrustantes. Pequenas colônias do coral *Siderastrea stellata* ocorrem ao redor das bordas de concavidades. A segunda linha está localizada entre a linha de praia e a terceira linha de recifes. O topo destes recifes pode variar de compacto e horizontal a irregular. Sua superfície é composta por pequenos cabeços, canais estreitos e piscinas com fundo de areia, podendo permanecer submersa ou exposta nas marés baixas. A terceira linha recifal é formada por colunas isoladas que chegam a 5-6m de altura e se expandem lateralmente no topo. Essas colunas estão densamente agregadas, originando um amplo sistema de cavernas interconectadas abaixo da superfície (MAIDA & FERREIRA, 1997).

Estudos sobre as comunidades de corais existentes nos recifes de Tamandaré identificaram cerca de 10 espécies de corais, apresentando padrões de zonação de acordo com sua distribuição e morfologia dos recifes. Dentre as espécies construtoras mais representativas, podemos citar *Mussismilia hartii* e *Montastrea cavernosa*. (figura 4) (MAIDA & FERREIRA, 2004).



**Figura 4 – Principais espécies construtoras, 1-*Mussismilia hartii*. 2- *Montastrea cavernosa*.**

O fechamento e controle de parte deste complexo recifal (cerca de 10% da área tradicionalmente pescada em Tamantadaré) permitiram que dezenas de estudos científicos sobre recuperação recifal e processos ecológicos de relações inter e intraespecíficas fossem realizados, com a certeza de que a capacidade real de resiliência

desta área não seria influenciada pela extração dos recursos recifais. Estes estudos testemunham o êxito deste modelo de gestão, comprovando o poder de resiliência destes ecossistemas quando se elimina os impactos mecânicos sobre o ecossistema (ex. pesca, degradação de habitats, turismo, etc). A rápida recuperação da abundância de várias espécies, observadas na área fechada de Tamandaré, demonstra o potencial desta estratégia também para o manejo pesqueiro e recuperação de populações que habitam os recifes de coral da APA Costa dos Corais (FERREIRA & MAIDA, 2006).

## **2.1 Hidrografia**

Apesar da Área Fechada de Tamandaré e da APA Costa dos Corais serem predominantemente marinhas, seus processos biogeoquímicos são fortemente influenciados pelos usos de bacias hidrográficas a montante de seus limites dada a proximidade desses ecossistemas com o continente.

Dentre as bacias hidrográficas que deságuam na APA Costa dos Corais, os rios de maior influência hidrológica na Área Fechada de Tamandaré, são: Mamucabas, Ilhetas, Formoso e Una (figura 5).

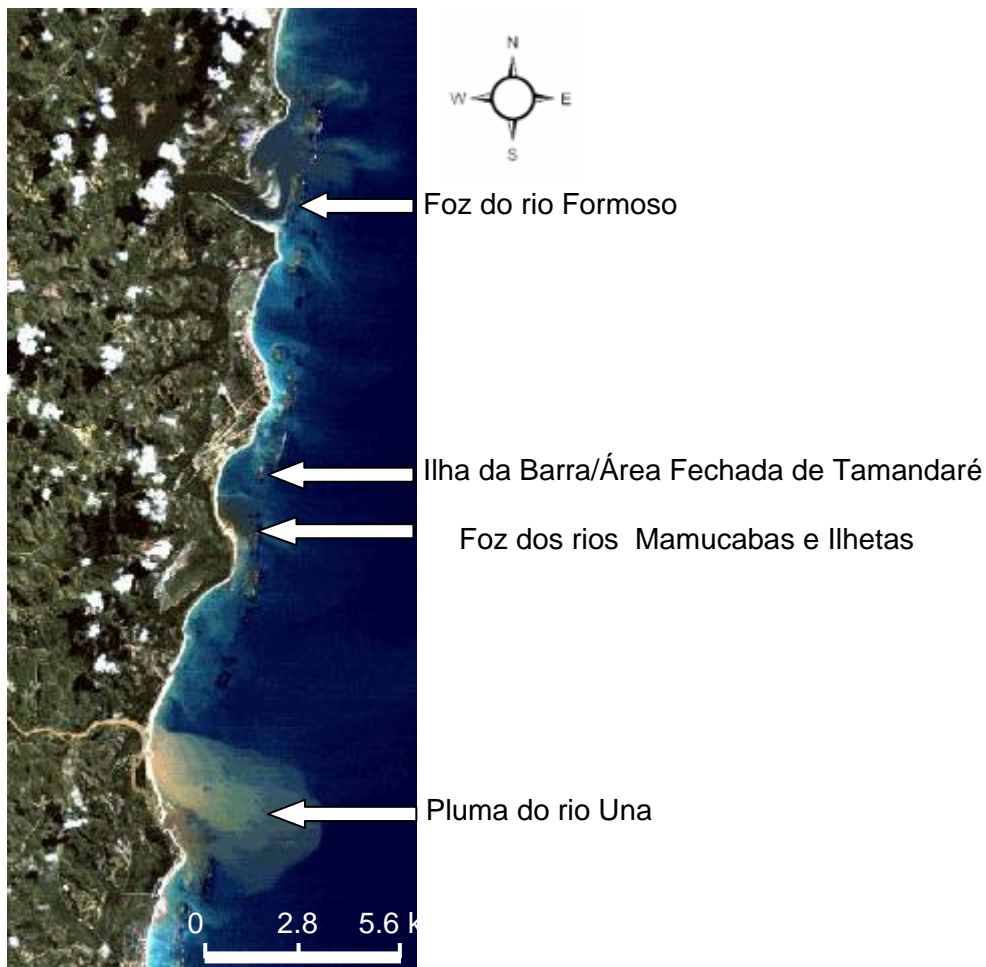


Figura 5 – Localização dos rios com maior influência nos recifes de Tamandaré. Na imagem, é evidente a diferença de cores entre as plumas dos rios Una (ao sul), Mamucabas/Ilhetas (central) e Formoso (ao norte). Imagem gerada pelo satélite Landsat 7, cedida pelo Projeto Recifes Costeiros.

Os rios que deságuam na área de estudo são classificados em duas categorias de rios: rios litorâneos e rios translitorâneos. Os primeiros nascem e deságuam na zona litorânea, sendo, em geral perenes. Os segundos nascem no Agreste Pernambucano, onde apresentam regime temporário, tornando-se perenes ao penetrarem na Zona da Mata (CPRH, 2003).

Os rios Formoso, Ilhetas e Mamucabas, classificados como litorâneos, embora de dimensão reduzida, são de fundamental importância para a manutenção dos ecossistemas e das comunidades recifais locais.



Os rios translitorâneos, dada à extensão que possuem e o número de afluentes que recebem, atravessam a zona da mata Sul Pernambucana com um volume razoável de água, ao mesmo tempo em que, pelo fato de drenarem áreas de monocultivo canavieiro e de banharem núcleos urbanos de relativa expressão demográfica desprovidos de saneamento básico, apresentam, em alguns trechos, níveis de poluição elevados (CPRH, 2003). Na categoria em questão, inclui-se o rio Una que, notoriamente, é um dos maiores responsáveis pelo aporte de sedimentos terrígenos na região (Figura 5).

O rio Una nasce na Serra do Salobro, no município Agrestino de Capoeiras, porém torna-se perene ao atingir a Zona da Mata, onde se encontra mais de 50% de seu curso. Seus principais afluentes são: o riacho da Chata e os rios Panelas, Pirangi, Jacuípe e Carimã, que drenam a Zona da Mata. Em seu trajeto, o rio Una banha cidades agrestinas com economias relativamente dinâmicas, tais como São Bento do Una (importante centro de produção avícola) e Cachoeirinha (tradicional centro produtor de queijo e de derivados de couro), bem como os dois maiores centros urbanos da Mata Meridional Pernambucana: Palmares e Barreiros, os quais, juntamente com algumas usinas e respectivas áreas tributárias de cana de açúcar, constituem-se em fonte de poluição desse importante curso de água do Litoral Sul Pernambucano (CPRH, 2003).

As análises das estações de monitoramento do rio Una, realizada pela Agência Estadual de Meio Ambiente, indicam que, no período da safra da agroindústria canavieira, tendo em vista o potencial poluidor das usinas e destilarias de álcool, a carga orgânica encontrada excede a capacidade de autodepuração desse rio, reduzindo substancialmente a qualidade de suas águas (CPRH, 2006).

## **2.2 Solos**

Dentre os tipos de solos drenados pelas bacias hidrográficas que deságuam na APA Costa dos Corais, são predominantes: Latossolo, o Podizólico, o Litóloco e o

Planossolo (Figura 6) e, em menor proporção, não sendo assim representado devido a escala do mapa abaixo, o Neossolo Quartzarênico e os Solos Indiscriminados de Mangue.

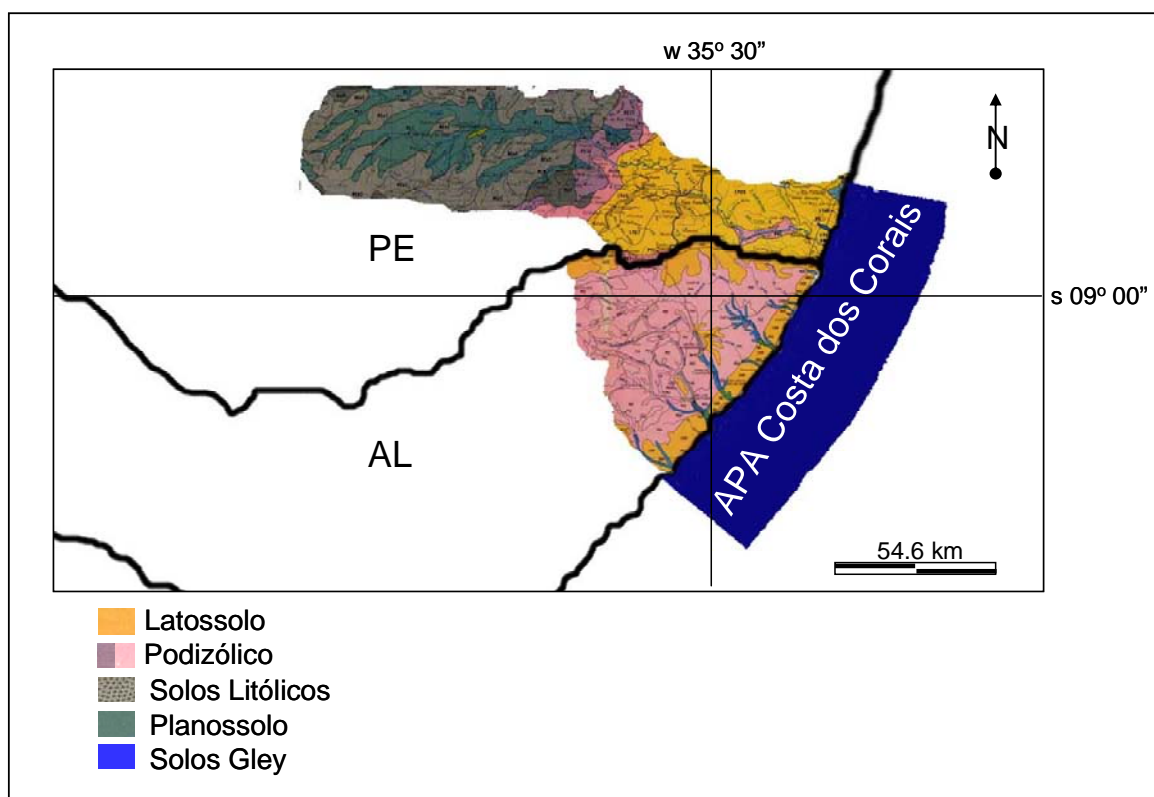


Figura 6 - mapa de solos das bacia hidrográficas que deságuam na APA Costa dos Corais (Modificado de JACOMINE et al., 1975).

O Latossolo (figura 7) é o tipo de solo predominante nos municípios da Zona da Mata pernambucana que integram a área de influência da APA Costa dos Corais. É caracterizado pelo avançado estado de intemperização, muito evoluído, com resultado de energéticas transformações no material construtivo. Os solos são virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo, e têm capacidade de troca de cátions baixa (EMBRAPA, 1999). Quanto às propriedades físicas, de um modo geral, esses solos são bem drenados, ou mesmo acentuadamente drenados, e apresentam-se com uma permeabilidade entre moderada e rápida (JACOMINE et al., 1975).

Nessa região, este tipo de solo está associado a um relevo bastante acidentado, o que potencializa os processos erosivos. Seus sedimentos derivam do Grupo Barreiras

(Terciário-Quaternário) e sua composição mineralógica é constituída principalmente de quartzo e outros minerais resistentes, como ilmenita, magnetita e turmalina (IBGE, 2003 *apud* CONSÓRCIO PICUS MURICI, 2005).



Figura 7 – Latossolo com vegetação nativa desmatada para plantação de cana de açúcar (foto do autor).

Os solos Podizólicos predominam nos municípios alagoanos e, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999), compreendem solos constituídos por materiais, que têm como características diferenciais argilas de atividade baixa e são portanto em geral, solos fortemente ácidos e de baixa fertilidade (Jacomine et al., 1975). Este tipo de solo é intensivamente utilizado com o cultivo da cana-de-açúcar na zona úmida costeira com precipitações superiores a 1.200 mm. Além da cultura da cana-de-açúcar, são utilizados também para o plantio de subsistência, destacando-se mandioca e milho, além de fruticultura (JACOMINE et al., 1975).

Nos solos encontrados em relevos acidentados, característicos do litoral norte de Alagoas e Sul de Pernambuco, além das limitações impostas pela baixa fertilidade natural, apresentam limitações quanto à mecanização e susceptibilidade à erosão. De um modo geral, são solos que requerem, para o aumento da produtividade, adubação e calagem, controle da erosão nas encostas e irrigação complementares nas áreas com precipitações pluviométricas insuficientes.

Ainda em relação ao Podissólico (Figura 8), este deriva principalmente de sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos da Formação Barreiras, que recobrem rochas do Pré-Cambriano (IBGE, 2003 *apud* CONSÓRCIO PICUS MURICI, 2005).



Figura 8 – Podissólico com plantação de cana de açúcar.

Os Solos Litólicos são muito pouco desenvolvidos e fortemente sujeitos à erosão face ao relevo fortemente ondulado e montanhoso que apresentam. Têm baixa capacidade de retenção hídrica e elevado poder de escoamento superficial quando da ocorrência de chuvas. Devido a sua alta erodibilidade, devem ser reservados a preservação da fauna e da flora (CPRH, 2006).

O Planossolos se encontram na área de estudo em regiões semiáridas da bacia hidrográfica do rio Una na qual este é intermitente. São caracterizados por solos rasos, de baixa permeabilidade, que freqüentemente apresentam excesso de água no período chuvoso e extremo ressecamento no período seco. Ocorrem em área de relevo plano e suavemente ondulado (CPRH, 2006). Por ser intermitente, a contribuição sedimentológica dos planossolos nas águas deste rio se dá predominantemente durante o período chuvoso.

Na região, os solos Gley (Figura 9), apresentam textura variável, sendo bem mais frequente a argilosa ou muito argilosa. São pouco porosos, forte a moderadamente

ácidos. Nos municípios de maior influência sobre a APA Costa dos Corais, esses solos ocupam áreas de várzeas na região do litoral e região da mata, sendo utilizados principalmente com cana-de-açúcar e pastagens. O aproveitamento racional desses solos requer drenagem para manter o lençol freático em nível adequado a fim de não prejudicar o desenvolvimento adequado das raízes das plantas (figura 9) (JACOMINE et al., 1975).



Figura 9 – Solos Gley com drenagem, para plantação de cana (a esquerda), e no momento de abertura (a direita).

Além da drenagem, necessitam da correção da acidez e de adubação. Após a drenagem, calagem e adubação tornam-se solos de elevada potencialidade agrícola e há pouco problema de erosão, devido a sua localização em área plana de várzea (JACOMINE et al., 1975).

Os neossolos quartizarênicos (Figura 10) compreendem os solos constituídos por material mineral orgânico pouco espesso, com pequena expressão dos processos pedogenéticos, em consequência da baixa intensidade de atuação desses processos que não conduziu, ainda, a modificações expressivas do material originário. Isto pela sua resistência ao intemperismo ou composição química, e do relevo que podem impedir ou limitar a evolução desses processos (EMBRAPA, 1999). Nesses solos, situados na Baixada Litorânea, constata-se a presença de horizontes com carapaças calcárias. De um modo geral, não se prestam para a maioria das culturas regionais, exceto para algumas culturas perenes adaptadas, como é o caso do cajueiro e do coqueiro,

concentrados próximo à orla marítima (figura 10). Mesmo assim, os coqueiros possuem baixas produtividades quando não são adubados (JACOMINE et al., 1975).



Figura 10 – Neossolo quartizarênico com plantação de coqueiros.

O relevo da baixada litorânea é tipicamente plano, com partes apresentando pequenas ondulações e se relaciona com terrenos recentes do Holoceno que abrangem os limites continentais mais inferiores, acompanhando a orla marítima ou penetrando alguns quilômetros para o interior, pelos terraços fluviais. Estas planícies litorâneas apresentam origem mista (fluviais, flúvio-marinhas ou marinhas) e estão de um modo geral, representadas pelas praias, dunas, restingas lagoas e mangues, quando há maior influência marítima; e por terraços fluviais, várzeas e as planícies aluviais ou colúvio-aluviais, que podem estar alagadas ou não, quando há dominância dos agentes continentais (JACOMINE et al., 1973).

Por fim, os solos típicos de mangue compreendem solos alagados que se distribuem nas partes baixas da orla marítima, principalmente nas proximidades de desembocaduras de rios, sob a influência das marés e com vegetação característica, denominada mangues ou manguezais (figura 11) (JACOMINE et al., 1975).





Figura 11 – Manguezal no rio Mamucabas.

A diminuição da velocidade das águas proporcionada pela densa vegetação e a mistura entre as águas continentais e marinhas propiciam um ambiente favorável à deposição de material muito fino, em mistura com detritos orgânicos, referidos ao Holoceno (JACOMINE et al., 1975). Materiais de natureza mais grossa ocorrem principalmente nas áreas marginais ou fora das desembocaduras dos rios. Os detritos orgânicos são originários principalmente da decomposição das plantas do mangue e da atividade biológica intensa produzida (JACOMINE et al., 1975).

As limitações ao uso agrícola, neste tipo de solo, são muito fortes pelo excesso de água, sais e mecanização impraticável, porém nota-se, atualmente, um crescente interesse por esses solos, por parte dos carcinicultores.

De forma geral os solos encontrados, na região de estudo são de baixa fertilidade natural, em geral com pH ácido, relevo acidentado e na região semiárida geralmente rasos. Diante deste contexto, destacam-se as várzeas dos rios onde os solos gley em função de sua própria situação topográfica, acumulam matéria orgânica formando solos mais férteis, porém mal drenados.



### **2.2.1 Uso e ocupação do Solo**

Na Zona da Mata os tipos predominantes de uso/ocupação dos latossólos e podissólicos, solos encontrados nas áreas de influência da APA Costa dos Corais, de leste para oeste, podem ser divididos principalmente em duas grandes faixas, aproximadamente paralelas: na primeira, de localização litorânea, intercalam-se, em proporções diversas, coco-da-baía e uso urbano; na segunda faixa, localizada à retaguarda da primeira, figuram como usos predominantes a cana-de-açúcar, policultura (novos assentamentos rurais), zonas industriais e alguns núcleos urbanos de relativa expressão, intercalados por remanescentes de Mata Atlântica (CPRH, 2003).

O cultivo da cana-de-açúcar é a atividade agrícola predominante nas bacias hidrográficas dos rios que deságuam na APA Costa dos Corais. No litoral, a lavoura tradicional, o coco-da-baía, vem sofrendo retração ante a expansão acelerada da ocupação urbana, através de loteamentos de veraneio (CPRH, 2003).

A monocultura da cana-de-açúcar na região data do período colonial e vem sendo tratada, desde então, como estratégica para a política econômica. Na segunda metade do século XVI, início da exploração com esta cultura, as plantações de cana-de-açúcar se restringiam às várzeas e terras baixas do Litoral e Zona da Mata (ANDRADE & LINS, 1984 *apud* CPRH, 1999).

A expansão canavieira se deu através de políticas de incentivos como: a política de preços mínimos do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), vigente na década de 40, que instituiu mecanismos para compensar o diferencial de produtividade entre as agroindústrias do Centro-Sul e as do Norte-Nordeste; o PROTERRA, com objetivo de promover uma “reforma agrária parcial e consentida” (MELO, 1975), onde as terras a serem distribuídas, geralmente ociosas, íngremes e de difícil acesso, eram indicadas pelos usineiros, e onde os proprietários, ao invés de empregados, passariam a ser pequenos fornecedores (MELO, 1975).

Porém, a grande transformação ocorreu na década de 1970, através do PROACCOOL, que visava à produção, em larga escala, de álcool carburante a partir da cana-de-açúcar. Esse programa motivou a proliferação de destilarias governamentalmente subsidiadas (autônomas e anexas às usinas de açúcar), motivando a expansão, sem precedentes, da cultura da cana. Esta expansão ocorreu à custa da aquisição de pequenas propriedades e da eliminação de lavouras de subsistência, com expulsão e proletarianização do pequeno produtor, reforçando a concentração fundiária e o caráter monocultor da lavoura canavieira. Não menos significativos foram os impactos do PROÁLCOOL sobre os recursos naturais, figurando como principais a destruição de matas e capoeiras e o aumento considerável da poluição fluvial (ANDRADE & LINS, 1984 *apud* CPRH, 1999).

Atualmente no Nordeste, a área ocupada com a cana-de-açúcar é superior a 500.000 hectares, sendo que, destes, 180.000 hectares dos canaviais estão localizados em vales com mais de 20% de declive. Estas terras íngremes estão desgastadas pela erosão (MONTEIRO, 2001).

Os tratos culturais na monocultura canavieira seguem cronograma baseado nas características meteorológicas da região. A colheita, na região, é feita de forma ainda tradicional com corte não mecanizado depois de queimadas, e realizada sistematicamente de setembro a março/abril (período seco) (COSTA & BARBOSA, 1982). Após as queimadas a colheita em uma parcela de terra, a cana naturalmente rebrota e nesta fase é conhecida como “cana de socaria”. A competição entre a cana e ervas consideradas daninhas é evitada com aplicação de herbicidas. Na região, a mesma cana é mantida para rebrota por 4 anos. Após isto, a cana-de-açúcar perde o vigor de rebrota, sendo o produtor obrigado a realizar o replantio, que, sem irrigação, é feito no início das primeiras chuvas (maio/junho).

Para o replantio, a cana remanescente da safra anterior e outros vegetais são exterminados previamente com aplicação de herbicidas dessecantes como os de princípio ativo dicloreto de paraquate. Após isto, outra área é colhida, sem a prática de queimadas, para aquisição dos “gomos sementes” a serem utilizados no replantio.

O controle das plantas consideradas daninhas é parte indissociável desse modelo, pelo fato de tanto a cultura como a maior parte de suas concorrentes “invasoras” serem gramíneas, competindo assim, pela mesma gama de nutrientes.

A retirada destas plantas consideradas invasoras e de crescimento rápido resulta na exposição do solo às ações do clima durante todo o período de renovação dos canaviais (plantio, rebrota e crescimento da cana), tornando-o extremamente vulnerável à erosão hídrica e eólica (ALVES et al., 2008). Desta forma, solos expostos, mais susceptíveis a maiores taxas de erosão, estão presentes praticamente durante todo o ciclo desta cultura, porém com maiores áreas no final do período de colheita.

Por se tratar de um cultivo secular, sem rotatividade de culturas, a falta de fertilidade dos solos, gerada por esses fatores, é antropicamente contornada por aplicações anuais de fertilizantes químicos e/ou fertirrigação com vinhoto.

O carreamento dos excedentes desta carga orgânica e de nutrientes pode promover eutrofização de corpos hídricos, aumentando assim os riscos ambientais inerentes a este modelo de produção.

Somado aos processos inerentes a esta forma de cultivo, as características biogeoquímicas relacionadas à dinâmica hidrológica são fortemente influenciadas pelo aporte oriundo dos resíduos industriais gerados pelos processos de produção de açúcar e álcool.

As principais ameaças ambientais geradas por estes processos industriais estão associadas à destinação dos resíduos líquidos.

Estima-se que uma usina média que processa em torno de um milhão de toneladas de cana por safra, capte, dos mananciais de água doce, o mesmo que uma cidade de 50 mil habitantes. Além do consumo elevado, o destino das águas utilizadas

durante os processos de lavagem, e de outros resíduos, também acarretam o aumento de efluentes poluidores nos corpos hídricos (PAIXÃO 2000). Ainda segundo o autor, em cada tonelada de cana encontra-se 1,5% de impurezas minerais (provenientes do solo e da poeira), que acabam ficando na água de lavagem. A isso se devem somar os resíduos de agrotóxicos acumulados nas cana e possivelmente disponíveis aos corpos hídricos.

A imagem a seguir (Figura 12) mostra, além da ausência de matas ciliares, a carga poluidora dos efluentes de uma usina localizada na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, ao norte da APA Costa dos Corais.



Figura 12 - Mudança de cores nas águas do rio Ipojuca, durante a passagem por uma usina de açúcar e álcool. A seta vermelha indica o ponto de lançamento do efluente. Nota-se também a ausência de matas ciliares. (Data de aquisição: 2008, no Google Earth em seu site).

ALVES et al. (2008) descreveram os processos industriais no beneficiamento da cana-de-açúcar. O processo de moagem inicia-se após a lavagem, dando origem a dois

produtos iniciais: o bagaço e o caldo. O caldo, após filtragem e pasteurização, segue para a fabricação do açúcar e/ou do álcool, de acordo com o processo adotado. Para a obtenção do álcool, o caldo passa por um processo de fermentação biológica, onde os microorganismos (leveduras), ao se alimentarem, produzem gás carbônico e enzimas, que aceleram a transformação do açúcar, agindo como catalisadores da reação que transforma o açúcar em álcool, um processo que tem duração de 4 a 12 horas.

Após um breve resfriamento e a centrifugação para separá-lo do fermento, o vinho fermentado passa por um processo de separação através de destilação fracionada, separando-se álcool e vinhaça, equivalendo o volume de álcool obtido a aproximadamente 13% do volume do caldo de fabricação.

A vinhaça, retirada a uma proporção aproximada de 13 litros para cada litro de álcool produzido, e constituída principalmente de água, sais sólidos em suspensão e solúveis, apresenta pH entre 4.0 e 4.5, tem um poder poluente cerca de cem vezes maior do que o do esgoto doméstico e constitui um dos mais volumosos resíduos da agroindústria, superado apenas pelo bagaço da cana.

O vinhoto, dadas as suas características químicas, é um dos resíduos poluidores mais resistentes aos tratamentos usuais empregados para outros resíduos industriais. Até a década de 80, esses resíduos eram comumente descartados em rios ou áreas de sacrifício, provocando grande poluição e mortandade de organismos aquáticos.

Atualmente, após a descoberta de seu potencial como fertilizante do solo, este poluente vem sendo largamente utilizado na fertirrigação da cultura (ALVES, et al. 2008), com seus efeitos no ambiente ainda pouco estudado porém com fortes evidências de contaminação.

Diante do exposto fica evidenciado a grande complexidade de variáveis que influenciam a qualidade das águas durante todo seu trajeto que somado as fortes

climatológicas erosivas controlam o fluxo hidrosedimentar, desde sua fonte à sua deposição em bacias sedimentares (SUGUIO, 2003).

No outono, estação das primeiras chuvas significativas, na região, pode-se observar a chegada de águas com grande carga de sedimentos em suspensão, por toda Baía de Tamandaré, contrastando com as águas claras características da estação seca. Essas águas põem os ecossistemas recifais costeiros, em contato direto com os usos e práticas nos diversos tipos e características de solos.

Conforme já foi apresentado apesar da grande relação de interdependência existente entre ecossistemas costeiros (terrestre e marinhos), os esforços para conservação destes ambientes, tem se concentrado no controle dos impactos mecânicos advindo principalmente da extração de recursos e turismo. Muitas vezes os indiscutíveis resultados obtidos com essas ações, refletidos em significativas recuperações desses ambientes, são limitados pela má qualidade das águas promovida por usos inadequados do solo em bacias hidrográficas adjacentes.

### 3. OBJETIVOS

---

Diante dos potenciais impactos diretos e indiretos que o material particulado em suspensão, vindos de bacias hidrográficas adjacentes, pode ocasionar aos ecossistemas recifais costeiros, o presente estudo tem como objetivo entender a dinâmica do material particulado em suspensão, através de amostragens regulares, dados meteorológicos, oceanográficos e sensoriamento remoto orbital.

Pretende-se com isso gerar informações que embasem um processo de entendimento sobre as influências do uso das bacias hidrográficas nos ecossistemas costeiros, criando assim suporte técnico para discussões das políticas de uso e para realização de estudos mais detalhados.



## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

---

Os experimentos de mar foram realizados na Área Fechada de Tamandaré, onde até o momento tiveram como alvo de investigação, a avaliação dos impactos mecânicos diretos (pesca e turismo) na estrutura do ecossistema e em seu potencial de recuperação.

Com o objetivo de investigar a dinâmica de sedimentos em suspensão no recife “Ilha da Barra”, foram utilizadas duas estratégias para geração de dados: armadilhas de sedimentos seguidas de análises que quantificassem e qualificassem as amostras coletadas, e imagens de sensores remotos orbitais, buscando assim, uma visão sinótica do fenômeno estudado. Dados meteorológicos e oceanográficos foram adicionados a estas informações, possibilitando, assim, inferir sobre quais parâmetros ambientais contribuem para o aporte de sedimentos na área estudada.

Tanto para a confecção dos equipamentos amostradores (armadilhas de sedimentos) quanto para aquisição dos dados meteorológicos, oceanográficos e imagens de sensores orbitais, buscou-se um baixo custo associado, permitindo assim a sustentabilidade deste modelo de monitoramento.

Uma ampla revisão sobre armadilhas de sedimentos foi efetuada por LEITE et al. (1998). Segundo os autores, dentre os modelos testados, incluindo garrafas, jarras e funis, as cilíndricas foram consideradas os melhores instrumentos para avaliar corretamente o fluxo de decaimento da matéria particulada. Ainda segundo esses autores, trabalhos como os de GARDNER (1980) e BLOMQUIST & HAKANSON (1981) mostraram que os cilindros simples com relações (comprimento/diâmetro) maiores que três e diâmetros maiores que quatro centímetros são as melhores formas de armadilhas de sedimentos em todos os tipos de águas (estagnada, límnic, turbulenta e marinha).

## 4.1 Confeção e instalação das armadilhas de sedimentos

Para este estudo desenvolveu-se um modelo de armadilhas de baixo custo reutilizando materiais descartados. Para a construção dessas armadilhas, foram utilizados tubos cilíndricos de PVC com 10 cm de diâmetros por 35 cm de comprimento (relação comprimento/diâmetro = 3,5). Na base do tubo, ao invés de tampas fixas, tradicionalmente utilizadas nestas armadilhas, utilizou-se a parte superior de garrafas do tipo PET de dois litros. Este desenho aumentou a eficiência durante o procedimento de coleta, pois, para isto, apenas as estruturas PET's, com os sedimentos armazenados, eram substituídas.

Para facilitar a fixação destas estruturas no fundo marinho, rebitamos, na parte externa das armadilhas, duas guias (PVC com uma polegada de diâmetro), onde se passavam dois vergalhões de aço de ½ polegada (figura 13).

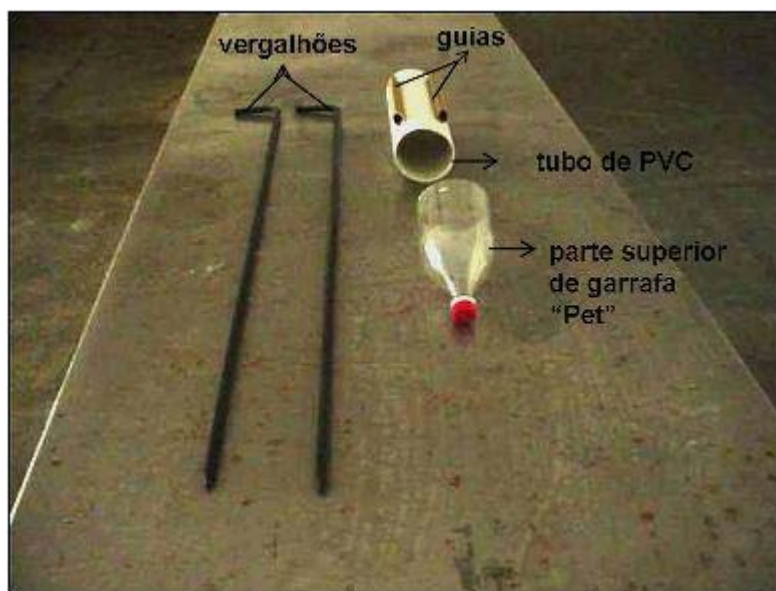


Figura 13 – Componentes dos coletores de sedimentos.

Para a fixação das estruturas, utilizamos uma marreta de 3 kg, usada para golpear os vergalhões até que a base do tubo estivesse a cerca de 30 cm do fundo. A

altura era mantida fixando-se um fio de cobre (condutor elétrico encapado) nos vergalhões, na altura do limite inferior das guias (figura 14).

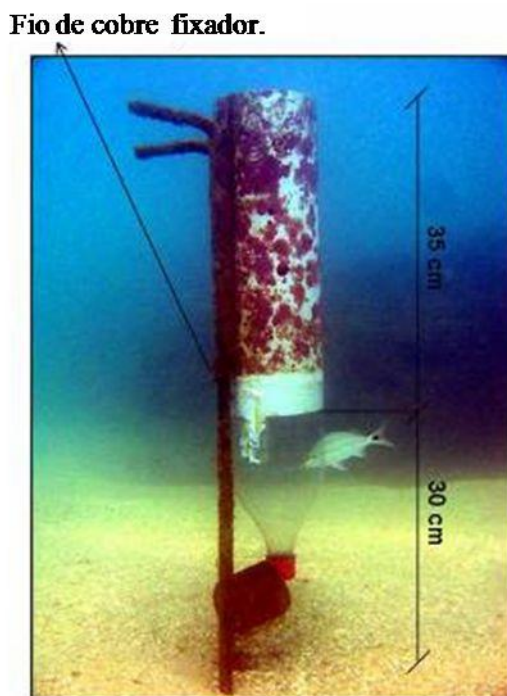


Figura 14 – Armadilha de sedimento instalada.

Dez armadilhas de sedimentos foram fixadas no fundo não consolidado, a cerca de quatro metros de profundidade na baixa-mar, nas proximidades do recife da “Ilha da Barra”, seguindo o contorno da borda recifal (Figura 15), a uma altura de cerca de 65 cm entre o fundo e o topo da armadilha (Figura 14). Na área de fixação das armadilhas colônias de corais podiam ser observadas no recife adjacente tanto acima como abaixo desta cota. A abrangência espacial do experimento levou em consideração o tempo de recolhimento das amostras nas piores condições de visibilidade e o tempo de autonomia do equipamento de mergulho. As armadilhas foram dispostas de forma que durante a sequência de amostragem algumas referências visuais como corais ou determinadas feições recifais, pudessem ser observadas mesmos nas piores condições de visibilidade.

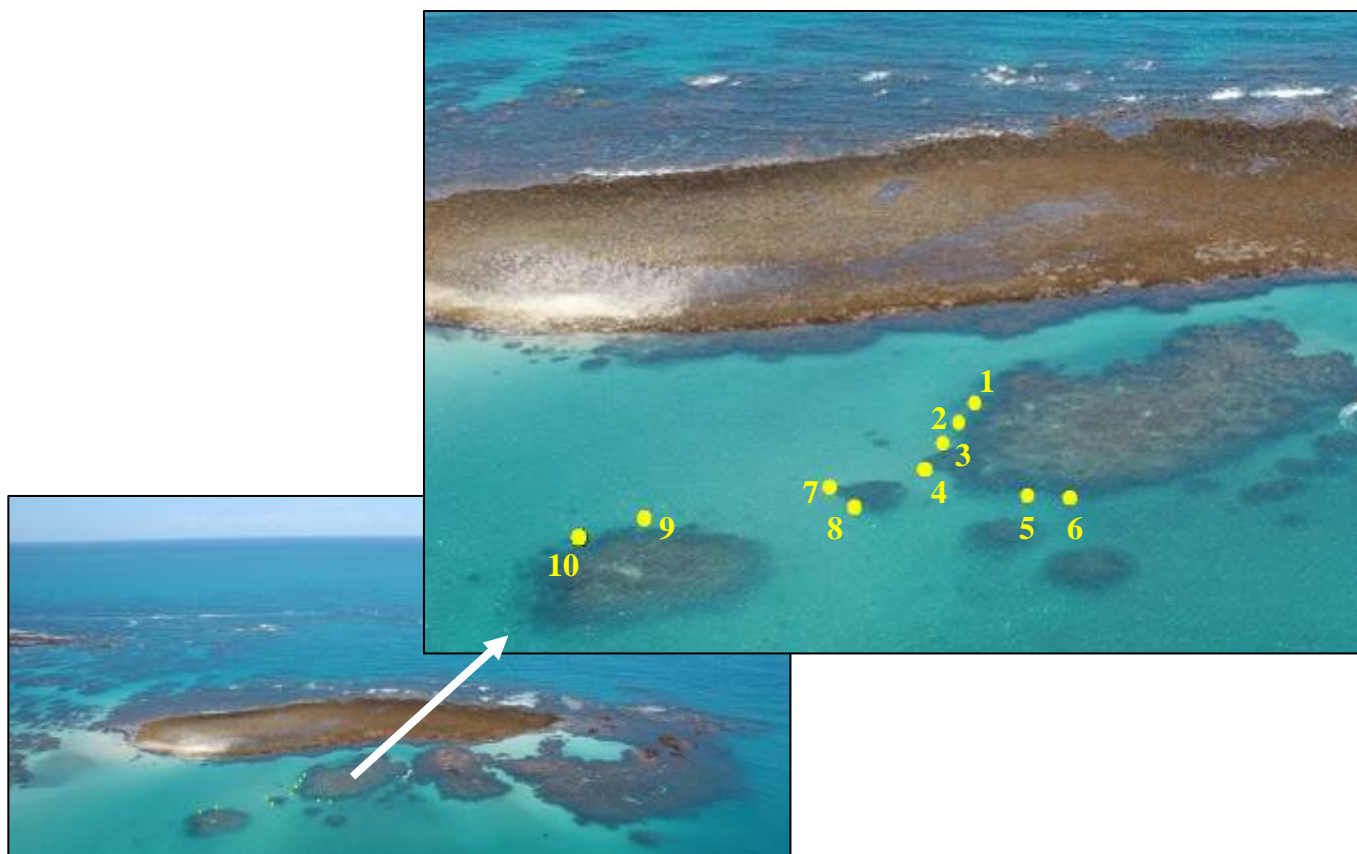


Figura 15 – Localização das dez armadilhas de sedimentos no entorno do recife “Ilha da Barra”, Tamandaré-PE.

## 4.2 Procedimentos de mar

As coletas foram realizadas utilizando-se embarcação e equipamentos de mergulho autônomos cedidos pelo Projeto Recifes Costeiros. Estas foram realizadas semanalmente, às sextas-feiras, durante 3 anos (março/2005 a março/2008), perfazendo um total de 157 momentos amostrais semanais, com 10 amostras cada, somando um total de 1.570 amostras e aproximadamente 144 horas de mergulho autônomo.

Durante o procedimento de coleta, as estruturas de PVC permaneciam fixas, enquanto as estruturas de garrafas PET eram substituídas. Nesta substituição, o armazenador PET era devidamente tampado com tampas de PVC  $\phi 100$  mm e

acondicionada em caixas de transporte devidamente dimensionadas para acomodação das garrafas pet (acumuladores de sedimentos). Feito isto, as armadilhas eram limpas para a remoção de algas e de outros organismos que poderiam interferir na próxima coleta. Após a limpeza, um novo armazenador era fixado (Figura 16).

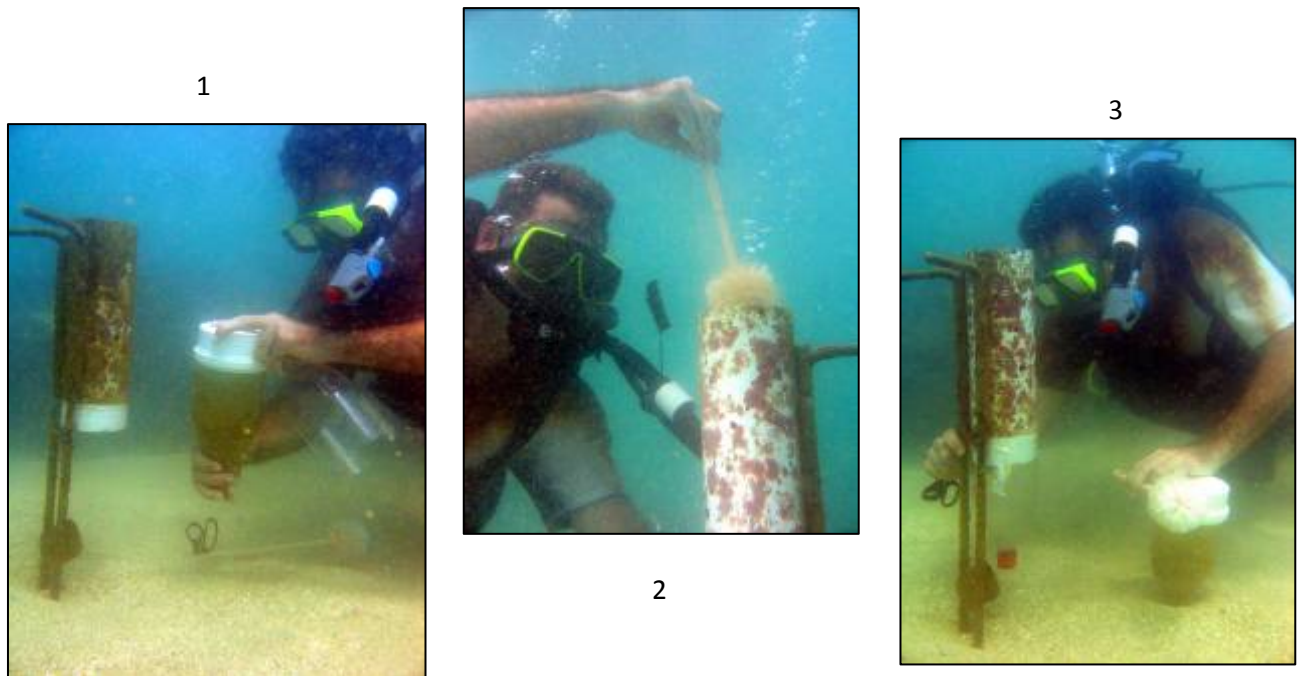


Figura 16 – Sequência durante a substituição dos acumuladores de sedimentos. 1-retirar e tampar os acumuladores 2-limpeza dos coletores, 3- instalação de um novo acumulador.

As operações foram realizadas nos horários de marés baixas, quando se prevê períodos com melhor visibilidade e menor turbulência, melhorando, assim, as condições de operação.

### **4.3 Procedimentos de laboratório**

Após as coletas, as amostras foram levadas aos laboratórios do Centro de Pesquisa e Gestão dos Recursos Pesqueiros do Litoral do Nordeste (CEPENE/ICMbio),

onde os sedimentos foram peneirados para retirada de macroalgas, crustáceos, moluscos etc., que, eventualmente, ficassem presos nos coletores (Figura 17).

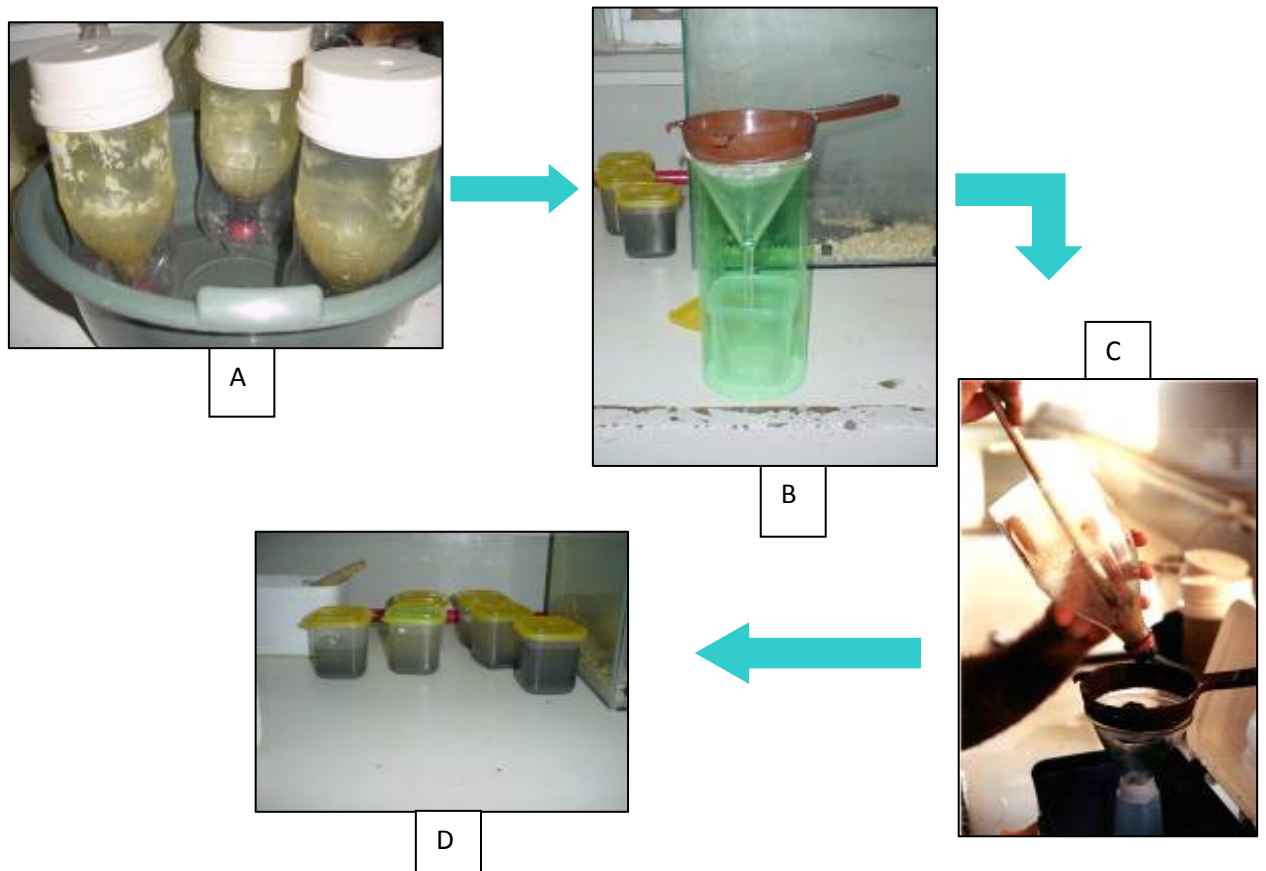


Figura 17 – Retirada de macroalgas, moluscos e crustáceos. Após a chegada em laboratório A, passava-se o material em uma peneira B e C, deixava se decantar D.

Após o peneiramento, as amostras foram colocadas para decantar e posteriormente, o excesso de água foi retirado com o uso de um sifão. Após esta fase, as amostras foram secas ao ar.

Em seguida foi determinado a massa de sedimentos coletados por método gravimétrico descrito a seguir:

Após a secagem ao ar, as amostras, ainda com certa umidade do ambiente, foram pesadas em balança com precisão de duas casas decimais, determinando-se, assim, a massa de sedimento seco à sombra (Mss). Em seguida, elas foram desagregadas,

utilizando-se um cilindro de madeira para pressioná-las cuidadosamente contra uma superfície de borracha. Após a desagregação, separou-se em recipiente metálico de massa conhecida 10 gramas de cada amostra. Estas sub-amostras foram levadas à estufa e submetidas por 24 horas a uma temperatura de 105-110°C. Após este período, elas foram pesadas e, então, subtraindo-se o peso do recipiente metálico, obtinha-se a massa da sub-amostra seca em estufa (Msbs). A quantificação da massa de sedimento seco de cada coletor (Mcs) foi obtida pela seguinte relação:

$$Mcs \text{ (g/coletor/semana)} = (Mss \text{ (g)} \times Msbs \text{ (g)}) / 10g$$

Os valores em gramas por coletor por semana foram transformados em gramas por metro quadrado por dia através da seguinte relação:

$$\text{Massa em (g/área do coletor/semana)} = g / \{[(\pi \cdot d^2)/4] / 10000 / 7 = g/m^2/\text{dia}, \text{ onde:}$$

d = diâmetro do coletor (10cm)

Após esta etapa, foi realizada a análise de proporção de carbonato de cálcio, indicativo de quanto do sedimento coletado era ressuspensionado do próprio ambiente marinho.

Por não haver sedimento suficiente para realizar as análises separadamente, as amostras referentes a cada semana foram homogeneizadas entre os 10 coletores. A partir disto, os resultados destas análises, em vez de representarem a proporção de carbonato de cálcio /coletor/semana, passaram a representar a proporção de carbonato de cálcio/semana, totalizando um número amostral de 104 ao longo do período estudado.

Para isto, 20 gramas referentes a cada semana foi seca por 24h à estufa a 70°C. As proporções entre sedimentos carbonáticos e não-carbonáticos foram obtidas adicionando uma solução de HCl a 40% à 20g de sedimentos, referentes a cada semana. Após a efervescência, característica da reação ao material carbonático, este era reservado por 24h para decantação. Após este período, a solução salina foi cuidadosamente sifonada, o sedimento não carbonático restante era lavado com água



destilada e após decantação, era novamente sifonado. Este procedimento era repetido três vezes. Ao término da lavagem, o material não carbonático era novamente submetido à estufa a 70°C por 24h e pesado. As proporções de sedimentos não-carbonáticos e carbonáticos foram obtidas através das relações:

$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{(Ab - Ap)}{Ab} \times 100 ; \quad \% \tilde{\text{N}}\text{CaCO}_3 = (100 - \% \text{CaCO}_3) , \text{ onde:}$$

Ab

- % CaCO<sub>3</sub> – Porcentagem de material carbonático;
- % ÑCaCO<sub>3</sub> – Porcentagem de material não-carbonático;
- Ab – Amostra bruta seca em estufa
- Ap – Amostra processada com HCl 40%, seca em estufa.

#### **4.4 Coletas de dados meteorológicos e oceanográficos**

Com o objetivo de investigar a influência das forçantes meteorológicas e oceanográficas na quantificação e qualificação dos sedimentos coletados, foram adquiridos dados dos seguintes parâmetros: pluviometria, intensidade e direção dos ventos, variação de marés e altura de ondas.

Os dados pluviométricos foram adquiridos na usina de açúcar e álcool Una Açúcar e Energia LTDA., inserida na bacia hidrográfica do rio Una. Os dados foram fornecidos em acumulados diários mm/dia, o que permitiu que fossem transformados em acumulados semanais, permitindo, assim, que a quantidade semanal de sedimentos coletados na Ilha da Barra fosse correlacionada ao acumulado pluviométrico em áreas continentais próximas, indicando possíveis aportes terrígenos.



Os dados de direção e intensidade dos ventos, gerados nas estações meteorológicas de Ipojuca, foram usados como indicativo da variação de energia no sistema e/ou direcionamento de aporte terrígeno. Esses foram registrados em intervalos de três horas a 10m de altura, e foram adquiridos junto ao INPE/CPTEC em seu endereço eletrônico ([www.inpe.br](http://www.inpe.br)).

A estação meteorológica de Ipojuca foi escolhida, para o monitoramento, por ser reconhecida oficialmente pelas autoridades meteorológicas, e por possuir regularidade amostral durante o período estudado.

Os dados de ventos obtidos, oriundo da estação de Ipojuca, foram agrupados de acordo com o ângulo de incidência, por octantes segundo tabela abaixo:

Tabela 1 – Octantes de ventos incidentes.

<b>Direção</b>	<b>Ângulo</b>
Norte	337,5° - 22,5°
Nordeste	22,5° - 67,5°
Leste	67,5° - 112,5°
Sudeste	112,5° - 157,5°
Sul	157,5° - 202,5°
Sudoeste	202,5° - 247,5°
Oeste	247,5° - 292,5°
Noroeste	292,5° - 337,5°

Após o agrupamento, foi calculada a velocidade média e frequência relativa dos ventos por octante. Desta forma, para cada semana coletada, obteve-se a porcentagem de incidência de ventos por octante (% de ventos vindo de norte, nordeste, etc) e sua intensidade média (m/s).

Dados de ondas, por serem diretamente proporcional à turbulência, que, dependendo da profundidade, gera ressuspensão, são indispensáveis para trabalhos que investiguem a dinâmica de sedimentos em suspensão. Apesar destes dados serem de difícil aquisição, os dados extraídos de previsões baseados em modelos matemáticos responderam satisfatoriamente para esta investigação. Para este trabalho, os dados

foram adquiridos no site [www.surfguru.com.br](http://www.surfguru.com.br), para o litoral sul pernambucano, que utiliza as previsões do modelo Wave Watch III.

Como forçantes, este modelo utiliza campos de ventos produzidos pelo modelo atmosférico global AVN do NCEP e prevê altura de ondas para águas acima de 40 metros de profundidade (TOLMAN, 2002). Apesar desta não ser a profundidade local esses valores são proporcionais às alturas de ondas encontradas nas águas costeiras adjacentes.

Os dados utilizados foram disponibilizados em intervalos de três horas, a partir dos quais foi calculada a altura média das ondas incidentes para cada período de amostragem (n =157).

Para investigar a influência da variação da maré na dinâmica de sedimentos finos, foram adquiridos, através da Diretoria de Hidrografia e navegação (DHN) para o Porto de Suape, dados de cotas de marés durante todo período estudado. Após isto, foi calculada a variância das cotas de baixa-mares e preamares, inseridas dentro de cada intervalo amostral (n=157). O valor obtido, com este tratamento, é tanto maior quanto mais amplas forem as amplitudes de marés na referente semana.

#### **4.5 Análises estatísticas**

Inicialmente realizou-se regressões múltiplas para determinar quais variáveis, meteorológicas e oceanográficas obtidas, exerceram maior influência na variação temporal da quantidade de sedimentos coletados: totais, carbonáticos e não carbonáticos. Porém, um fator limitante desta análise está relacionado a quanto as variáveis independentes estão correlacionadas, isto é o quanto são colineares. Para que este efeito não interferisse na interpretação dos resultados, optou-se por realizar análises de correlação não paramétricas de Pearson, individuais, entre as variáveis ambientais e a variação temporal da quantidade de sedimentos coletados (totais, carbonático e não carbonático).

Foi realizado análise estatística ANOVA nas escalas anuais e sazonais para investigar possíveis diferenças temporais nas variáveis estudadas.

Para uma melhor visualização e entendimento das correlações entre as variáveis dependentes e as não dependentes, os resultados foram dispostos, após as análises, em gráficos cujos eixos das abscissas representavam os 3 ciclos amostrais anuais, onde: ciclo 1(25/02/2005 - 24/02/2006), ciclo 2 (24/02/2006 - 26/02/2007) e ciclo 3 (26/02/2007 – 29/02/2008) . O eixo das ordenadas indicavam o índice de correlação ou coeficiente de determinação ( $r^2$ ) entre a sedimentação (total, não carbonática e carbonática) e o parâmetro climatológico (altura de ondas, pluviometria ou maré) (figura 18). O coeficiente de determinação informa que fração da variabilidade de uma característica é explicada estatisticamente pela outra variável (CALLEGARE & JACQUES, 2003).

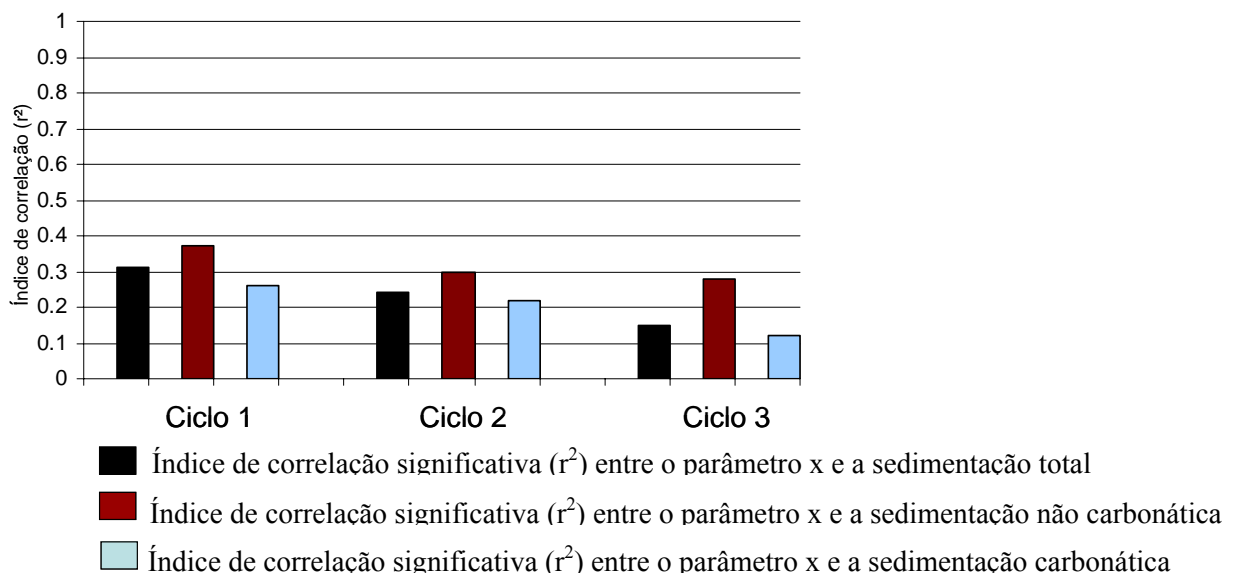


Figura 18 - Exemplo da disposição dos gráficos indicadores das correlações entre os parâmetros climatológicos e a sedimentação.

Os gráficos de correlação entre as forçantes de ventos e sedimentação foram dispostos de forma que os índices de correlação fossem representados por barras dispostas em seus respectivos octantes (figura 19).

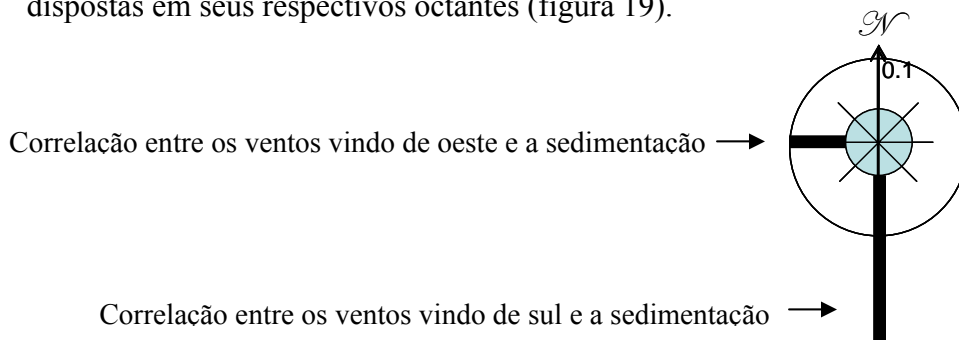


Figura 19 - Exemplo da disposição dos gráficos feitos a partir da correlação das forçantes de ventos com a sedimentação.

## 4.6 Dados Sensoriamento Remoto

A resposta espectral da luz incidente na água, é determinado, basicamente, pelo espalhamento dos comprimentos de onda mais curtos. O coeficiente de absorção da água pura é mínimo na região compreendida entre 400 e 600 nm, aumentando rapidamente na região do infravermelho. O coeficiente de espalhamento da água pura, ao contrário, é máximo na região do azul, e decresce exponencialmente com o inverso da quarta potência do comprimento de onda, em direção ao infravermelho (KAMPEL & NOVO, 2005). Se o espectro de reflexão da água pode ser estimado pela razão (espalhamento/absorção), pode-se concluir que a energia refletida pela água pura é máxima na região do azul e decresce em direção ao vermelho. (BARBOSA et al., 2003).

Já o comportamento espectral em corpos d'águas naturais é influenciado por várias substâncias. Dentre estas, três são de reconhecida importância, além da água pura: fitoplâncton (clorofila *a*), matéria em suspensão (inorgânico) e matéria orgânica dissolvida (KAMPEL & NOVO, 2005). A água limpa reflete pouca energia na região do visível e praticamente nenhuma na região do infravermelho, enquanto a água com partículas em suspensão reflete mais energia, porém somente na região do visível (FLORENZANO, 2002).

Com o objetivo de monitorar a dinâmica das plumas dos rios com maiores influências hidro-sedimentares na Área Fechada de Tamandaré, foram adquiridas gratuitamente, através do banco de imagem da DGI/ INPE, em seu endereço eletrônico ([www.inpe.br](http://www.inpe.br)), uma série temporal de 30 imagens geradas por satélites, inseridas no intervalo de tempo entre 23/01/2005 e 24/09/2008, sendo 8 imagens do satélite LANDSAT 5/TM, resolução 30m, 13 imagens do CBERS 2/CCD resolução 20 m e 9 imagens do CBERS 2B/CCD resolução 20 m, compondo um banco temporal de 30 imagens.

Após a aquisição das imagens no formato .tif, estas foram recortadas, de acordo com a área de interesse, e convertidas para o formato SPG, utilizando-se o módulo IMPIMA do software SPRING 5.0.1 (domínio público). Após esta etapa, as imagens foram transferidas para o software SPRING 5.0.1, onde foram georreferenciadas (registradas), utilizando-se como referência uma imagem Landsat-5, cedida pelo Projeto Recifes

Costeiros, utilizada em diversos estudos, entre eles STRENZEL (2002); LIMA (2003) e PRATES (2003).

Os processamentos digitais das imagens foram realizados no próprio software SPRING 5.0.1, utilizando as bandas 1, 2 e 3 (espectro do visível) para as cores azul, verde e vermelho, respectivamente. Esta composição permite que a visualização da imagem se aproxime das cores naturais da cena, como mostra o esquema abaixo (Figura 20).

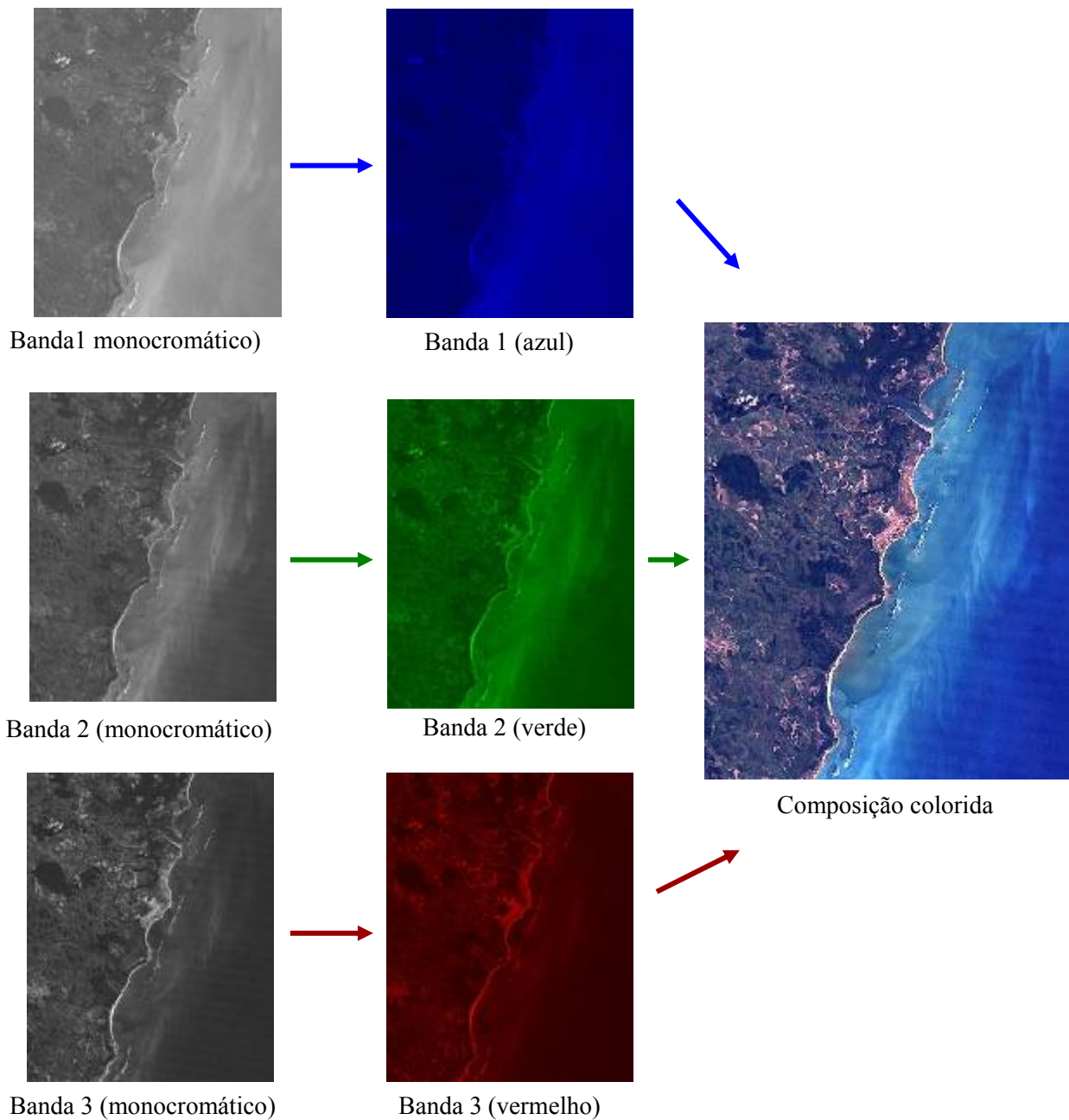


Figura 20 – Composição colorida das bandas 1,2 e 3 com as cores azul, verde e vermelho respectivamente. Imagem gerada pelo satélite Landsat-5 em 26/08/2006.

Realizada a composição, utilizou-se a ferramenta realce de contraste. Esta técnica tem como objetivo melhorar a discriminação visual entre os objetos contidos na imagem, sob critérios subjetivos do olho humano, melhorando, assim, as condições de fotointerpretação (figura 21).



Imagem original



Imagem processada

Figura 21 - Efeito da manipulação do contraste na melhoria das condições para fotointerpretação.

As cartas foram geradas no módulo SCARTA/SPRING 5.0.1, e para isto, foram enquadradas na mesma cena: Área Fechada de Tamandaré e fozes dos rios Una, Mamucabas / Ilhetas e Formoso (figura 22).

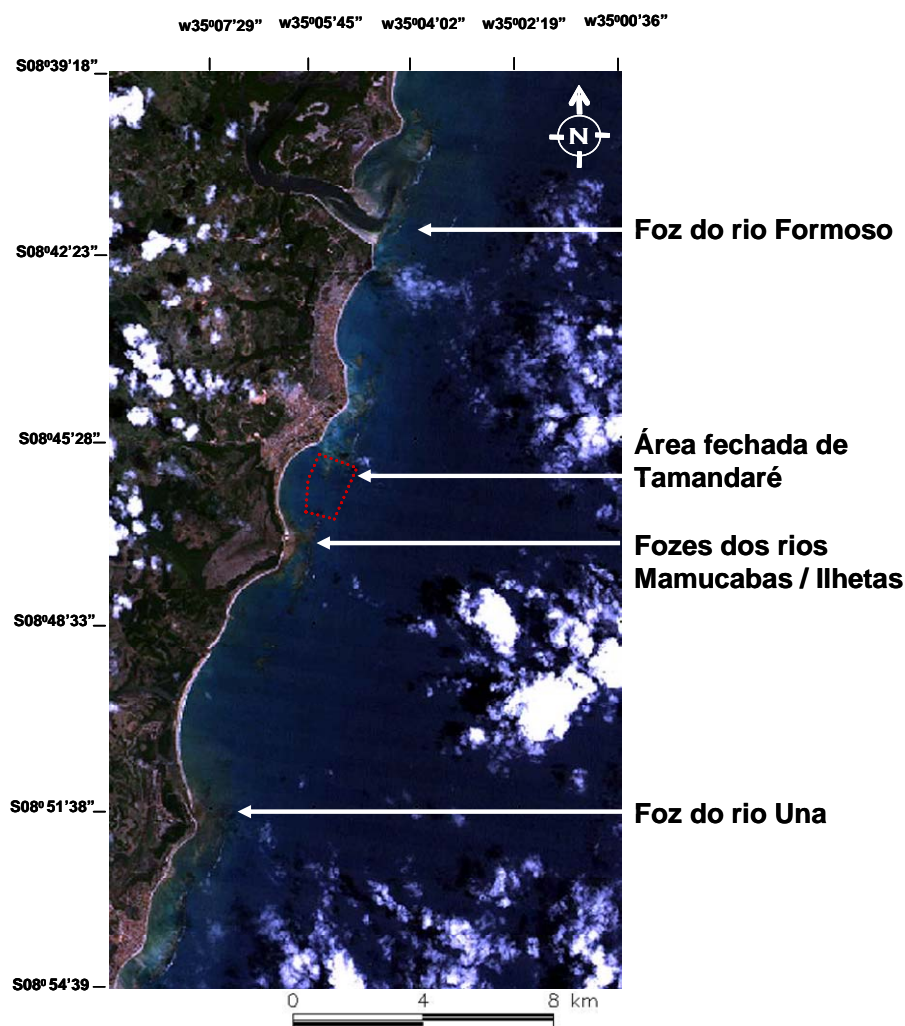


Figura 22 - Carta com enquadramento da Área Fechada de Tamandaré, e fozes dos rios Formoso, Mamucabas / Ilhetas e Una.

Com o objetivo de aumentar a capacidade interpretativa das imagens, foram inseridas informações referentes às forçantes de ventos, marés e pluviometria, adquiridas nas fontes mencionadas anteriormente.

Os dados de ventos da estação de Ipojuca foram disponibilizados apenas até junho de 2007, onde segundo representantes do ITEP/LAMEPE (responsáveis pelo equipamento) houve interrupção no fornecimento dos dados devido ao furto deste equipamento. Com isso os dados inseridos nas imagens posteriores a este período foram complementados, quando possível, com dados da estação de Barreiros, que apesar de ser mais próxima à área de estudo, suas séries apresentam periodicamente intervalos de dados não coletados.



Os vetores de ventos foram obtidos a partir da resultante dos valores registrados nas 12 horas antecessoras à geração da imagem. Cada vetor foi representado por sua intensidade (m/s) e ângulo incidente.

As cotas de maré, no momento da geração das imagens, foram calculadas considerando a onda de maré como uma cossenoide. As curvas de marés foram representadas pelo segmento da cossenoide, com máximos e mínimos representando preamar e baixa-mar, na qual o momento de geração das imagens estava contido.

Os dados pluviométricos diários, indicadores de aumento da carga sedimentar na pluma, foram representados em um período de trinta dias anteriores à data de geração de cada imagem. (figura 23).

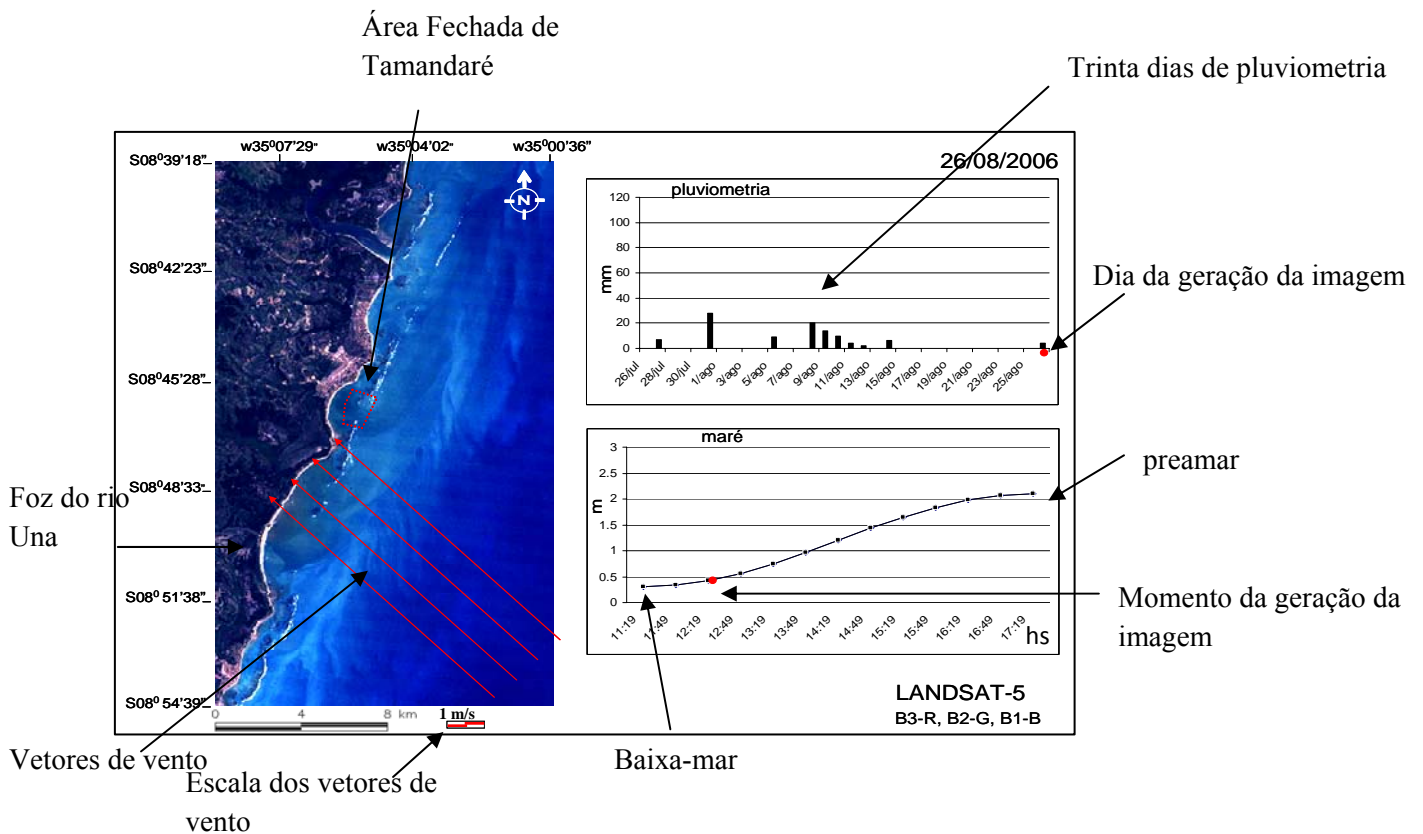


Figura 23 - Disposição dos dados meteorológicos e oceanográficos nas cartas.

Após uma pré-análise visual das cartas geradas, foi realizada uma análise estatística de similaridade onde cada amostra, neste caso imagem, foi representada por duas variáveis: acumulado pluviométrico dos cinco dias anteriores à geração de cada imagem e direção do vetor resultante dos ventos registrados no intervalo das doze horas

anteriores à geração de cada imagem. Esta análise possibilitou verificar se as plumas de rios observadas nas imagens geradas em condições ambientais semelhantes, possuíam características similares.

Durante os estudos, constatou-se a influência na relação entre a dinâmica de deslocamento da foz do rio Una e o aporte de sedimentos em suspensão na área de estudo. Para descrever a dinâmica espaço-temporal de deslocamento da foz desse rio, foram fotointerpretadas 28 imagens geradas por satélites, sendo 2 imagens geradas por LANDSAT-2/MSS com resolução de 80 metros, 2 imagens geradas pelo LANDSAT-3/MSS resolução de 80 metros, 22 imagens pelo LANDSAT-5/TM resolução de 30 metros, 1 imagem pelo LANDSAT-7/ETM<sup>+</sup> resolução de 30 metros, e 1 imagem pelo CBERS 2/CCD resolução 20 metros.

As imagens foram adquiridas gratuitamente através do banco de imagem da DGI/INPE em seu endereço eletrônico ([www.inpe.br](http://www.inpe.br)), georrefenciadas e tratadas utilizando os já citados recursos do software SPRING.

Para a geração das imagens foram utilizadas as bandas 4 para o vermelho (R), e novamente a banda 4 para o verde (G), esta composição permitiu um contraste satisfatório entre a terra (em amarelo) e a água (em preto) (figura 24).

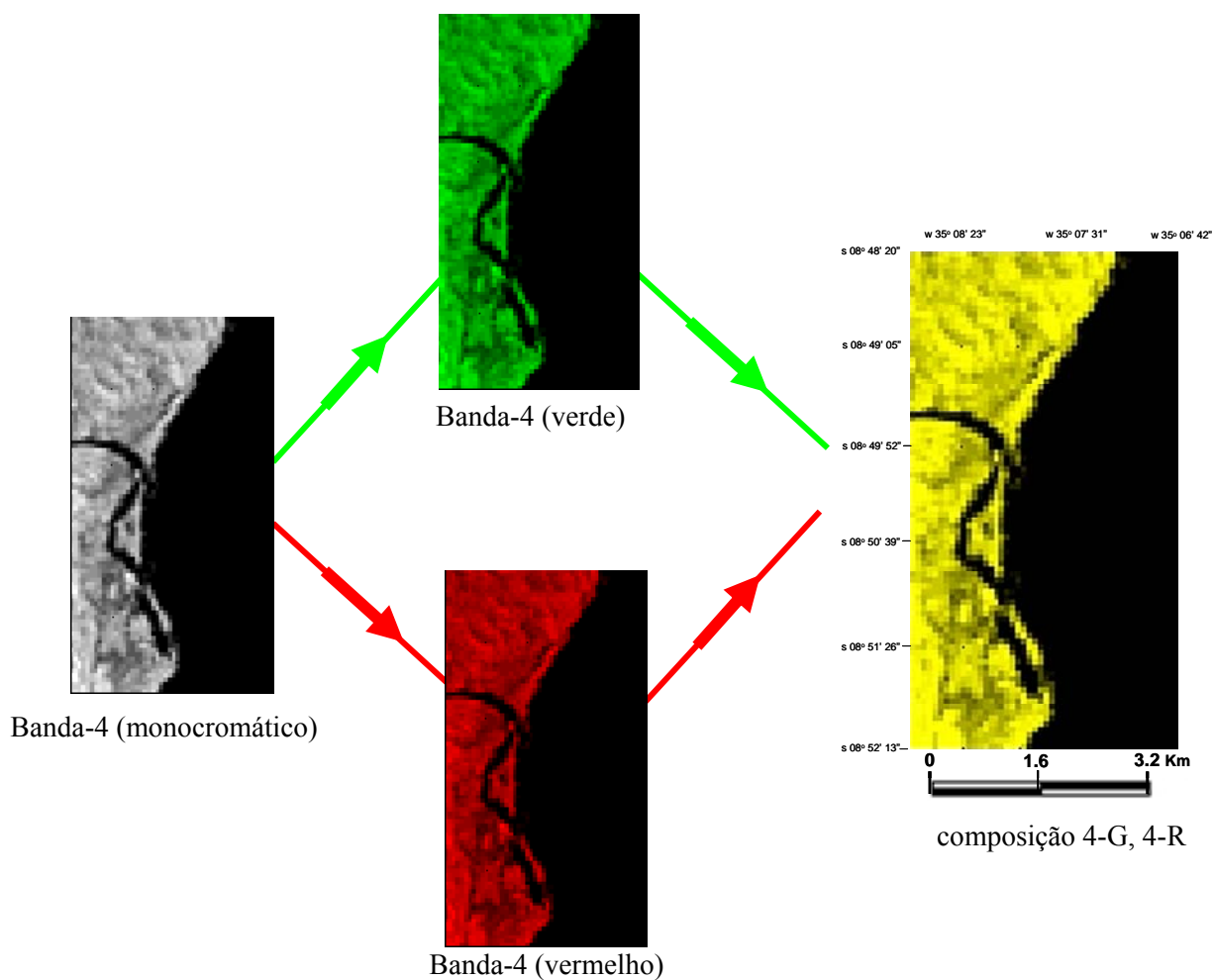


Figura 24 - Imagem LANDSAT2 resolução 80 metros, contraste entre a terra (amarelo) e rio Una/oceano (preto), conseguido com a composição: banda 4 para as cores vermelho e verde.

Às imagens geradas pelos satélites LANDSA5, LANDSAT7 e CBERS2, além da banda 4-R e 4-G, foi acrescentada a banda 1 para o azul (B) manipulando o contraste para ter apenas as nuvens destacadas, gerando, além do já citado contraste entre amarelo e preto, a distinção das nuvens em branco (figura 25).

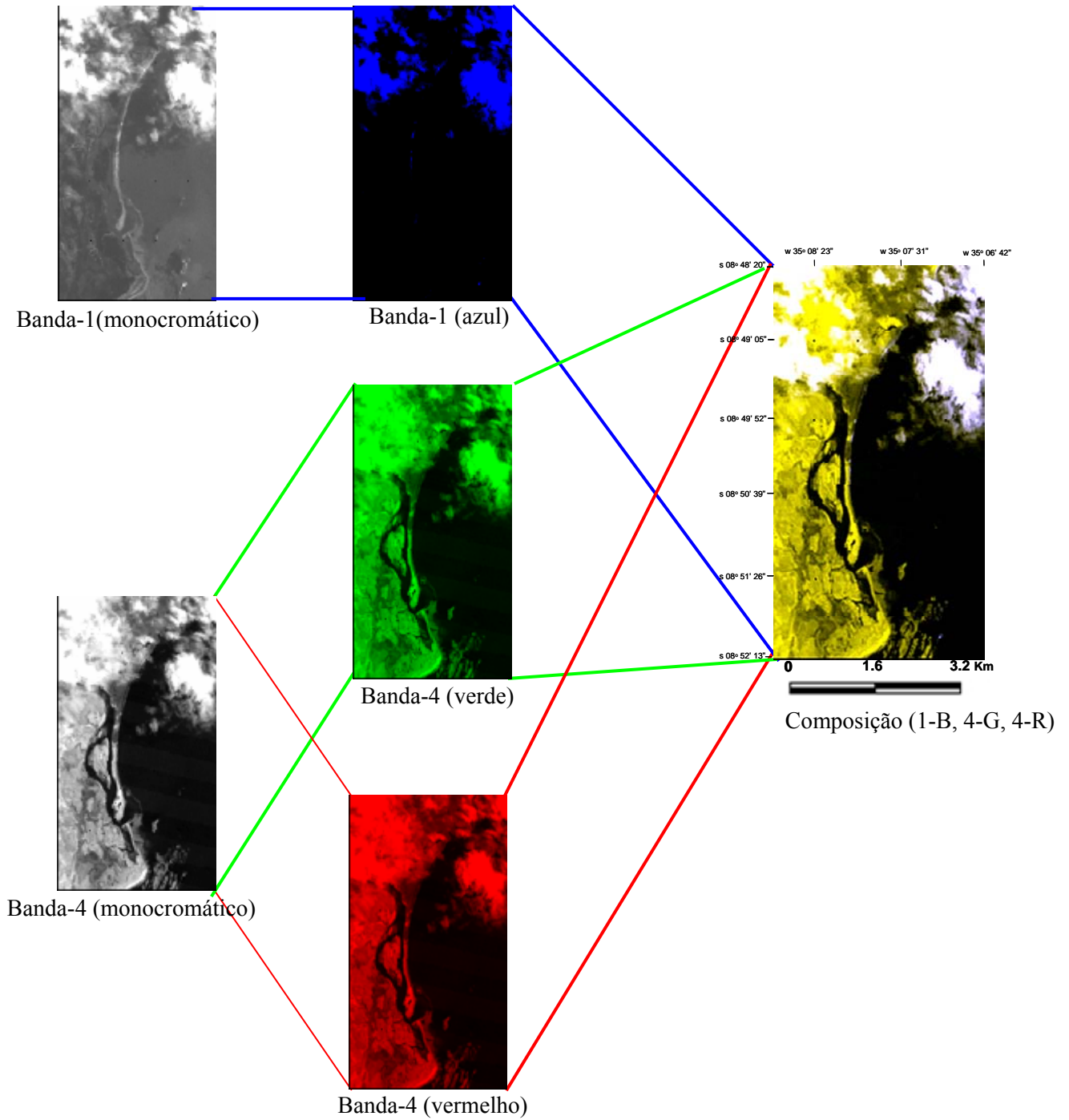


Figura 25 - Imagem LANDSAT-5 resolução 30 metros, contraste entre a terra (amarelo), rio Una/oceano (preto) e nuvens (branco), conseguido com a composição: banda 4 para as cores vermelho e verde e banda 1 para o azul.

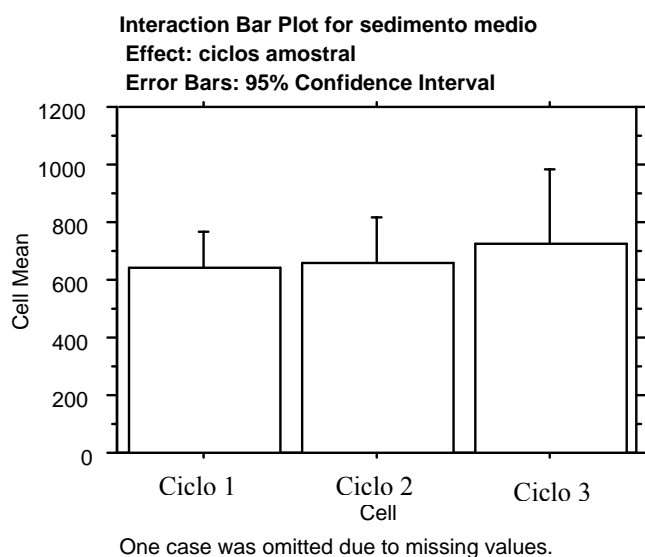
As 29 imagens possibilitaram o estudo do deslocamento da foz do rio Una em um intervalo temporal de 31 anos, distribuído como mostra a tabela (anexo 2).

Através da ferramenta de operações métricas do próprio SPRING, obtivemos as distâncias entre a foz do rio Una e o recife Ilha da Barra (Área Fechada de Tamandaré) entre 1977 e 2008, e, conseqüentemente, a taxa de deslocamento da foz (velocidade de migração) entre as datas das imagens adquiridas.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Taxa de sedimentação

A média de sedimentação, durante todo o período coletado, foi de 36,38 g/coletor/semana que corresponde a 662,00 g/m<sup>2</sup>/dia, sendo destes: 35,13 g/coletor/semana (639.34 g/m<sup>2</sup>/dia) para o primeiro ciclo amostral (25/02/2005 - 24/02/2006), 36,06 g/coletor/semana (656.25 g/m<sup>2</sup>/dia), para o segundo ciclo amostral (24/02/2006 - 26/02/2007) e 40.02 g/coletor/semana (728.34 g/m<sup>2</sup>/dia) para o terceiro ciclo amostral (26/02/2007 – 29/02/2008). A análise estatística ANOVA fatorial (figura 26) mostra que não houve diferenças significativas ( $p > 0.05$ ) na sedimentação média entre todos os ciclos estudados.



**Fisher's PLSD for sedimento medio**  
Effect: ciclos amostral  
Significance Level: 5 %

	Mean Diff.	Crit. Diff	P-Value
Ciclo 1. ciclo	-16.914	248.306	.8931
Ciclo 1. ciclo	-89.005	256.275	.4936
Ciclo 2. ciclo	-72.092	256.275	.5791

One case was omitted due to missing values.

**Means Table for sedimento medio**  
Effect: ciclos amostral

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
Ciclo 1	52	639.336	456.571	63.315
Ciclo 2	52	656.250	564.154	78.234
Ciclo 3	46	728.341	862.483	127.166

One case was omitted due to missing values.

**ANOVA Table for sedimento medio**

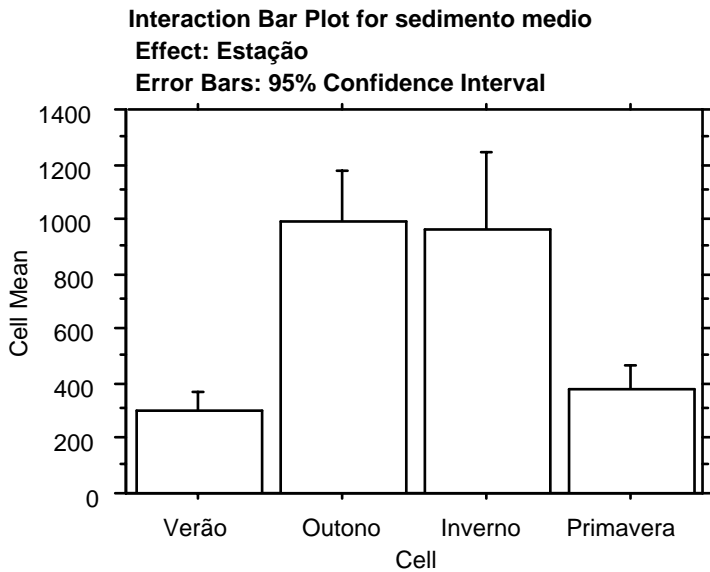
	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
ciclos amostral	2	214362.942	107181.471	.261	.7705
Residual	147	60337544.402	410459.486		

Model II estimate of between component variance: •

One case was omitted due to missing values.

Figura 26 - ANOVA indicando a falta de diferenças significativas entre as médias de sedimentação nos ciclos anuais estudados.

A sedimentação média nos coletores se distribuiu com diferenças significativas entre as estações do ano ( $p < 0,0001$ ). As estações de outono e inverno não apresentaram diferenças significativas ( $p = 0,81$ ) e suas médias foram respectivamente de 990,57 g/m<sup>2</sup>/dia e 960,11 g/m<sup>2</sup>/dia. As médias das estações de verão e primavera, que também não apresentaram diferenças significativas entre elas ( $p = 0,57$ ), foram menores com médias de 303,51 g/m<sup>2</sup>/dia e 379,02 g/m<sup>2</sup>/dia respectivamente (figura 27).



One case was omitted due to missing values.

**Fisher's PLSD for sedimento medio**

**Effect: Estação**

**Significance Level: 5 %**

	Mean Diff.	Crit. Diff	P-Value	
Verão, Outono	-687.053	261.038	<.0001	S
Verão, Inverno	-656.598	261.038	<.0001	S
Verão, Primavera	-75.509	261.038	.5684	
Outono, Inverno	30.456	249.925	.8100	
Outono, Primavera	611.544	249.925	<.0001	S
Inverno, Primavera	581.089	249.925	<.0001	S

One case was omitted due to missing values.

**Means Table for sedimento medio**

**Effect: Estação**

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
Verão	33	303.513	192.961	33.590
Outono	39	990.566	565.952	90.625
Inverno	39	960.110	876.478	140.349
Primavera	39	379.022	279.720	44.791

One case was omitted due to missing values.

**ANOVA Table for sedimento medio**

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Estação	3	15023593.540	5007864.513	16.059	<.0001
Residual	146	45528313.804	311837.766		

Model II estimate of between component variance: 125428.065

One case was omitted due to missing values.

Figura 27 - Teste ANOVA fatorial da sedimentação média entre as estações do ano, indicando diferenças significativas entre as médias de sedimentação.



A distribuição semanal da sedimentação durante todo o período estudado pode ser visualizada na figura 28.

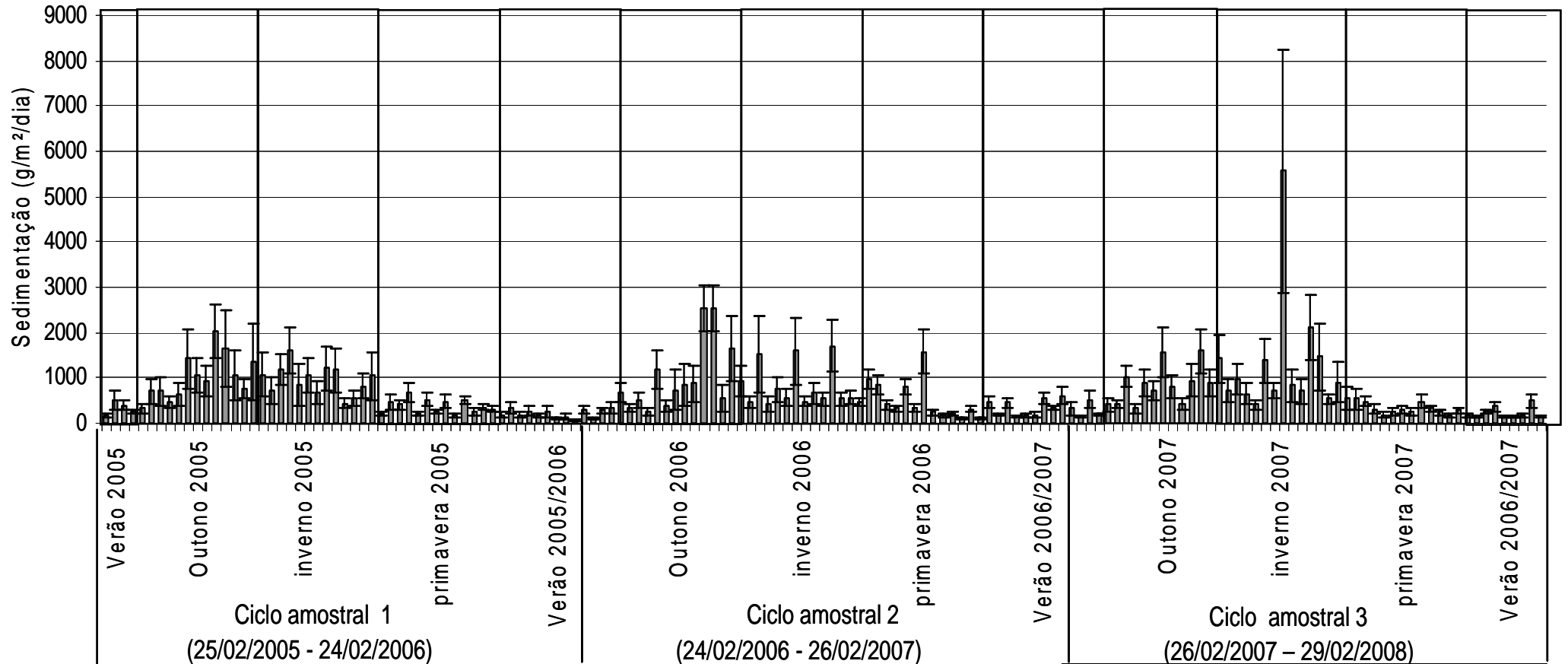


Figura 28 - Distribuição da sedimentação durante os três ciclos amostrados e por estação do ano.

■ Média diária da sedimentação durante a semana

A sedimentação carbonática foi superior a não carbonática em todas as amostras coletadas. A sedimentação semanal total, carbonática e não carbonática durante todo período estudado pode ser visualizada nos gráficos abaixo (figuras 29, 30 e 31):

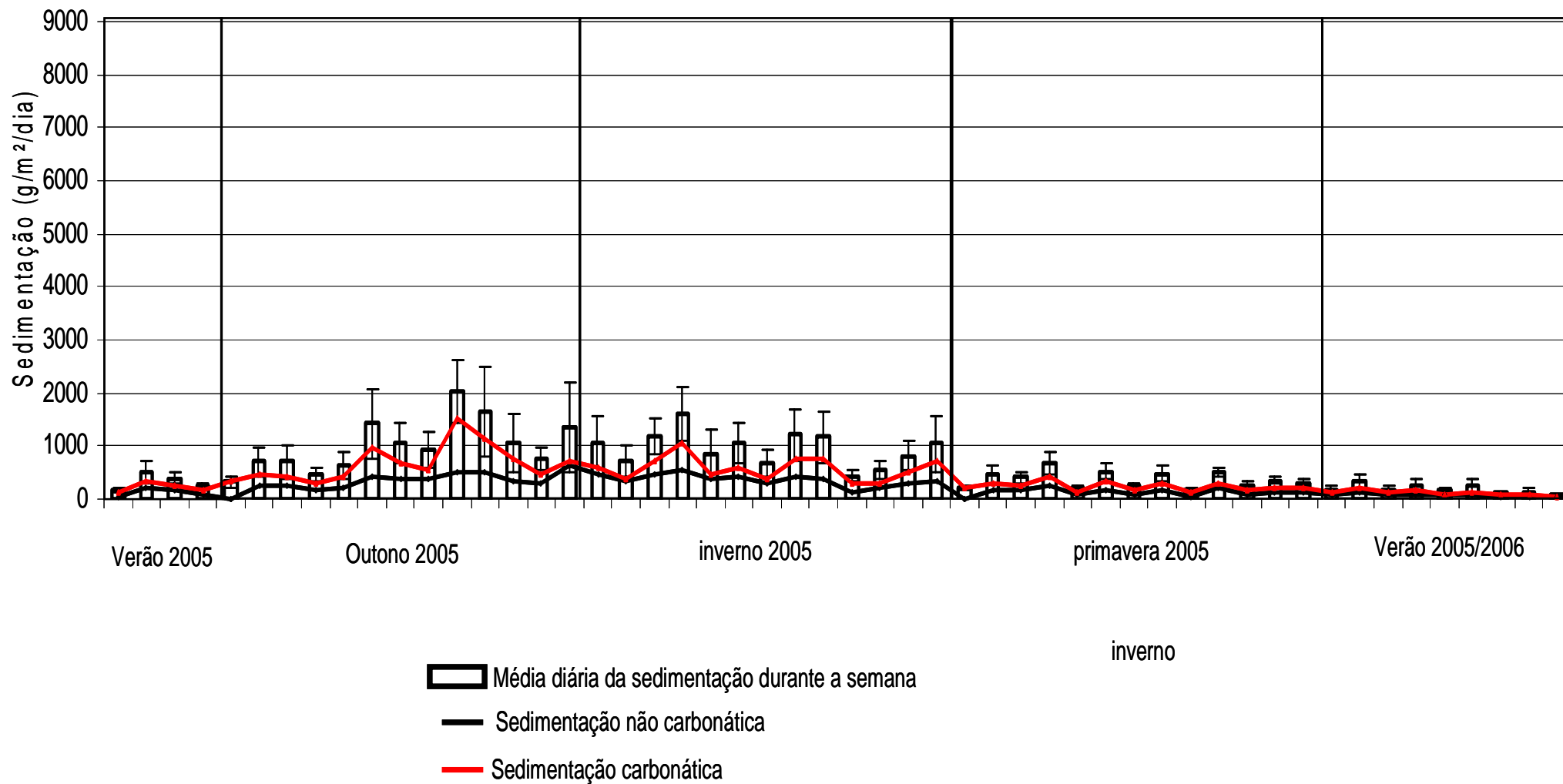


Figura 29 - Distribuição da sedimentação total, carbonática e não carbonática durante o primeiro ciclo estudado evidenciando as diferentes estações do ano.

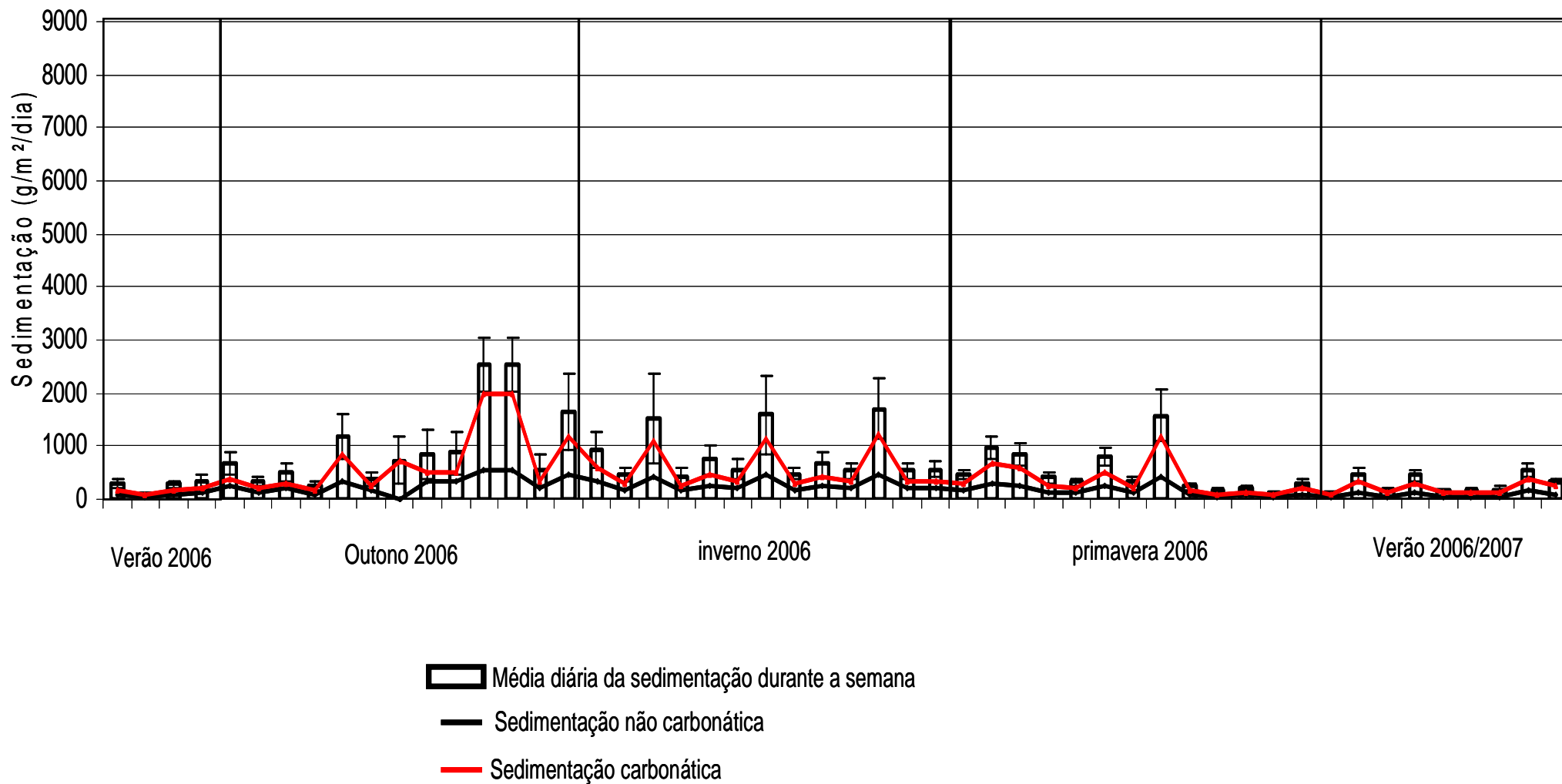


Figura 30 - Distribuição da sedimentação total, carbonática e não carbonática durante o segundo ciclo estudado evidenciando as diferentes estações do ano.

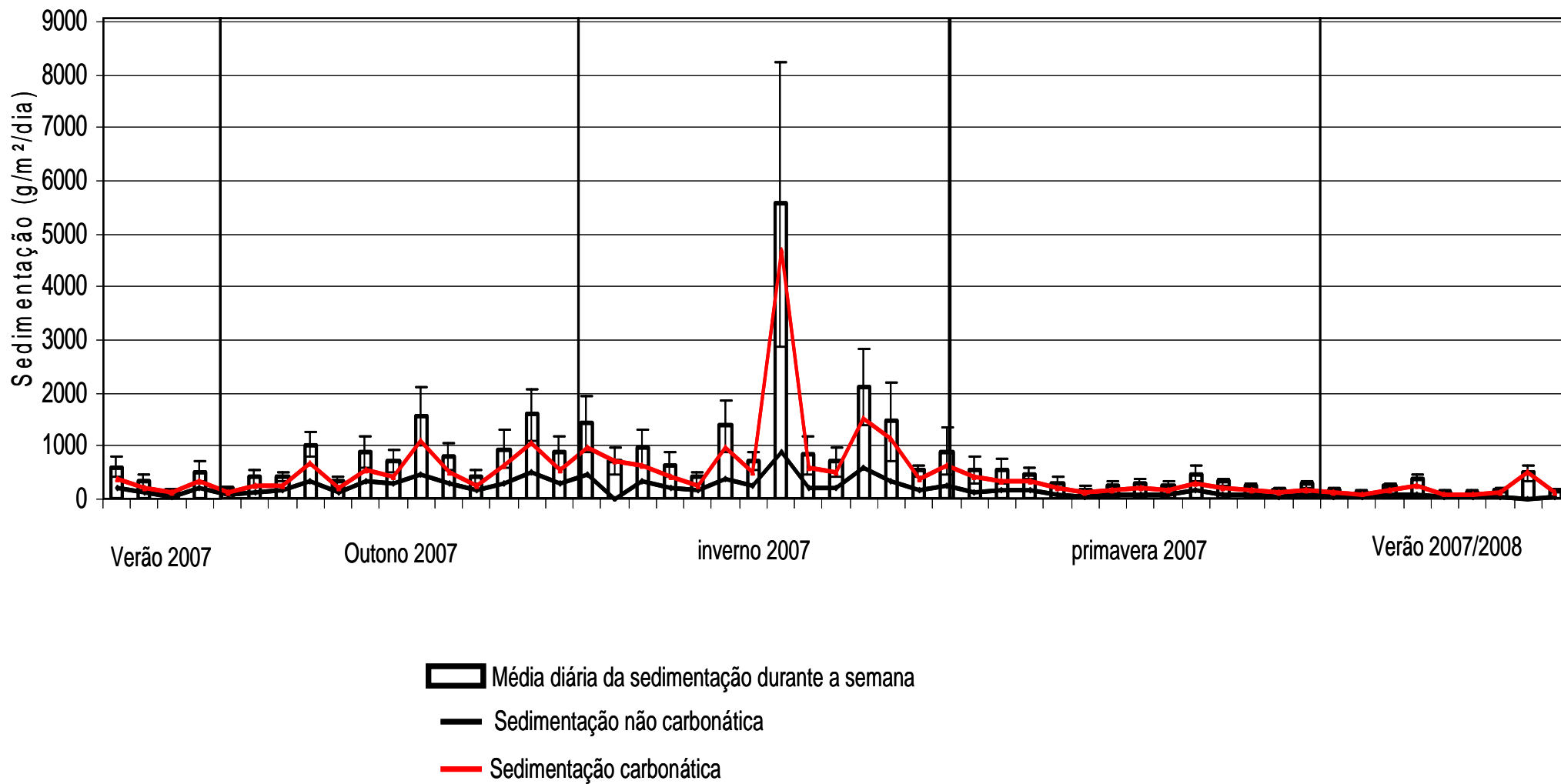


Figura 31 - Distribuição da sedimentação total, carbonática e não carbonática durante o primeiro ciclo estudado. Os períodos em evidências referem-se as diferentes estações do ano.

Altas taxas de sedimentação representam uma grave perturbação para os recifes de coral. Ela reduz o crescimento e sobrevivência de uma gama de espécies de coral, apesar de seus efeitos diferirem substancialmente entre espécies e também entre os tipos de sedimentos e substâncias a eles associadas (FABRICIUS, 2005).

De acordo com ROGERS (1990), uma sedimentação maior que  $100 \text{ g/m}^2/\text{dia}$ , classificada por ele como sedimentação pesada, as respostas são: redução na riqueza de espécie de coral, na cobertura do coral vivo, na taxa de crescimento, na calcificação e na taxa de acresção de recife; e aumento na proporção do branqueamento. Já DUTRA, et al (2003), em seu trabalho sobre os efeitos do aporte sedimentar na vitalidade dos recifes de corais de Abrolhos na Bahia, constatou que em taxas de acumulação de sedimentos superior a  $150 \text{ g/m}^2/\text{dia}$  houve uma redução de valores de parâmetros biológicos como: percentual da cobertura viva de corais, diâmetro médio das colônias de *Millepora alcicornis* e número de recrutas de corais.

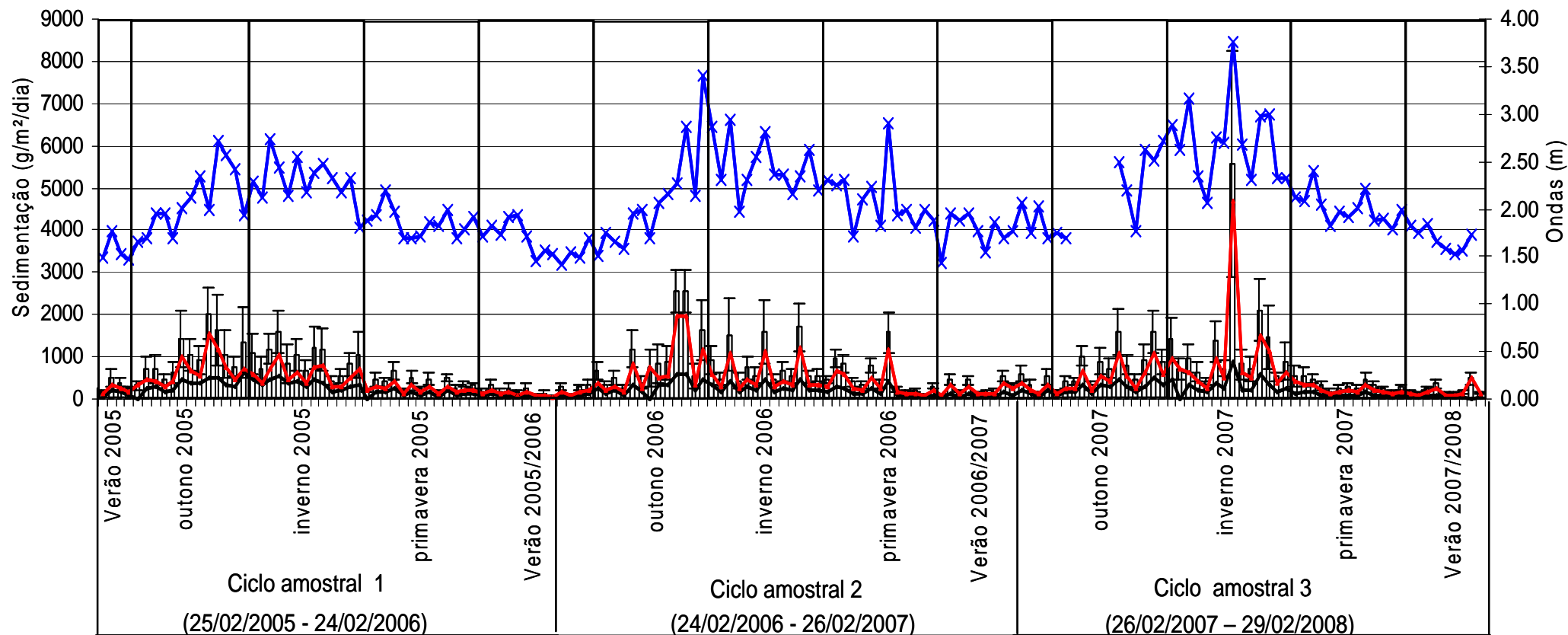
No presente estudo as taxas de sedimentação superaram as consideradas críticas ( $150 \text{ g/m}^2/\text{dia}$ ), em até 37 vezes durante o inverno do último ciclo anual estudado (figura 30). Além disto, estes valores permaneceram mais altos que o citado, durante todas as estações do ano.

O *stress* induzido por esta sedimentação aumenta linearmente com a quantidade e duração da sedimentação. Por exemplo: uma certa quantidade depositada em um coral, em uma unidade de tempo, exerce o mesmo estresse fotofisiológico provocado pelo dobro dessa quantidade na metade do tempo (PHILIPP & FABRICIUS, 2003). Porém não existe consenso entre os pesquisadores, acerca destes valores. As influências fisiológicas dos sedimentos nos corais variam em função das espécies, características dos sedimentos e condições hidrodinâmicas locais.

Uma outra dificuldade em estimar com precisão estes valores, vem do fato de que coletas pontuais cobrindo pequenos períodos do ano tendem a subestimar ou hiperestimar essas taxas, diante da grande variância entre as estações na quantidade de sedimentos coletados. Somado a isto, o local escolhido para a fixação das armadilhas de sedimentos (sobre o recife, ao lado do recife, etc.) podem gerar grandes influências na quantidade de material coletado.

Para inferir quais variáveis meteorológicas e oceanográficas mais influenciam na dinâmica de sedimentos em suspensão na área de estudo, foram analisados dados de ondas, pluviometria, marés e ventos.

As alturas de ondas, assim como a sedimentação total, carbonática e não carbonática foram maiores durante os períodos de outono e inverno e se distribuíram, ao longo de todo o período amostrado, como ilustra o gráfico abaixo (figura 32).

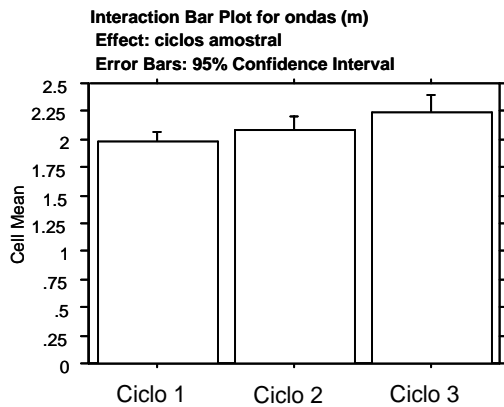


- Média diária da sedimentação durante a semana
- Sedimentação não carbonática
- Sedimentação carbonática
- ondas

Figura 32 - Distribuição da sedimentação total, carbonática e não carbonática durante o primeiro ciclo estudado. Os períodos em evidências referem-se as diferentes estações do ano.



As médias de alturas de ondas foram significativamente diferentes entre os três ciclos, sendo de 1,98 m para o primeiro ciclo, 2,08m para o segundo e 2,24m para o terceiro, como mostra o teste estatístico ANOVA (figura 33).



**Fisher's PLSD for ondas (m)**  
Effect: ciclos amostral  
Significance Level: 5 %

	Mean Diff.	Crit. Diff	P-Value
ciclo 1, ciclo 2	-.102	.163	.2185
ciclo 1, ciclo 3	-.260	.172	.0033
ciclo 2, ciclo 3	-.158	.172	.0714

5 cases were omitted due to missing values.

**ANOVA Table for ondas (m)**

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
ciclos amostral	2	1.582	.791	4.473	.0131
Residual	143	25.285	.177		

Model II estimate of between component variance: .013  
5 cases were omitted due to missing values.

**Means Table for ondas (m)**  
Effect: ciclos amostral

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
ciclo 1	52	1.976	.331	.046
ciclo 2	52	2.078	.438	.061
ciclo 3	42	2.237	.492	.076

5 cases were omitted due to missing values.

Figura 33- Teste de ANOVA fatorial entre os valores de altura de ondas em cada ciclo anual amostrado. Os valores destacados referem-se as médias e a significância do teste.

As alturas de ondas se correlacionaram significativamente com a sedimentação total carbonática e não carbonática em todos os ciclos estudados (figura 34).

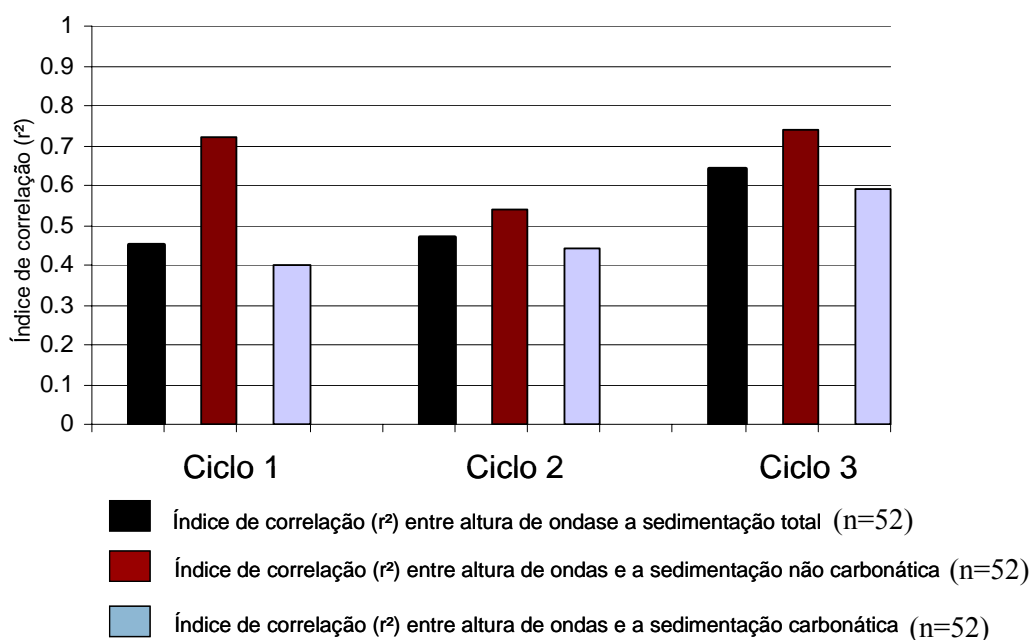
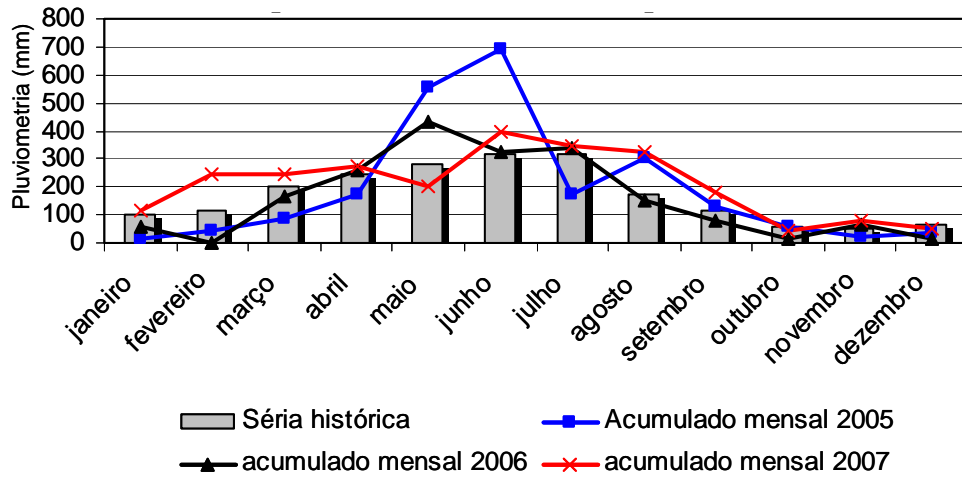


Figura 34 - Índice de correlação entre a sedimentação total, carbonática e não carbonática e alturas de ondas. n = 52.

No ciclo 1 (25/02/2005 - 24/02/2006) as ondas apresentaram correlação com a sedimentação total ( $r^2=0.45$ , e  $p<0.001$ ), sedimentação não carbonática ( $r^2=0.72$ , e  $p<0.001$ ), e sedimentação carbonática ( $r^2=0.40$ , e  $p<0.001$ ), para o ciclo 2 (24/02/2006 - 26/02/2007) apresentou correlação com a sedimentação total ( $r^2=0,47$  e  $p<0.001$ ), sedimentação não carbonática ( $r^2=0.54$ , e  $p<0.001$ ), e sedimentação carbonática ( $r^2=0.44$ , e  $p<0.001$ ), para o ciclo 3 (26/02/2007 – 29/02/2008) apresentou correlação com a sedimentação total ( $r^2=0,64$  e  $p<0.001$ ), para a sedimentação não carbonática ( $r^2=0.74$ , e  $p<0.001$ ), para a sedimentação carbonática ( $r^2=0.59$ , e  $p<0.001$ ).

A maior correlação significativa entre altura de ondas, que é uma forçante ressuspensiva, e sedimentação não carbonática, se comparada à sedimentação carbonática, indica ressuspensão de sedimentos de origem provavelmente terrígena, anteriormente depositado neste ambiente.

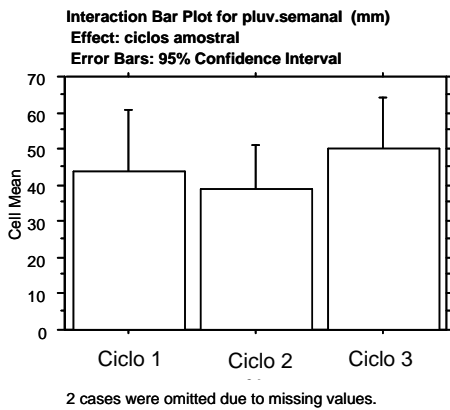
A pluviometria, durante o período estudado, apresentou acumulados mensais superiores à média histórica em: maio, junho e agosto de 2005, maio de 2006, e fevereiro de 2007 (figura 35).



(n = 46)

Figura 35 - Comparação entre a série histórica pluviométrica (1961 – 2007) e a pluviometria no s anos do período amostrado.

A pluviometria não apresentou diferenças significativas entre suas médias ( $p=0.57$ ) nos três ciclos amostrados (figura 36). No ciclo amostral 1, a média pluviométrica foi de 43.98 mm, no ciclo 2 foi de 39.00 mm e no ciclo 3 de 50.09 mm (figura 36).



Means Table for pluv.semanal (mm)  
Effect: ciclos amostral

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
Ciclo 1	52	43.981	61.050	8.466
Ciclo 2	52	39.000	42.386	5.878
Ciclo 3	45	50.089	47.446	7.073

2 cases were omitted due to missing values.

ANOVA Table for pluv.semanal (mm)

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
ciclos amostral	2	2967.241	1483.620	.569	.5674
Residual	146	380755.125	2607.912		

Model II estimate of between component variance: •  
2 cases were omitted due to missing values.

Fisher's PLSD for pluv.semanal (mm)

Effect: ciclos amostral  
Significance Level: 5 %

	Mean Diff.	Crit. Diff	P-Value
Ciclo 1, ciclo 2	4.981	19.794	.6197
Ciclo 1, ciclo 3	-6.108	20.549	.5578
Ciclo 2, ciclo 3	-11.089	20.549	.2880

2 cases were omitted due to missing values.

Figura 36 - ANOVA fatorial indicando a falta de diferenças significativas na pluviometria entre os 3 ciclos amostrais estudados (2005, 2006 e 2007).

A distribuição dos acumulados pluviométricos semanais, assim como, a sedimentação total, carbonática e não carbonática pode ser visualizada no gráfico abaixo (figura 37).

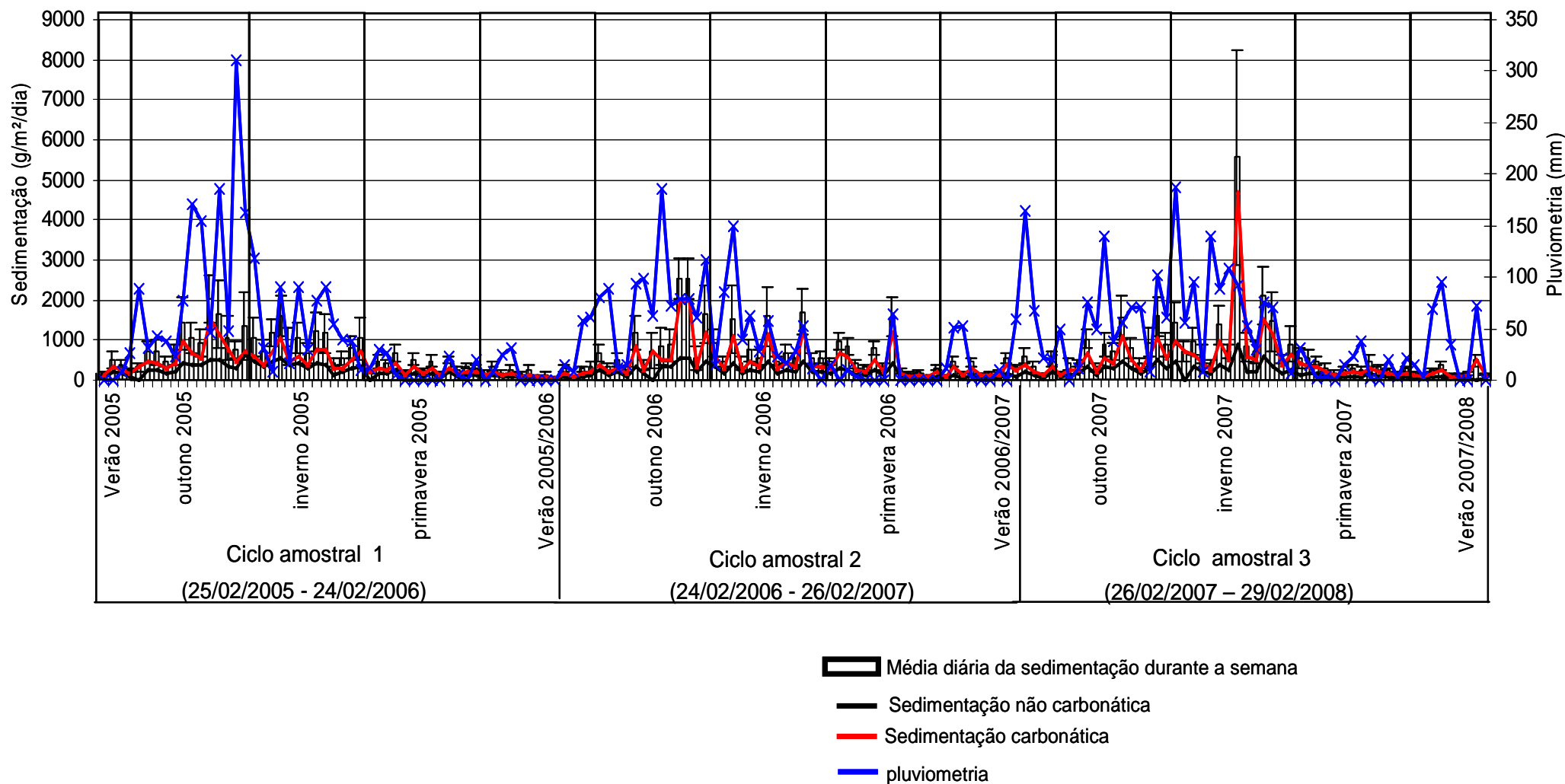


Figura 37 - Distribuição semanal da pluviosimetria, sedimentação total, carbonática e não carbonática durante os três ciclos estudados. Os períodos em evidências referem-se as diferentes estações do ano.

A pluviometria, assim como as ondas, se correlacionaram significativamente com a sedimentação total, não carbonática e carbonática nos três ciclos estudados (figura 38).

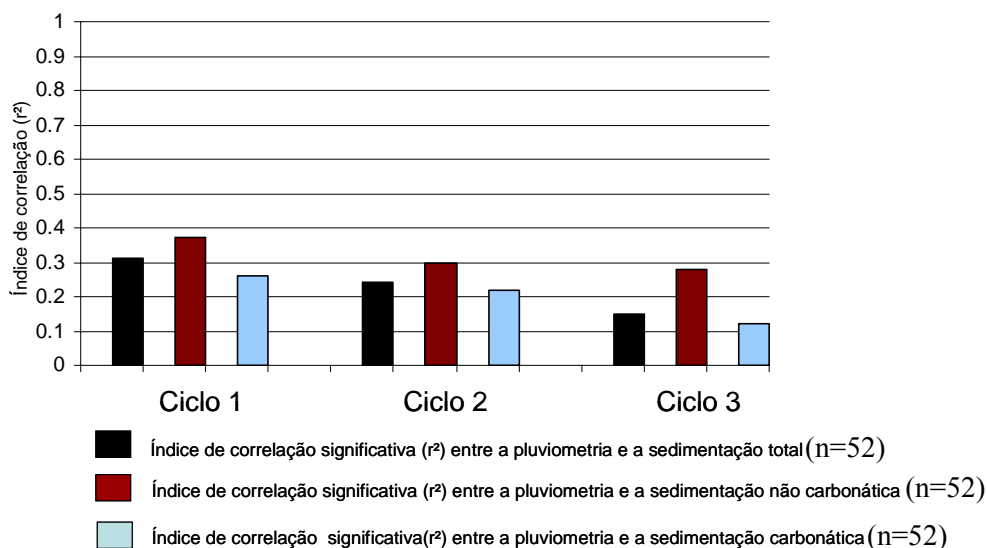


Figura 38 - Índice de correlação entre a sedimentação total, carbonática e não carbonática e a pluviometria.

O ciclo 1 (25/02/2005 - 24/02/2006) apresentou correlação com a sedimentação total ( $r^2=0.31$ , e  $p<0.001$ ), sedimentação não carbonática ( $r^2=0.37$ , e  $p<0.001$ ), e sedimentação carbonática ( $r^2=0.26$ , e  $p<0.001$ ), para o ciclo 2 (24/02/2006 - 26/02/2007) apresentou para correlação com a sedimentação total ( $r^2=0,24$  e  $p<0.001$ ), sedimentação não carbonática ( $r^2=0.30$ , e  $p<0.001$ ), e sedimentação carbonática ( $r^2=0.22$ , e  $p<0.001$ ), para o ciclo 3 (26/02/2007 – 29/02/2008) apresentou correlação com a sedimentação total ( $r^2=0,15$  e  $p=0.005$ ), sedimentação não carbonática ( $r^2=0.28$ , e  $p<0.001$ ), e sedimentação carbonática ( $r^2=0.12$ , e  $p=0.003$ ).

Correlações significativas entre sedimentação e pluviometria são indicativas de aporte terrígeno, carregado pelas chuvas após erosão do solo em bacias hidrográficas adjacentes.

No gráfico anterior (figura 38), a maior correlação entre a pluviometria e os sedimentos não carbonáticos (provavelmente de origem terrígena) se comparado aos

sedimentos carbonáticos (produzidos no próprio ambiente recifal), indicam possíveis aportes de sedimentos terrígenos na área de estudo.

Segundo WRIGHT (1995), na dispersão dos sedimentos dos rios em direção ao mar, existem quatro estágios principais. O estágio I envolve dispersão e desaceleração iniciais dos sedimentos fluviais carregados em direção ao mar através de plumas. O estágio II representa a deposição inicial dos sedimentos das plumas. No estágio III, os sedimentos são ressuspensos e transportados por forçantes oceanográficas, como correntes e ondas. No estágio IV, ocorre a acumulação de longo prazo dos sedimentos.

Outro parâmetro oceanográfico investigado foi a variação das marés, sua variância semanal, assim como a sedimentação total, carbonática e não carbonática pode ser visualizada no gráfico abaixo (figura 39).

Variância semanal das marés, sedimentação total, não carbonática e carbonática

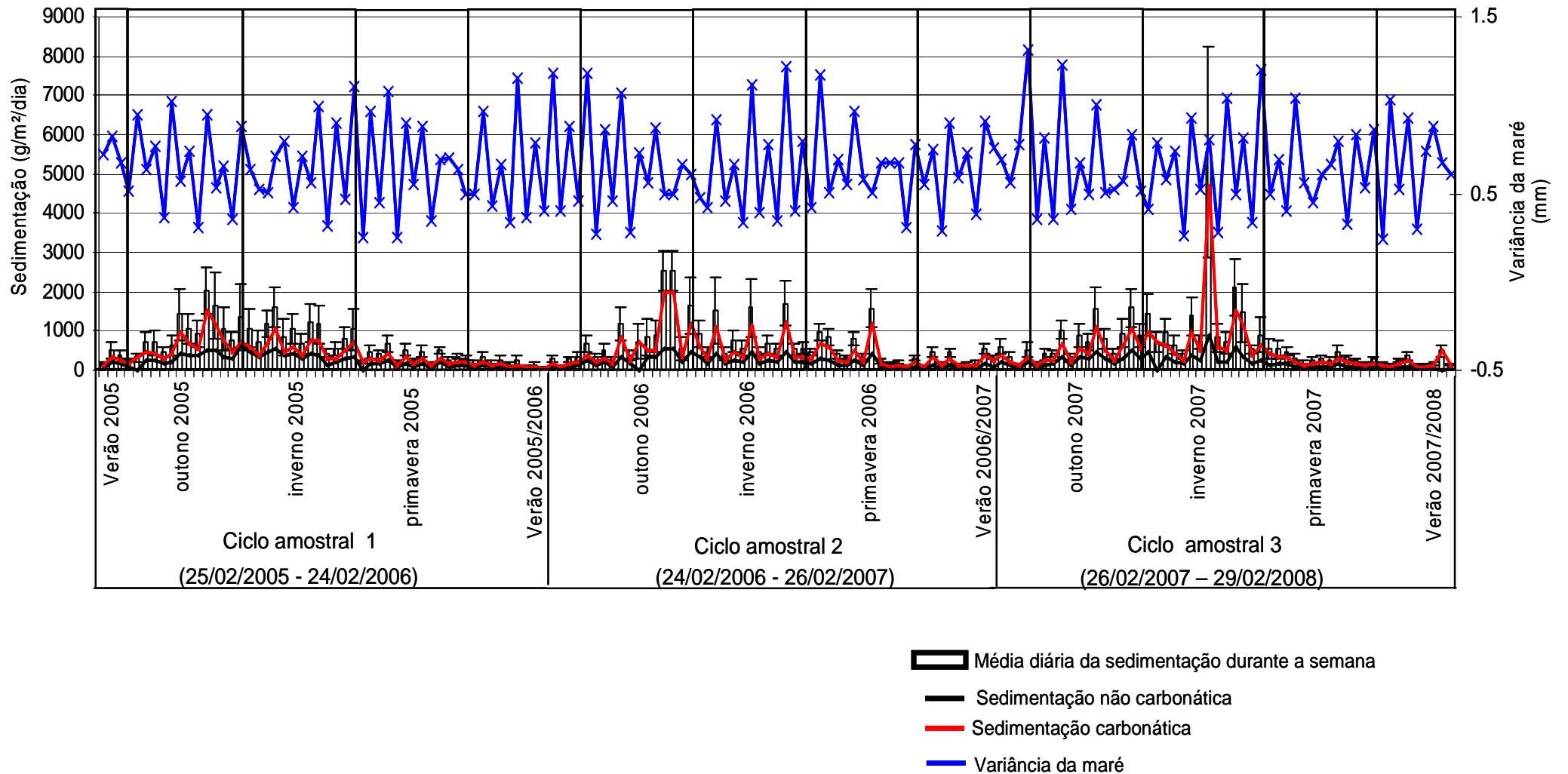


Figura 39 - Distribuição das variâncias semanais de marés, sedimentação total, carbonática e não carbonática durante os três ciclos estudados. Os períodos em evidências referem-se as diferentes estações do ano.

A variação de marés não se correlacionou significativamente com a sedimentação total, não carbonática e carbonática (figura 40).

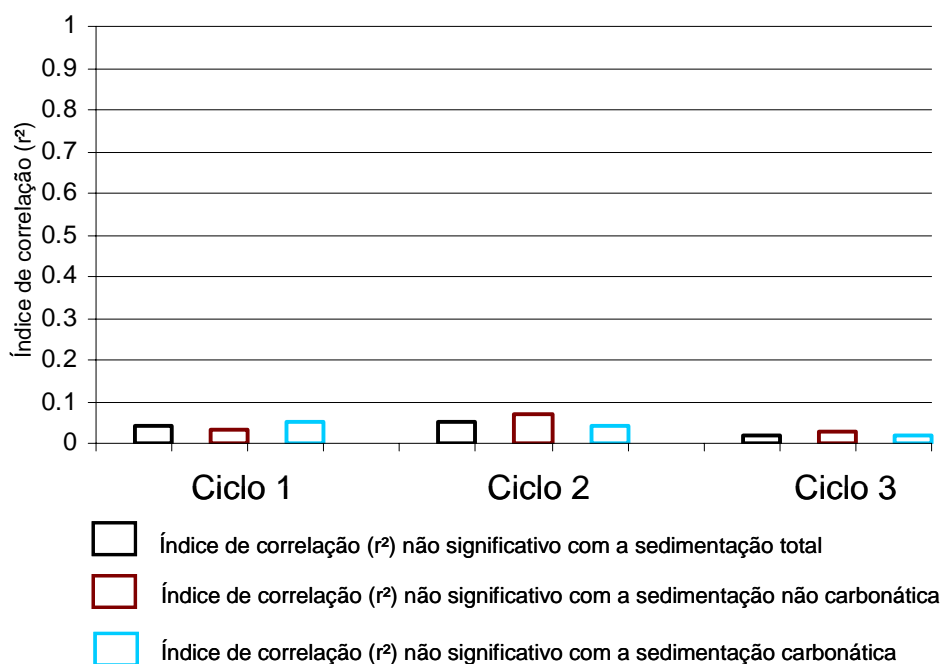


Figura 40 - Índice de correlação entre a sedimentação total, carbonática e não carbonática e a variancia da maré.

O ciclo 1 (25/02/2005 - 24/02/2006) não apresentou correlação significativa com a sedimentação total ( $r^2=0.48$ , e  $p=0.13$ ), com a sedimentação não carbonática ( $r^2=0.34$ , e  $p=0.2$ ), e com a sedimentação carbonática ( $r^2=0.05$ , e  $p=0.12$ ), o ciclo 2 (24/02/2006 - 26/02/2007) também não apresentou correlação significativa com a sedimentação total ( $r^2=0,05$  e  $p=0.11$ ), sedimentação não carbonática ( $r^2=0.08$ , e  $p=0.51$ ), para a sedimentação carbonática ( $r^2=0.04$ , e  $p=0.15$ ), para o ciclo 3 (26/02/2007 – 29/02/2008) também não houve correlação significativa com a sedimentação total ( $r^2=0.02$  e  $p=0.26$ ), sedimentação não carbonática ( $r^2=0.03$ , e  $p=0.23$ ), e sedimentação carbonática ( $r^2=0.02$ , e  $p=0.29$ ).

Apesar das variações das marés não influenciarem diretamente a sedimentação como forçantes, em semanas onde predominantemente ocorrem marés de sizígias, sua cota mais elevada nas marés cheias se comparadas as de quadratura, permitem a passagem de ondas pelo recife Ilha da Barra, que funciona como barreira mecânica das



ondas durante as marés secas. A passagem dessas ondas para o local de coleta, que fica parcialmente protegido durante marés secas e de quadratura, faz com que aumente a remobilização de sedimentos neste ambiente, que é tanto mais intensa quanto maior forem as ondas.

No presente estudo este fenômeno foi observado durante os mergulhos e pode ser evidenciado em períodos onde as semanas amostrais se diferenciaram claramente em semanas com marés de quadratura e semanas com marés de sizígia. Os dois melhores exemplos deste fato ocorreram no verão de 2005/2006 (figura 41) e inverno de 2006 (figura 42).

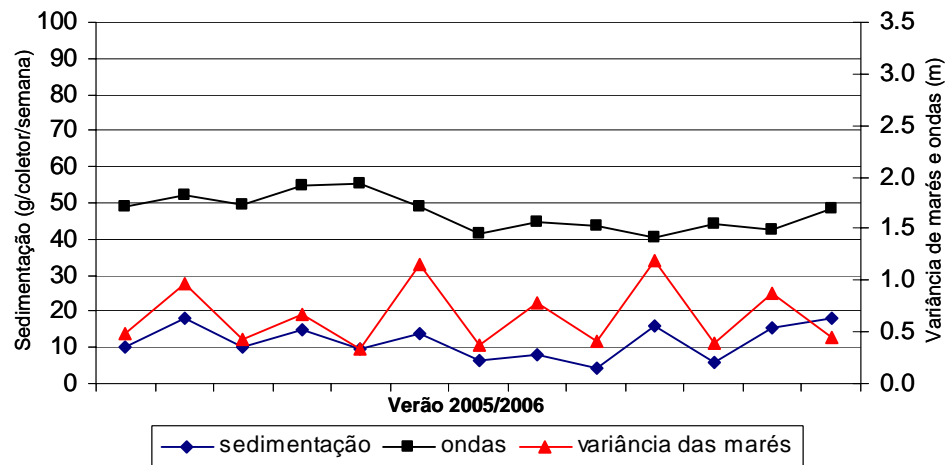


Figura 41 - Influencia das marés e ondas na sedimentação no recife Ilha da Barra durante o verão de 2005/2006.

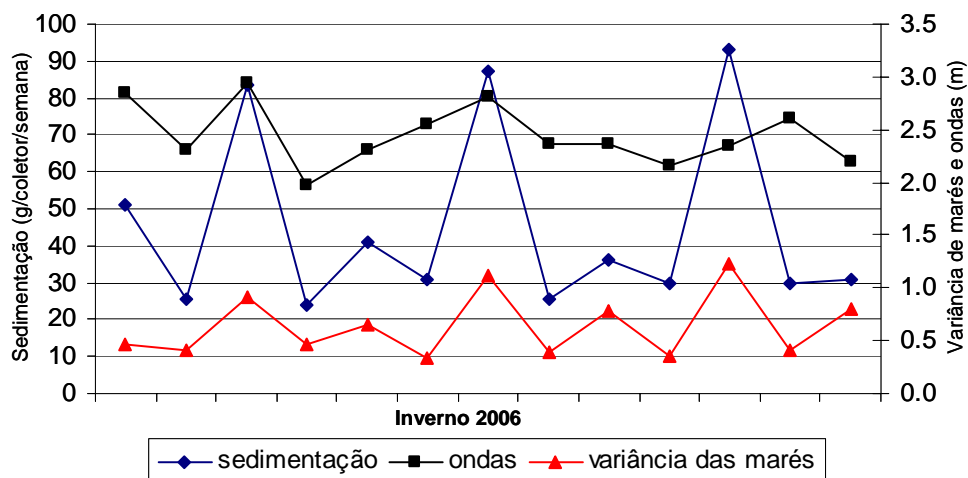


Figura 42 - Influencia das marés e ondas na sedimentação no recife Ilha da Barra durante o inverno de 2006.

Tanto para o verão de 2005/2006 quanto para o inverno de 2006 as variações de marés apresentaram maior correlação com a sedimentação se comparado as alturas de ondas (tabela 1):

Índice de correlação entre:	$r^2$	p
Sedimentação x ondas verão 2005/2006	0.080344	0.348005
Sedimentação x marés verão 2005/2006	0.37	0.02
Sedimentação x ondas inverno/2006	0.33	0.04
Sedimentação x marés inverno/2006	0.74	<0.001

Tabela 2 - Índice de correlação mostrando a influencia das marés e ondas na sedimentação no recife Ilha da barra durante o verão de 2005/2006 e inverno de 2006.

Para investigar a influência dos ventos na sedimentação suas forçantes (frequência relativa e intensidade) foram representadas graficamente juntamente com a sedimentação (sem escala) com o objetivo de facilitar a análise visual de suas tendências.

As frequências relativas e a intensidade dos ventos vindo de sul são apresentadas abaixo (figura 43). Seus valores, tanto para frequência relativa quanto para intensidade mostraram-se maiores nas estações de outono e inverno.

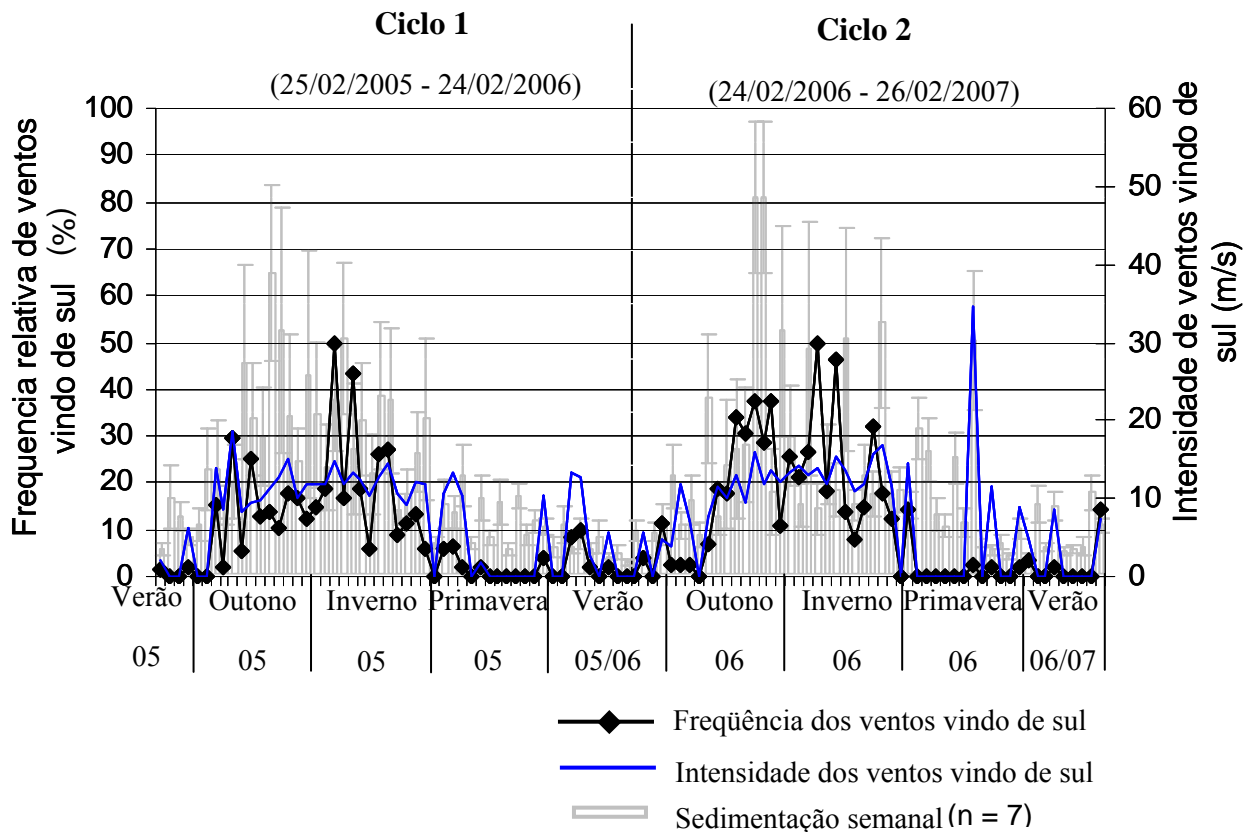


Figura 43 -Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de sul durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.

As intensidades e frequências relativas dos ventos vindo de sudeste foram maiores nas estações de outono, inverno e primavera. Também nota-se um aumento na frequência relativa durante a primeira metade do verão 2005/2006 não seguida de aumentos na quantidade de sedimentos coletados (figura 44).

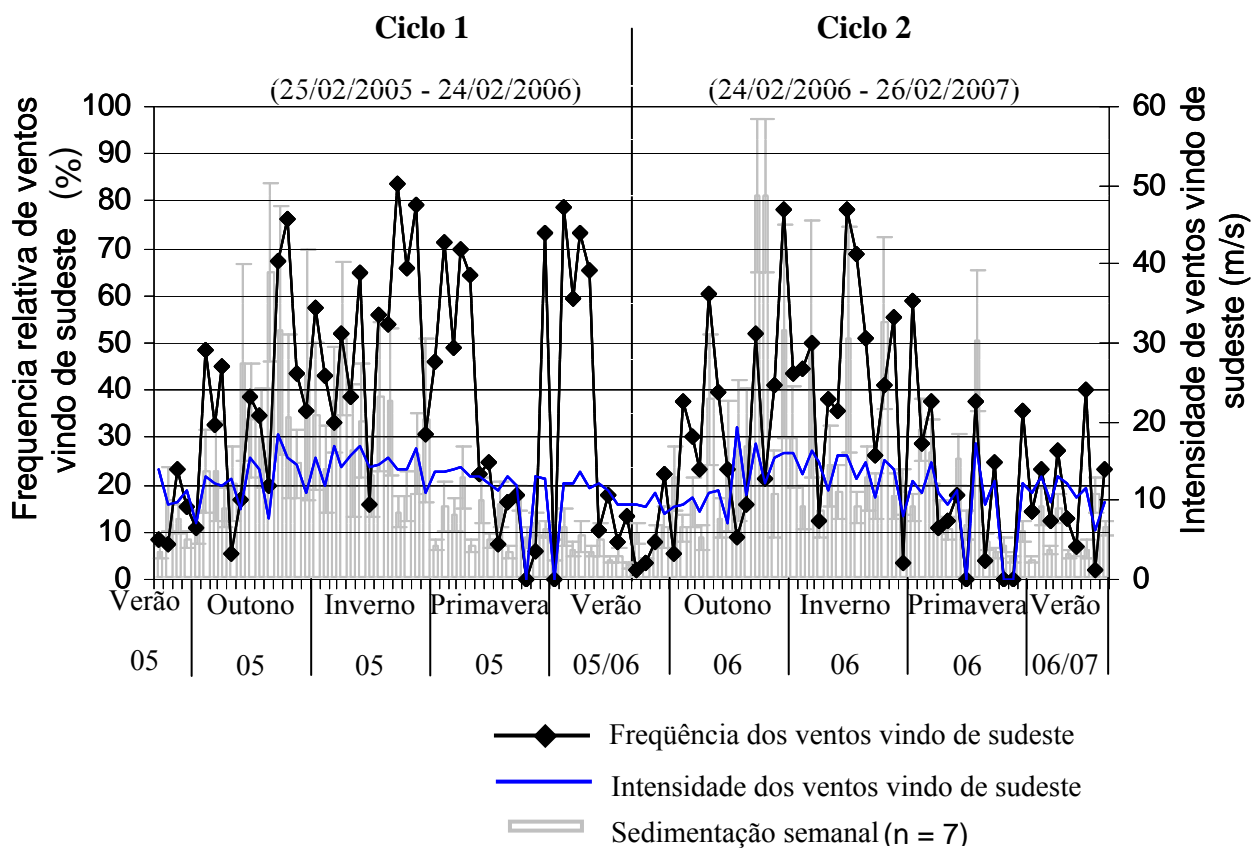


Figura 44 - Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de sudeste durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.

Os ventos vindo de sudoeste, apesar de sua pouca intensidade e frequência relativa, estão presentes nos períodos de maior sedimentação, outono seguido do inverno (figura 45).

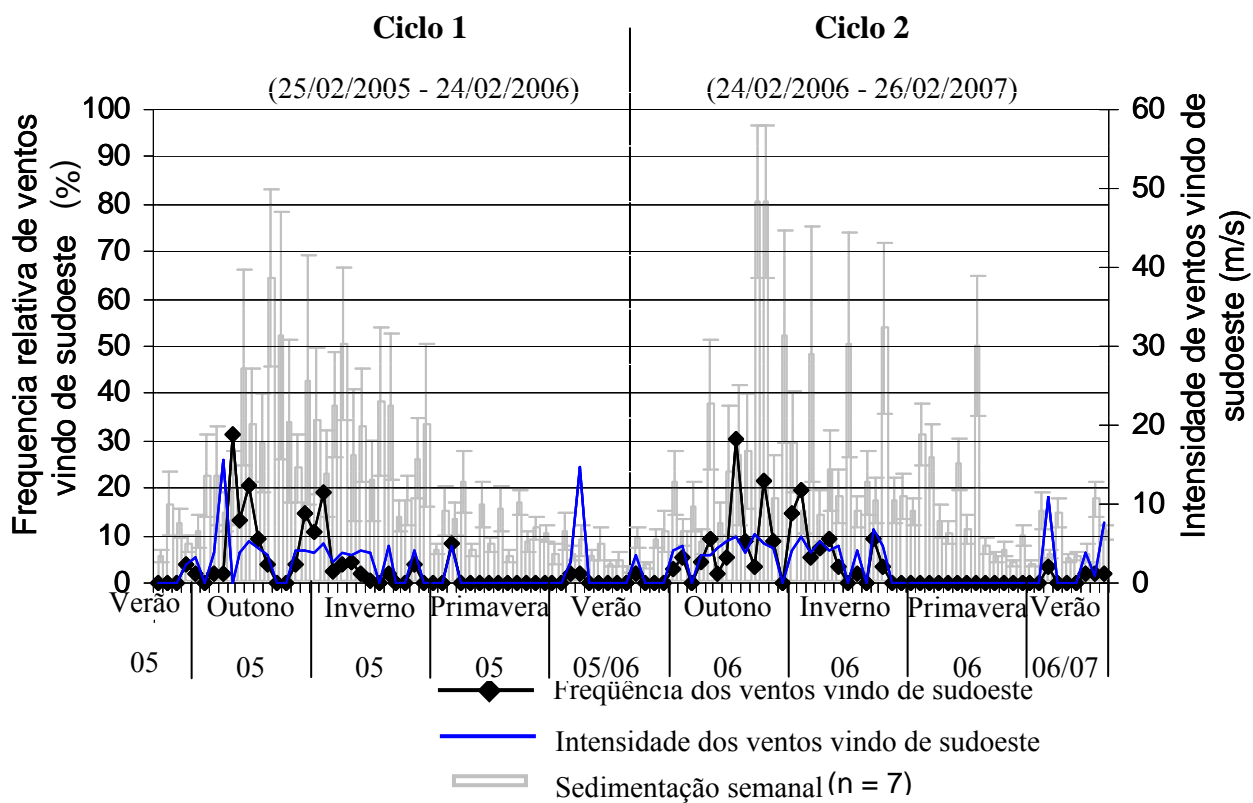


Figura 45 - Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de sudoeste durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.

Durante os períodos com menores frequências relativas de ventos vindo de leste ocorrem as maiores taxas de sedimentação, nos coletores, o inverso ocorre nos períodos com maiores frequências (figura 46).

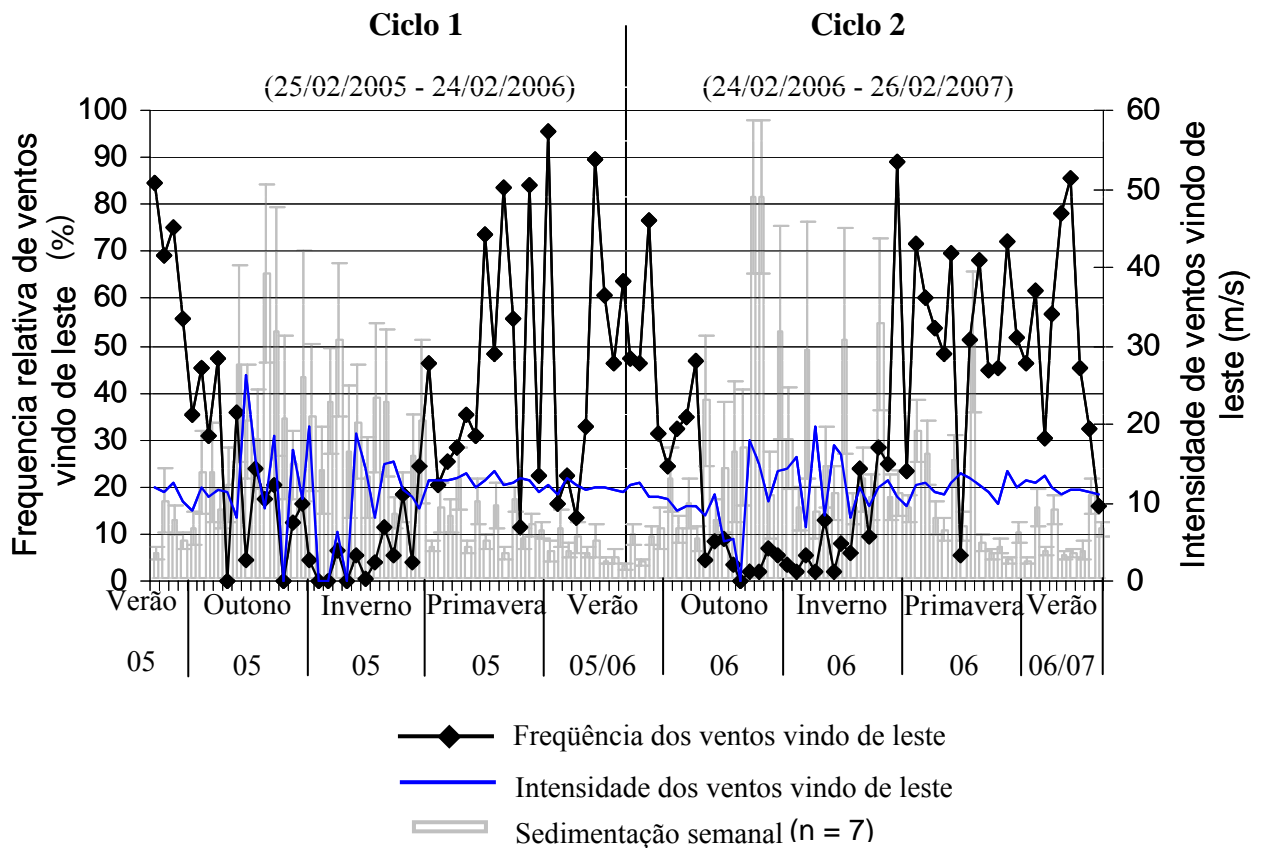


Figura 46 - Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de leste durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.

As frequências relativas dos ventos vindo de oeste (figura 47), assim como para os ventos vindo do quadrante sul, são maiores nas estações com maior sedimentação (outono e inverno).

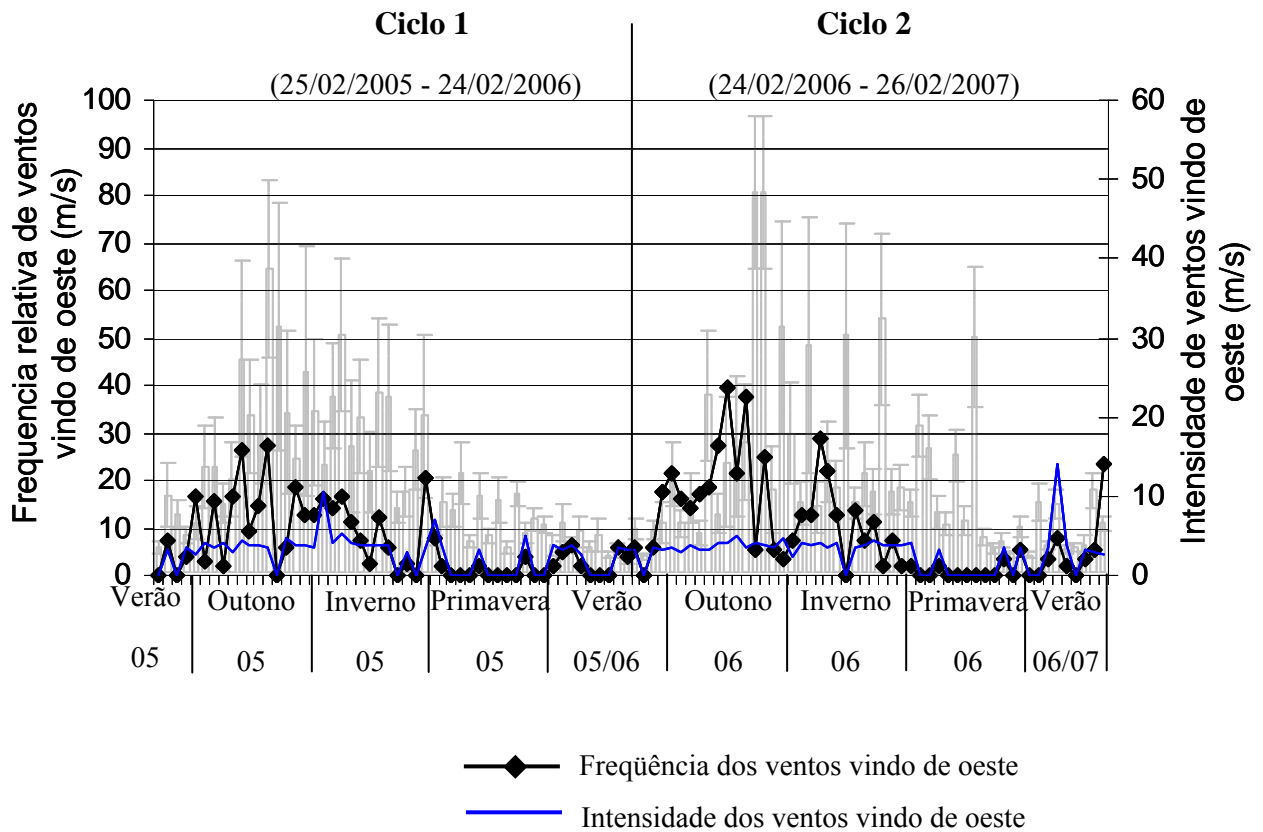


Figura 47 - Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de oeste durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.

Os ventos vindo de norte, nordeste e noroeste aparentemente não apresentam influências diretas visualmente detectáveis nos padrões de sedimentos em suspensão (figuras 48, 49 e 50).

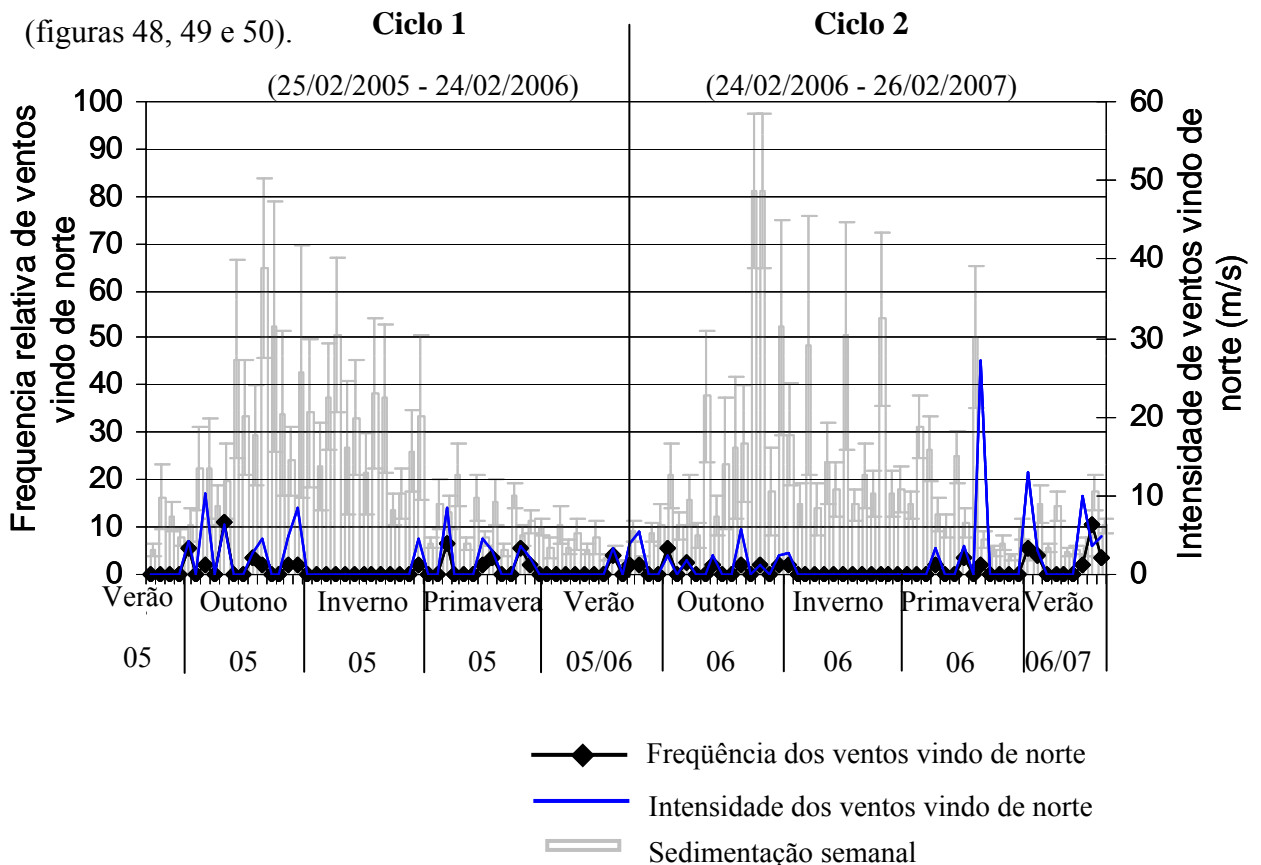


Figura 48 - Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de norte durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.

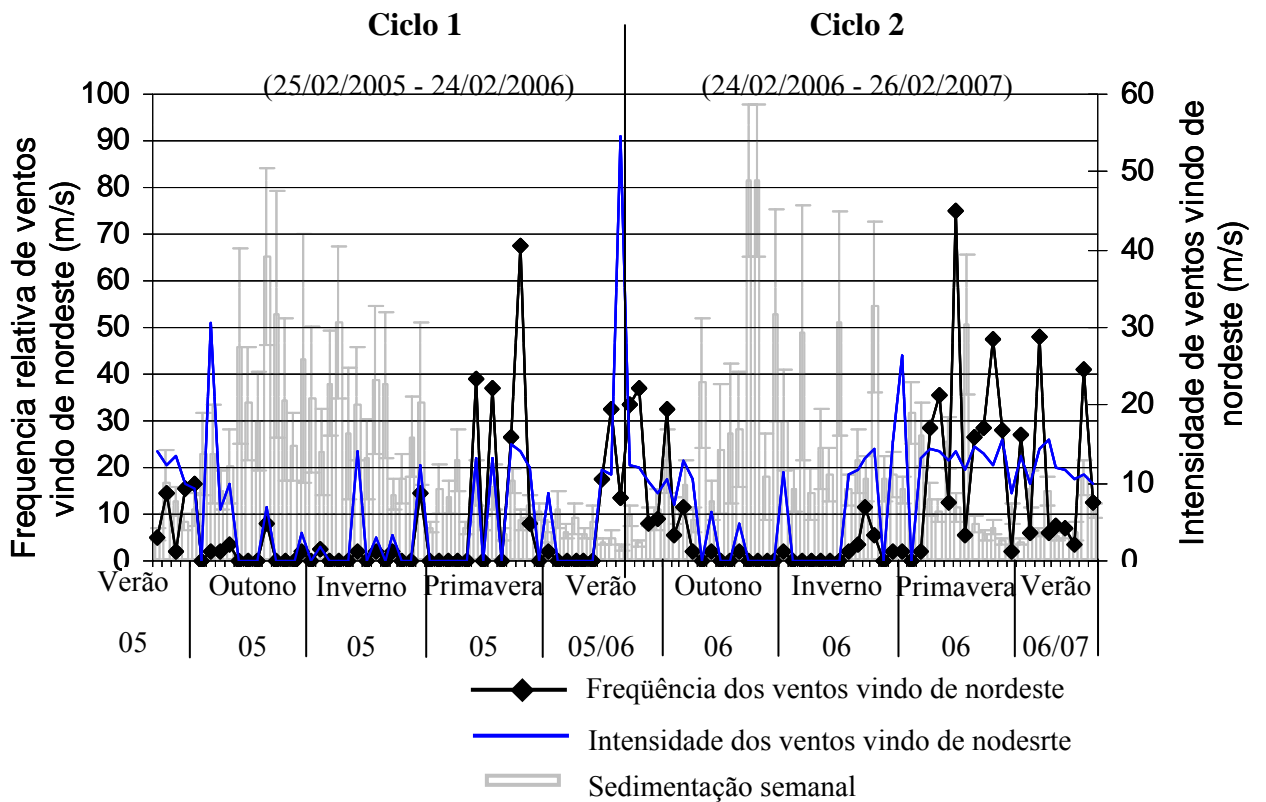


Figura 49 - Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de nordeste durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.

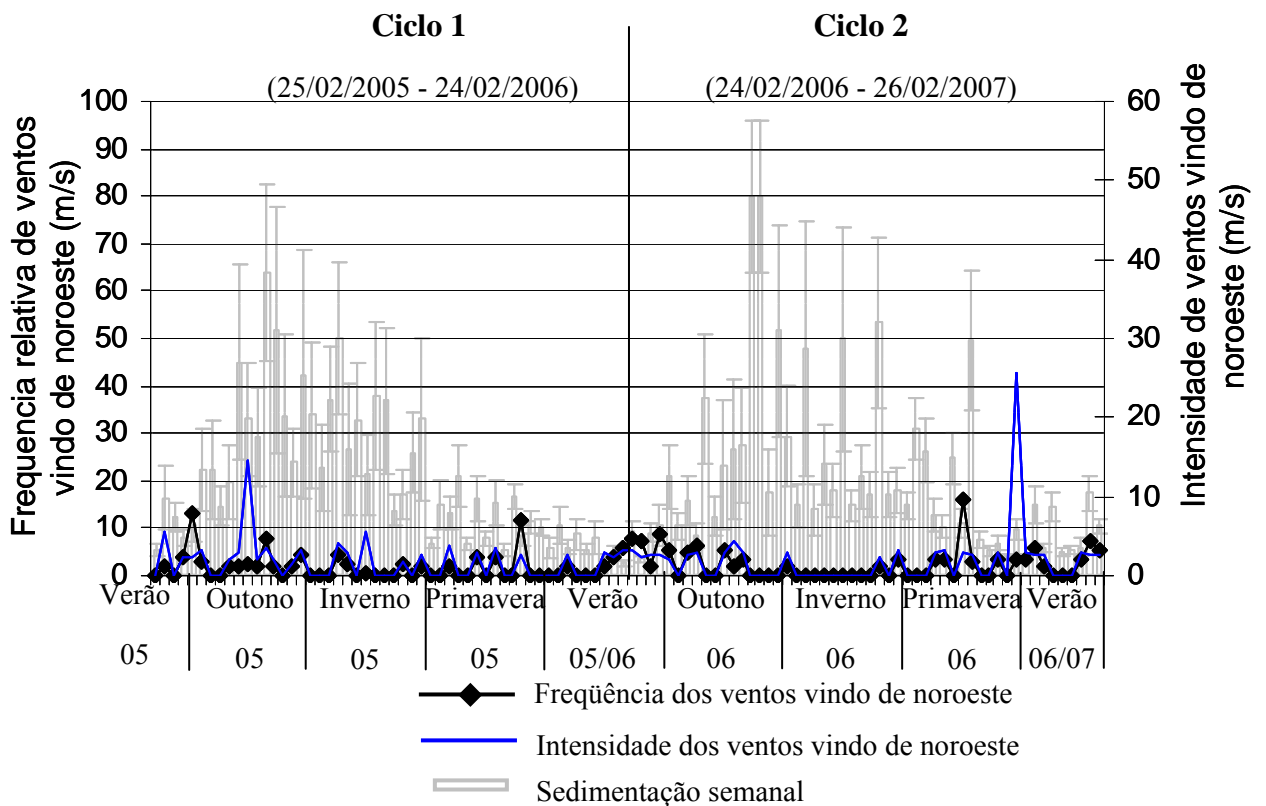


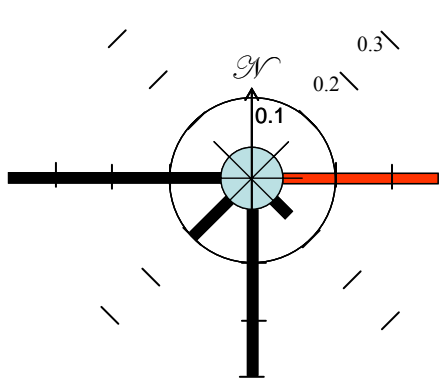
Figura 50 - Frequências relativas e intensidades semanais (m/s), dos ventos vindo de noroeste durante o período estudado. Em cinza e sem escala, a variação semanal da sedimentação.



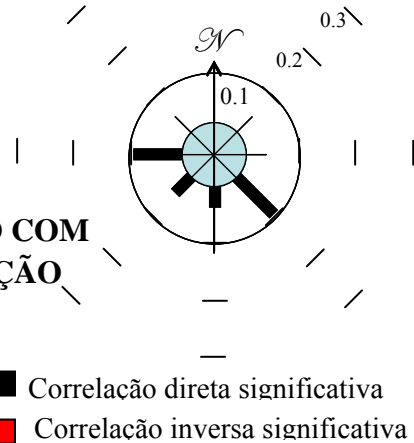
Após realizar os testes de correlação entre as variáveis de ventos (frequência relativa e intensidade média para cada octante) e a sedimentação (total, não carbonática e carbonática), observa-se as seguintes relações:

No ciclo 1 os ventos que se correlacionaram diretamente com a sedimentação (total, não carbonática, e carbonática) foram as frequências relativas e intensidades de ventos vindos de sudeste, sul, sudoeste e oeste além disto as frequências relativas de ventos vindo de leste e nordeste, quando presente, foram inversamente correlacionados (figura 51, 52 e 53).

**Correlação entre a sedimentação total e frequência relativa dos ventos vindos de cada octante**



**Correlação entre a sedimentação total e a intensidade dos ventos vindos de cada octante**

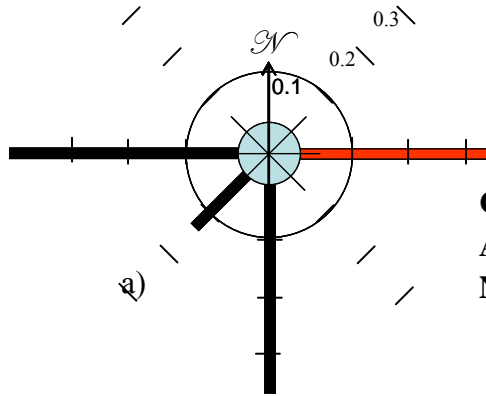


**CORRELAÇÃO COM A SEDIMENTAÇÃO TOTAL**

- Correlação direta significativa
- Correlação inversa significativa

Figura 51 - Correlação direta entre as forçantes de ventos (frequência relativa e intensidade) vindos de oeste, sudoeste, sul e sudeste e a sedimentação e correlação inversa da frequência relativa de ventos vindo de leste durante o primeiro ciclo amostral.

Correlação entre a sedimentação não carbonática e frequência relativa dos ventos vindos de cada octante



Correlação entre a sedimentação não carbonática e a intensidade dos ventos vindos de cada octante

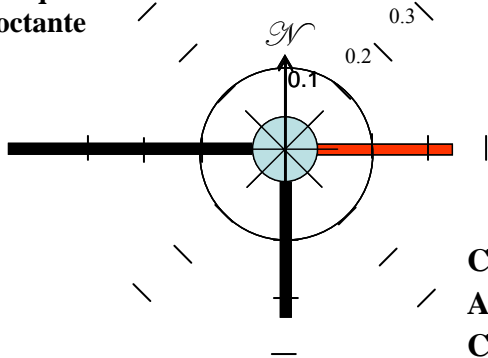


**CORRELAÇÃO COM A SEDIMENTAÇÃO NÃO CARBONÁTICA**

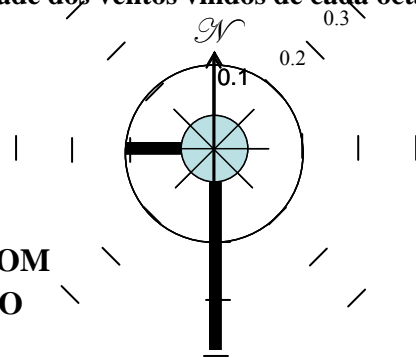
- Correlação direta significativa
- Correlação inversa significativa

Figura 52- a) Correlação direta entre a frequência relativa de ventos vindos de oeste, sul, sudoeste e a sedimentação não carbonática e correlação inversa da frequência relativa de ventos vindo de leste durante o período estudado. b) Correlação direta entre intensidade dos ventos vindo de oeste, sul e sudoeste e a sedimentação não carbonática e correlação inversa das intensidades dos ventos vindo de noroeste durante o primeiro ciclo amostral.

Correlação entre a sedimentação carbonática e frequência relativa dos ventos vindos de cada octante



Correlação entre a sedimentação carbonática e a intensidade dos ventos vindos de cada octante



**CORRELAÇÃO COM A SEDIMENTAÇÃO CARBONÁTICA**

- Correlação direta significativa
- Correlação inversa significativa

Figura 53 - a) Correlação direta entre a frequência relativa de ventos vindos de oeste e sul e a sedimentação não carbonática e correlação inversa da frequência relativa de ventos vindo de leste durante o primeiro ciclo amostral. b) Correlação direta entre intensidade dos ventos vindo de oeste e sul e a sedimentação carbonática.

No ciclo 2, assim como para o ciclo 1, os ventos que se correlacionaram diretamente com a sedimentação (total, não carbonática, e carbonática) foram as freqüências relativas e intensidades de ventos vindos de sudeste, sul, sudoeste e oeste além disto as frequências relativas de ventos vindo de leste e nordeste, quando presente, foram inversamente correlacionados (figura 54, 55 e 56).

**Correlação entre a sedimentação total e frequência relativa dos ventos vindos de cada octante**



**Correlação entre a sedimentação total e a intensidade dos ventos vindos de cada octante**



**CORRELAÇÃO COM A SEDIMENTAÇÃO TOTAL**

- Correlação direta significativa
- Correlação inversa significativa

Figura 54 - a) Correlação direta entre a frequência relativa de ventos vindos de oeste, sudoeste, sul e sudeste e a sedimentação total e correlação inversa da frequência relativa de ventos vindo de noroeste, nordeste e leste durante o segundo ciclo amostral. b) Correlação direta entre intensidade dos ventos vindo de sul e sudeste e a sedimentação total e correlação inversa das intensidades dos ventos vindo de nordeste durante o segundo ciclo amostral.

**Correlação entre a sedimentação não carbonática e frequência relativa dos ventos vindos de cada octante**

**Correlação entre a sedimentação não carbonática e a intensidade dos ventos vindos de cada octante**

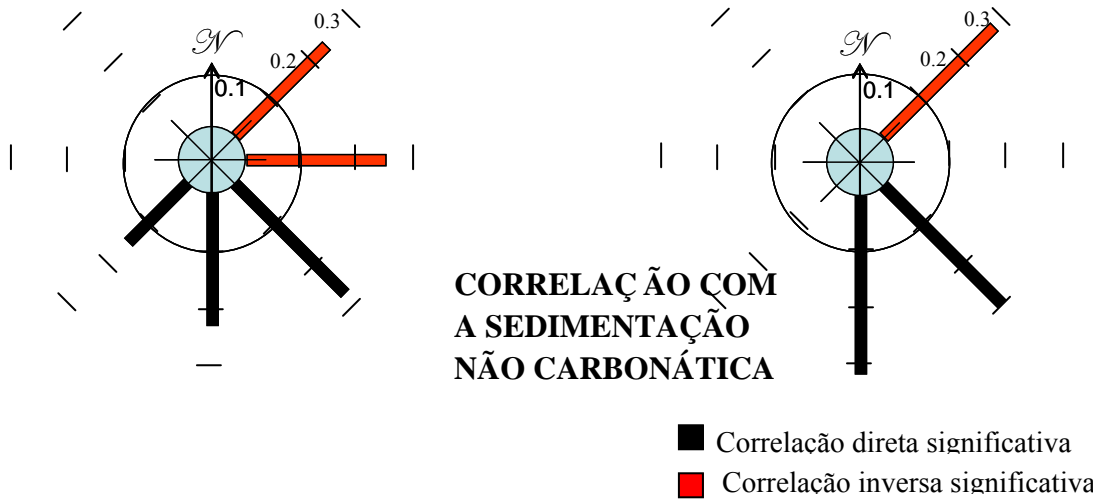


Figura 55 - a) Correlação direta entre a frequência relativa de ventos vindos de sudoeste, sul e sudeste e a sedimentação não carbonática e correlação inversa da frequência relativa de ventos vindo de nordeste e leste durante o segundo ciclo amostral. b) Correlação direta entre intensidade dos ventos vindo de sul e sudeste e a sedimentação não carbonática e correlação inversa das intensidades dos ventos vindo de nordeste durante o segundo ciclo amostral.

**Correlação entre a sedimentação carbonática e frequência relativa dos ventos vindos de cada octante**

**Correlação entre a sedimentação carbonática e a intensidade dos ventos vindos de cada octante**

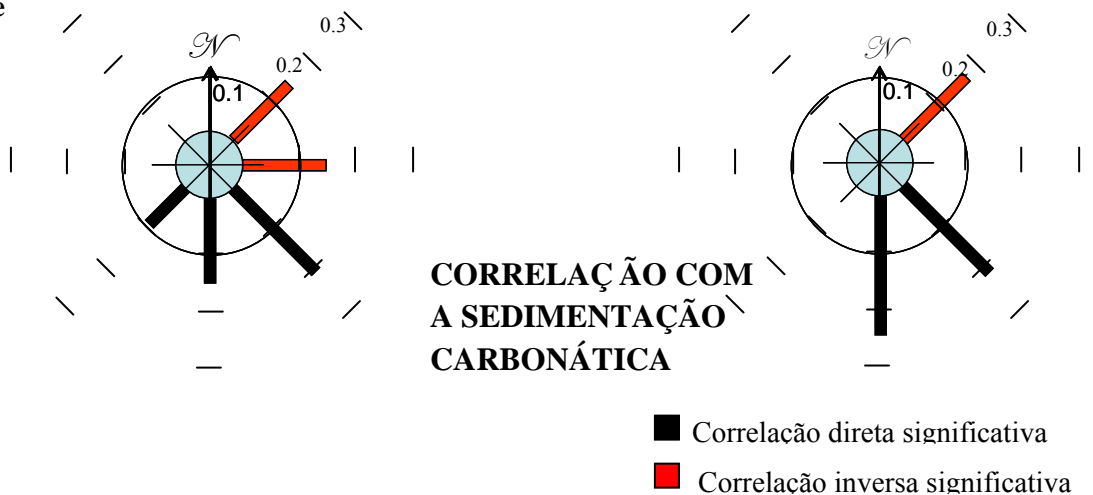


Figura 56 - a) Correlação direta entre a frequência relativa de ventos vindos de sudoeste, sudoeste, sul e sudeste e a sedimentação carbonática e correlação inversa da frequência relativa de ventos vindo de nordeste e leste durante o segundo ciclo amostral. b) Correlação direta entre intensidade dos ventos vindo de sul e sudeste e a sedimentação carbonática e correlação inversa das intensidades dos ventos vindo de nordeste durante o segundo ciclo amostral.

A correlação direta significativa entre a sedimentação e as forçantes de ventos (frequência relativa e intensidade) vindos de sudeste, sul, sudoeste e oeste podem indicar: aumento da energia hidrodinâmica ocasionando ressuspensão, colinearidade com outros parâmetros oceanográficos como aumento na altura de ondas ou direcionamento de plumas de rios localizadas a sul da área de estudo.

Para complementar o processo investigativo sobre dinâmica de sedimentos em suspensão, na Área fechada de Tamandaré, a partir de um referencial espacial de maior amplitude, foi realizado o monitoramento qualitativo através de análises de imagens geradas por sensores remotos orbitais.

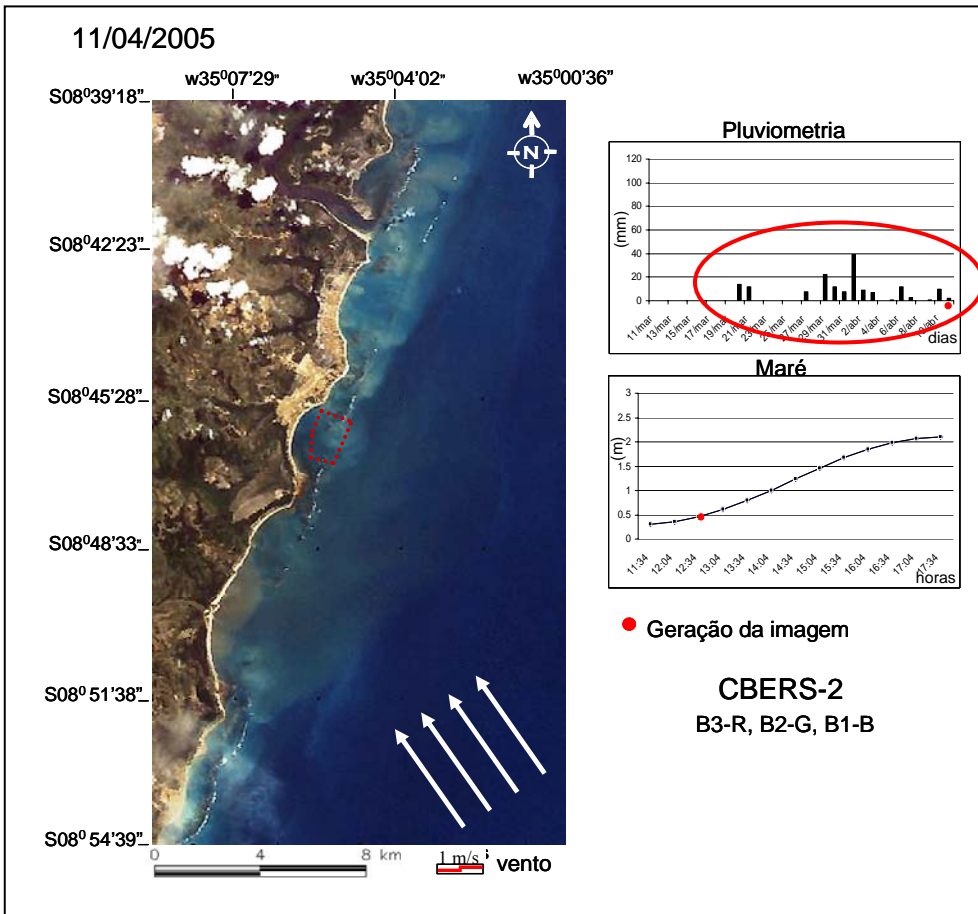
Após uma análise visual das cartas geradas a partir dessas imagens (anexo 3) alguns fatos podem ser visivelmente constatados, considerando a ordem cronológica dos eventos:

1-A bacia hidrográfica de maior influência no aporte de material terrígeno e consequentemente na qualidade das águas da Área fechada de Tamandaré é a bacia hidrográfica do rio Una localizada ao sul da área de estudo.

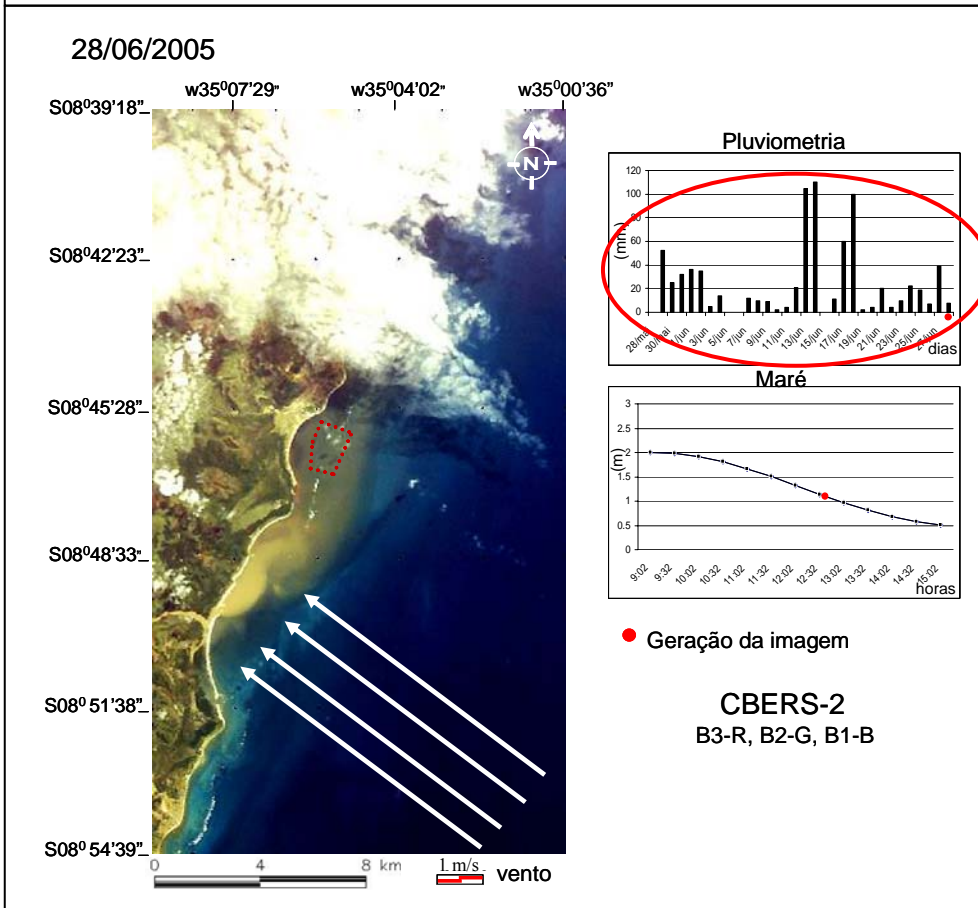
2-Esta relação é visível nas imagens analisadas e se mostra tanto mais intensa quanto maior a pluviosidade.

A seqüência abaixo (Figura 57) ilustra o exposto:

Figura 57 - Sequência de imagens ilustrando a influencia da bacia hidrográfica do rio Una na baía de Tamandaré.

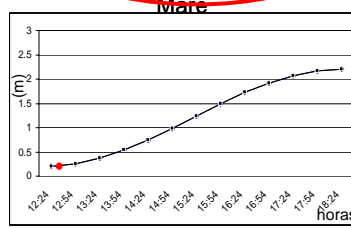
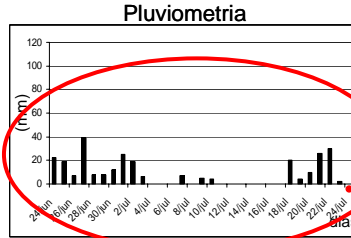
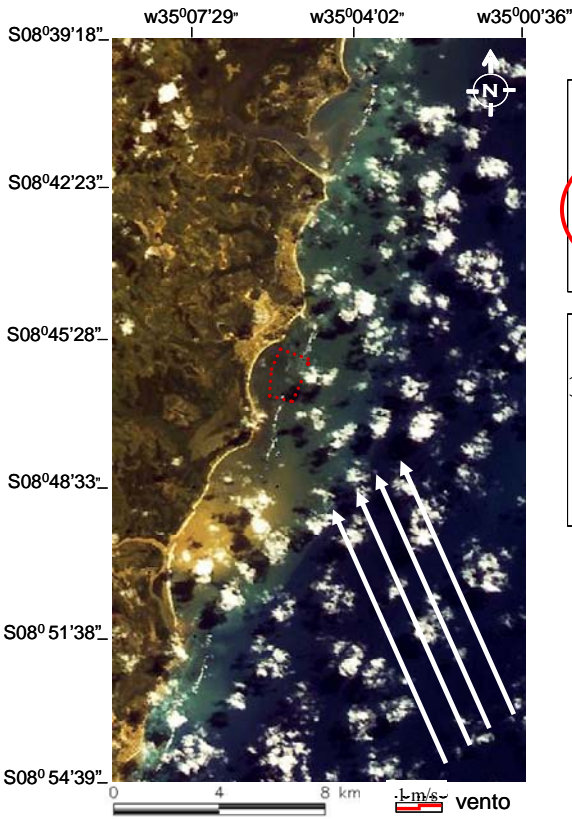


Baixa pluviosidade gera uma pluma com baixa resposta espectral.



Pluviosidade constantemente alta gera uma pluma com alta resposta espectral.

24/07/2005

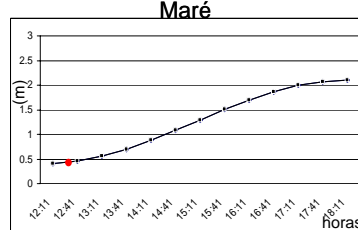
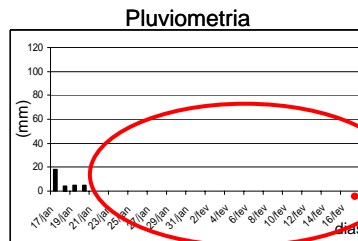
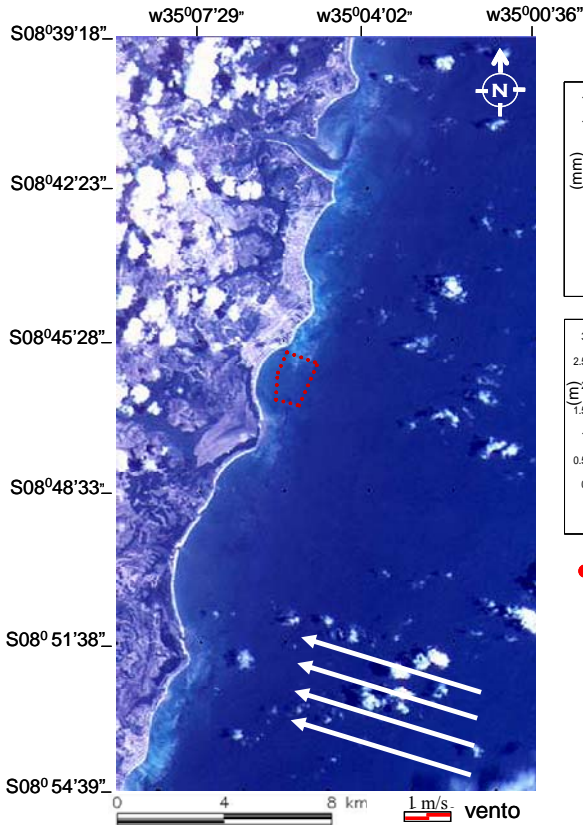


● Geração da imagem

CBERS-2  
B3-R, B2-G, B1-B

Pluviosidade média gera uma pluma com resposta espectral intermediária.

17/02/2006



● Geração da imagem

CBERS-2  
B3-R, B2-G, B1-B

Com a ausência de chuvas não se visualiza pluma significativamente distinguível.



3-Os ventos aparecem como o fator predominante no direcionamento da pluma do rio Una, como se evidencia na sequência abaixo (Figura 58):

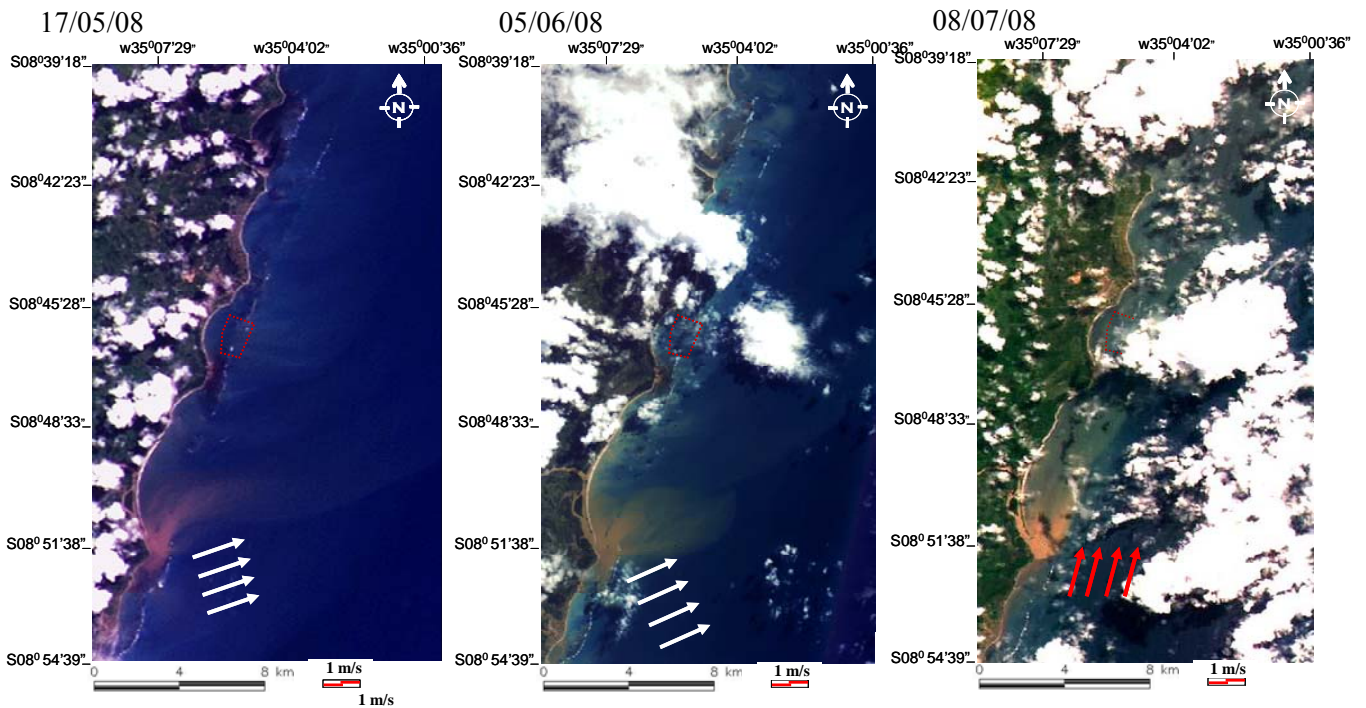


Figura 58 – Direcionamento da pluma pelos ventos.

4-A pluma do rio Una atinge a baía de Tamandaré com maior intensidade quando os ventos incidem de sul e sudeste (predominantes na estação chuvosa) (Figura 59).

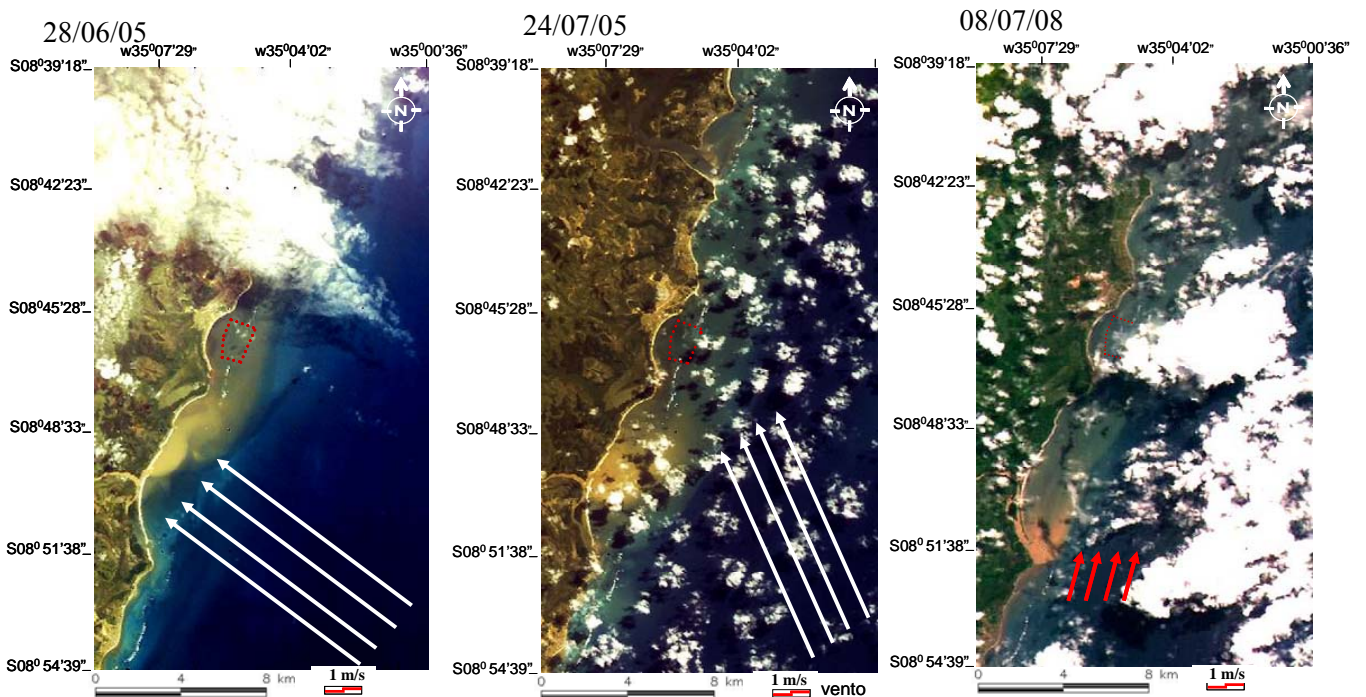


Figura 59 - Plumias com maiores intensidades atingindo os recifes de Tamandaré, sendo direcionadas por ventos vindo de sul e sudeste.



Para melhorar a capacidade interpretativa dos eventos relacionados ao aporte da pluma do rio Una na Área Fechada de Tamandaré, foi realizada uma análise estatística de similaridade utilizando, para isto, o índice de similaridade de Bray-Curtis. Esta iniciativa permitiu visualizar os efeitos das variáveis pluviometria, intensidade de ondas e sedimentação referente a semana na qual a imagem estava inserida, nas respostas espectrais das imagens, aumentando assim a capacidade interpretativa destes fenômenos, o que talvez fosse dificultado com observações individuais.

As imagens escolhidas para esta análise foram as inseridas nos dois primeiros ciclos amostrais, pois neste período, além dos valores de sedimentação, ondas, pluviometria e marés, tem-se os quantitativos de vetos da estação de Ipojuca.

A análise resultou em 2 agrupamentos principais (figura 60) com características visivelmente identificáveis.

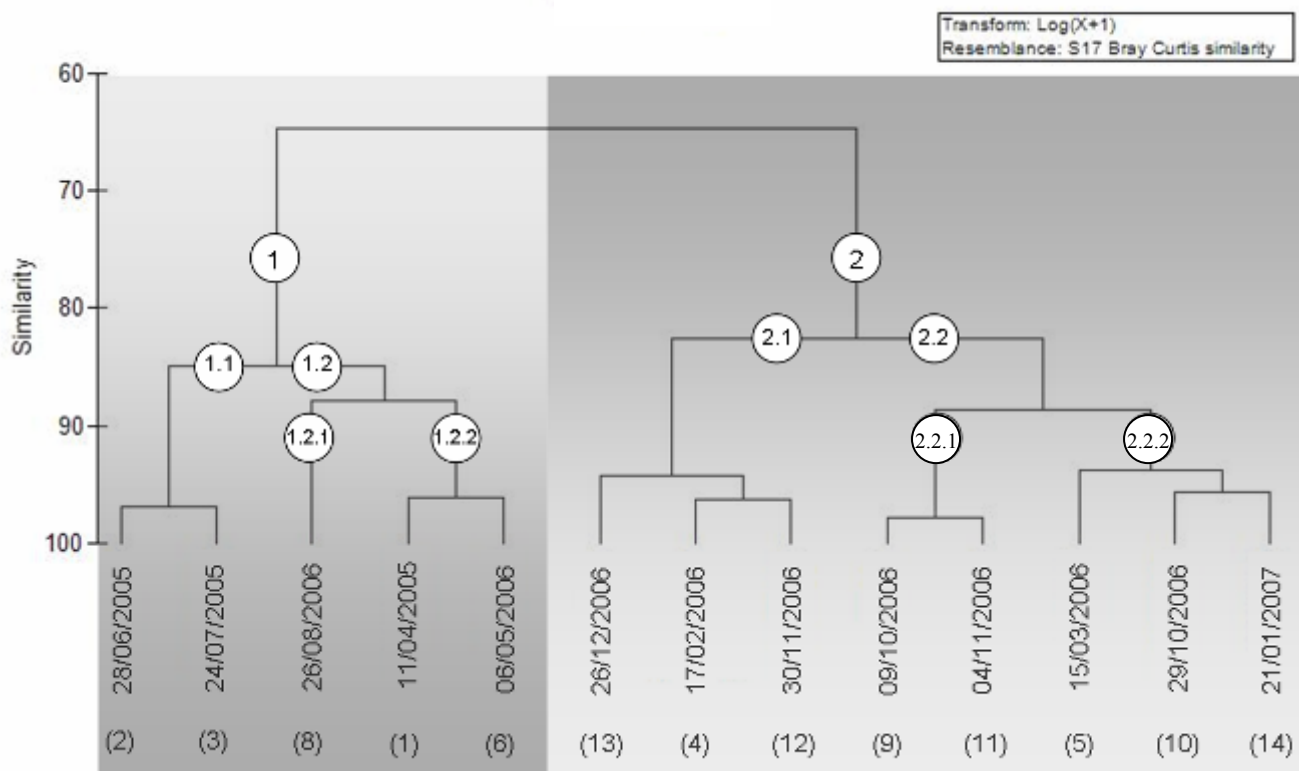


Figura 60 - Dendrograma feito a partir da análise de similaridade utilizando o índice de Bray Curtis. As datas são referentes a imagens de satélites, as variáveis utilizadas para análise foram: acumulado pluviométrico dos 5 dias anteriores à geração de cada imagem, média de intensidade de ondas no dia de geração de cada imagem, e media de sedimentação por coletor na semana na qual a imagem estava inserida. Os números abaixo das datas são referentes a ordem das imagens no anexo 3.

A principal característica distinguível nas imagens do agrupamento 1, foi por apresentar a pluma do rio Una visualmente identificável. Isto se deu por este grupo conter índices pluviométricos diferentes de zero (figura 61).

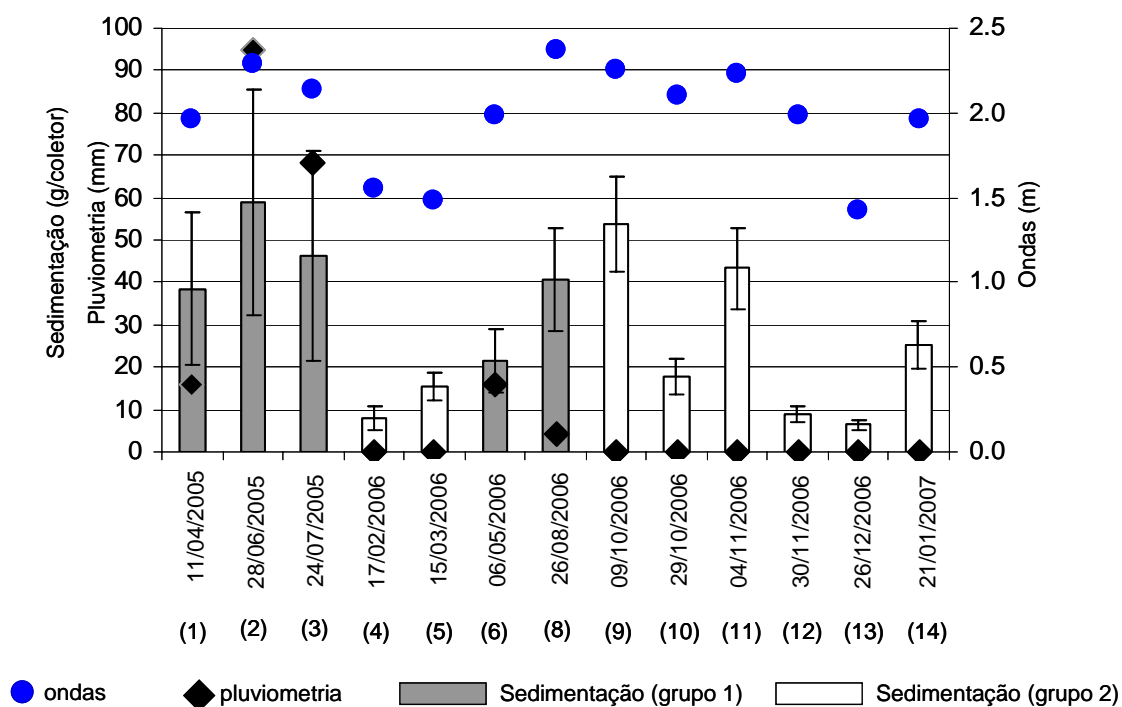


Figura 61 - Sedimentação semanal, acumulado pluviométrico e altura de ondas representativas de cada imagem.

Este grupo se dividiu em grupamento 1.1 e 1.2. O grupo 1.1 foi formado pelas condições ambientais vigentes na data de geração das imagens 2 e 3 de 28/04/2005 e 24/07/2005 respectivamente. Neste grupo constata-se que os altos índices pluviométricos e as altas intensidades de ondas geram as altas cargas de sedimentos na coluna de água (figura 62).

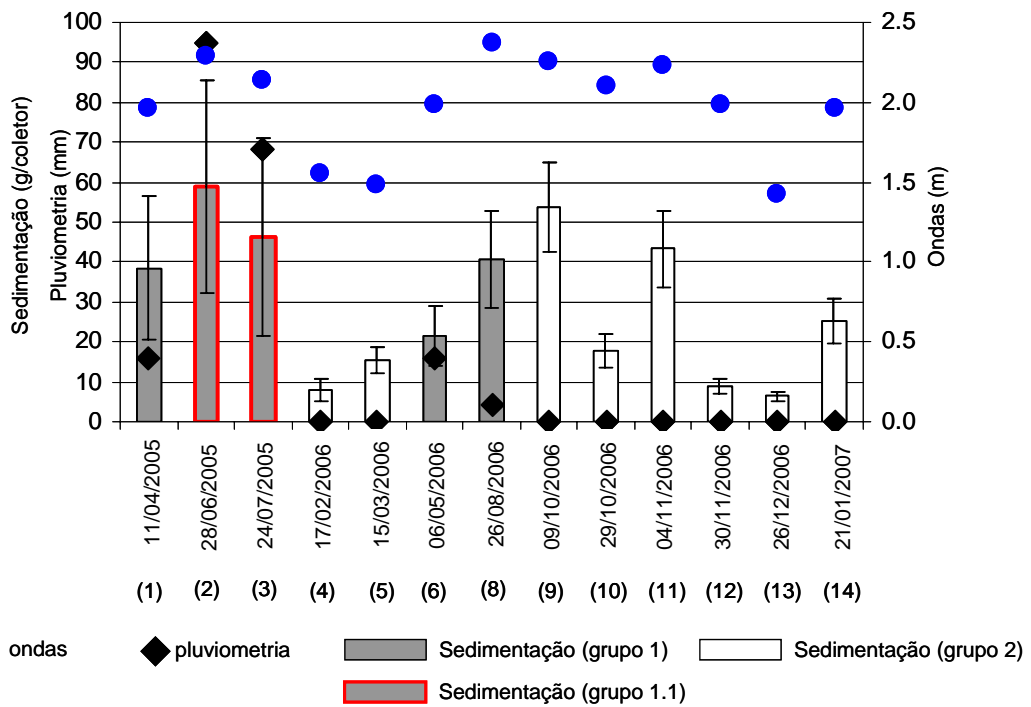


Figura 62 - Variáveis do agrupamento 1.1. Condições de altas pluviosidades e alturas de ondas incidentes, geram altas cargas de sedimentos em suspensão.

As duas imagens representantes deste grupo mostram claramente a pluma do rio Una sendo direcionada por ventos vindos de sudeste, atingindo assim, a Área Fechada de Tamandaré (figura 63).

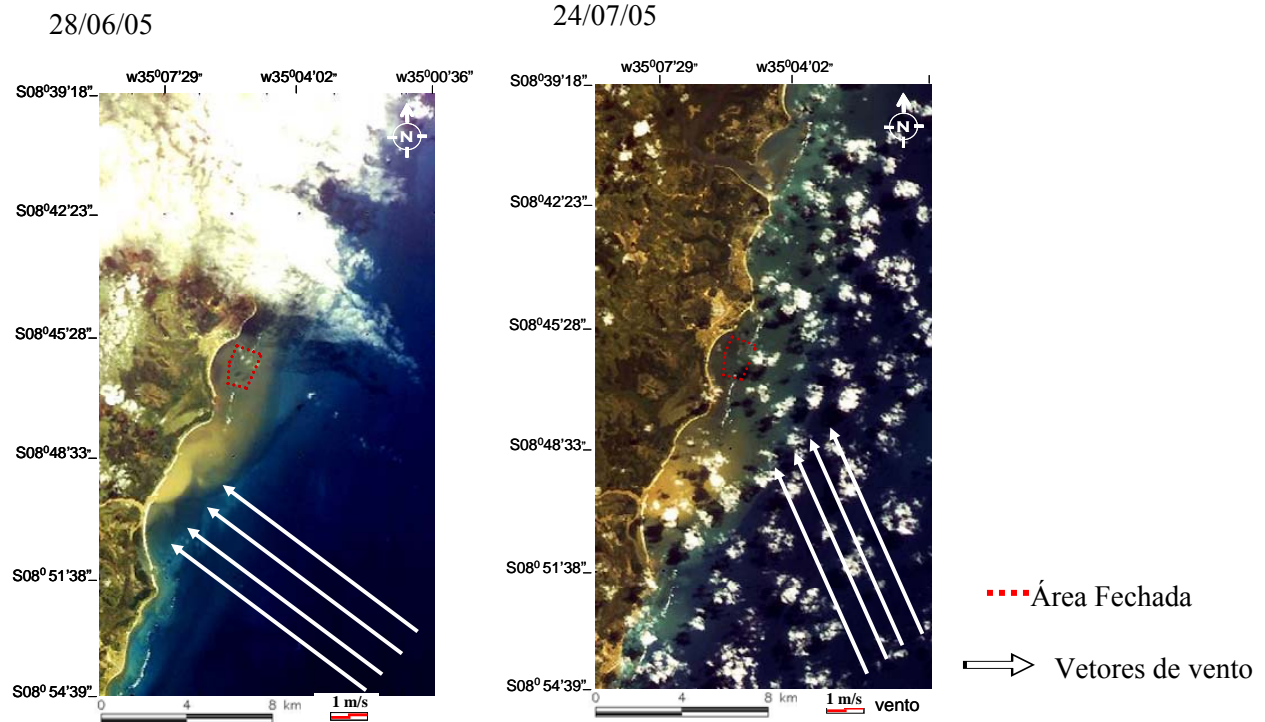


Figura 63 - Imagens do agrupamento 1.1. Condições de altas pluviosidades e alturas de ondas incidentes, geram altas cargas de sedimentos em suspensão. Nas imagens fica evidente a pluma do rio Una atingindo a Área Fechada de Tamandaré.

O agrupamento 1.2 foi formado sob condições de chuvas menos intensas se comparados ao 1.1. Sua subdivisão nos grupos 1.2.1 e 1.2.2 deve-se ao fato de que no subgrupo 1.2.1 (26/08/2006) houve aumento na altura das ondas e diminuição na pluviometria (figura 64).

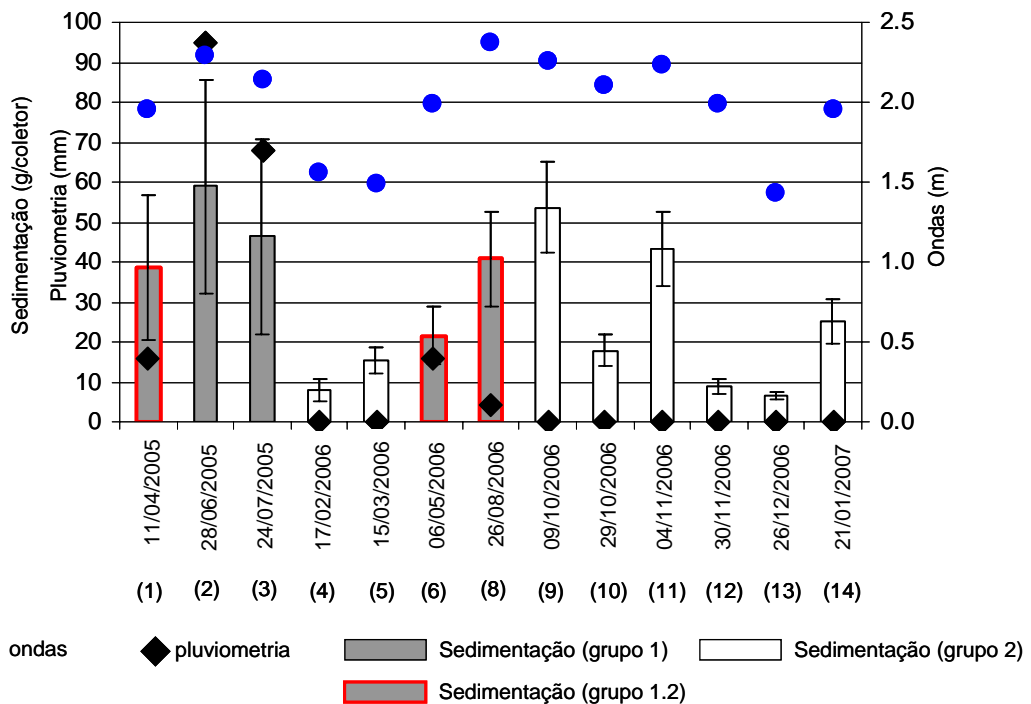


Figura 64 – Variáveis do agrupamento 1.2. Condições de baixas pluviosidades e alturas de ondas incidentes altas.

Nas imagens do grupamento 1.2 ver-se uma pluma de baixa resposta espectral saindo da foz do rio Una em direção à Tamandaré (figura 65). Na imagem do subgrupamento 1.2.1 de 26/08/2006, nota-se além da pluma do rio Una, uma região com maior resposta espectral (azul mais claro) a leste dos recifes provavelmente fruto da ressuspensão ocasionadas pela maior incidência de ondas nesta data (figura 65).

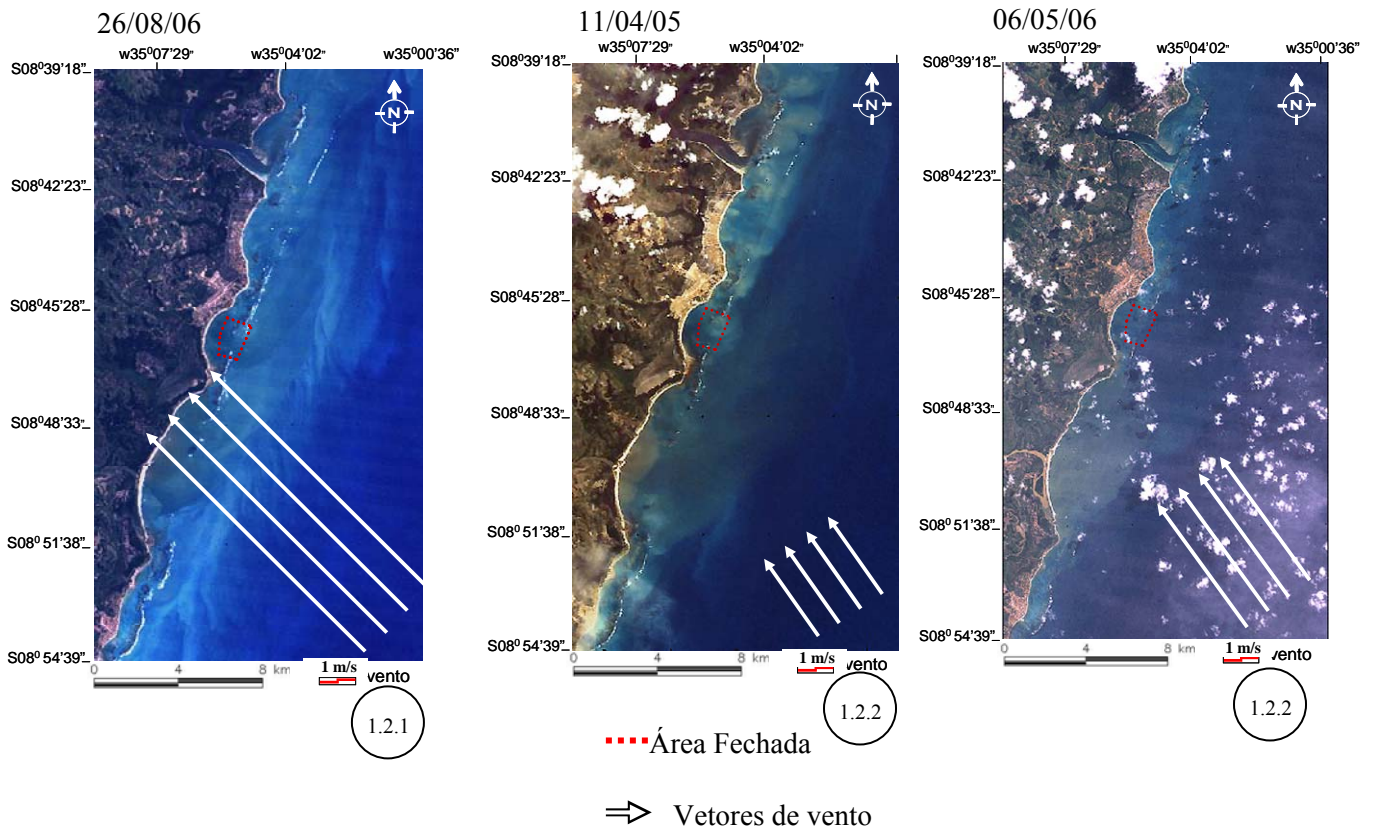


Figura 65 – Imagens geradas nas condições climatológicas do agrupamento 1.2. Condições de baixas pluviosidades e alturas de ondas incidentes altas.

O grupamento 2 foi caracterizado por ausência de pluviometria, suas subdivisões estão relacionadas a diferença nas alturas de ondas e na sedimentação induzidas por estas.

O grupamento 2.1 tem como característica as mais baixas taxas de sedimentação e de baixas a médias alturas de ondas (figura 66).



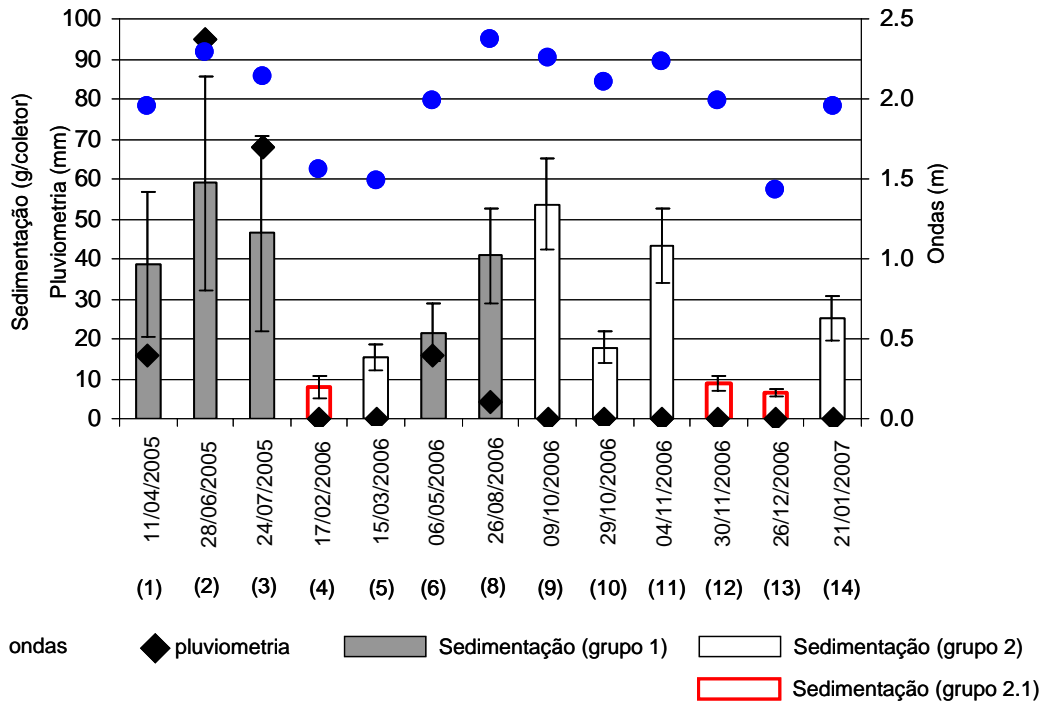


Figura 66 – Variáveis do agrupamento 2.1. Ausência de pluviometria, baixas taxas de sedimentação e alturas de ondas médias a baixas.

As imagens referentes a este agrupamento não apresentam plumas de rios nem indicativos de ressuspensão (figura 67).

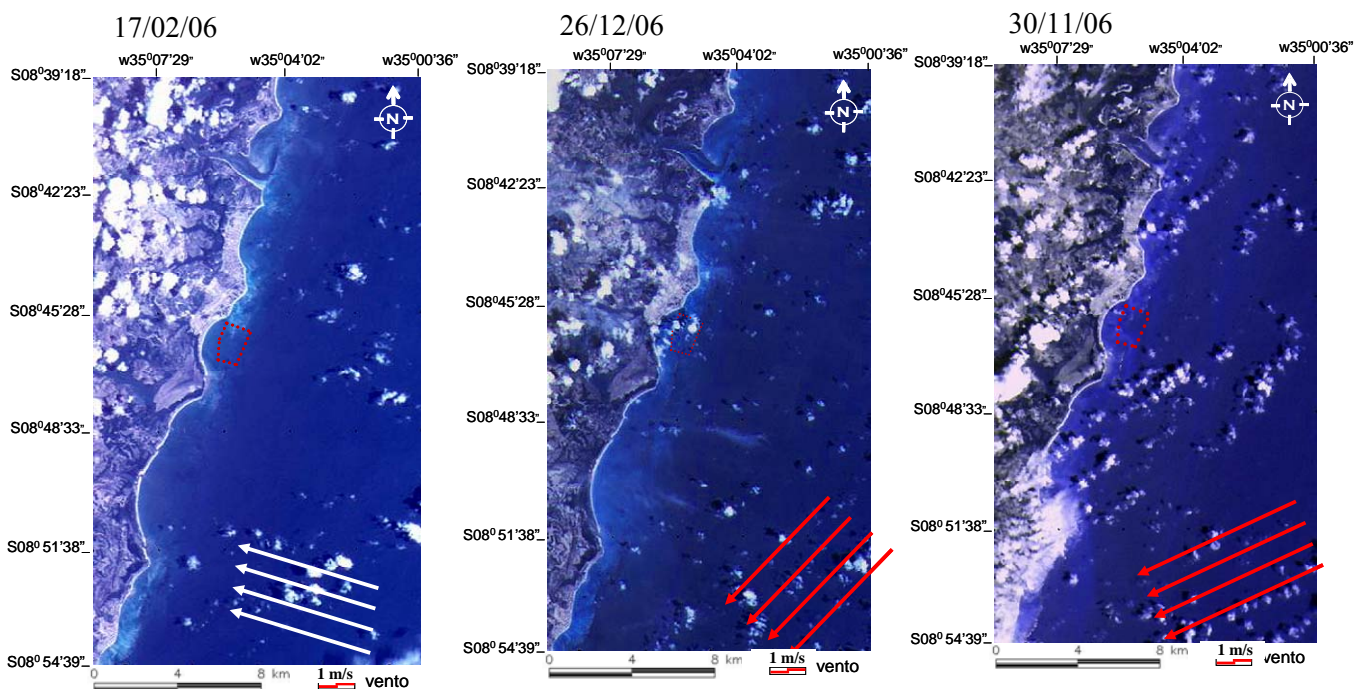


Figura 67 – Imagens do agrupamento 2.1. Ausência de pluviometria, baixas taxas de sedimentação e alturas de ondas médias a baixas geram imagens com ausência de plumas e sem indício de ressuspensão.

O subagrupamento 2.2.1 foi caracterizado por apresentar taxas de sedimentação nos coletores alta, ausência de pluviometria e ondas com alturas elevadas (figura 68).

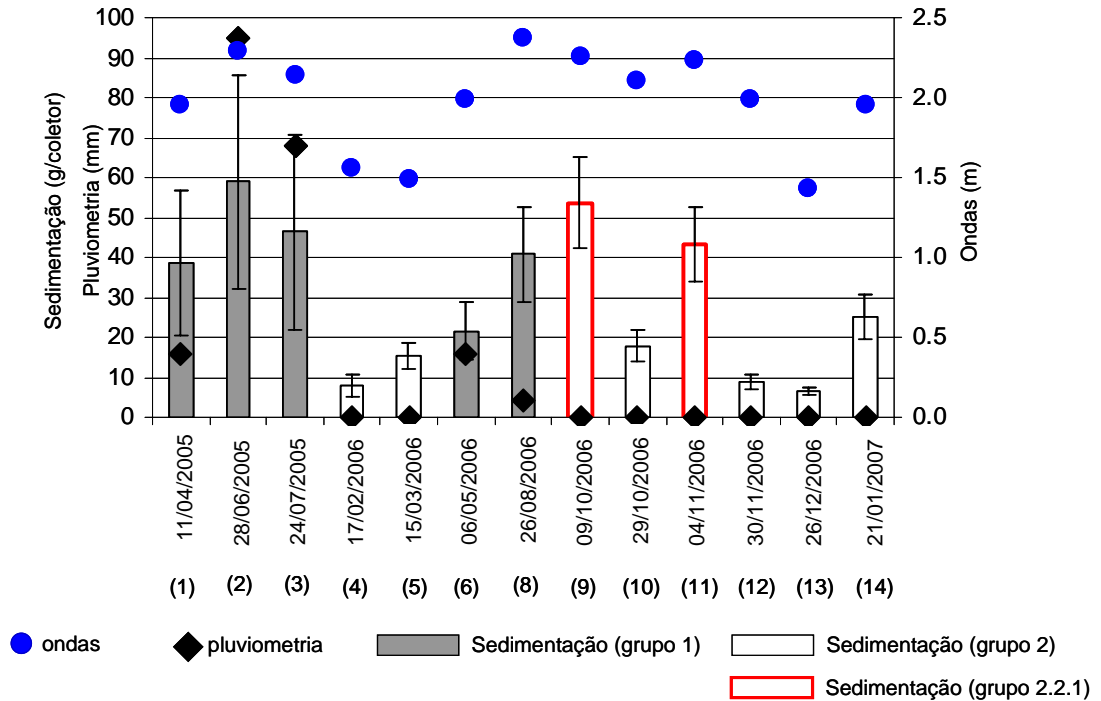


Figura 68 - Variáveis do agrupamento 2.2.1. Ausência de pluviometria, altas taxas de sedimentação e ondas com alturas elevadas.

As ondas com alturas elevadas ressuspendem os sedimentos carbonáticos que podem ser visualizados ao largo da costa em azul claro nas imagens 9 e 11 de 09/10/2006 e 04/11/2006 respectivamente (figura 69).

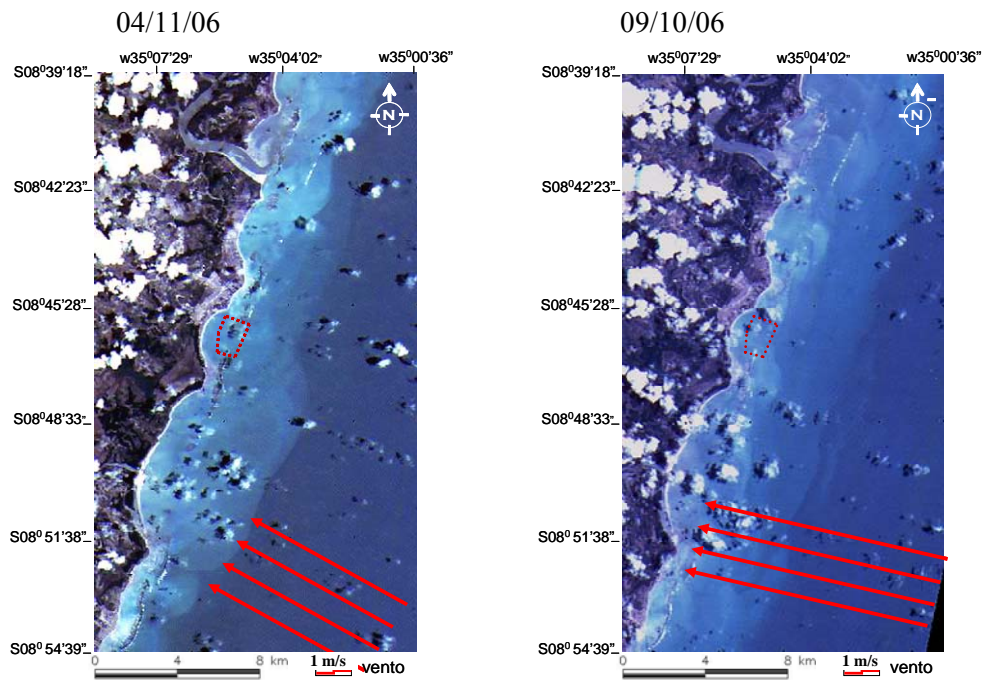


Figura 69 - Imagens do agrupamento 2.2.1. Ausência de pluviometria, e altas ondas gerando ressuspensão que pode ser visualizada em azul claro paralelo à costa.

O subagrupamento 2.2.2 se caracteriza por ausência de pluviosidade, sedimentação média e altura de ondas variando de baixa a média (figura 70).

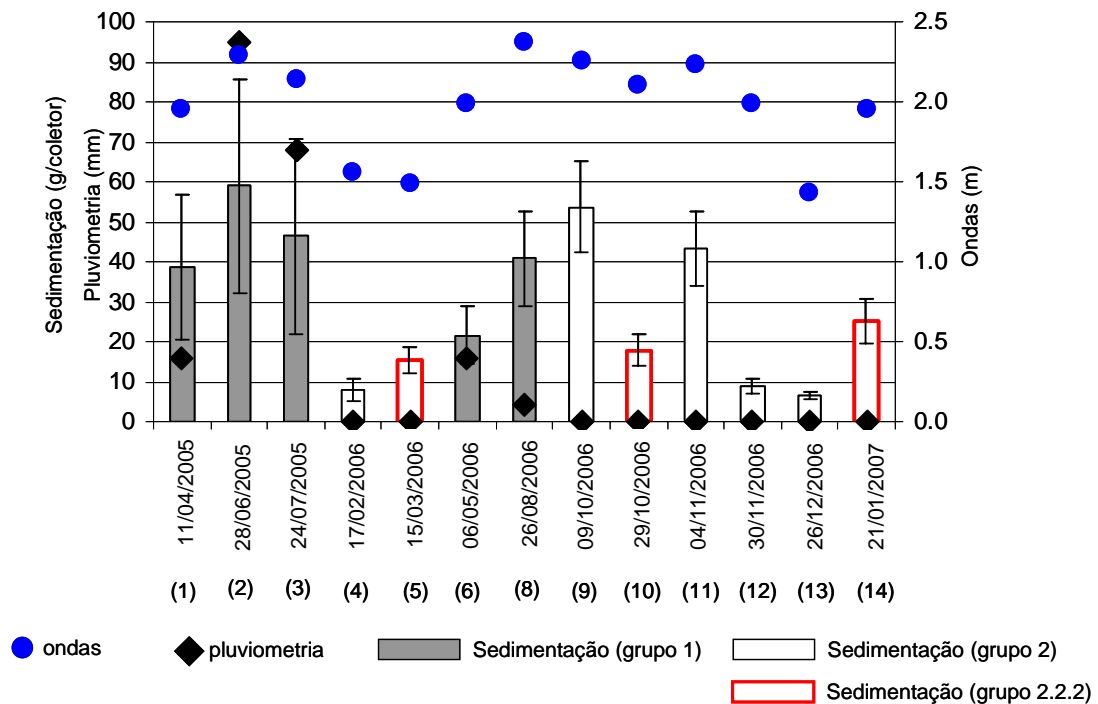


Figura 70 - Variáveis do agrupamento 2.2.2. Ausência de pluviometria, médias taxas de sedimentação e ondas com alturas variando de baixas a intermediárias.



Nestas condições as imagens referentes a este subagrupamento se apresentam com variações que vão desde ausência de ressuspensão na imagem de 15/03/2006 a leve ressuspensão como nas imagens de 21/01/2007 e 29/10/2006 (figura 71).

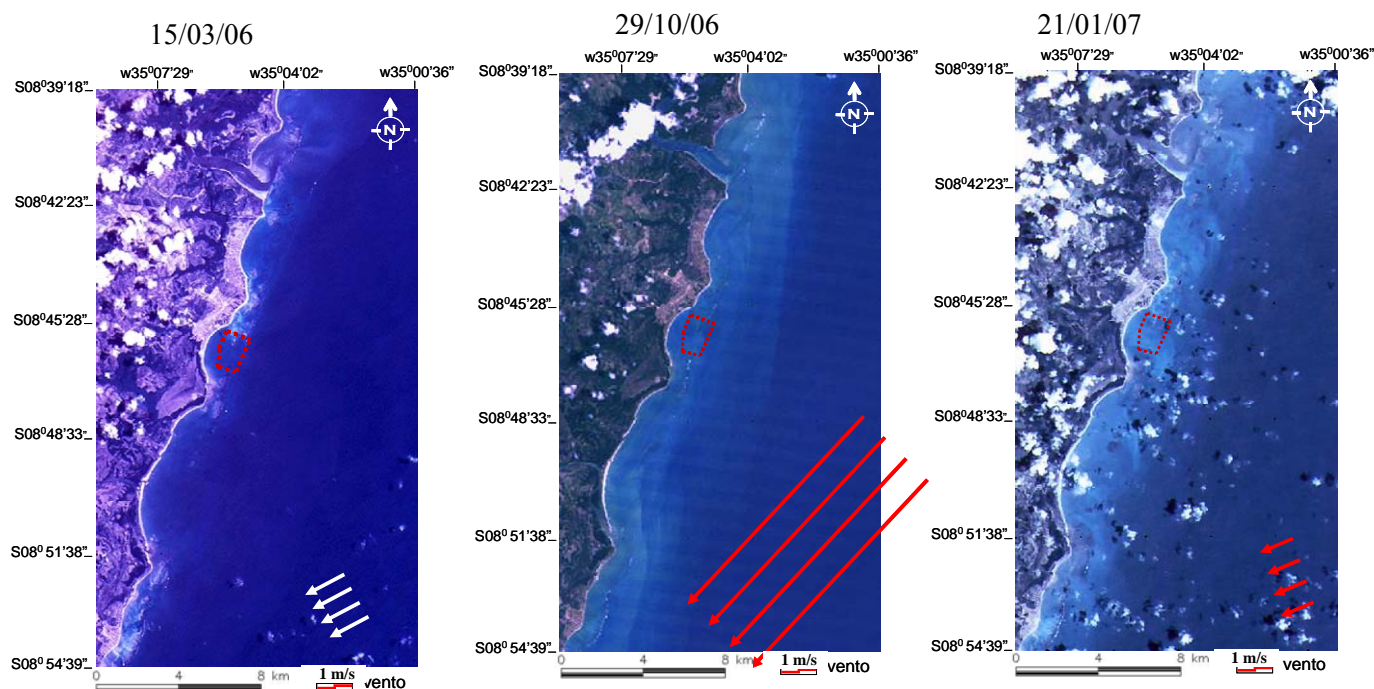


Figura 71 – Imagens do agrupamento 2.2.2. Ausência de pluviometria, sedimentação média e altura de ondas variando de baixa a média gerando diferentes respostas espectrais sugerindo diferentes níveis de ressuspensão.

As análises das imagens geradas por sensores orbitais permitiram concluir que as características mais severas quanto ao aporte de sedimentos de origem continental a Área Fechada de Tamandaré se dá durante a estação chuvosa com ventos vindo de sul e sudeste. Nestas condições as águas oriundas da drenagem da bacia hidrográfica do rio Una aportam na baía de Tamandaré.

Apesar da alta intensidade da pluma gerada pela alta pluviosidade, esta chega com menor intensidade à Área Fechada se comparados os anos de 2005 e 2008. Isto deve-se ao fato de que, em 2008, a foz do rio Una está deslocada cerca de 3,5 km para sul, havendo maior dispersão de sua pluma durante sua trajetória.

A influência desta variável é claramente visível ao compararem-se as respostas espectrais, das águas na Área Fechada, nas duas imagens a seguir (Figura 72).

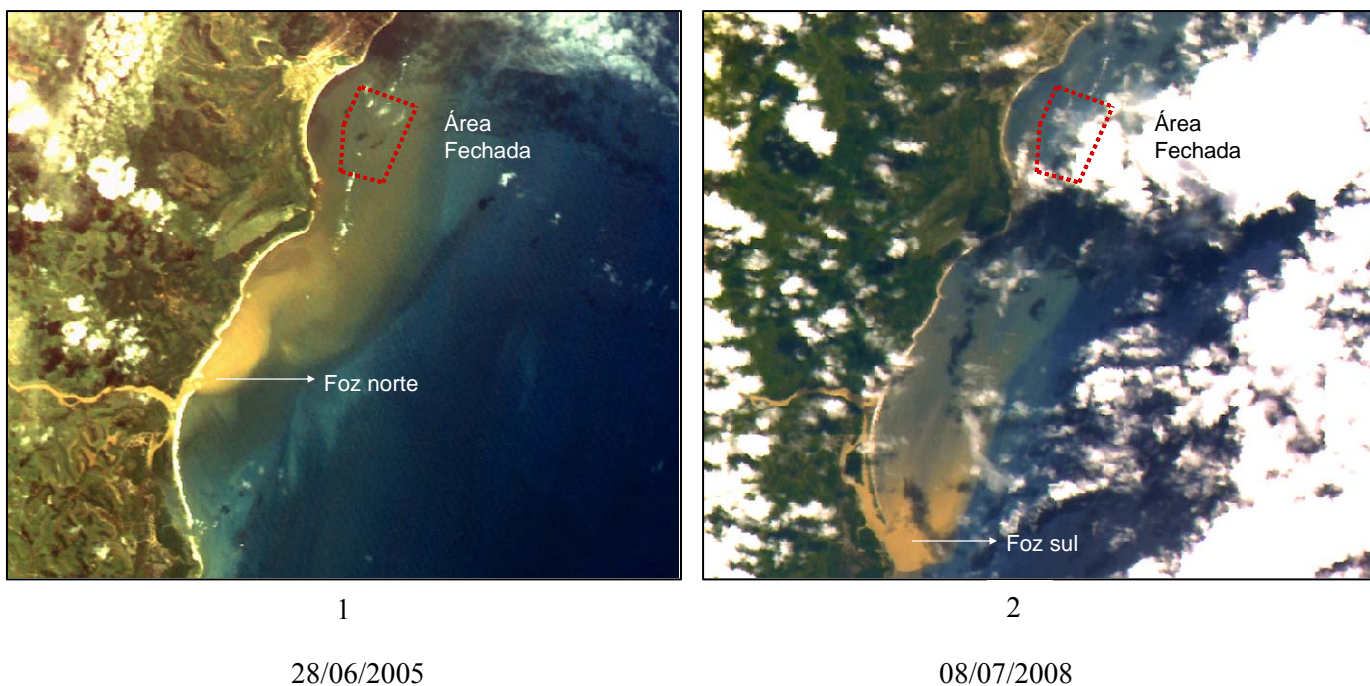


Figura 72 - Diferença na intensidade com que a pluma do rio Una atinge a Área Fechada de Tamandaré com sua foz mais ao norte (1), e sua foz mais ao sul (2).

Com isso, a migração da foz do rio Una constitui um dos principais parâmetros responsáveis por variações na intensidade do aporte de material terrígeno na Área Fechada de Tamandaré ao longo dos anos.

Com base nesta relação e a partir das imagens dispostas em seqüência cronológica (Anexo 4), observa-se a migração da foz do rio Una ao longo dos últimos 31 anos (1977-2008).

Durante os trinta e um anos analisados, de 1977 a 2008 (Anexos 4) a dinâmica de migração da foz do Una pode ser subdividida em três períodos (Figura 73), sendo o rompimento do *spit* o marco inicial de cada um deles: de 1977 a 1989; de 1989 a 2000; e de 2000 a 2008.

Segundo os moradores ribeirinhos mais antigos, a abertura da foz perpendicular ao *spit*, seguindo o fluxo do rio é cíclica, e promovida antropicamente por gerações.

Segundo eles esta intervenção ameniza as conseqüências das cheias no município de Barreiros localizado a montante deste estuário.

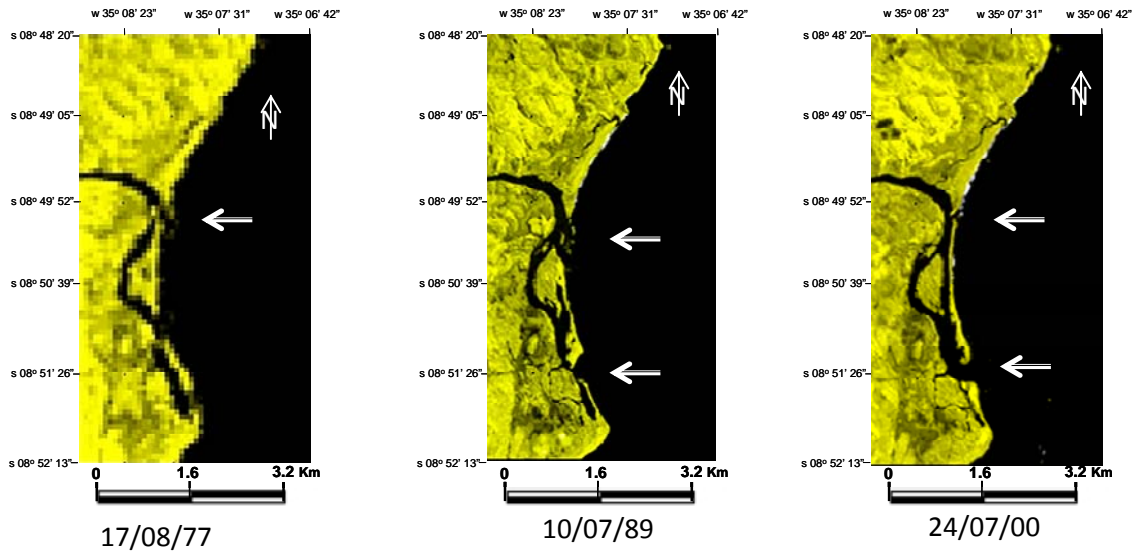


Figura 73 – Rompimentos do spit marcando os ciclos migratórios da foz do rio Una. A seta aponta para a posição das fozes.

O primeiro ciclo migratório foi caracterizado pelo rompimento possivelmente anterior a 1977, e com a posterior migração no sentido sul com velocidade média de migração da foz de 0.43 m/dia, com uma tendência ao aumento de velocidades no centro da baía (figura 74).

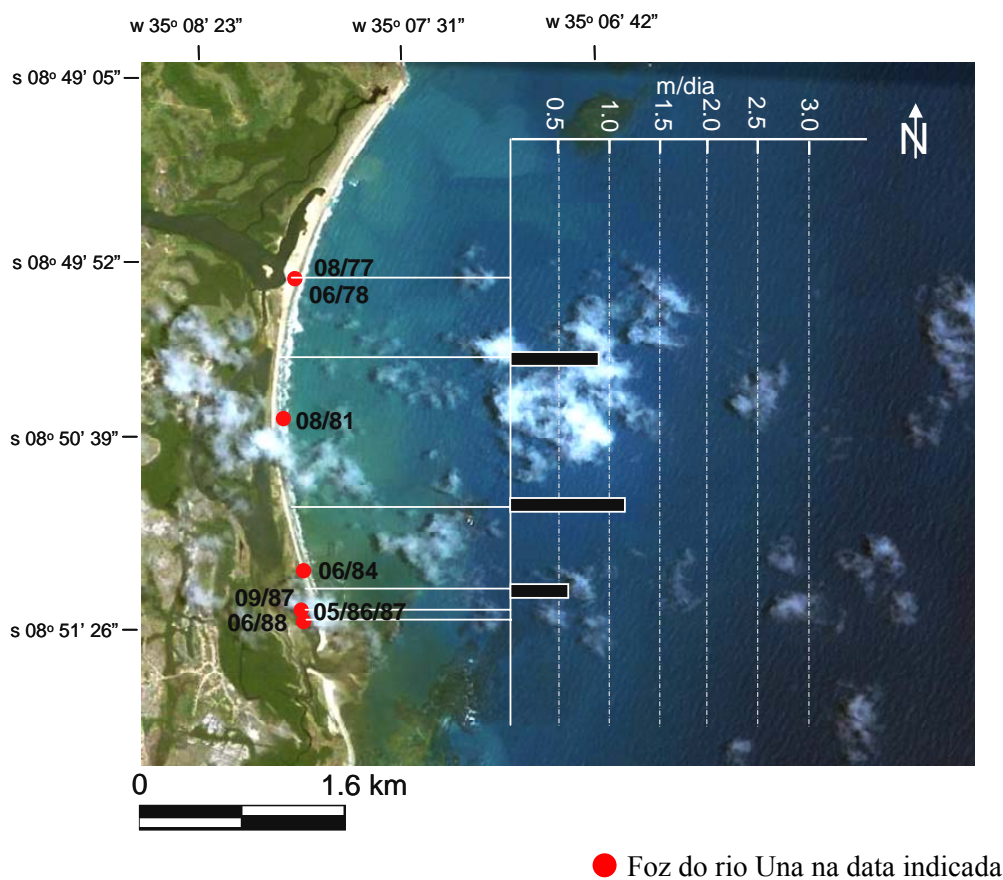


Figura 74 - Posição e velocidade de migração da Foz do rio Una entre 1977 e 1988.

O segundo ciclo migratório durou cerca de 11 anos, e apresentou migração na direção sul com velocidade média de 1,15 m/dia e velocidade máxima de cerca de 3,0 m/dia no centro da baía com tendência de menores velocidades nas extremidades (figura 75).



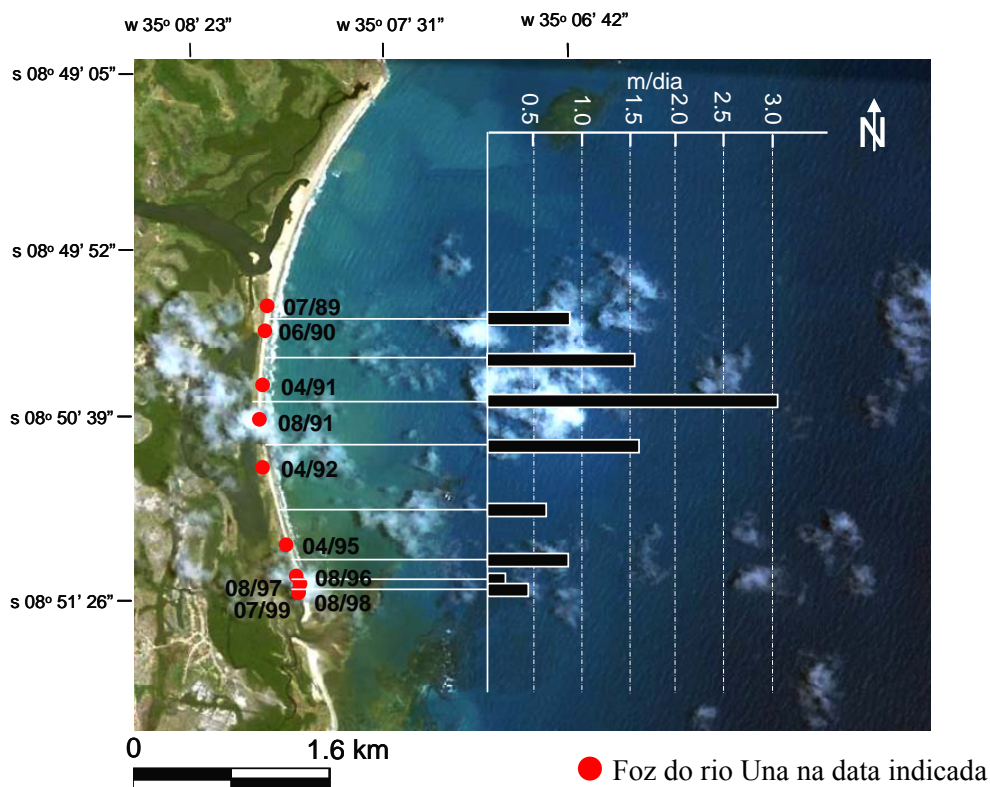


Figura 75 - Posição e velocidade de migração da Foz do rio Una entre 1989 e 1999.

O terceiro ciclo (figura 76) é caracterizado pela migração na direção norte aumentando a influência da pluma do rio Una sobre a Área fechada de Tamandaré. A velocidade média de migração foi de 0,7 m/dia, a velocidade máxima registrada neste ciclo foi de 2.2 m/dia. Porém possivelmente essas velocidades foram fortemente influenciadas por intervenções antrópicas como dragagens fechamentos e reaberturas ocorridas neste ciclo com o objetivo de conter a erosão, promovida pela migração do rio, sobre propriedades privadas.

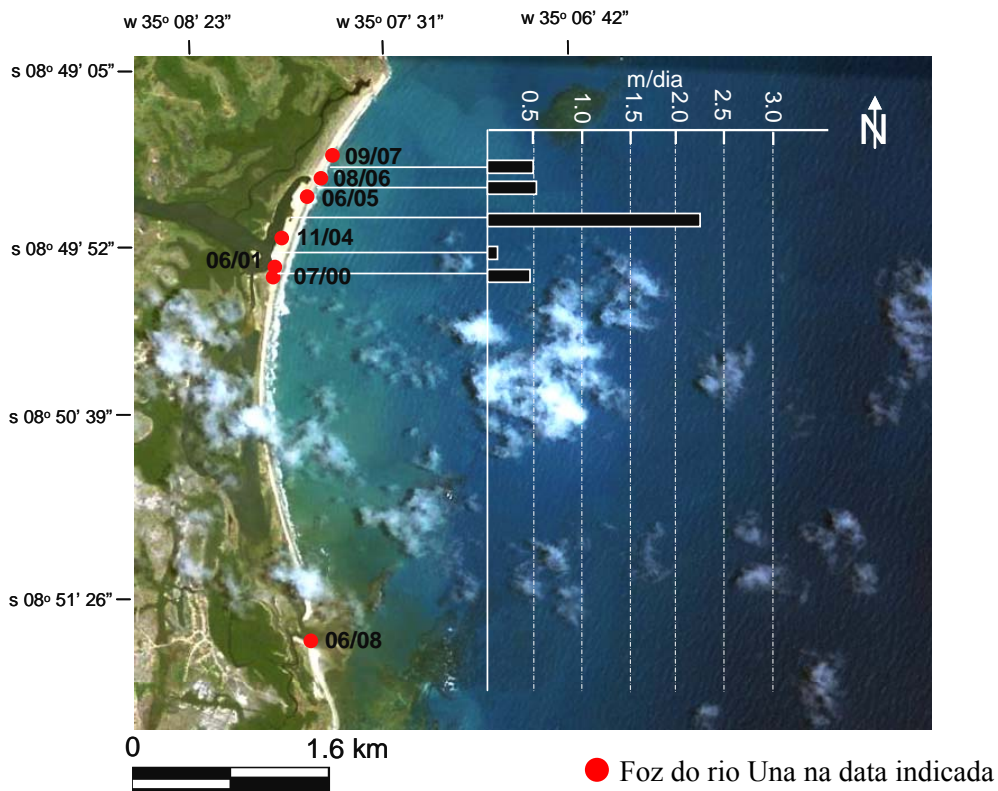


Figura 76 - Posição e velocidade de migração da Foz do rio Una entre 2000 e 2008. Imagem extraída do Google Earth (www).

O final do terceiro ciclo é marcado pelo fechamento da foz norte em dezembro de 2007 (figura 77). A partir disto todo o fluxo do rio passou a ser direcionado para sul com sua foz cerca de 4 km mais distante da Área Fechada de Tamandaré.



Figura 77 - Fechamento artificial da foz norte do rio Una em dezembro de 2007.

A imagem abaixo (Figura 78) ilustra as diferentes velocidades de migração em função da posição na praia da Várzea do Una. Neste gráfico foram plotadas as velocidades relativas aos três ciclos migratórios estudados (1977 – 2008).

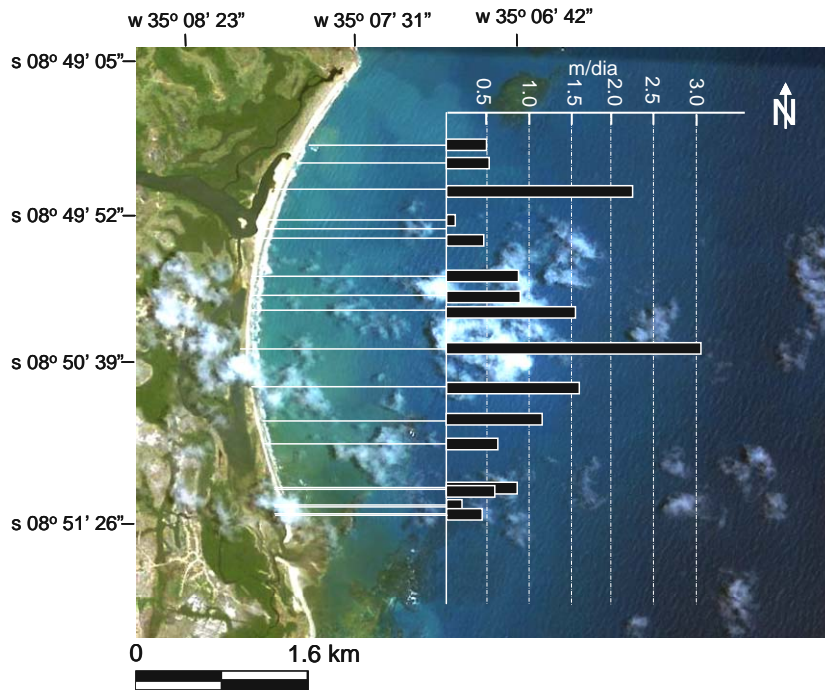


Figura 78 - Velocidade de migração em função da posição da Foz do rio Una entre 1977 e 2008.

Durante o período analisado a situação de maior influência desta bacia hidrográfica na Área Fechada se deu no período em que após a abertura no ano de 2000, a foz migrou para norte e conseqüentemente aproximando-se desta localidade. As distancias das posições da foz do rio Una à Área fechada de Tamandaré ao longo dos 31 anos monitorados, podem ser visualizadas no gráfico a seguir (figura 79).

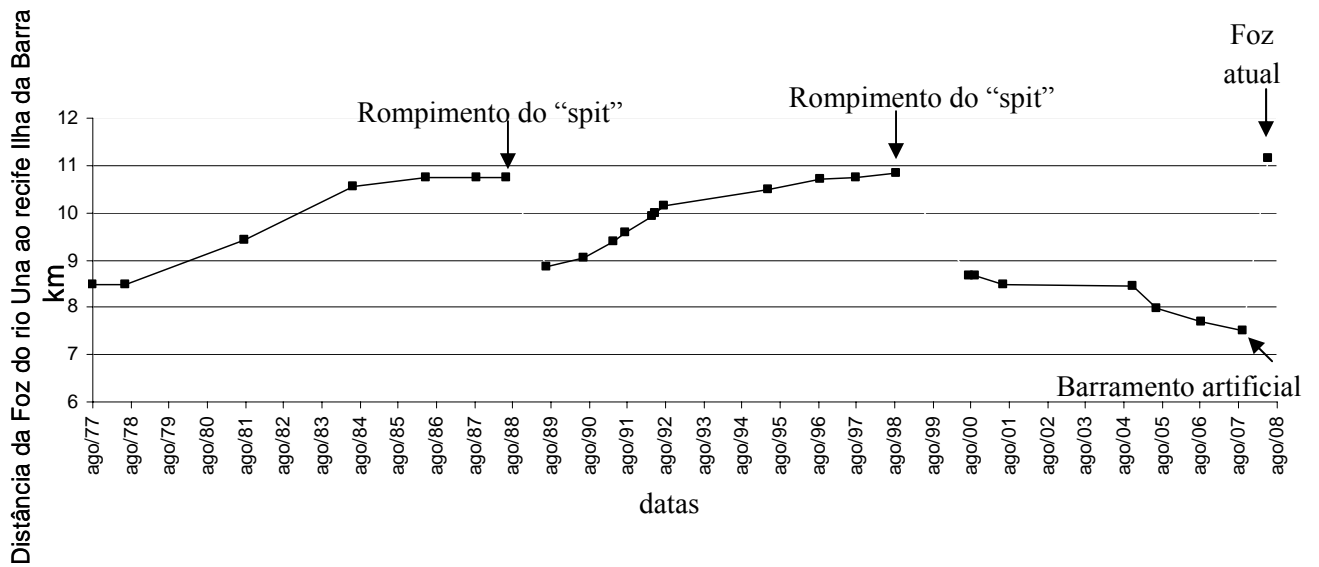


Figura 79 - Distâncias entre a foz do rio Una e a Área fechada de Tamandaré ao longo dos últimos 31 anos.

Apesar da aparente migração atípica no ultimo ciclo da foz, na direção norte, um braço derivado do rio principal (figura 80) também localizado a norte deste, pode indicar que a migração nesta direção não seja atípica, mas simplesmente condicionadas por ciclos oceanográficos de maior duração.

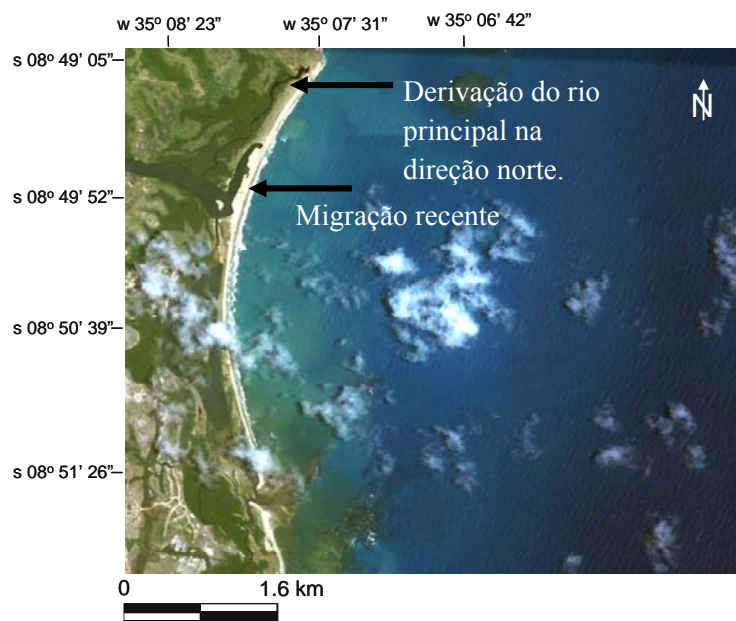


Figura 80 - Evidências de uma migração mais antiga da foz do rio Una na mesma direção da ocorrida entre 2000 e 2008.



Os resultados deste trabalho demonstram que a conservação de ecossistemas recifais, principalmente os costeiros estão condicionados à gestão integrada entre bacias hidrográficas e zona costeira. Além das inquestionáveis medidas que visam à redução dos impactos diretos advindos principalmente da pesca e do turismo, sua sustentabilidade está profundamente interligada a mudanças nos conceitos de exploração e uso dos solos. Mais especificamente na APA Costa dos Corais, os impactos provenientes das bacias hidrográficas adjacentes são gerados a partir de distantes áreas agrícolas e municípios desprovidos de saneamento básico.

Durante a execução desta pesquisa, os mergulhos semanais, proporcionaram um acompanhamento cronológico de algumas mortalidades de corais, que apesar de não seguir nenhum protocolo de monitoramento, levantaram questões importantes sobre os efeitos desses poluentes em ambientes recifais.

Os primeiros branqueamentos e mortalidades registrados ocorreram em 14/04/2007, onde algumas colônias apresentavam, branqueamento e necrose em seus tecidos (figura 81 e 82).

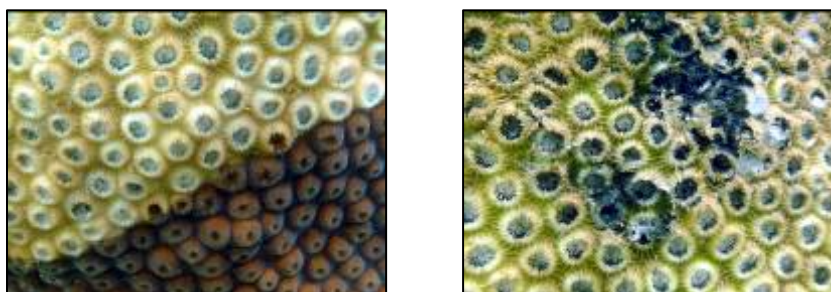


Figura 81 - Morte de parte de uma colônia de *Montastrea cavernosa*, na Área Fechada de Tamandaré, no início da estação chuvosa de 2007.



Figura 82 - Branqueamento em tecidos de corais das espécies *Siderastrea stelata* e *Mussismilia hartt*, no início da estação chuvosa de 2007.

Ao investigar as possíveis causas destas anomalias observamos que estas, não se deram em condições de alta sedimentação (figura 83).

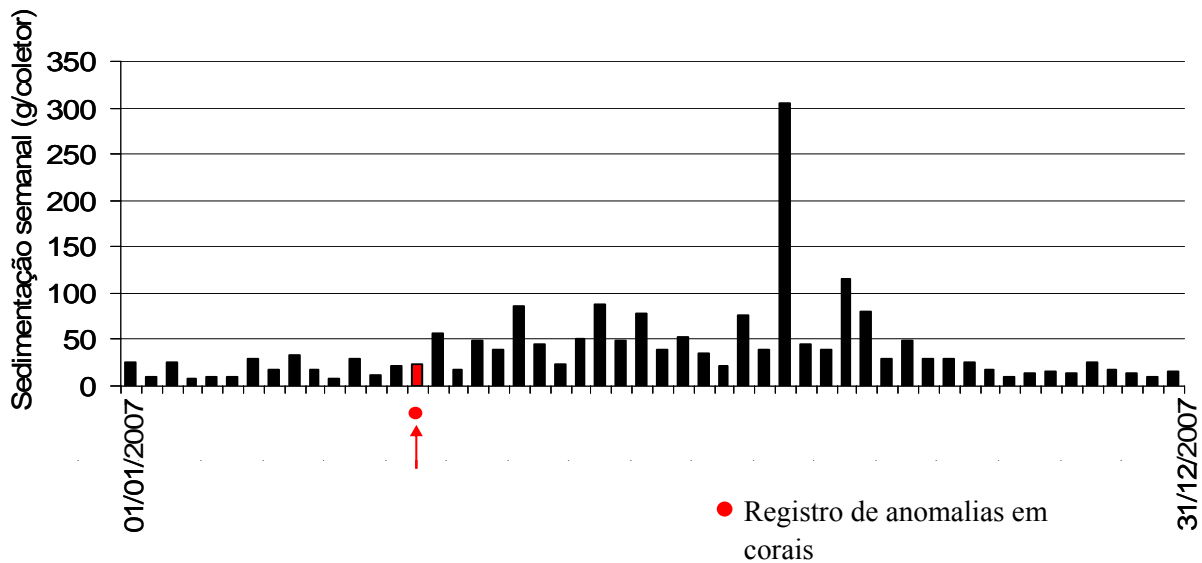


Figura 83 - Sedimentação semanal no ano de 2007. Em destaque, o período de registro de anomalias nos corais.

Ao analisar a pluviometria diária do ano de 2007 simultaneamente com as práticas agrícolas regionais, verifica-se que os danos aos corais ocorreram no período de maior aplicação de agrotóxicos, no início da estação chuvosa (figura 84).

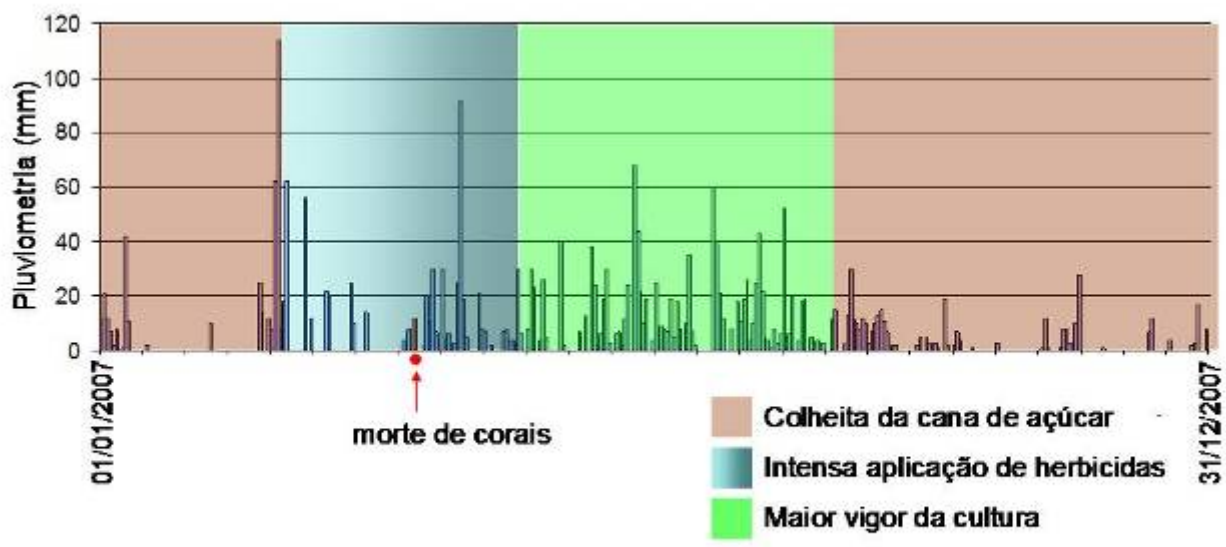


Figura 84- Gráfico pluviométrico com as fases da cultura da cana de açúcar, destacando a data em que se encontrou morte e/ou branqueamento em espécimes de corais.

A aplicação destes agroquímicos é realizada em solos úmidos, porém esta característica, que faz com que aumente a absorção desses insumos ao solo, também aumenta o risco de carreamento desses poluentes em chuvas posteriores. Diante disto o período mais crítico de carreamento compreende os meses de março e abril.

O mesmo fenômeno ocorreu no ano de 2008, nesta ocasião foi acompanhado e registrado, dentre outros a morte de um coral da espécie *Mussismilia hispida* (figura 85).



Figura 85 - Morte de um coral da espécie *Mussismilia hispida*, durante as primeiras chuvas do ano de 2008.

Com o início das primeiras chuvas anuais observa-se, na baía de Tamandaré, a chegada de águas com altas cargas sedimentares (Figura 86) contrastando com as águas limpas característica da estação anterior.



Figura 86 - Aporte de águas com grandes cargas de sedimentos em suspensão na Baía de Tamandaré, em abril de 2008. (foto do autor).

Diante do exposto fica evidente que a saúde dos recifes da Área Fechada de Tamandaré, assim como em grande parte dos recifes costeiros do mundo, se encontra altamente ameaçada por modelos não sustentáveis de uso do solo. Além do aumento na quantidade de sedimentos em suspensão, os níveis de agrotóxicos nestes e em solução podem aumentar drasticamente devido às primeiras chuvas anuais (MARKEY et al., 2007), onde um coquetel de herbicidas, pesticidas, sedimentos, nutrientes e água de baixa salinidade são levados para a costa. Esses eventos acontecem, na região, normalmente nos meses de março e abril, época de maior uso de agroquímicos pelos agricultores na região.

A degradação dos ecossistemas recifais costeiros tem sido relatada em várias partes do mundo. Segundo GARDNER et al. (2003), no Caribe houve um declínio de 80% na cobertura de corais nos últimos 30 anos. No Brasil, Jacques Laborel publicou juntamente com Françoise Laborel em 1967 uma descrição completa dos recifes de coral brasileiro na forma de uma tese de doutorado. Em 2002, Laborel e Françoise voltaram ao Brasil convidados pela Universidade Federal de Pernambuco, nesta oportunidade Laborel voltou a mergulhar na costa Pernambucana, onde realizou seus trabalhos, e assim como Gardner, estimou uma redução nos últimos 40 anos de até 80 % da cobertura coralina (FERREIRA & MAIDA 2006).

Dentre os possíveis motivos para estas reduções drásticas na cobertura coralina relatada em várias partes do mundo, estão a retirada de corais para usos diversos, turismo e poluição, este último promovido por diversas fontes. A principal mudança ocorrida, na região, nestes últimos 40 anos sem dúvida foi a chamada revolução verde, esta permitiu um vasto aumento na produção agrícola, na década de 60 e 70, principalmente em países menos desenvolvidos como o Brasil. Este modelo se baseia em intensivos usos de insumos industriais como fertilizantes e agrotóxicos.

Embora não existam estudos detalhados sobre a influência destes biocidas no ecossistema de recifes de coral brasileiro, informações trazidas nas próprias embalagens de alguns produtos utilizados largamente na região despertam maior preocupação, como por exemplo, os agrotóxicos: **2,4 D** – “Este produto é ALTAMENTE TÓXICO para

organismos aquáticos. Este produto não deve ser utilizado próximo a corpos hídricos naturais”, **Dicloreto de Paraquate** - “Este produto é MUITO PERIGOSO ao meio ambiente. Este produto é ALTAMENTE TÓXICO para organismos aquáticos (microcrustáceos e algas)”, **Ametrina** – “Não avaliado pelo IBAMA - Registro Decreto nº 24.114/34”, **Diuron** – “Não avaliado pelo IBAMA - Registro Decreto nº 24.114/34”.

Após décadas de contaminação estão surgindo os primeiros estudos sobre a presença e influências de contaminantes agrícolas em recifes de corais. Em um estudo sobre a influência dos herbicidas inibidores do fotossistema II (Irgarol, Ametryn e Diuron), entre outros, na concentração de zooxantelas em tecidos de corais Jones e Kerswell (2003) constataram que doses de 0.7 µg/ l de Irgarol, 1.7 µg/ l de Ametryn e 2.3 µg/l de Diuron são responsáveis por diminuir em 50% a concentração efetiva de zooxantelas e que a recuperação ou morte está associada ao tempo de exposição aos contaminantes. Haynes et al. (2000a) constataram a presença de Diuron e Dimetrim em sedimentos intermareais na região norte da Grande Barreiras de recifes da Austrália e em fanerógamas marinhas perto de Townsville. As fontes de contaminação especialmente do Diuron estão sendo vistas com preocupação tanto pela comunidade científica como política para preservação da Grande Barreira (Duke et al., 2005).

Apesar dessas ameaças serem descritas globalmente, as peculiaridades locais potencializam seus efeitos. O mau uso do solo e da água e o completo desrespeito às leis ambientais são evidentes nas bacias hidrográficas, que deságuam na APA Costa dos Corais. Dentre as práticas que contribuem para o aumento da erosão e perda da qualidade da água, as quais, em sua maioria, constituem-se crimes ambientais, são facilmente observados nesta área: o desrespeito ao artigo 2º da lei 4771 (Código Florestal Brasileiro), (figura 87) que trata da conservação de matas ciliares; desrespeito ao artigo 10 da mesma lei, que proíbe o cultivo em áreas com inclinação superior a 45º (figura 88); não obediência ao artigo 44 da lei 9605/98, que proíbe, salvo com prévia autorização, a retirada de areia, entre outros, em áreas de preservação permanente (APP) (figura 89), extração irregular de solo em barreiras para construção civil (figura 90 e 91), exploração agrícola em APP's, prática de queimadas na colheita da cana de açúcar, uso indiscriminado de agrotóxicos, entre outros.





Figura 87 - Ausência de mata ciliar na bacia hidrográfica do rio Ipojuca, com o monocultivo de cana de açúcar e desmatamento da margem para agricultura de subsistência.



Figura 88 - Voçoroca criada pelo cultivo de cana-de-açúcar em terras com inclinação elevada.



Figura 89 - Retirada de areia da margem do rio Ipojuca.



Figura 90 - Retirada de material às margens de um rio para fabricação de tijolos e telhas.



Figura 91 -Retirada de material na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, para construção civil.



Figura 92 - Retirada da camada fértil de solo em relevo íngreme, por motivos não determinados.

Estudos realizados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2006, 2007) mostram que a cultura da cana de açúcar ainda está em plena ascensão, em função do forte aumento na demanda interna e externa. Segundo esses estudos, a produção nacional na safra 2005/2006 foi de 431,41 milhões de toneladas, sendo superada em 9,2% pela safra de 2006/2007, de 471,17 milhões de toneladas, que, por sua vez, foi superada em 11,20% pela safra de 2007/2008, na ordem de 527,98 milhões de toneladas. A Área ocupada por essa cultura, no Brasil, foi de 5.840,3 milhões de hectares na safra de 2005/2006, 6.161,8 milhões de hectares na de 2006/2007 e de 6.600 milhões de hectares na safra de 2007/2008. Apesar do crescimento nacional, Pernambuco e Alagoas apresentam um dos menores índices de expansão canavieira do Brasil. Em Pernambuco, a área ocupada com esta cultura é da ordem de 371,5 mil hectares, superando a safra anterior em apenas 0,5%. Em Alagoas, a área ocupada é de 402,7 mil hectares, mesma área da safra 2006/2007. Dentre as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, Pernambuco possui a menor produtividade, com 52.520 kg/ha; Alagoas possui produtividade de 63.100 kg/ha, maior média nordestina.

Os baixos índices de expansão da cultura canavieira nos estados de Alagoas e Pernambuco provavelmente refletem a falta de novas terras agricultáveis para esta cultura, o que põe em risco as terras legalmente protegidas, frente aos novos incentivos fiscais oferecidos pelo Governo Federal.

As soluções para esta problemática são profundamente dependentes de mudanças no conceito de exploração do solo, aumento na fiscalização fazendo-se

cumprir as leis existentes e gestão de forma integrada entre os contínuos terrestres e marinhos.

A lei federal 9.433 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos tem como uma de suas diretrizes, artigo 3º, “a integração da gestão de bacias hidrográficas a dos sistemas estuarinos e zona costeira.”, ou seja, os danos provenientes das ações nos ambientes terrestres têm que ser conhecidos e dimensionados de acordo com a capacidade de resiliência dos ecossistemas adjacentes, dentre eles os recifais.

Muitas vezes os benefícios ambientais que podem ser conseguidos através do que já está previsto em lei, esbarra na falta de conhecimento científico. Por exemplo: os índices de poluição dos rios que deságuam em ambientes recifais podem se tornar mais restritivos mediante estudos técnicos que comprovem sua necessidade.

A resolução CONAMA 357 de 2005 “considera que o enquadramento dos corpos de água devem estar baseados não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender as necessidades da comunidade”. A mesma resolução trás em seu artigo 11 que “O poder público poderá, a qualquer momento, acrescentar outras condições e padrões de qualidade, para um determinado corpo de água, ou torná-lo mais restritivos, tendo em vista as condições locais, mediante fundamentação técnica”. Até o presente, no Brasil, nenhum índice de qualidade das águas de bacias hidrográficas, foi mensurado em função de requisitos necessários a manutenção de organismos coralíneos.

Diante do exposto verifica-se que a sustentabilidade dos ecossistemas recifais estão profundamente relacionadas às escolhas. Está comprovado que modelos não sustentáveis de agricultura causam danos irreversíveis aos ecossistemas recifais e conseqüentemente as populações que usufruem de seus benefícios. Pesquisas científicas que desvendem os mecanismos desses danos, apontando soluções, precisam ser incentivadas para que, com isso a legislação possa ser acionada no cumprimento de seu papel.



## 6. CONCLUSÃO

---

A sedimentação média registrada para todo período de estudo foi de 662,00 g/m<sup>2</sup>/dia sendo destes: 639,34 g/m<sup>2</sup>/dia para o primeiro ciclo amostral (25/02/2005 - 24/02/2006), 656,25 g/m<sup>2</sup>/dia, para o segundo ciclo amostral (24/02/2006 - 26/02/2007) e 728,34 g/m<sup>2</sup>/dia para o terceiro ciclo amostral (26/02/2007 – 29/02/2008).

No verão, ocorrem 11,53 % da sedimentação anual, a uma taxa diária de 303.51 g/m<sup>2</sup>. No outono 37,62% do total anual, com uma taxa diária de 990,57 g/m<sup>2</sup>/dia. Na estação do inverno, ocorreram 36,46 % da sedimentação do período estudado, a uma taxa de 960,11 g/m<sup>2</sup>/dia. Durante a primavera ocorreram 14,39 % da sedimentação total com médias diárias de 379,02 g/m<sup>2</sup>/dia.

Os valores de sedimentação encontrados superam os considerados, por alguns autores, como críticos a vitalidade de corais em até 37 vezes.

A correlação entre a sedimentação não carbonática e a forçante ressuspensiva de altura de ondas, indica a remobilização periódica de material provavelmente de origem terrígena no complexo recifal da Área fechada de Tamandaré. Esta ressuspensão diretamente influenciada pelas ondas é regulada por variações de marés que potencializam ou minimizam a capacidade de proteção que os recifes oferecem ao embate destas ondas.

A maior correlação da pluviometria com os sedimentos não carbonáticos se comparados aos carbonáticos e a também correlação direta das forçantes de ventos (frequência relativa e intensidade média) vindas de oeste, sudoeste, sul, e sudeste indicam aporte de sedimentos de origem terrígena de bacias hidrográficas localizadas a sul da área de estudo.

O monitoramento por sensoriamento remoto orbital permitiu concluir que a bacia hidrográfica do rio Una (cerca de 3,5 km ao sul da Área Fechada de Tamandaré) é a principal fonte de material terrígeno, sua pluma, que se torna tanto mais intensa

quanto maiores os índices pluviométricos, é direcionada para esta área por ventos principais vindos de sul e sudeste.

Além da intensidade pluviométrica, a migração da foz do rio Una é uma variável diretamente responsável, por mudanças na intensidade com que sua pluma chegue à Área Fechada de Tamandaré. A maior proximidade desta foz à Área Fechada, faz com que sua pluma chegue com maior intensidade potencializando os riscos ambientais inerentes a qualidade de suas águas. Durante os últimos 31 anos estudados a foz do rio Una se localizou na posição mais próxima por três vezes. A migração aparentemente atípica no sentido norte a partir do ano 2000 agravou o problema exposto.

O período mais crítico, frente ao risco da chegada de águas com maior cargas de poluição, e onde se observou mortalidades de corais, é o período de maior aplicação de agrotóxicos nas bacias hidrográficas da região (maio-abril).

O presente estudo demonstrou que a sustentabilidade dos ecossistemas recifais costeiros da região, assim como em grande parte do mundo, está profundamente associado aos modelos de uso e ocupação do solo de bacias hidrográficas adjacentes.

A gestão desses ambientes deve ser realizada de forma a integrar as necessidades ambientais requeridas por estes ecossistemas e os modelos de produção agrícolas. O cumprimento das leis existentes, e avanço no conhecimento científico, a fim de embasar adequações neste modelo, estão entre as principais medidas que levariam a melhoria do quadro encontrado.

## Referências Bibliográficas:

ALVES, F.; FERRAZ, J.M.G.; PINTO, L.F.G.; SZMRECSÁNYI, T. **Certificação socioambiental para a agricultura: desafios para o setor sucroalcooleiro.** EduFSCar: São Carlos, 2008. 300 p.

BARBOSA, C.C.F; NOVO, E.M.L.M.; CARVALHO, J.C.; PEREIRA-FILHO, W.; MANTOVANI, J.E. **Caracterização espectral das massas d'água Amazônicas.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, Belo Horizonte (MG). Anais. Belo Horizonte, 2003. p. 2419 - 2425.

BELLUCK, D.A.; BENJAMIN, S.L.; DAWSON, T. Groundwater contamination by atrazine and its metabolites: risk assessment, policy, and legal implications. In: SOMASUNDARAM, L.; COATS, J.R. (Ed.). **Pesticide transformation products: fate and significance in the environment.** Washington. American Chemical Society, p 254-273, 1991.

BIRKELAND, C. Nutrient availability as a major determinant of differences among coastal hard-substratum communities in different regions of the tropics. In: BIRKELAND, C. (Ed.), **Comparison between Atlantic and Pacific tropical marine coastal ecosystems: community structure, ecological processes, and productivity.** UNESCO Reports in Marine Science, pp. 45–97. 1987.

BLOMQUIST, S. ; HANKASON, L. (1981). **A review on sediment traps in aquáticos environments.** Arc. Hidrobiol., v91, n. 1, p. 131-132.

Burk, L., Selig, E. and Spalding, M., 2002. **Reef at Risk in Southeast Asia.** World Resources Institute. 72 pp.

CALLEGARE-JACQUES, S.M. **Bioestatística Princípios e aplicações.**, Ed. Artmed. Porto Alegre, 2003. 246 p.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira Cana-de-Açúcar Safra 2006/2007, primeiro levantamento, Companhia Nacional de Abastecimento.** Brasília: Conab, 2006. 9 p.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira Cana-de-Açúcar Safra 2007/2008, primeiro levantamento, Companhia Nacional de Abastecimento.** Brasília: Conab, 2007. 12 p.

CONSÓRCIO PICUS MURICI. **Projeto para a conservação e o uso da biodiversidade da Mata Atlântica do Nordeste.** FUNBIO, 2005. 253p. Disponível em: [www.cepan.org.br/publicacoes\\_relatorios1.html](http://www.cepan.org.br/publicacoes_relatorios1.html). Acessado em: março/2007.

CORTÉS, J. **A reef under siltation stress: a decade of degradation.** pp. 240-246. In: GINSBURG, R.N. (Org.) **Global Aspects of Coral Reefs – Health, Hazards, and History,** 1994.

CPRH – AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Diagnostico Sócio Ambiental do Litoral Sul de Pernambuco**, CPRH, 1999. 83 p.

CPRH – AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Diagnóstico Socioambiental do Litoral Sul de Pernambuco**. CPRH, 2003. 87p.

CPRH – AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Bacia hidrográfica do rio Una. Serie Bacias Hidrográficas de Pernambuco**, CPRH, 2006. 85p.

COSTA, P. D. ; BARBOSA, S. F. **Efeito da esquistossomose na produtividade do cortador de cana ao longo da safra da cana de açúcar da usina Catende, Pernambuco**. Mem. Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro. Vol. 77; 425 – 429. 1982.

DUTRA, L.X.C. ; KIKUCHI, R.K.P. ; LEÃO, Z.M.A.N. ; NANO, R. ; ROCHA, S.R.S. **Taxa de sedimentação e teor de carbonato de cálcio no sedimento aprisionado na área recifal de Abrolhos, Bahia, Brasil, usando a adaptação do método de equivalente de carbonato de cálcio da EMBRAPA (1997)**. International Conference Mangrove: Salvador, v. 1, p. 1-5. 2003.

DUKE N.C., BELL A.M., PEDERSON D., ROELFSEMA C.M., BENGSTON NASH S. (2005). **Herbicides implicated as the cause of severe mangrove dieback in the Mackay region, NE Australia: consequences for marine plant habitats of the GBR World Heritage Area**. Marine Pollution Bulletin 51:308–324

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 1999. 412p.

FABRICIUS, K.E. **Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals sand coral reefs: review and synthesis**. Marine Pollution Bulletin, v. 50, pp. 125–146. 2005.

FARIAS, F.S. de. **Tamoindaré - a dinâmica de suas praias frente às novas tribos repovoadoras do século XX**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco: Recife, 2002. 124p.

FERREIRA, B.P.; CAVA, F.; MAIDA, M. **Composição da Pescaria Recifal Observada na Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais, Tamandaré – PE – Brasil**. In: Congresso Latino Americano de Ciências do Mar, COLACMAR, San Andrés, Colômbia, v.1, pp. 234-237. 2001.

FERREIRA, B.P.; MAIDA, M. **Monitoramento dos Recifes de Coral do Brasil, Situação Atual e Perspectiva**. Ministério do Meio Ambiente: Brasília, 2006. 120 p.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. v. 1. 104 p.

GARDNER, T.A.; COTE, I.; GILL, J.A.; GRANT, A.; WATKINSON, A.R. **Long-term region-wide declines in Caribbean corals**. Science, v. 301, pp. 958–960. 2003.

GARDNER, W. D. **Field assessment of sediment traps**. *J. Mar. Res.*, v. 38, p. 41-52.

GINSBURG, R. N. 1994. **Proceedings of the Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs: Health, Hazards and History**. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, 1993. 420 pp.

HAYNES, D.; MULLER, J.; CARTER, S. **Pesticide and herbicide residues in sediments and seagrasses from the Great Barrier Reef world heritage area and Queensland coast**. Marine Pollution Bulletin, v. 41, pp. 279–287. 2000a.

JACOMINE, P.K.T; CAVALCANTI, A.C.; PÊSSOA, S.C.P.; SILVEIRA, C.O. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Alagoas**. Boletim técnico da EMPRAPA, v. 35, n. 5. 1975

JONES, R.J.; KERSWELL, A.P. **Phytotoxicity of photosystem II (PSII) herbicides to coral**. Mar Ecol Prog Ser, v. 261, pp. 149–159. 2003.

KAMPEL, M.; NOVO, E.M.L.M. O Sensoriamento Remoto da Cor da Água. *In*: SOUZA, R.B. (ed.) **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. cap. 12, pp. 179-196.

LEITE, M.A.; GAETA, E.L. **Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no reservatório de Salto Grande (Americana – SP) e sua influencia sobre as características limnológicas do sistema**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo: São Paulo, 1998. 164 p.

LIMA, C. D. **Aplicação de imagens do satélite Landsat TM5 e de fotografias aéreas verticais para o mapeamento dos recifes costeiros e análise dos processos físicos litorâneos relacionados**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife: 2003. 91 p.

MAIDA, M; FERREIRA, B.P. **Luz, sedimentos e a formação de recifes**. Simpósio sobre Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira Nordeste do Brasil: Brasil, 1995. 102p.

MAIDA, M; FERREIRA, B.P. **Coral Reefs of Brazil: an overview**. Proc. 8<sup>th</sup> Int. Coral Reef Symp: Panamá, v. 1, pp. 263-274. 1997.

MAIDA, M; FERREIRA, B.P. Os Recifes de Corais Brasileiros. *In*: ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S.; COSTA, M.F. (Orgs). **Oceanografia Um Cenário Tropical**. Recife: Bagaço, 2004. 761 p.

MARKEY, K.L.; BAIRD, A.H.; HUMPHREY, C.; NEGRI, A.P. **Insecticides and a fungicide affect multiple coral life stages**. Mar Ecol Prog Ser, v. 330, pp. 127-137. 2007

MELO, M.L. **O Açúcar e o Homem: problemas sociais e econômicos do Nordeste canavieiro**. Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais: Recife, 1975.

MENG, P.; LEE, H.; WANG, J.; CHEN, C.; LIN, H.; TEW, K.S.; HSIEH, W. **A long-term survey on anthropogenic impacts to the water quality of coral reefs, southern Taiwan.** *Environmental Pollution*, v. 156, pp. 67-75. 2008.

MONTEIRO, R.A. **Processo de trabalho da atividade de aplicação manual de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar: riscos ergonômicos e ecotoxicológicos.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba: João Pessoa, 2001. 141p.

PAIXÃO, M. **Relações de trabalho na agroindústria sucroalcooleira do Brasil: exclusão ou cidadania?** In: FERRAZ, J.M.G.; PRADA, L.S.; PAIXÃO, M. **Certificação sociambiental do setor sucroalcooleiro.** São Paulo: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.111-146.

PHILIPP, E.; FABRICIUS, K. **Photophysiological stress in scleractinian corals in response to short-term sedimentation.** *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 287, pp. 57–78. 2003.

PRATES, A.P.L (Org). **Atlas dos recifes de coral nas unidades de conservação brasileiras.** 2 ed. Ampliada. Brasília: MMA, SBF, 2006. 232 p.

ROGERS, C.S. **Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation.** *Marine Ecology Progress Series*, v. 62, pp. 185–202. 1990.

STRENZEL, M. G. **Cartografía de arrecifes coralinos y evaluación de la evolución del estrato submarino en la Bahía de Tamandaré, Brasil.** Tese (Doutorado) Universidad de Las Palmas de Gran Canaria: Gran Canaria, 2002.

SUGUIO, K. 2003. **Geologia Sedimentar.** Edgard Blücher Ltda./EDUSP, São Paulo, SP, 400pp.

TILMAN, D. **Forecasting agriculturally driven global environmental change.** *Science*, v. 292, pp. 281–284. 2001.

TOLMAN, H.L. **User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22.** NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 151, 2002g. 133 p.

VITOUSEK, P.M.; ABER, J.D.; HOWARTH, R.W.; LIKENS, G.E.; MATSON, P.A.; SCHINDLER, D.W.; SCHLESINGER, W.H.; TILMAN, D.G. **Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences.** *Ecological Applications*, v. 7, pp. 737–750. 1997.

WILKINSON, C. **Status of Coral Reefs of the World.** Australian Institute of Marine Science: Townsville, Australia. 2002.

WRIGHT, L. D., 1995. **Morphodynamics of inner continental shelves.** CRC Marine Science Series. Flórida - EUA. 241 p.

**Anexo 1: Satélite, data e resolução das imagens utilizadas para o monitoramento da pluma**

do rio Una.		Landsat 5/TM Resolução 30 m	CBERS 2/CCD Resolução 20 m	CBERS 2B/CCD Resolução 20 m
2005	23/01/2005		X	
	11/04/2005		X	
	28/06/2005		X	
	24/07/2005		X	
2006	17/02/2006		X	
	15/03/2006		X	
	06/05/2006	X		
	01/06/2006		X	
	26/08/2006	X		
	09/10/2006		X	
	29/10/2006	X		
	04/10/2006		X	
	30/11/2006		X	
	26/12/2006		X	
2007	21/01/2007		X	
	10/06/2007	X		
	29/08/2007	X		
	30/09/2007	X		
	22/10/2007		X	
2008	08/01/2008			X
	03/02/2008			X
	05/02/2008	X		
	21/02/2008	X		
	21/04/2008		X	
	17/05/2008		X	
	05/06/2008			X
	04/07/2008			X
	08/07/2008			X
	29/08/2008			X
	24/09/2008			X

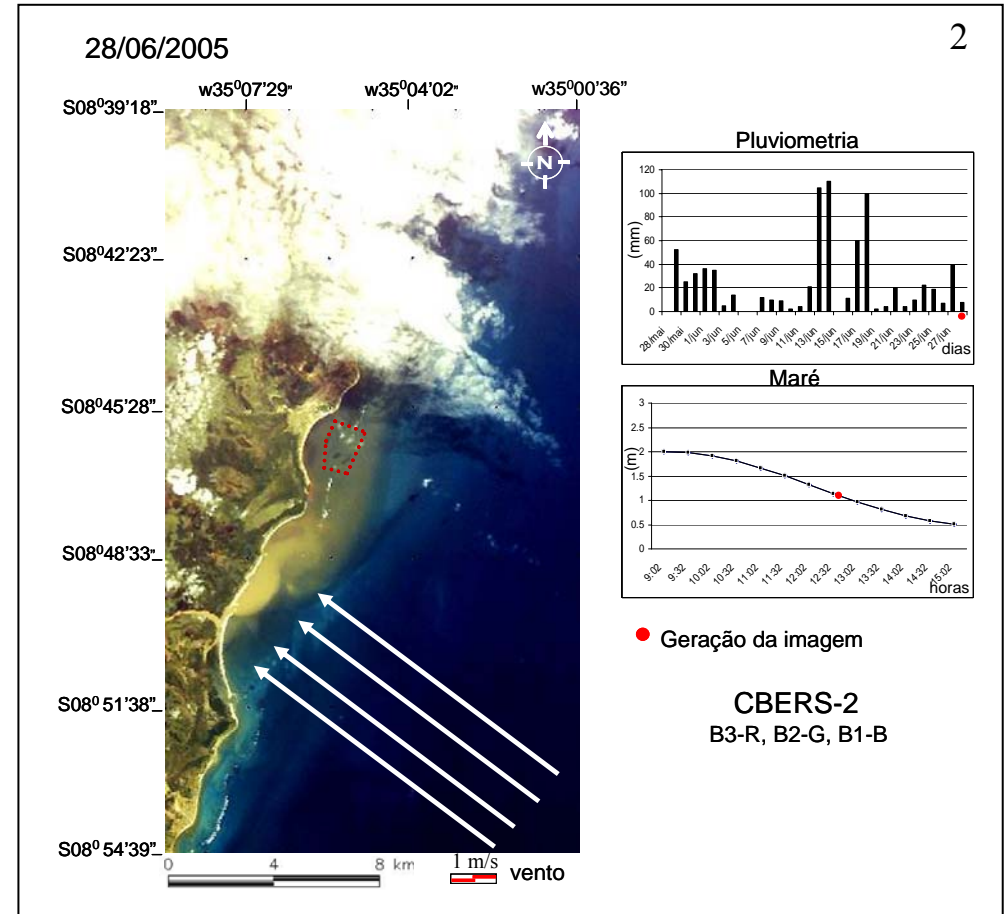
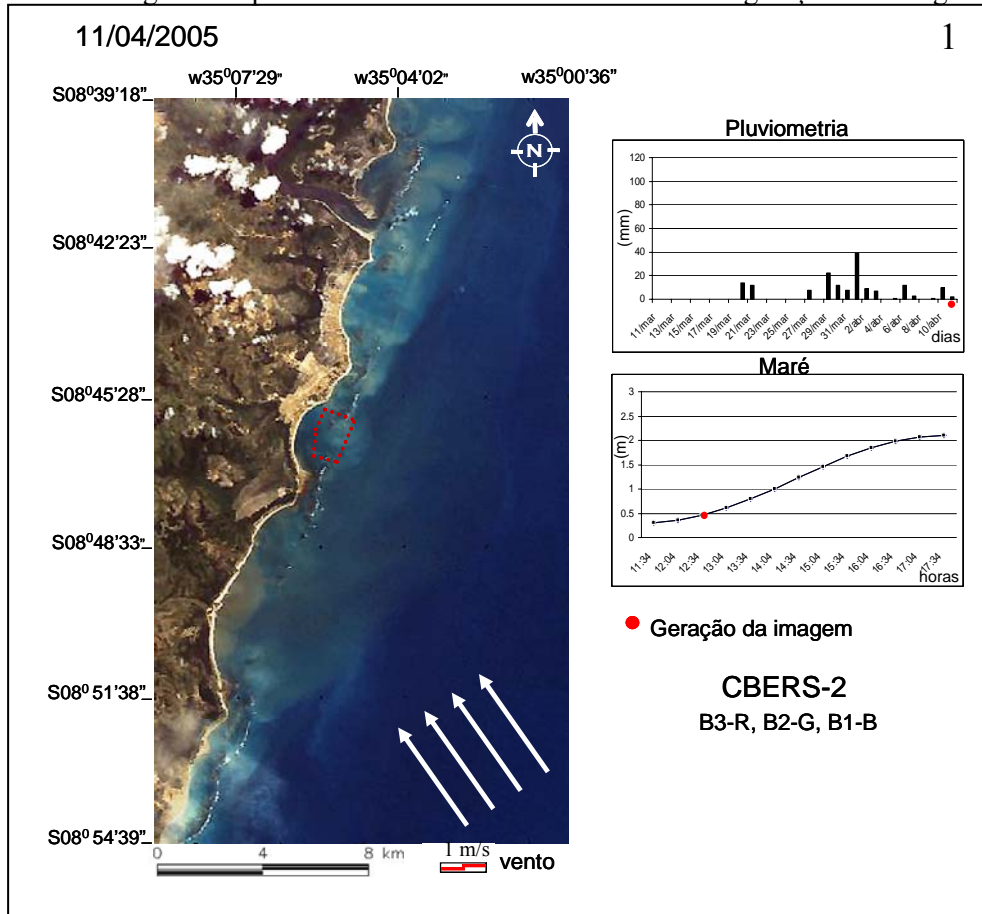
**Anexo 2:** Satélite, data, resolução e bandas das imagens utilizadas para o monitoramento do deslocamento da foz do rio Una.

		LANSDS AT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 5	LANDSA T 7	CBERS 2	CBERS 2B
BANDAS- CORES		4-R; 4-G	4-R; 4-G	4-R; 4-G; 1-B	4-R; 4- G; 1-B	4-R; 4- G; 1-B	4-R; 4- G; 1-B
1977	17/08/77	X					
1978	28/06/78		X				
1981	14/08/81	X					
1984	10/06/84			X			
1986	15/05/86			X			
1987	07/09/87			X			
1988	21/06/88			X			
1989	10/07/89			X			
	12/09/89			X			
1990	27/06/90			X			
1991	11/04/91			X			
	01/08/91			X			
1992	13/04/92			X			
	15/05/92			X			
	03/08/92			X			
1995	22/04/95			X			
1996	30/08/96			X			
1997	17/08/97			X			
1998	05/09/98			X			
1999	22/07/99			X			
2000	24/07/00			X			
	26/09/00			X			
2001	17/06/01				X		
2004	11/08/04			X			
2005	28/06/05					X	
2006	26/08/06			X			
2007	30/09/07			X			
2008	05/06/08						X



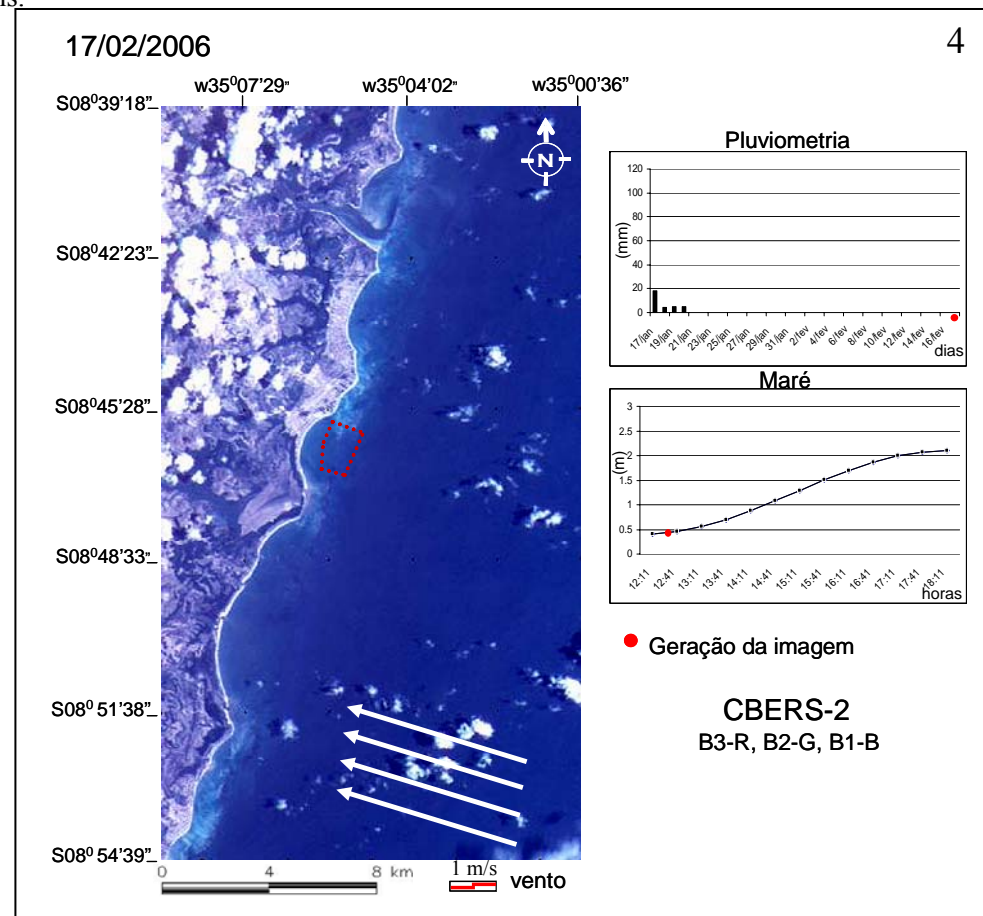
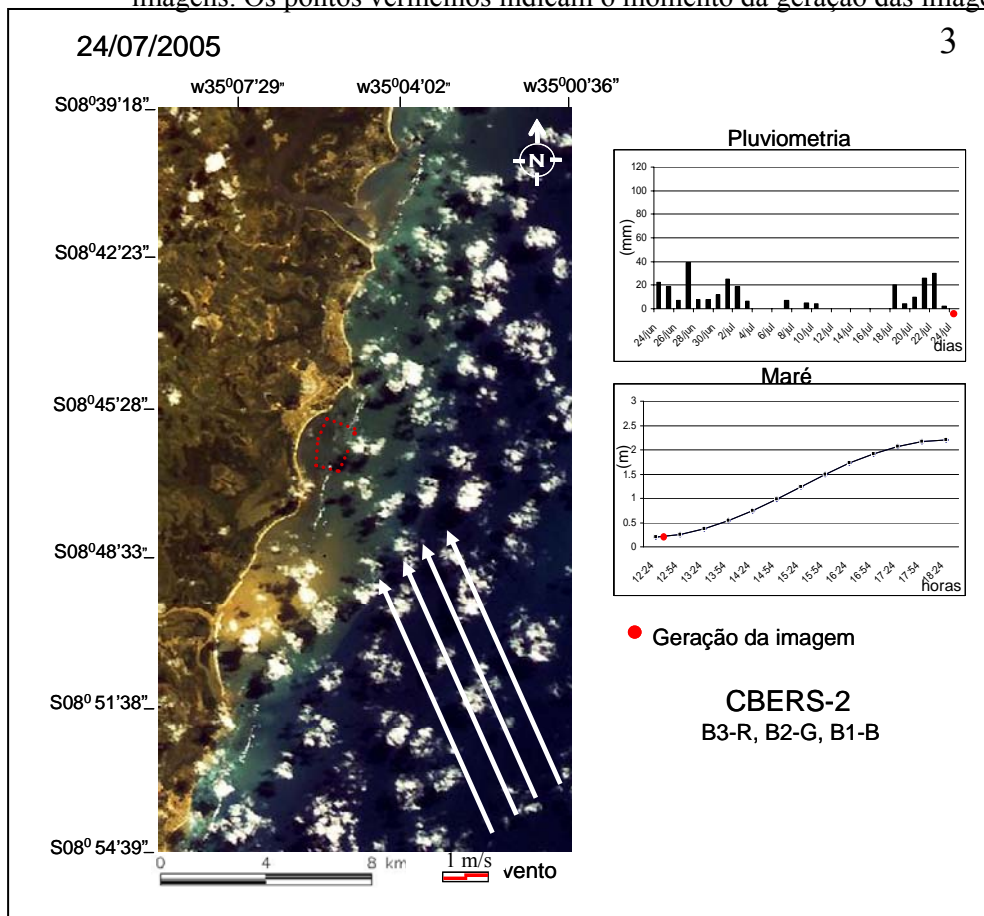
### Anexo 3

Cartas para análise visual das plumas de rios próximas à Área Fechada de Tamandaré contendo além das imagens de satélites, localização da Área Fechada, vetores de ventos (m/s e ângulo incidente), pluviometria diária (mm/dia) em um intervalo de 30 dias e variação de maré (m) no período da geração das imagens. Os pontos vermelhos indicam o momento da geração das imagens.



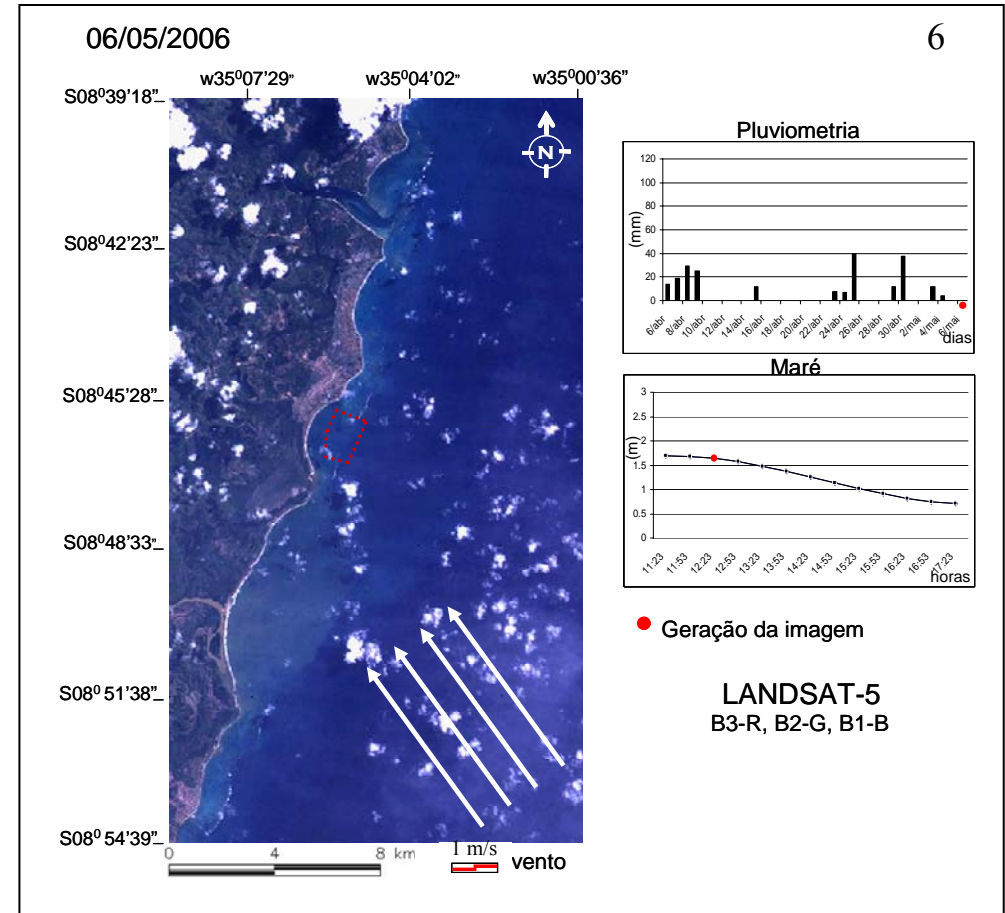
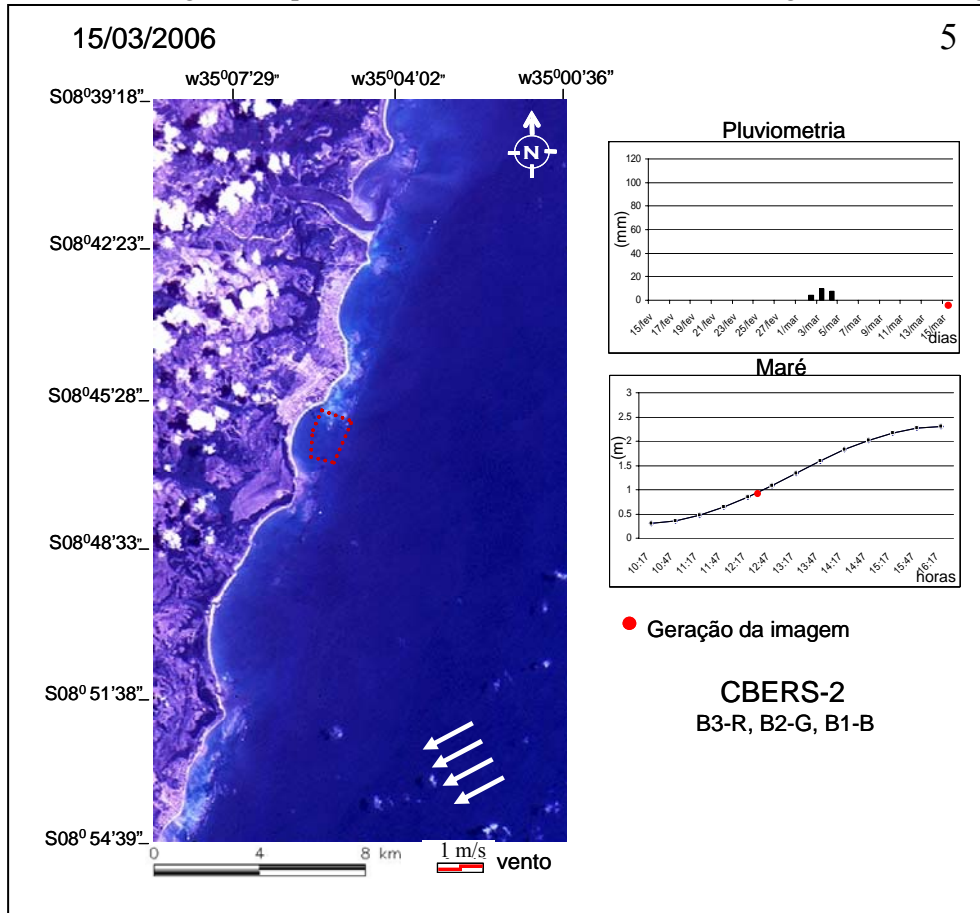
### Anexo 3 (continuação)

Cartas para análise visual das plumas de rios próximas a Área Fechada de Tamandaré contendo além das imagens de satélites, localização da Área Fechada, vetores de ventos (m/s e ângulo incidente), pluviometria diária (mm/dia) em um intervalo de 30 dias e variação de maré (m) no período da geração das imagens. Os pontos vermelhos indicam o momento da geração das imagens.



**Anexo 3** (continuação)

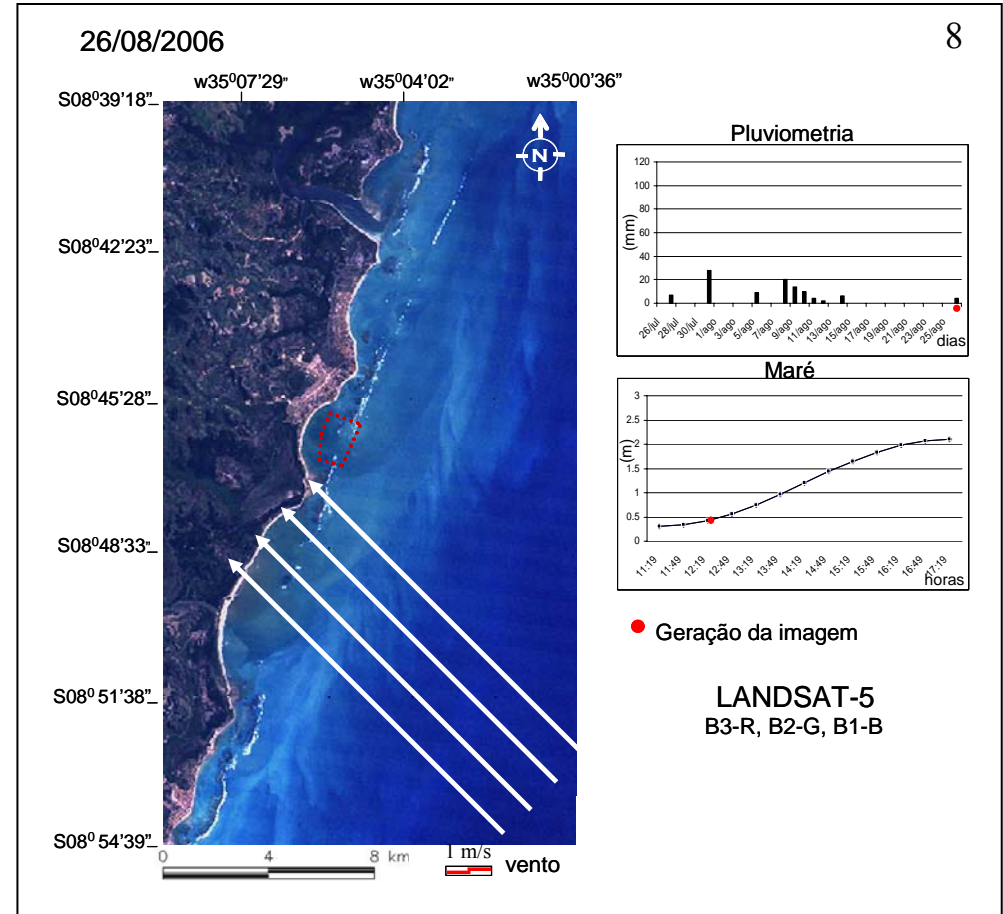
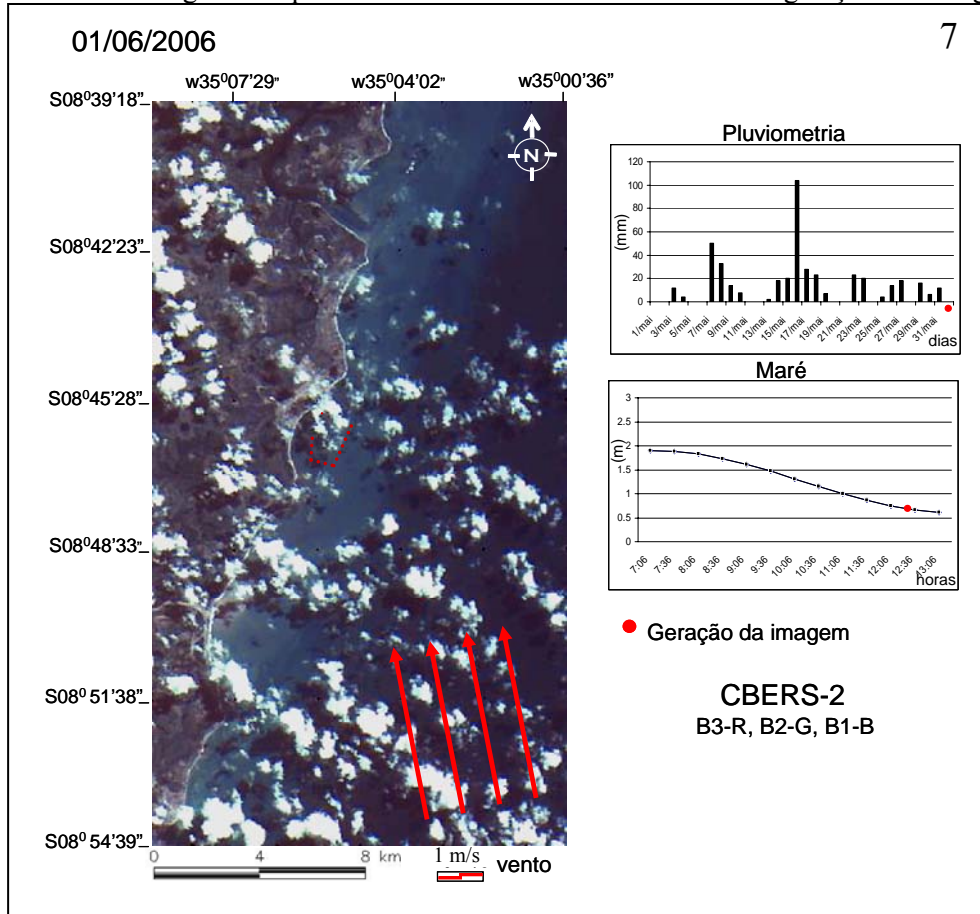
Cartas para análise visual das plumas de rios próximas à Área Fechada de Tamandaré contendo além das imagens de satélites, localização da Área Fechada, vetores de ventos (m/s e ângulo incidente), pluviometria diária (mm/dia) em um intervalo de 30 dias e variação de maré (m) no período da geração das imagens. Os pontos vermelhos indicam o momento da geração das imagens.





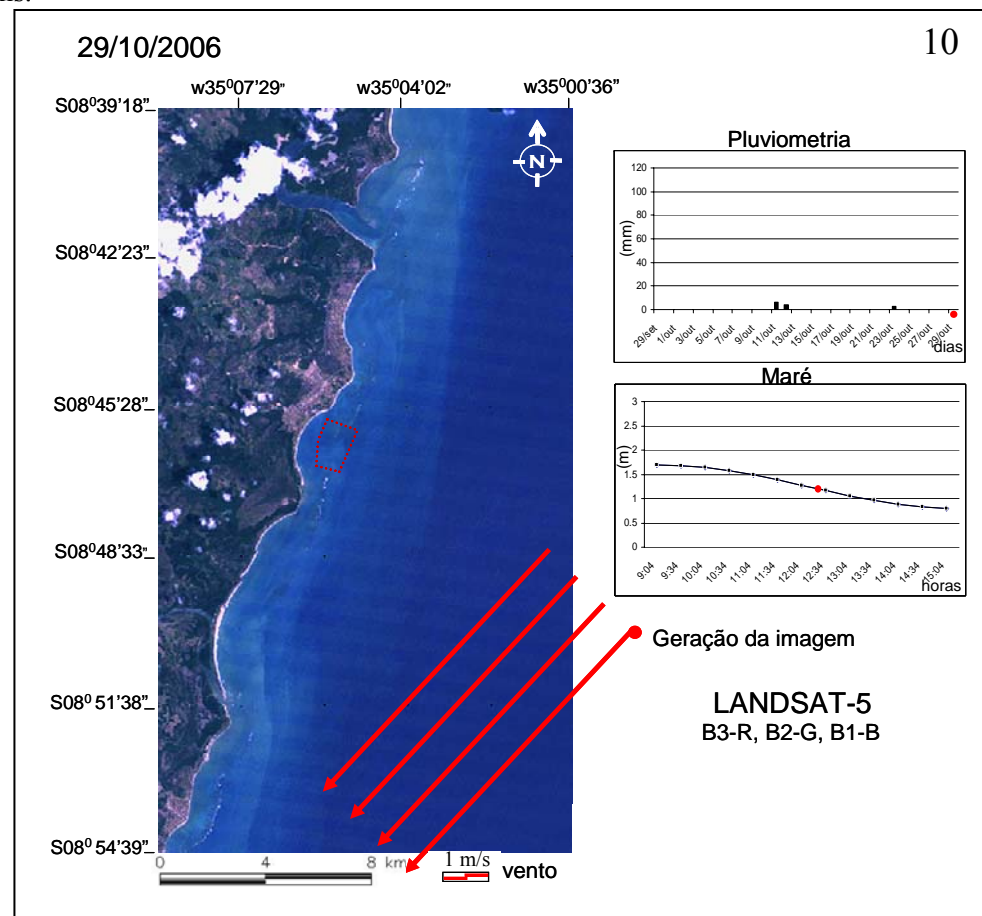
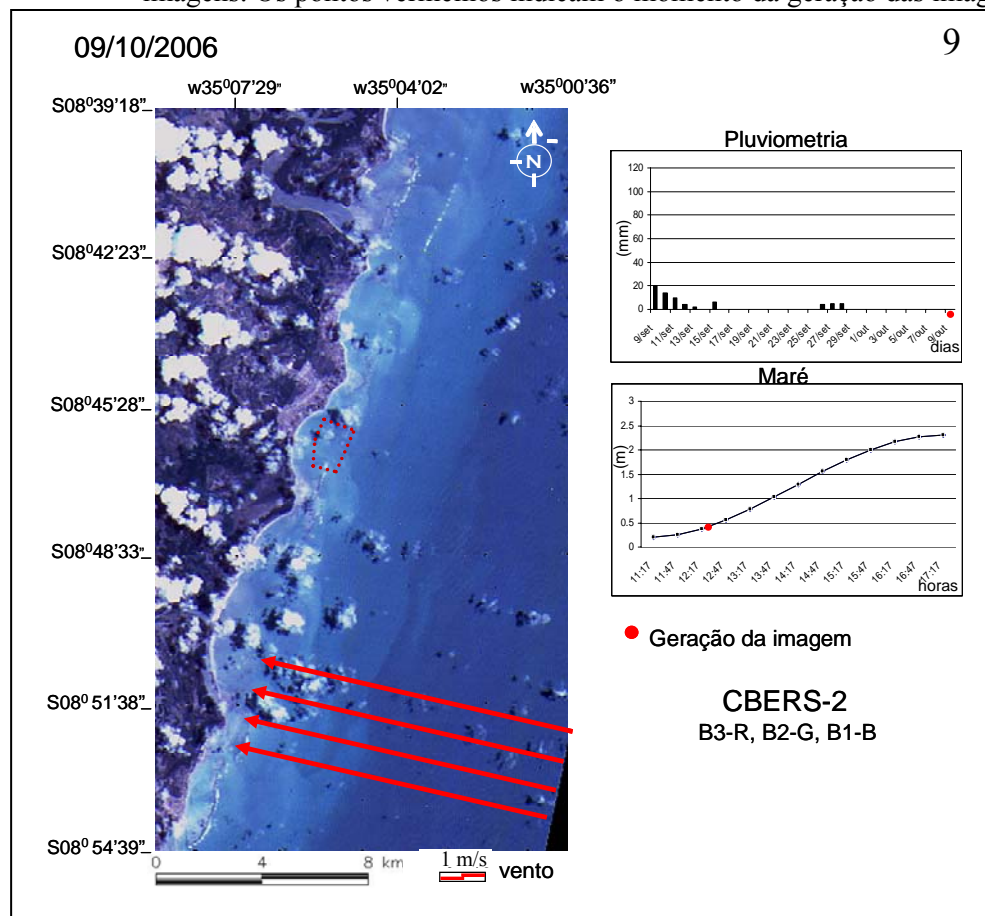
**Anexo 3** (continuação)

Cartas para análise visual das plumas de rios próximas à Área Fechada de Tamandaré contendo além das imagens de satélites, localização da Área Fechada, vetores de ventos (m/s e ângulo incidente), pluviometria diária (mm/dia) em um intervalo de 30 dias e variação de maré (m) no período da geração das imagens. Os pontos vermelhos indicam o momento da geração das imagens.



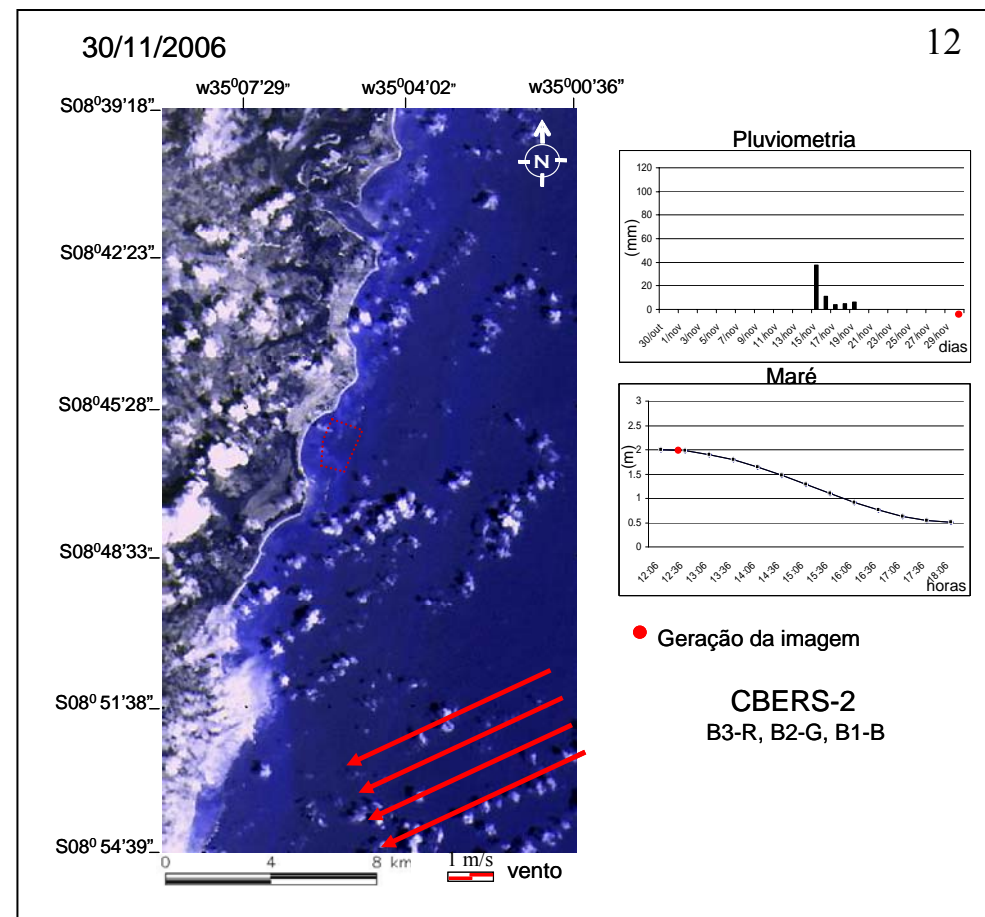
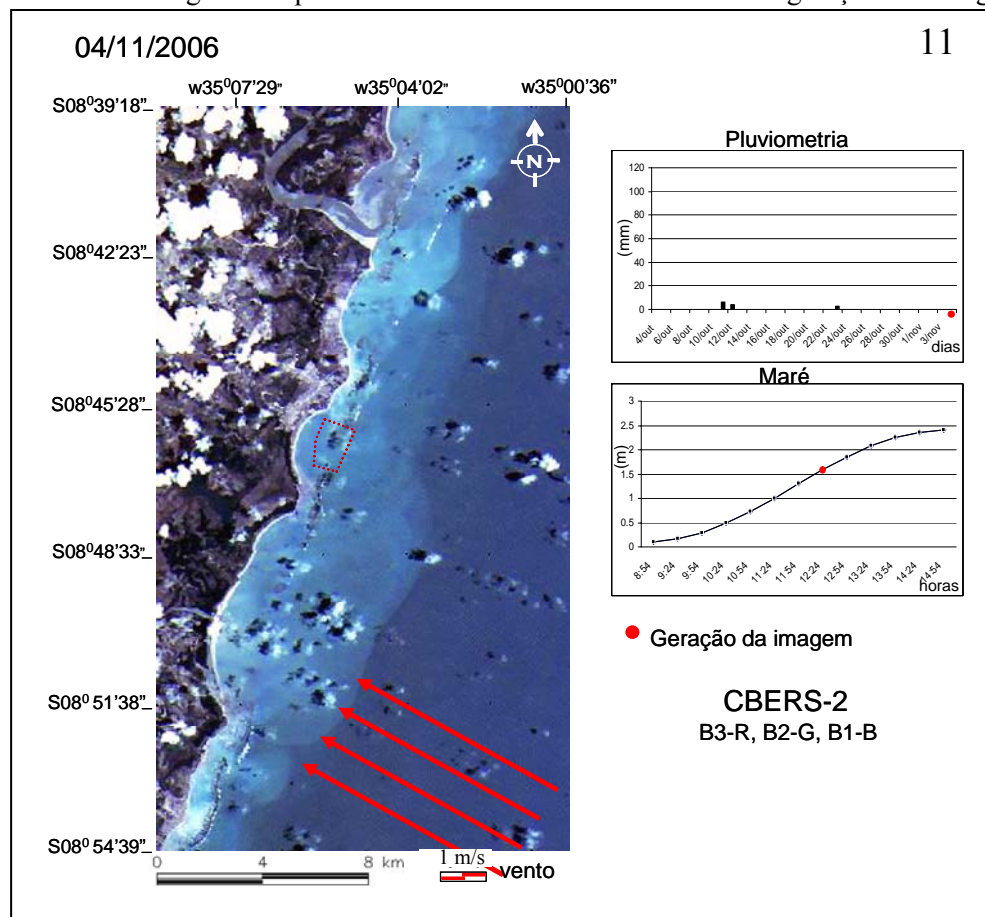
**Anexo 3** (continuação)

Cartas para análise visual das plumas de rios próximas à Área Fechada de Tamandaré contendo além das imagens de satélites, localização da Área Fechada, vetores de ventos (m/s e ângulo incidente), pluviometria diária (mm/dia) em um intervalo de 30 dias e variação de maré (m) no período da geração das imagens. Os pontos vermelhos indicam o momento da geração das imagens.



**Anexo 3** (continuação)

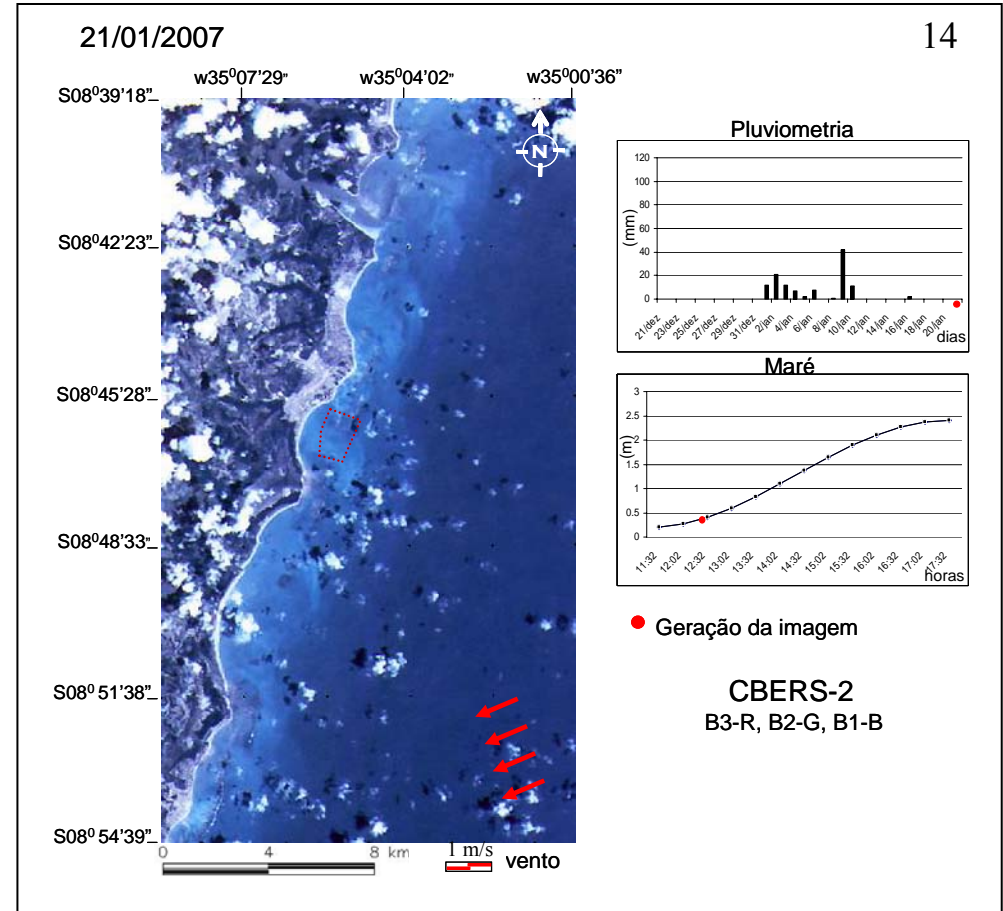
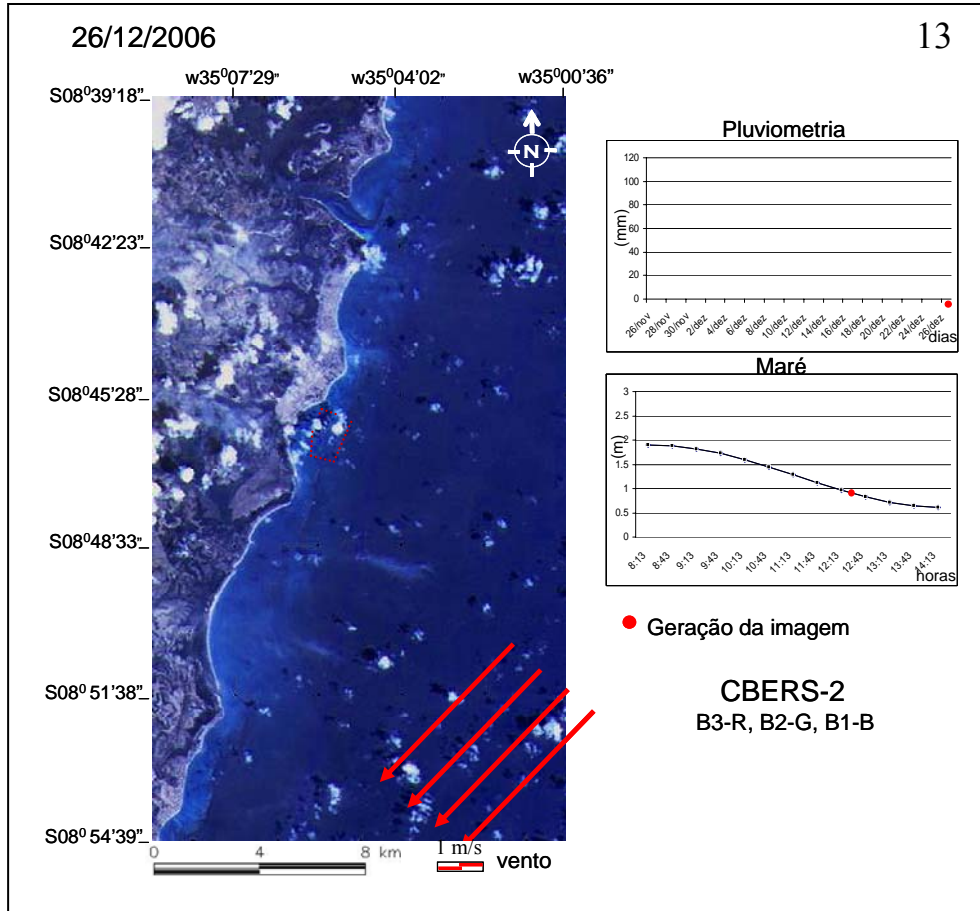
Cartas para análise visual das plumas de rios próximas a Área Fechada de Tamandaré contendo além das imagens de satélites, localização da Área Fechada, vetores de ventos (m/s e ângulo incidente), pluviometria diária (mm/dia) em um intervalo de 30 dias e variação de maré (m) no período da geração das imagens. Os pontos vermelhos indicam o momento da geração das imagens.





**Anexo 3 (continuação)**

Cartas para análise visual das plumas de rios próximas a Área Fechada de Tamandaré contendo além das imagens de satélites, localização da Área Fechada, vetores de ventos (m/s e ângulo incidente), pluviometria diária (mm/dia) em um intervalo de 30 dias e variação de maré (m) no período da geração das imagens. Os pontos vermelhos indicam o momento da geração das imagens.

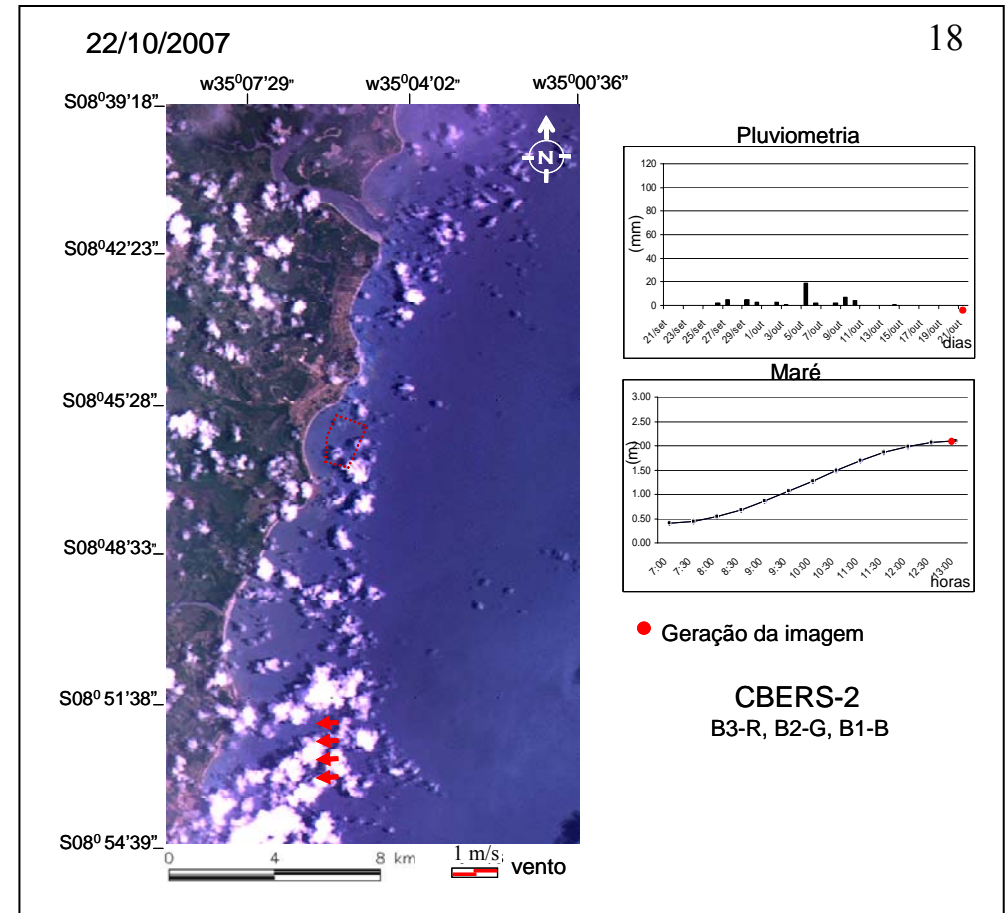
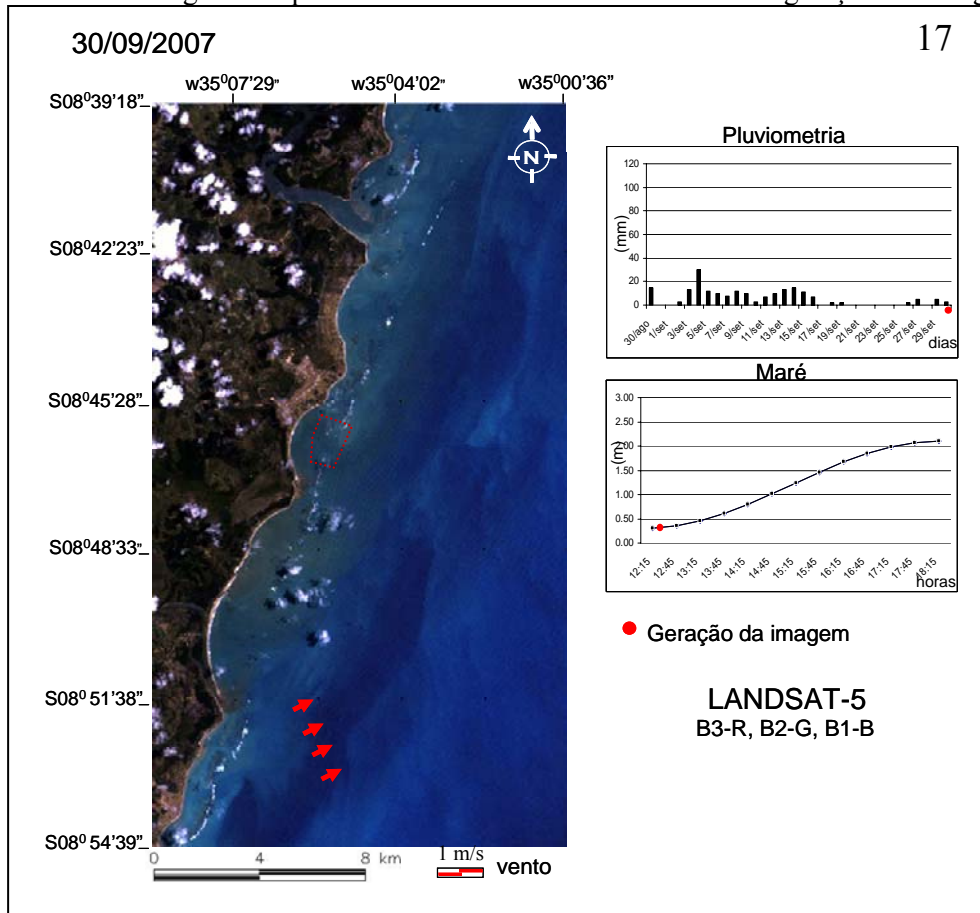






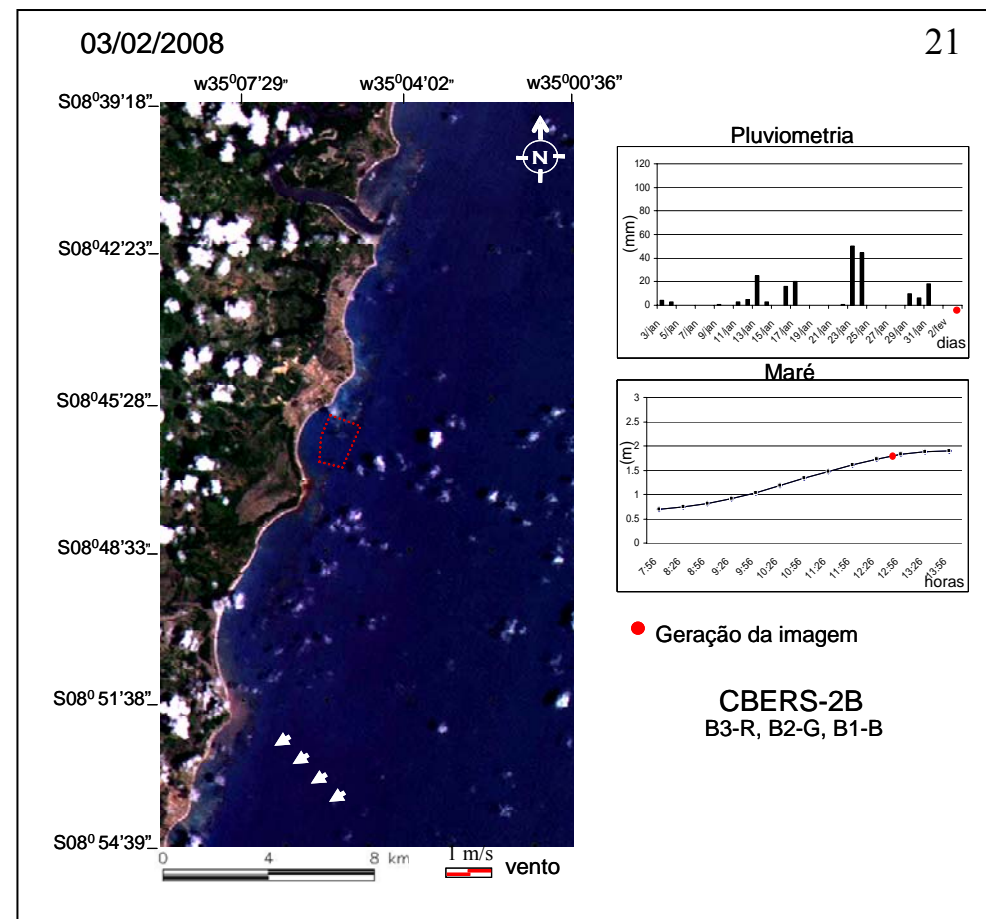
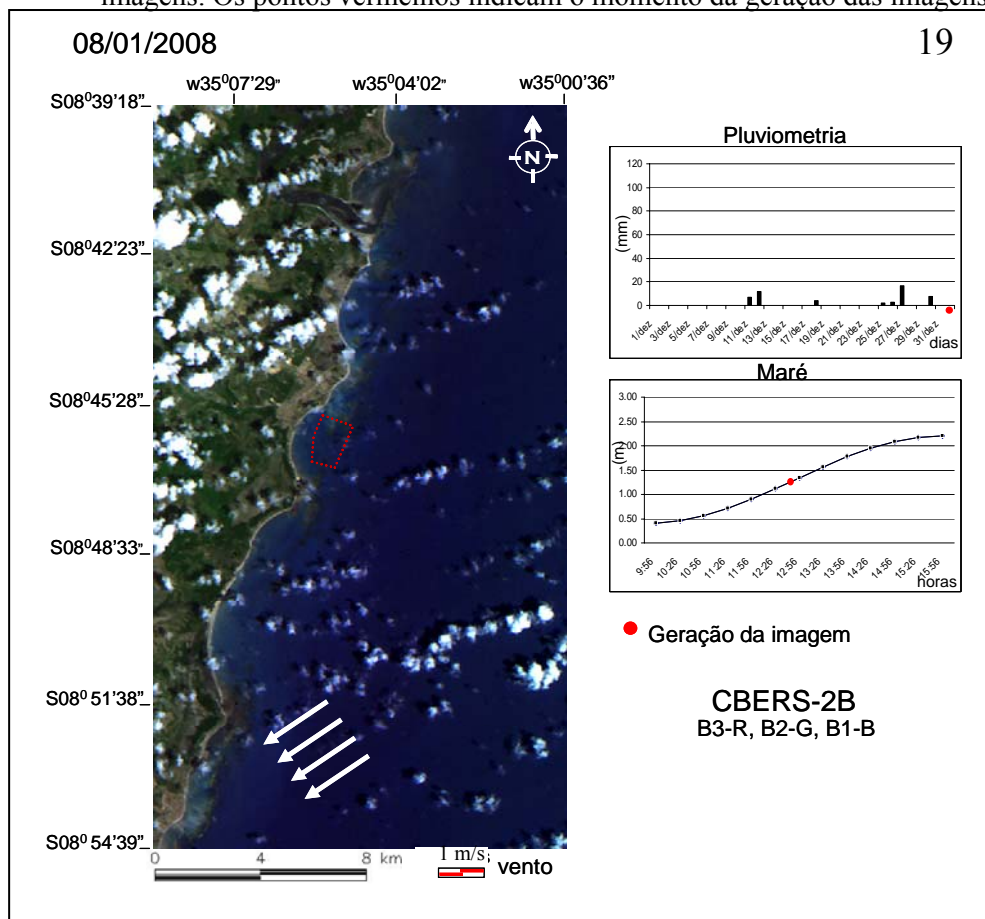
**Anexo 3** (continuação)

Cartas para análise visual das plumas de rios próximos a Área Fechada de Tamandaré contendo além das imagens de satélites, localização da Área Fechada, vetores de ventos (m/s e ângulo incidente), pluviometria diária (mm/dia) em um intervalo de 30 dias e variação de maré (m) no período da geração das imagens. Os pontos vermelhos indicam o momento da geração das imagens.



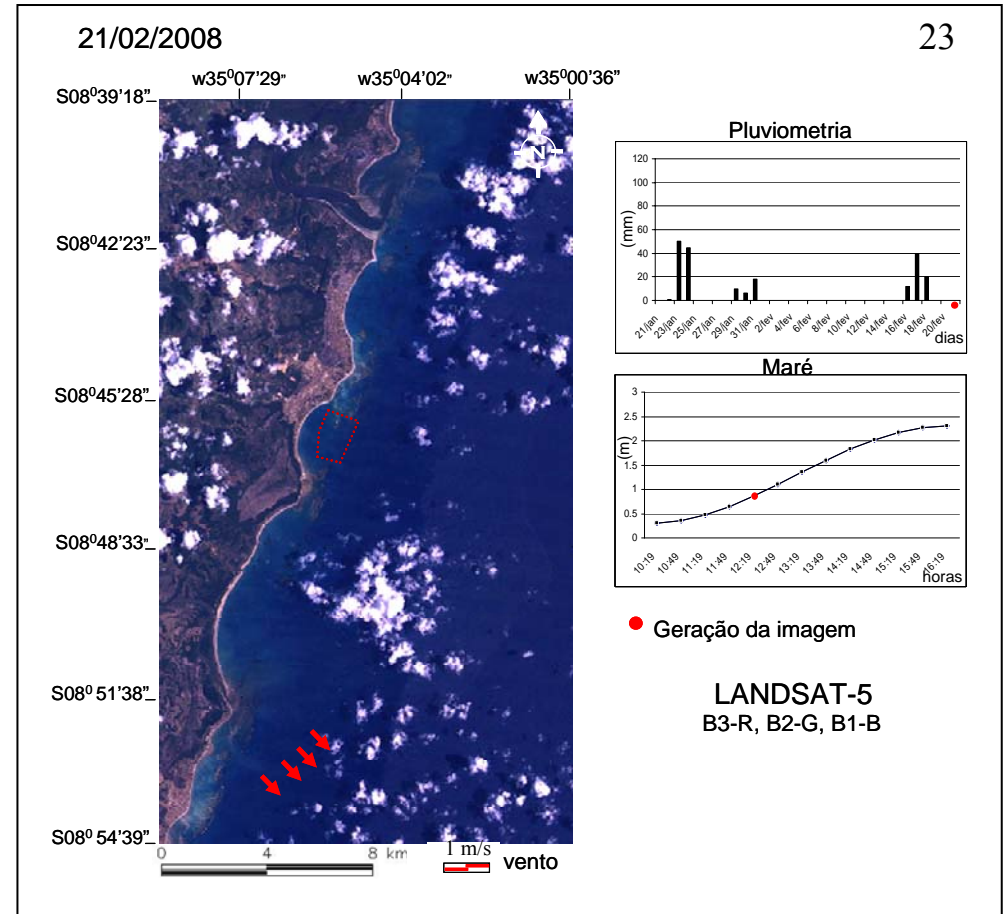
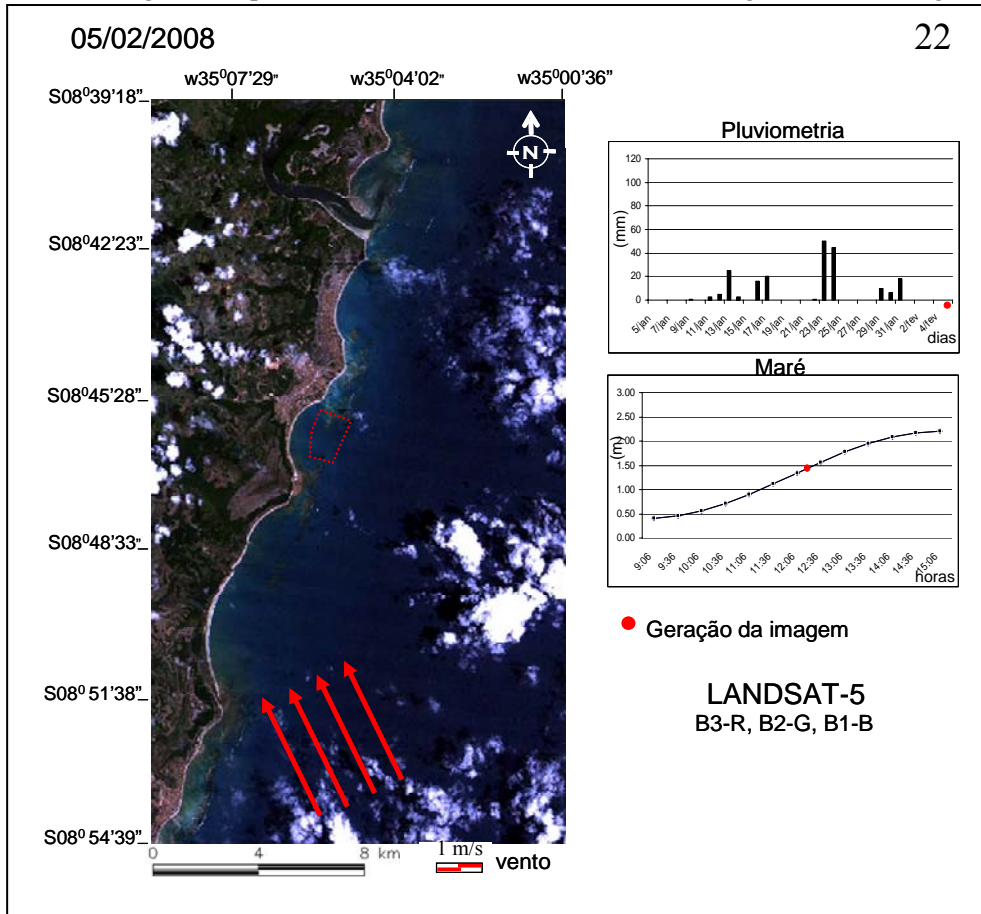
### Anexo 3 (continuação)

Cartas para análise visual das plumas de rios próximas a Área Fechada de Tamandaré contendo além das imagens de satélites, localização da Área Fechada, vetores de ventos (m/s e ângulo incidente), pluviometria diária (mm/dia) em um intervalo de 30 dias e variação de maré (m) no período da geração das imagens. Os pontos vermelhos indicam o momento da geração das imagens.



**Anexo 3** (continuação)

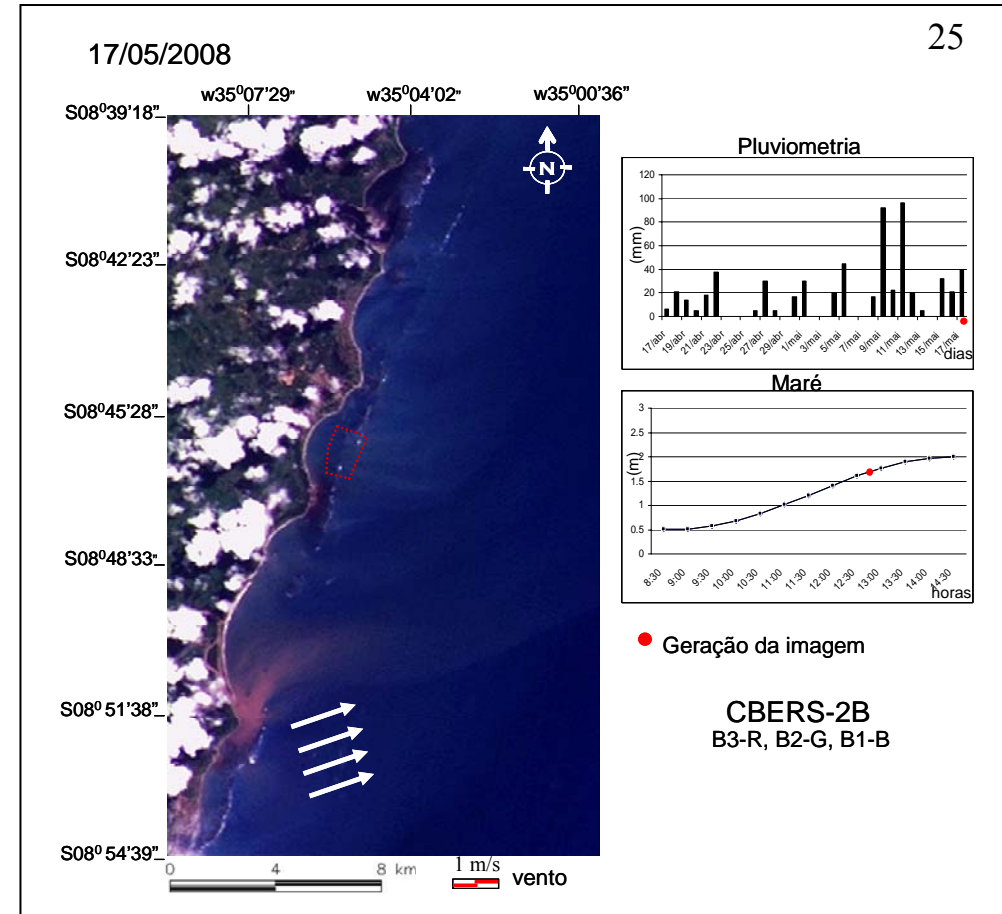
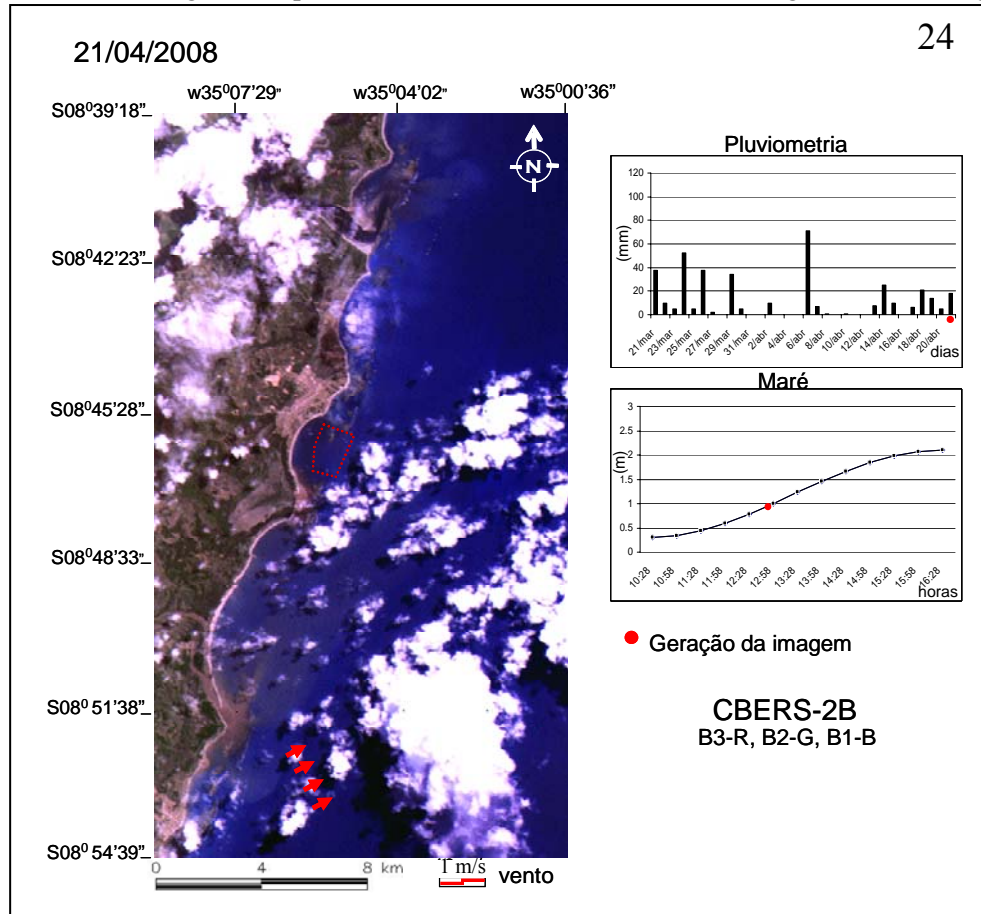
Cartas para análise visual das plumas de rios próximas a Área Fechada de Tamandaré contendo além das imagens de satélites, localização da Área Fechada, vetores de ventos (m/s e ângulo incidente), pluviometria diária (mm/dia) em um intervalo de 30 dias e variação de maré (m) no período da geração das imagens. Os pontos vermelhos indicam o momento da geração das imagens.





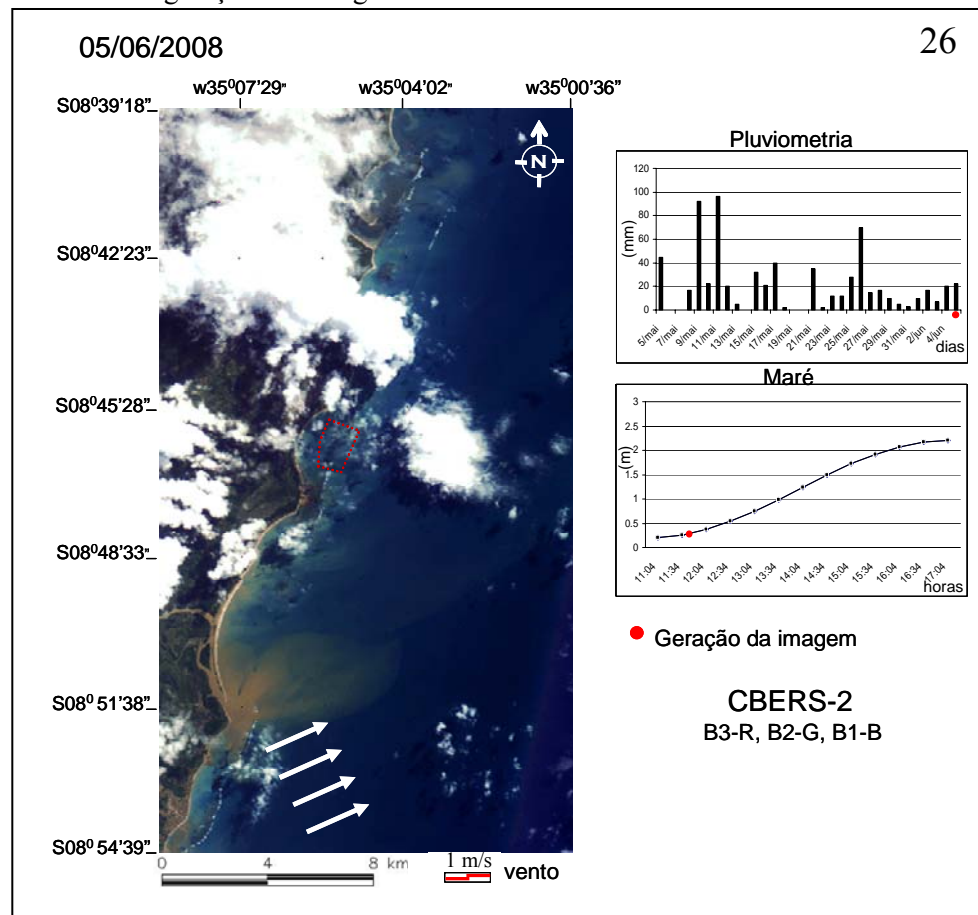
**Anexo 3** (continuação)

Cartas para análise visual das plumas de rios próximas a Área Fechada de Tamandaré contendo além das imagens de satélites, localização da Área Fechada, vetores de ventos (m/s e ângulo incidente), pluviometria diária (mm/dia) em um intervalo de 30 dias e variação de maré (m) no período da geração das imagens. Os pontos vermelhos indicam o momento da geração das imagens.



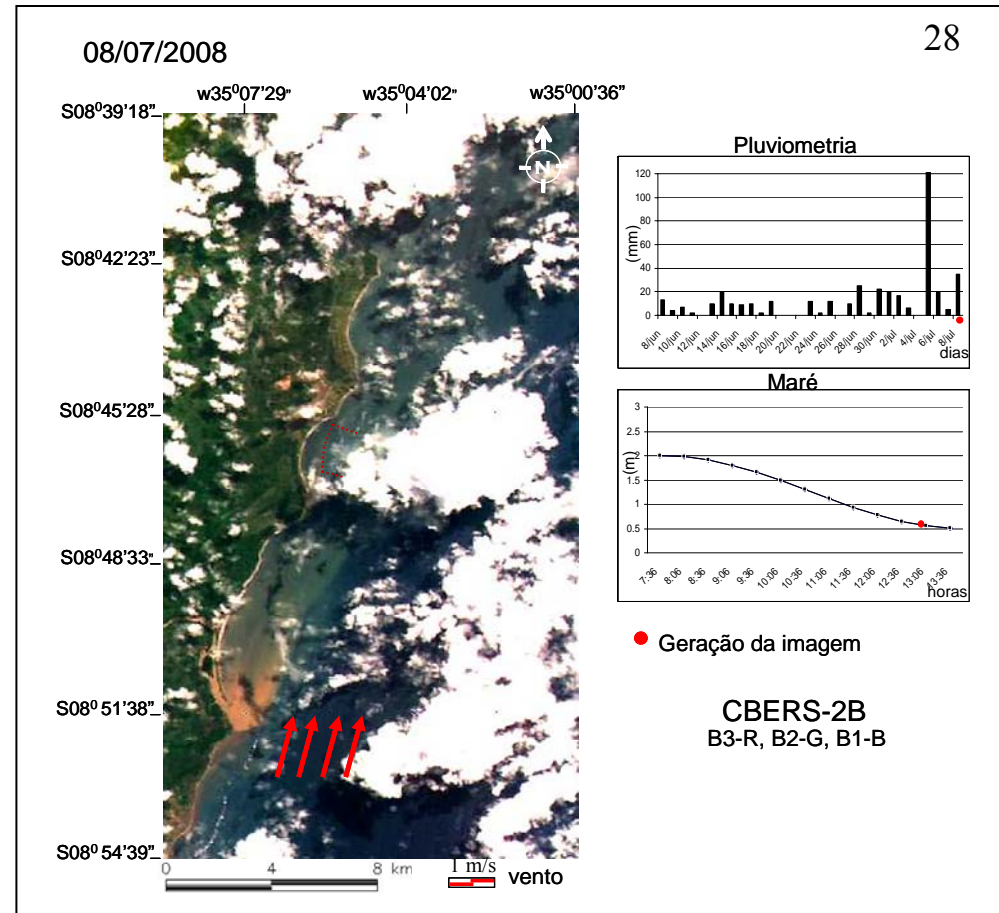
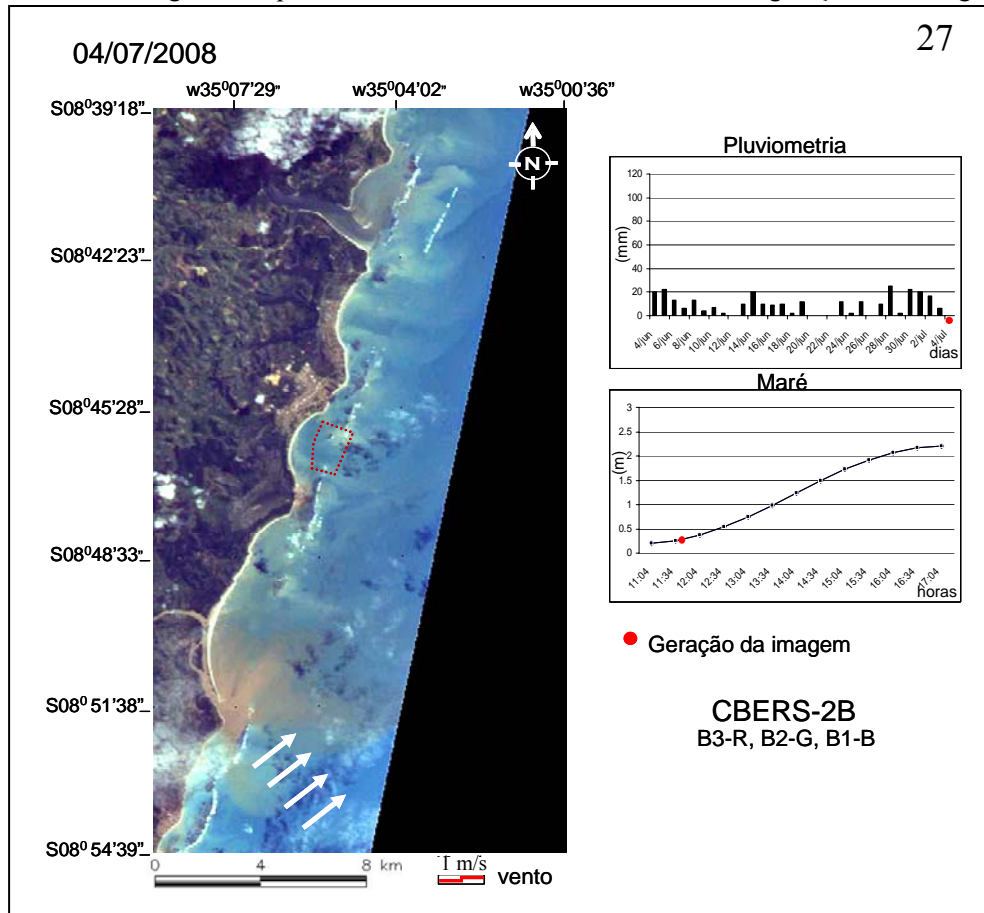
### Anexo 3 (continuação)

Cartas para análise visual das plumas de rios próximos a Área Fechada de Tamandaré contendo além das imagens de satélites, localização da Área Fechada, vetores de ventos (m/s e ângulo incidente), pluviometria diária (mm/dia) em um intervalo de 30 dias e variação de maré (m) no período da geração das imagens. Os pontos vermelhos indicam o momento da geração das imagens.



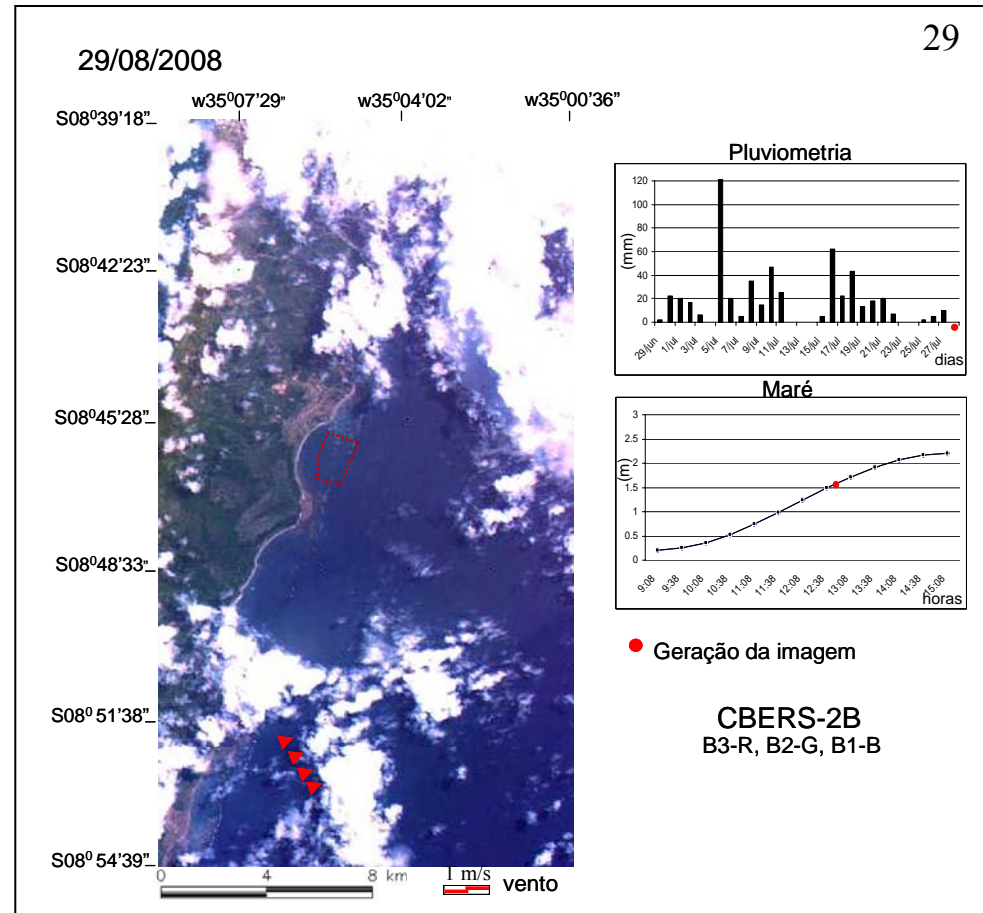
**Anexo 3** (continuação)

Cartas para análise visual das plumas de rios próximos a Área Fechada de Tamararé contendo além das imagens de satélites, localização da Área Fechada, vetores de ventos (m/s e ângulo incidente), pluviometria diária (mm/dia) em um intervalo de 30 dias e variação de maré (m) no período da geração das imagens. Os pontos vermelhos indicam o momento da geração das imagens.



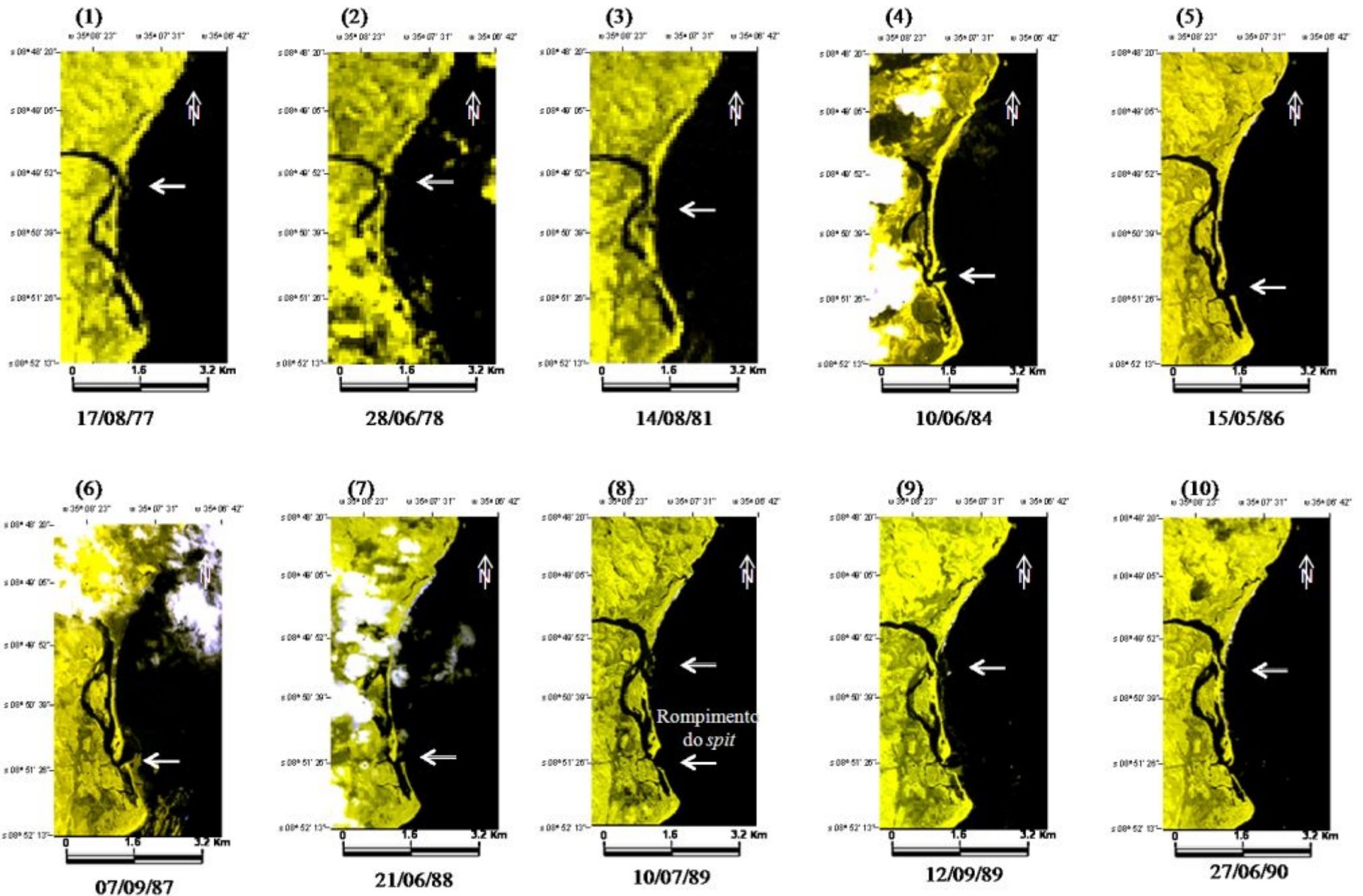
### Anexo 3 (continuação)

Cartas para análise visual das plumas de rios próximos a Área Fechada de Tamandaré contendo além das imagens de satélites, localização da Área Fechada, vetores de ventos (m/s e ângulo incidente), pluviometria diária (mm/dia) em um intervalo de 30 dias e variação de maré (m) no período da geração das imagens. Os pontos vermelhos indicam o momento da geração das imagens.

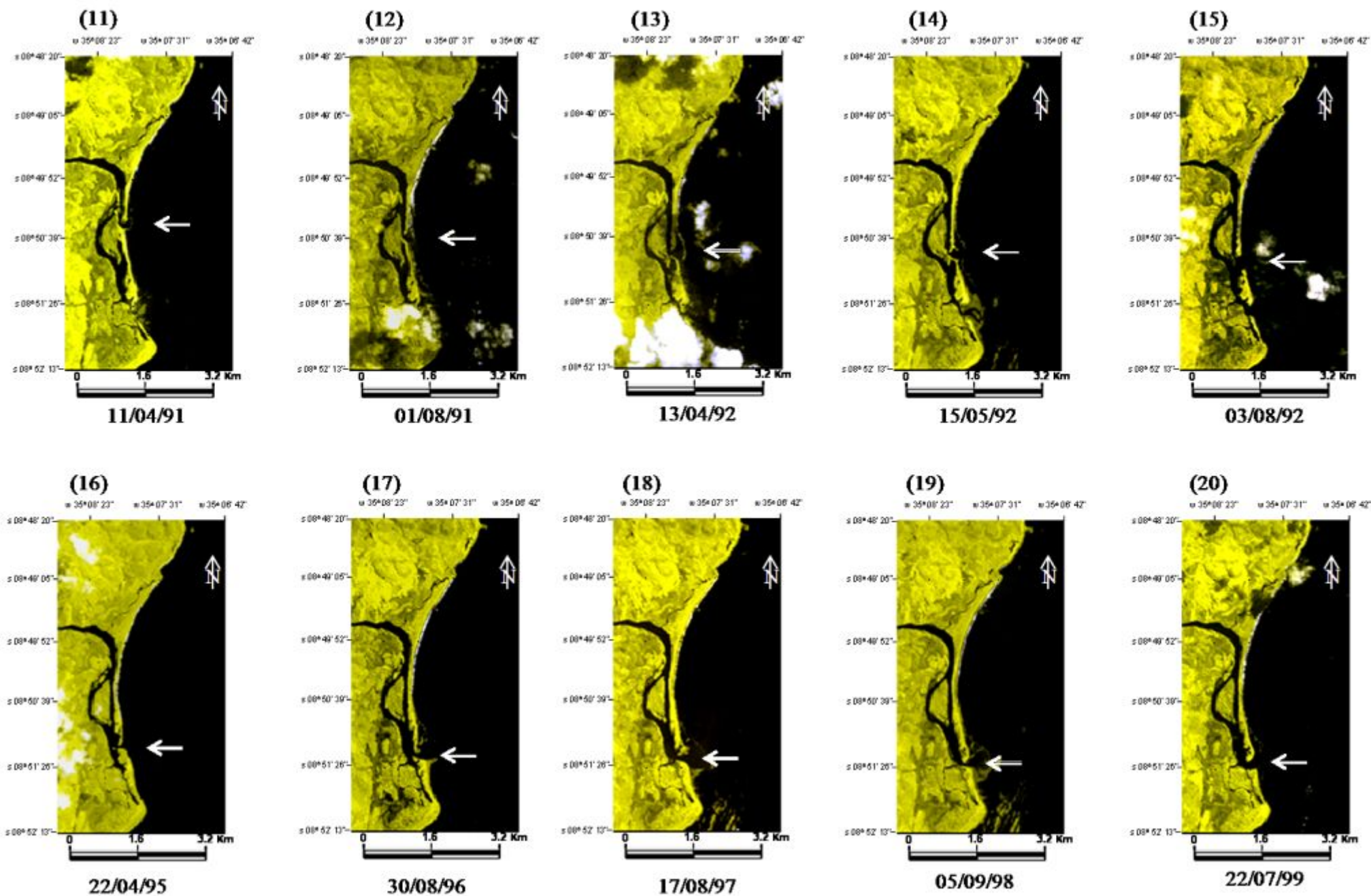




**Anexo 4 – Sequência cronológica da migração da foz do rio Una entre 1977 e 2008.**



**Anexo 4 (continuação) – Sequência cronológica da migração da foz do rio Una entre 1977 e 2008.**





**Anexo 4 (continuação) - Sequência cronológica da migração da foz do rio Una entre 1977 e 2008.**

