



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**Augusto Müller**

**ANÁLISE DA DISPERSÃO SEDIMENTAR NA PLATAFORMA  
CONTINENTAL DA COSTA DO DENDÊ ATRAVÉS DO USO DE  
MODELAGEM COSTEIRA E SENSORIAMENTO REMOTO.**

Salvador - Bahia

2017

**Augusto Müller**

**ANÁLISE DA DISPERSÃO SEDIMENTAR NA PLATAFORMA  
CONTINENTAL DA COSTA DO DENDÊ ATRAVÉS DO USO DE  
MODELAGEM COSTEIRA E SENSORIAMENTO REMOTO.**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Graduação em Oceanografia, como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia, pela Universidade Federal da Bahia.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Minervino Netto

Salvador – Bahia

2017

## AGRADECIMENTOS

A Deus toda honra, glória e louvor! A Ele primeiramente agradeço por me dar a chance de começar e concluir esta etapa em minha vida. O caminho foi árduo, mas, a vitória foi certa. Sem ele nada seria possível.

A meus pais, Isabel e César Müller, levantados pelo Altíssimo desde o princípio, me deram apoio para trilhar o caminho do bem onde nos momentos que mais precisei foram eles que estavam lá para me acolher e incentivar, juntamente com meu amado irmão Caio Müller que tem seu mérito e lugar especial em minha vida.

Aos meus amores, minha digníssima esposa Juliana Müller e meu filhinho Arthur Müller, que fazem parte desta vitória sendo uma das razões de tudo isso, na qual dedico minha vida e eles.

Aos colegas e amigos da turma de Oceanografia de 2010.1, em especial Gustavo, Kleber, Laura, Ramilla, Naialla, Clara, Carla, Lize, Adriano, Rafael, Anita, Daniela, Samara e todos os outros colegas do curso que ao longo dessa jornada tive a honra de conhecer e dividir momentos dentro e fora da UFBA, onde lembro de cada um quando me vem à mente o mar.

Ao Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente (NEHMA) por me fornecer acesso, possibilitando o desenvolvimento do meu trabalho. Nele conheci pessoas que me ajudaram muito, como as Alunas Sheila e Gabriela, que me deram dicas importantes para o aprendizado da ferramenta de modelagem costeira, SMC.

Por fim, não posso deixar de agradecer ao grande Prof. Dr. Augusto Minervino Netto por me dar a honra de ter sido meu orientador, tendo paciência e dedicação no cumprimento das atividades.

*Os que confiam no senhor são como o monte de Sião, que não se abala, mas permanece para sempre.*

*Salmos 125:1.*

## RESUMO

O aporte de sedimentos no ambiente marinho raso tem grande influência dos múltiplos processos que ocorrem na bacia de drenagem que contribuem para a geração da quantidade de sedimentos entregues a zona costeira. Apesar da existência de considerável quantidade de areia nas partes rasas da plataforma continental, a maioria dos sedimentos entregues pelos rios à zona costeira consiste por frações finas como silte e argila. O objetivo deste trabalho é analisar a ressuspensão do sedimento fino e dispersão das plumas sedimentares aportadas por fontes fluviais na plataforma continental da Costa do Dendê examinando a sua gênese, direção e amplitude de ocorrência sob diferentes condições meteorológicas e oceanográficas. Com a utilização do *software* SMC-Brasil foram realizadas modelagens das correntes geradas pelas ondas que dispersam os sedimentos finos. Os parâmetros de condições físicas (onda, vento e regime de maré) indicam serem capazes de remobilizar e ressuspender a lama ainda não coesa pela geração de correntes de *stress* cisalhante no fundo oceânico gerando turbidez, indicada pelo índice de atenuação difusa a 490 nm (K490), qual participam ainda da dispersão desses sedimentos ao longo da plataforma continental pela geração de correntes costeiras. Portanto, ondas, ventos e regime de marés são as principais forçantes na geração de turbidez e dispersão da pluma sedimentar aportada pelas bacias de drenagem na bacia receptora.

**Palavras-chave:** Pluma sedimentar, Correntes Costeiras, K490.

## ABSTRACT

The contribution of sediments in the shallow marine environment has great influence of the multiple processes that occurs in the drainage basin that contribute to a generation of the amount of sediments delivered to the coastal zone. Despite the existence of a considerable amount of sand in the shallow parts of the continental shelf, most of the sediments delivered by the rivers to the coastal zone are portions such as silt and clay. The objective of this work is analyze the resuspension of fine sediment and dispersion of the sedimentary plume contributed by fluvial sources in the continental shelf of the Dendê Coast, examining its genesis, direction and amplitude of occurrence under different meteorological and oceanographic conditions. With the use of SMC-Brazil software, waves generated currents models were developed that disperse the fine sediments. The parameters of physical conditions (wave, wind and tidal regime) indicate that they are able to remobilize and resuspended the mud that is not yet bound by the generation of shear stress currents ocean bed generating turbidity, indicated through the attenuation index diffuse at 490 nm, which is still involved with spreading sediments along the shelf continental by the generation of coastal currents. Therefore, waves, wind and tidal regime are the main suppliers in the generation of turbidity and spreading of the sedimentary plume contributed by drainage basins in the receiving basin.

**Key words:** Sedimentary plume, Coastal Currents, K490.

## SUMÁRIO

### Lista de Tabelas

### Lista de Figuras

<b>1.Introdução</b>	11 pg.
<b>2.Objetivos</b>	15 pg.
<b>3.Descrição da área</b>	16 pg.
3.0 Cenário Geológico-Fisiográfico	16 pg.
3.1. Bacias Hidrográficas	20 pg.
3.2. Recifes de Corais	21 pg.
3.3. Sistema de circulação atmosférica	21 pg.
3.4. Características Oceanográficas da Região	22 pg.
3.5. Marés	24 pg.
3.6. Correntes geradas pelos ventos	24 pg.
3.7. Ondas	27 pg.
<b>4.0. Metodologia</b>	28 pg.
4.1. Levantamento de dados e Confecção de mapas e gráficos	29 pg.
4.2. Sistema de Modelagem Costeira (SMC)	30 pg.
<b>5. Resultados e Discussões</b>	35 pg.
5.0. Bacias Hidrográficas	35 pg.
5.1. Regime de Ventos	40 pg.
5.2. Dados de Modelagem no SMC	42 pg.
5.2.1 Espectro de Onda	44 pg.
5.2.2 Deriva Litorânea	51 pg.
5.3. Identificação dos pontos de estocagem de sedimentos finos	53 pg.
5.4. Parâmetro de turbidez da água (K490)	61 pg.
<b>6.Conclusão</b>	74 pg.
<b>7.Referências</b>	76 pg.
<b>Anexo 1</b>	

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1: Tabela com as direções, alturas máximas, e frequências das ondas na Ponta de Tulha, 30 km da área de estudo. \_\_\_\_\_ 28 pg.
- Tabela 2. Estatísticas básicas de altura mediana (Hs 50%) e de tempestade (Hs 12), período de pico em condições medianas (Tp50%) e de tempestade (Tp12) e direção de propagação das ondas incidentes em um ponto adjacente ao Rio de Contas – Itacaré. \_\_\_\_\_ 43 pg.
- Tabela 3. Estatísticas básicas de altura mediana (Hs 50%) e de tempestade (Hs 12), período de pico em condições medianas (Tp50%) e de tempestade (Tp12) e direção de propagação das ondas incidentes em um ponto adjacente a Boipeba. \_\_\_\_\_ 43 pg.
- Tabela 4. Estatísticas básicas de altura mediana (Hs 50%) e de tempestade (Hs 12), período de pico em condições medianas (Tp50%) e de tempestade (Tp12) e direção de propagação das ondas incidentes em um ponto adjacente a Tinharé. \_\_\_\_\_ 43 pg.
- Tabela 5. Estatísticas básicas de altura mediana (Hs 50%) e de tempestade (Hs 12), período de pico em condições medianas (Tp50%) e de tempestade (Tp12) e direção de propagação das ondas incidentes em um ponto adjacente a desembocadura do Rio Jequiriça. \_\_\_\_\_ 44 pg.
- Tabela 6. Estatísticas das ondas mais representativas dos 300 casos gerados para o Rio de Contas e Ilha de Boipeba. \_\_\_\_\_ 45 pg.
- Tabela 7: Meses de avaliação do K490 entre os anos de 2014 a 2016. Os meses em negrito destacam-se por serem os que apresentaram as maiores turbidezes. \_\_\_\_\_ 62 pg.

## LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1. Mapa da área de estudo localizado entre os Municípios de Jaguaripe (Rio Jequiriça) e Itacaré (Rio de Contas). \_\_\_\_\_ 18 pg.
- Fig. 2. Mapa com a geologia da costa dos *Rifts* Mesozoicos/Dendê. Fonte: Dominguez *et al.*, 2012, p. 403. \_\_\_\_\_ 19 pg.
- Fig. 3: Mapa da Plataforma Continental Leste do Brasil com as principais correntes de contorno oeste oriunda da bifurcação da Corrente Sul-Equatorial. Fonte e correntes geradas pelas direções predominantes dos ventos: Dominguez *et al.*, 2012, p. 431. \_\_\_\_\_ 23 pg.
- Fig. 4: Ventos de E-NE incidentes na Costa do Dendê e seu respectivo Transporte de Ekman (S-SO). \_\_\_\_\_ 25pg.
- Fig. 5: Ventos de S-SE incidentes na Costa do Dendê e seu respectivo Transporte de Ekman (NO). \_\_\_\_\_ 26 pg.
- Fig. 6: Caracterização do clima de ondas do ponto DOW (Downscaled Ocean Waves). Rosas direcionais de altura de onda (Hs) e período de onda (Tp). a) Ponto em frente ao Rio de Contas; b) Ponto em frente a ilha de Boipeba. \_\_\_\_\_ 32 pg.
- Fig. 7: Malhas de Sudeste e Leste, respectivamente na; a) em frente a ilha de Boipeba e; b) desembocadura do Rio de Contas onde foram gerados os casos a serem propagados. \_33 pg.



- Fig. 8: Ponto DOW (*Downscaled Ocean Waves*) de intersecção entre as malhas e a batimetria da área de estudo; a) em frente a ilha de Boipeba e; b) adjacente a desembocadura do Rio de Contas. \_\_\_\_\_ 34 pg.
- Fig. 9: Serie temporal em 6 anos da vazão do Rio de Contas. \_\_\_\_\_ 38 pg.
- Fig. 10: Serie temporal em 6 anos da vazão do Rio Jequiriça. \_\_\_\_\_ 38 pg.
- Fig. 11: Serie temporal em 6 anos da vazão do Rio Una. \_\_\_\_\_ 38 pg.
- Fig. 12: Serie temporal em 6 anos da vazão do Rio das Almas. \_\_\_\_\_ 39 pg.
- Fig. 13: Série histórica de 26 anos da vazão do Rio de Contas. \_\_\_\_\_ 39 pg.
- Fig. 14: Série histórica de 26 anos da vazão do Rio Jequiriça. \_\_\_\_\_ 39 pg.
- Fig. 15: Gráfico em serie temporal anual da velocidade de incidência dos ventos de superfície entre as latitudes de 13° à 14°. Fonte: <https://discbeta.gsfc.nasa.gov/> \_\_\_\_\_ 40 pg.
- Fig. 16: a) & b) Rosa dos ventos com capturas diárias em 3 - 3 hs numa série temporal semestral de 7 anos a partir de 2010, respectivamente, para as estações de primavera/verão e outono/inverno; c) Rosa histórica anual dos ventos com capturas diárias em 3 - 3 hs numa série temporal de 20 anos a partir de 1996. \_\_\_\_\_ 41 pg.
- Fig. 17: Mapa das ondas de E e E-SE, respectivamente, adjacente ao Rio de Contas com; a & d) isolinhas de Hs das ondas; b & e) vetores de direção das ondas e; c & f) vetores + magnitudes das correntes. \_\_\_\_\_ 48 pg.
- Fig.18: Mapa das ondas de SE adjacente ao Rio de Contas com; a) isolinhas de Hs das ondas; b) vetores de direção das ondas e; c) vetores e magnitudes das correntes. \_\_\_\_\_ 49 pg.
- Fig.19: Mapa das ondas de E-SE e SE, respectivamente, adjacente a ilha de Boipeba com; a & d) isolinhas de Hs das ondas; b & e) vetores de direção das ondas e; c & f) vetores + magnitudes das correntes. \_\_\_\_\_ 50 pg.
- Fig. 20: Deriva litorânea efetiva para região do Rio de Contas. \_\_\_\_\_ 52 pg.
- Fig. 21: Deriva litorânea efetiva para região da ilha de Boipeba \_\_\_\_\_ 52 pg.
- Fig. 22: Mapa dos depósitos de lama e seus teores ao longo da área de estudo. \_\_\_\_\_ 57 pg.
- Fig. 23: Depósito lamoso na desembocadura do Rio Jequiriça e adjacente a ilha de Tinharé. \_\_\_\_\_ 58 pg.
- Fig.24: Depósito lamoso em frente a Ilha Boipeba. \_\_\_\_\_ 58 pg.
- Fig.25 Depósito lamoso na região da baía de Camamu. \_\_\_\_\_ 59 pg.
- Fig.26 Depósito lamoso adjacente a desembocadura do Rio de Contas. \_\_\_\_\_ 59 pg.
- Fig.27: Dispersão da pluma sedimentar com orientações para N aportada pelo Rio de Contas nos dias 10/08 e 30/08 de 2013 e 2015, respectivamente, influenciada por ventos E-SE incidentes na região. \_\_\_\_\_ 60 pg.

- Fig.28: Gráfico interanual do coeficiente de atenuação difusa a 490 nm (k490) para o ano de 2011. \_\_\_\_\_ 65 pg.
- Fig.29: Gráfico interanual do coeficiente de atenuação difusa a 490 nm (k490) para o ano de 2012. \_\_\_\_\_ 65 pg.
- Fig.30: Gráfico interanual do coeficiente de atenuação difusa a 490 nm (k490) para o ano de 2013. \_\_\_\_\_ 65 pg.
- Fig. 31: Gráfico interanual do coeficiente de atenuação difusa a 490 nm (k490) para o ano de 2014. \_\_\_\_\_ 66 pg.
- Fig. 32: Gráfico interanual do coeficiente de atenuação difusa a 490 nm (k490) para o ano de 2015. \_\_\_\_\_ 66 pg.
- Fig. 33: Gráfico interanual do coeficiente de atenuação difusa a 490 nm (k490) para o ano de 2016. \_\_\_\_\_ 66 pg.
- Fig. 34: Mapa com os dados do parâmetro de turbidez (k490) para o ano de 2014 nos meses de; a) Janeiro; b) Abril; c) Setembro. \_\_\_\_\_ 67 pg.
- Fig. 35: Mapa com os dados do parâmetro de turbidez (k490) para o ano de 2015 nos meses de; a) Janeiro; b) Março; c) Novembro. \_\_\_\_\_ 68 pg.
- Fig. 36: Mapa com os dados do parâmetro de turbidez (k490) para o ano de 2016 nos meses de; a) Janeiro; b) Abril; c) Junho. \_\_\_\_\_ 69 pg.
- Fig. 37: Série temporal para uma área média da velocidade de superfície do vento mensal para o ano de 2014. \_\_\_\_\_ 70 pg.
- Fig. 38: Série temporal para uma área média da velocidade de superfície do vento mensal para o ano de 2015. \_\_\_\_\_ 70 pg.
- Fig. 39: Série temporal para uma área média da velocidade de superfície do vento mensal para o ano de 2016. \_\_\_\_\_ 70 pg.
- Fig. 40: a) Histogramas do índice de atenuação e; b) tabelas das médias e medianas dos meses de Janeiro, Abril e Setembro, respectivamente, para o ano de 2014. \_\_\_\_\_ 71 pg.
- Fig. 41: a) Histogramas do índice de atenuação e; b) tabelas das médias e medianas dos meses de Janeiro, Março e Novembro, respectivamente, para o ano de 2015. \_\_\_\_\_ 72 pg.
- Fig.42: a) Histogramas do índice de atenuação e; b) tabelas das médias e medianas dos meses de Janeiro, Abril e Junho, respectivamente, para o ano de 2016. \_\_\_\_\_ 73 pg.

### Lista de Anexo

- ANEXO 1 - Formula do cálculo do comprimento de onda. \_\_\_\_\_ 80 pg.

## 1. Introdução

A transferência, distribuição e acúmulo de sedimentos da bacia de drenagem para o oceano, representa uma pequena parte do ciclo das rochas, mas possui grandes implicações geológicas e ambientais, atuando numa ampla variedade de processos sedimentológicos, biogeoquímicos e ecológicos nos ambientes marinhos (Walsh e Nittrouer, 2009; Bartley *et al.*, 2014).

Há um grande número de fatores que afetam o transporte e a acumulação de sedimentos que aportam na zona costeira. Estes fatores podem ser divididos em dois grupos: provenientes da bacia de drenagem e da bacia receptora (Walsh e Nittrouer, 2009).

No primeiro grupo envolvem a capacidade e competência das bacias hidrológicas, gradiente topográfico, tipologia litológica e taxas de atividade tectônica que ocasionaria uma quantidade maior de rochas alteradas e, portanto, mais fáceis de serem intemperizadas e erodidas gerando uma maior carga sedimentar no continente, (Liu *et al.*, 2007; Woolfe e Lacombe, 1998), associado à atuação dos processos climáticos (Milliman e Syvitski, 1992; Liu *et al.*, 2007). Outros fatores como geomorfologia, atividades humanas e vegetação atuariam apenas de forma secundária (Milliman e Syvitski 1992).

No segundo grupo temos atuação dos fatores meteo-oceonográficos, ondas, marés, densidade do fluido e topografia da plataforma continental. A sinergia destes fatores atua na dispersão de sedimentos finos (DSF) e acumulação sobre os ambientes marinhos raso, uma vez que o maior volume de sedimentos transportados pela drenagem consiste de silte e argila, partículas sedimentares muito suscetíveis as forçantes oceanográficas carreados como fluxo hipopicnal.

As plataformas continentais em sua maioria representam o ambiente submerso, plano e de baixa declividade, delimitada em direção ao continente pela face litorânea (*shoreface*) e em direção ao oceano por uma região onde ocorre um rápido aumento da declividade conhecida como quebra da plataforma, ou linha de charneira, onde a partir deste ponto inicia-se o talude continental.

Ao longo da evolução humana e com o crescimento populacional cada vez maior, as zonas costeiras foram sendo ocupadas e sofrendo grandes alterações pelas atividades antrópicas, e as plataformas continentais por apresentarem conectividade com estas zonas tornam-se um sistema vulnerável, devido ao seu importante papel econômico, social e ecológico.

Os aportes continentais de resíduos industriais, domésticos, agrícolas, exploração dos recursos renováveis e não-renováveis como óleo e gás e exploração de recursos pesqueiros são exemplos de impactos ocorrentes sobre os ambientes sitiados na plataforma continental (Amorim, 2011).

No estudo da DSF a circulação costeira é um fator especial no ambiente marinho raso. Amorim (2011), por exemplo, descreve a dinâmica sazonal na Plataforma Continental Leste do Brasil por diferentes mecanismos forçantes, nas quais interações entre fenômenos de meso-escala relacionados ao fluxo das Correntes de Contorno Oeste e fenômenos de bandas supra-inercial (correntes de maré) e sub-inercial (ventos) caracterizariam a circulação neste trecho de plataforma continental.

Aqui entende-se por sedimentos finos partículas sedimentares, sendo adotada a classificação de Wentworth - argila ( $<0,004\text{mm}$ ), silte ( $< 0,0063\text{ mm}$  à  $>0,004\text{mm}$ ), areia ( $63\text{mm}$  ou  $0.063\text{mm}$  à  $2.0\text{mm}$ ) cascalho/agregados ( $>2.0\text{mm}$ ).

Embora outros autores proponham divisões de tamanho pelo comportamento hidrodinâmico, por exemplo, o limite abaixo de  $10\ \mu\text{m}$  (silte fino) é usado na oceanografia para distinguir partículas que possuem um comportamento mais dispersivo sobre atuação dos processos oceanográficos de ondas, marés e correntes costeiras (deriva litorânea gerada pelas ondas, correntes geradas pelo fluxo de maré e correntes geradas pelo efeito cisalhante do vento moldada por ação dos efeitos de Coriolis e espiral Ekman) (Orpin *et al.*, 1999).

A coesão de sedimentos lamosos é complexa e dependente da sua mineralogia e mesmo das misturas entre silte (partícula não coesiva) e argilas (Tran & Stron, 2017), além do conteúdo de água presente a quantidade de

matéria orgânica. Esta coesão se torna importante por que pode potencialmente levar a ressuspensão de carga sedimentar lamosa previamente depositada.

Os sedimentos argilosos possuem uma área superficial grande em relação à sua massa e apresentam estruturas em camadas com carga elétrica negativa. A coesão entre partículas aumenta quando as cargas negativas de repulsão são anuladas no ambiente marinho que possuem uma grande variedade de cátions (formação de quelatos). Esta coesão mineral é ainda reforçada pela coesão orgânica, causada pela produção de mucilagens produzidas pelo fitoplâncton e cianofíceas bentônicas ou mesmo peletização biogênica o que tende a tornar as partículas sedimentares cada vez maiores (fenômeno da complexação), induzindo a sua decantação e restringindo seu transporte (Walsh e Nittrouer, 2009).

Após esta etapa inicial a pequena quantidade dos sedimentos em suspensão no ambiente marinho (pluma sedimentar) é transportada pelas correntes geradas pelas condições físicas (onda, fluxo de maré e ventos) que continuam a dispersá-la até a diminuição da intensidade dos agentes transportadores, levando estes sedimentos a serem depositados em um sítio final.

Porém, o destino final dos sedimentos depende ainda do tamanho da partícula sedimentar, sua mineralogia (que define a sua densidade) e materiais adsorvidos (matéria orgânica, nutrientes, mucilagem microbiana).

Quando partículas no tamanho silte e argila estão misturados em proporções desconhecidas e apresentando o comportamento inconsolidados é atribuído o termo lama (podendo ser classificada texturalmente como lama-arenosa ou areia-lamosa a depender das quantidades de areia, silte e argila). Vale salientar que organismos com partes calcárias também pode contribuir para a geração de lama *in situ* (lama calcária), aumentando a complexidade dos depósitos lamosos.

Os recifes de corais são um dos ecossistemas encontrados na plataforma continental que sofrem os efeitos decorrente das mudanças físico-

químicas da água, sendo dentre os ecossistemas marinhos o mais sensível do mundo. Em muitos casos não é necessariamente a pluma que causa efeitos deletérios sobre os ambientes recifais, mas a contínua ressuspensão desta carga material entregue anteriormente que permanece sendo ressuspensa sob condições hidrodinâmicas mais energéticas (Storlazzi *et al.*, 2009).

Segundo Olavo *et al.*, (2011), em seu estudo realizado na costa leste do Brasil entre 13º e 22º, os recifes de corais presentes na plataforma continental apresentam um papel importantíssimo quanto a distribuição e diversidade de peixes do Estado da Bahia atribuindo assim, grande valor para este ambiente.

Efeitos como sufocamento e redução da luz indispensável para realização da fotossíntese devido a turbidez provocada pela lama desencadeará efeitos deletérios uma vez que os recifes funcionam como habitat para diversas espécies da fauna e flora marinha.

A dispersão da pluma sedimentar no ambiente marinho, ganhou notoriedade com o rompimento da barragem de rejeitos da SAMARCO em Minas Gerais, em 05 de novembro de 2015. Devido aos impactos sociais, ambientais e econômicos este tema ganhou visibilidade nacional. Uma das preocupações era a possível chegada da lama ao Arquipélago de Abrolhos, hipótese que foi descartada, pois a região naquela oportunidade estava sob atuação dos ventos de E-NE que geram correntes costeiras com direção sul - sudoeste.

Dessa forma, reverte-se de grande importância estudos sobre as condições da dispersão da pluma sedimentar associada a circulação existente no ambiente costeiro.

## 2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é analisar a ressuspensão do sedimento fino e a dispersão das plumas sedimentares aportadas por fontes fluviais na plataforma continental da Costa do Dendê examinando a sua gênese, direção e amplitude de ocorrência sob diferentes condições meteorológicas e oceanográficas.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Analisar e descrever a localização das plumas sedimentares ao longo da plataforma interna/média da costa do Dendê;
- Modelar no SMC-Brasil a propagação das ondas e suas correntes que geram transporte ao longo de uma costa dominada por ondas para validar os dados de dispersão da pluma de sedimentos das bacias hidrográficas;
- Investigar com base nos registros de estações meteorológicas e dados de satélite se existe uma contribuição do vento para a ressuspensão costeira dos sedimentos finos acionado pelo processo de ressurgência induzida pelo efeito de Coriolis na região de estudo;
- Descrever temporalmente e espacialmente as áreas de maior concentração de turbidez, utilizando para tal fim o índice do coeficiente de atenuação do k490, obtido do sensor MODIS.

Hipóteses:

H1: A carga de sedimentos finos observados na coluna d'água possui a origem direta nos períodos de vazão máxima das bacias hidrográficas que aportam a área de estudo.

H2: A carga de sedimentos finos observados na coluna d'água possui a origem na ressuspensão acionada por forçantes meteorológicas e oceanográficas atuantes na área de estudo.

### 3. Descrição da Área

#### 3.0. Cenário Geológico-Fisiográfico

A região da área de estudo está localizada no NE brasileiro entre o município de Jaguaripe e Itacaré nas latitudes de 13° 12' S a 14° 16' S conhecida como Costa do Dendê, sensu CBPM (2006), inserida na Margem Continental Leste do Brasil atingindo uma distância linear aproximada de 122 km (Fig.1).

Neste trecho a Plataforma Continental Leste Brasileira é uma das mais estreitas do país com uma média de 20 km de largura (Dominguez *et al.*, 2012), sendo bastante singular devido sua linha de quebra (*shelf break*) ser relativamente rasa ocorrendo entre as isóbatas de 60 e 80 m, donde observa-se a forte declividade do talude superior (Leão, 1996). Ao longo de sua extensão a Plataforma Continental Leste do Brasil abriga importantes ecossistemas e uma grande diversidade de fauna coralínea na região das plataformas média e externa (Leão, 1994).

Assim como a zona costeira, a fisiografia da plataforma continental baiana foi bastante influenciada pela herança geológica e pelas variações do nível do mar durante o Quaternário. Em frente ao município de Itacaré, a largura mínima atinge cerca de 7 km onde a quebra da plataforma encontra-se entre as isóbatas de 45 a 50 metros de profundidade (Dominguez *et al.*, 2012).

As principais unidades geológicas encontradas ao longo da área de trabalho são as rochas mesozóicas, depósitos sedimentares do Holoceno e Pleistoceno, rochas do embasamento cristalino que afloram na linha de costa no entorno do limite sul da área de estudo e depósitos da Formação Barreiras (Fig. 2).

Na área de estudo a Formação Barreiras aparentemente está ausente entre o trecho de Itacaré à Morro de São Paulo, na Bacia de Camamu. Entretanto afloramentos atribuídos à Formação Taipus-Mirim tem grande semelhança com a Formação Barreiras, muito provável, portanto, que exista



remanescente da Formação Barreiras nesta região (Dominguez *et al.*, 2012, p. 368). Esta Formação tem grande implicação no fornecimento sedimentar, pois dela ocorre parte importante da lama que se acumula na plataforma continental, aproximadamente entre as isóbatas de 10 – 50 m.

Dominguez e Bittencourt (2012), relatam a interação da herança geológica com outros fatores como o clima e as variações do nível do mar e o suprimento de sedimentos que ajudaram a modelar a zona costeira produzindo uma grande variedade geomorfológica.

O período quaternário é marcado pelo abaixamento do nível do mar, devido à diminuição da temperatura global e as constantes alterações entre estádios glaciais e interglaciais (Suguio, 1999) o que conduziram a um rebaixamento topográfico nas bacias sedimentares mesozóicas por erosão diferencial, e culminaram na formação da baía de Camamu, canal de Taperoá e uma linha de costa bastante recortada como observada entre as ilhas de Tinharé e Boipeba. (Dominguez e Bittencourt, 2012).

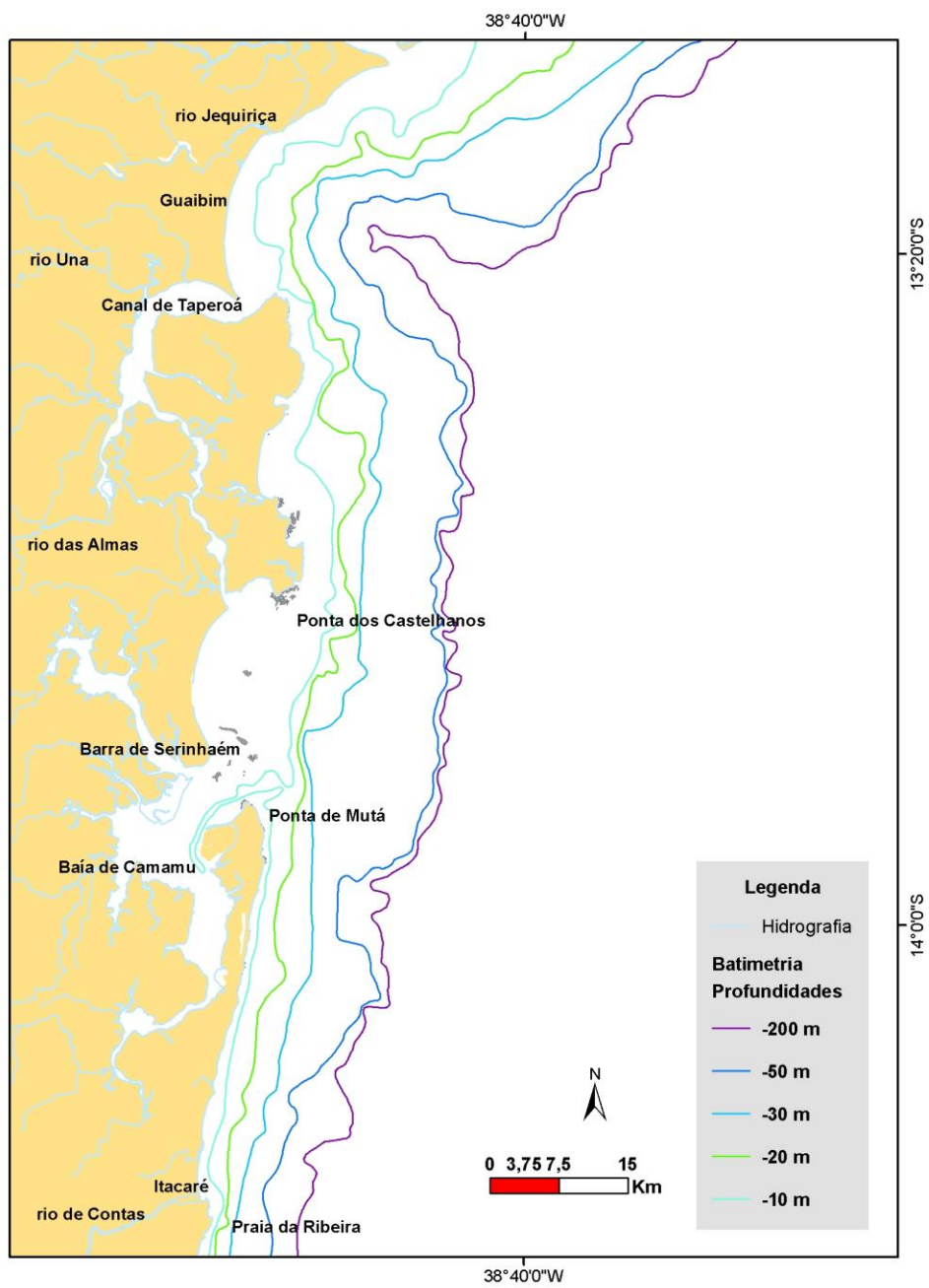


Fig. 1: Mapa da área de estudo localizado entre os Municípios de Jaguaripe (Rio Jequiça) e Itacaré (Rio de Contas).

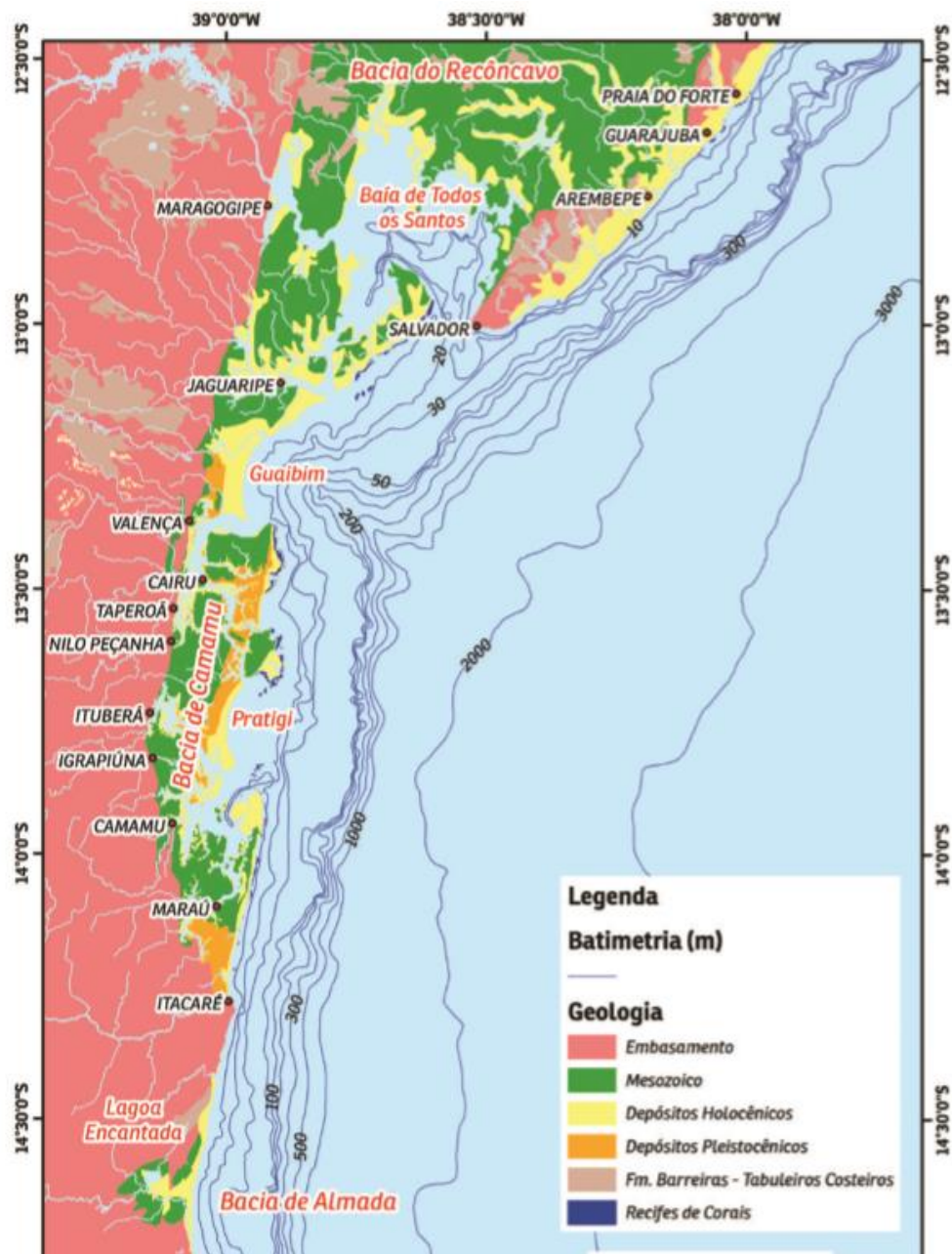


Fig. 2: Mapa com a geologia da costa dos *Rifts* Mesozóicos/Dendê.

Fonte: Dominguez *et al.*, 2012, p. 403.

### 3.1. Bacias Hidrográficas

Entre os rios que desembocam ao longo da linha de costa da área de estudo, podemos destacar o rio de Contas sendo um dos principais rios da costa baiana (Dominguez *et al.*, 2012) localizado na região de Itacaré, o qual aparenta ter um papel significativo na descarga de sedimentos finos para o sistema costeiro.

Em escala regional as descargas do rio de Contas, por exemplo, são maiores que 100,0 m<sup>3</sup>/s (Carvalho, 2011) de forma que os outros rios menores apresentam uma contribuição pequena (Dominguez *et al.*, 2012; Bittencourt *et al.*, 2007).

As zonas rebaixadas na plataforma associada ao rio de Contas (vales incisos) funcionam como uma importante armadilha para sedimentos finos nesta região (Nunes, 2009). As várias ravinas que ocorrem na borda da plataforma continental geradas pelas bacias de drenagem e fluxo gravitacional formam uma parte essencial das cabeceiras do sistema de transporte de sedimentos que atuam como *by-pass* para o talude continental (Wheatcroft e Sommerfield, 2005).

Sedimentos na Plataforma Continental Leste do Brasil podem ser de dois tipos principais: sedimentos siliciclásticos, localizados próximos da costa e na porção interna da plataforma, e sedimentos carbonáticos de origem biogênica nas porções média e externa da plataforma. De acordo com Bittencourt (2006) citado por Nunes (2009), do ponto de vista textural foram identificadas oito fácies sedimentares variando desde o cascalho a lama.

As principais ocorrências da lama presente na área de estudo estão associadas às cabeceiras dos cânions de Salvador, desembocaduras do Rio de Contas e região confrontante às ilhas de Tinharé e Boipeba (Dominguez *et al.*, 2012) que possuem  $\pm 80\%$  do seu conteúdo de sedimentos lamosos.

### **3.2. Recifes de Corais**

No litoral Sul da Bahia é encontrado os maiores e mais ricos recifes de coral do Brasil e de todo o Atlântico Sul Ocidental (Leão, 1994). São estruturas raras e exuberantes, sendo particulares no Brasil devido o modo de crescimento em forma de chapéu ou cogumelo, conhecidos por isso como chapeirão. Esses corais se fundem formando os bancos recifais mais variados. Na área de estudo ocorrem os recifes adjacentes à linha de costa e bancos recifais afastados da linha de costa.

Mais recentemente, o crescimento dos recifes no litoral baiano iniciou-se no período do Quaternário a 7 mil anos, quando o nível do mar esteve semelhante ao atual. Neste período ocorreu o crescimento vertical dos recifes que acompanharam a subida do nível do mar atingindo seu clímax aproximadamente a 5 mil anos atrás, época que a altura do mar esteve 5 m acima do atual (Leão *et al.*, 2003).

Após esse período, com a descida do nível do mar os topos dos recifes ficaram emersos e expostos a erosão, ocorrendo então o período de crescimento lateral dos recifes, formando os bancos recifais. Devido a progradação da linha de costa os bancos recifes mais próximos a costa se converteram em recifes adjacentes à linha de costa.

### **3.3. Sistema de circulação atmosférica**

O regime de ventos do Estado da Bahia é originado de modo geral por sobreposições de mecanismos atmosféricos sinóticos (globais) e de meso-escala (regionais) (Atlas do Potencial Eólico da Bahia, 2002). O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) ao chegar na costa nordeste do Brasil diverge constituindo uma Zona de Divergência (ZD) gerando os ventos Alísios, mais constantes, que convergem quanto à direção com dominância entre Nordeste (NE) e Sudeste (SE) (da Silva, 2011; Bittencourt *et al.*, 2000; Atlas do Potencial Eólico da Bahia, 2002). A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) também controla a direção dos ventos ao longo da costa. Soma-se a este

cenário os avanços periódicos da Frente Polar Atlântica promovendo a geração de ventos com direção predominante de sul-sudeste (SSE).

A sazonalidade de larga escala do regime dos ventos alísios representa uma forçante importante da circulação costeira da plataforma continental baiana.

### **3.4. Características Oceanográficas da Região**

As características oceanográficas da Plataforma Continental Leste do Brasil são altamente influenciadas pela Corrente Sul Equatorial, que é parte do Giro Subtropical do Atlântico Sul (Amorim, 2011), de forma que a parte sul da Corrente Sul Equatorial sofre uma divergência ao atingir a costa leste do Brasil dando origem a duas correntes de contorno oeste (CCOs), a Corrente Norte do Brasil/ Sub-Corrente Norte do Brasil e a Corrente do Brasil, onde a Corrente Norte e a Sub Corrente Norte do Brasil apresentam fluxos em direção ao equador e a Corrente do Brasil (CB) fluxo em direção ao sul (Fig. 3).

Na zona do talude continental ocorre interações entre as duas correntes originadas pela bifurcação da parte sul da Corrente Sul Equatorial entre 13° e 17° S (entre Salvador e Porto Seguro) onde na área de estudo, o fluxo da Sub-Corrente Norte do Brasil domina nos meses de Abril a Setembro (inverno) e a CB dominando o fluxo entre os meses de Outubro a Março (verão).

A circulação local também é fortemente afetada pela passagem de sistemas frontais mais comuns no inverno que são capazes de reverter a circulação sobre a plataforma continental ao longo de toda a coluna d'água (Amorim, 2011; Segal *et al.*, 2007)

O fluxo das marés também gera correntes ao longo da zona costeira, sobretudo na baía de Camamu, que é um sistema estuarino, onde a circulação na plataforma continental que possui de 8 a 25 km de extensão torna-se bastante influenciada pela atuação das correntes de marés. Em especial, a circulação nesta baía apresenta características bastante singular pois está situada bem próxima da divergência da Corrente Sul Equatorial, onde

fenômenos de meso-escala (vórtices gerados pelas CCOs) atuam na região. As correntes influenciadas pelas diferentes densidades das águas continentais na entrada da Baía de Camamu apresentam influência mínima na região devido à pequena contribuição das descargas fluviais (Amorim, 2011).

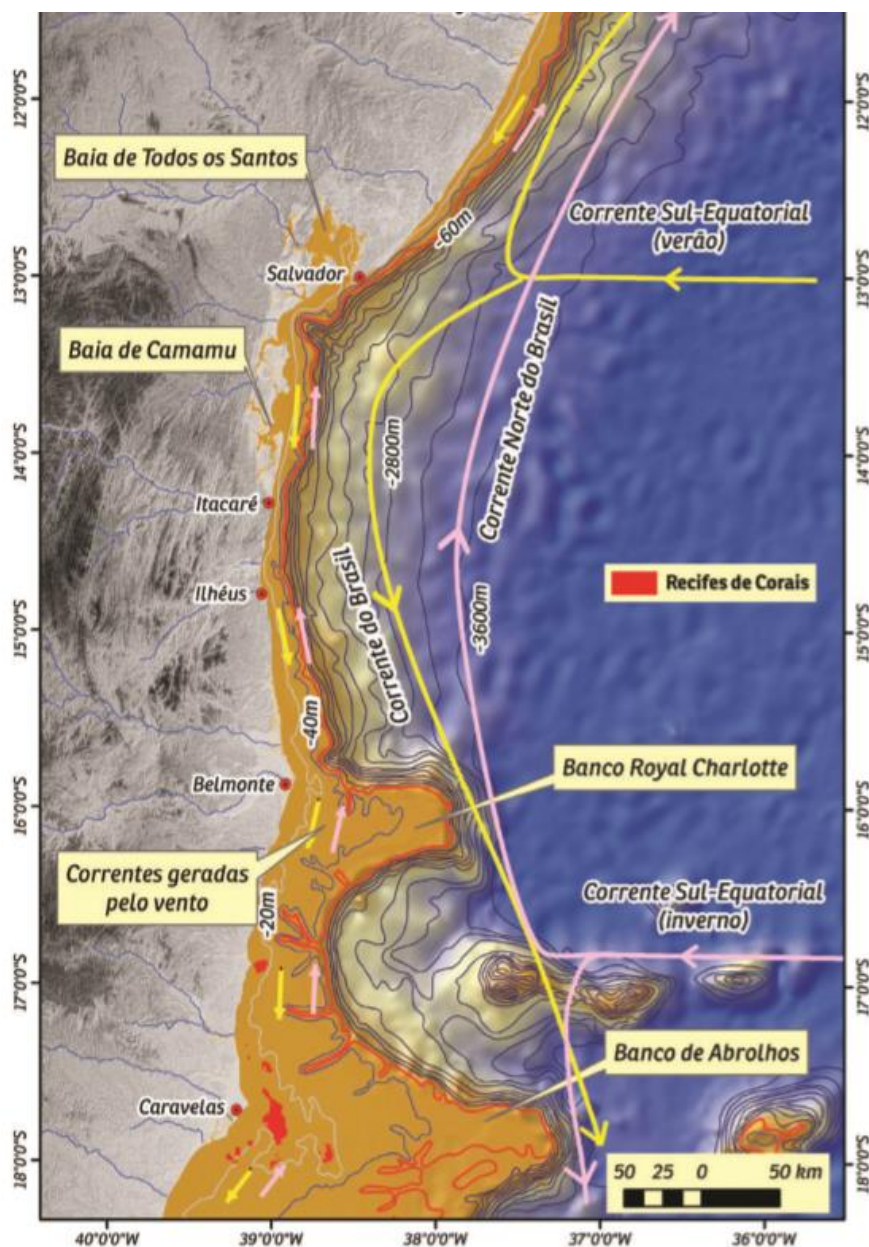


Fig. 3: Mapa da Plataforma Continental Leste do Brasil com as principais correntes de contorno oeste oriunda da bifurcação da Corrente Sul-Equatorial e correntes geradas pelas direções predominantes dos ventos. Fonte: Dominguez *et al.*, 2012, p. 431.



### **3.5. Marés**

As Marés (forçantes supra-inerciais) na costa baiana são semi-diurnas, com comportamentos de meso-marés em toda a extensão do estado. É a principal forçante da banda supra-inercial, apresentando grande influência na geração das correntes, principalmente para os componentes perpendiculares das correntes costeiras na plataforma continental.

Em locais de junção entre a plataforma e o complexo estuarino, as marés são responsáveis por cerca de 98% das correntes costeiras, com direções preferencialmente direcionadas paralelas aos canais estuarinos (Amorim, 2011).

### **3.6. Correntes geradas pelos ventos**

Na plataforma continental, as correntes superficiais também são claramente influenciadas pelo vento, seguindo a direção preferencial deste e apresentando uma completa reversão do fluxo médio entre a primavera/verão e outono/inverno (Amorim, 2011). No verão, as correntes apresentam direção para S-SO gerado por ventos de E-NE, sendo diferente no outono onde essa configuração muda, desta vez as correntes tendo direções para NO geradas pela influência de ventos de E-SE. As influências das forçantes na geração das correntes vão variar dependendo da época do ano e local da plataforma. O comportamento dos ventos (forçantes sub-inerciais) na plataforma interna influenciará nas correntes superficiais, de forma que apresentam uma grande correlação com a geração de correntes paralela à costa.

Nas figuras 4 e 5 é projetado o comportamento teórico das correntes superficiais paralelas a costa com deflexão para esquerda gerada pela ação dos ventos, moldadas pelo efeito de Coriolis. O transporte superficial com direção de 45° a esquerda do eixo principal do vento recebe o nome de transporte de Ekman. Essas correntes apresentam reversões em suas direções a depender da direção do vento.



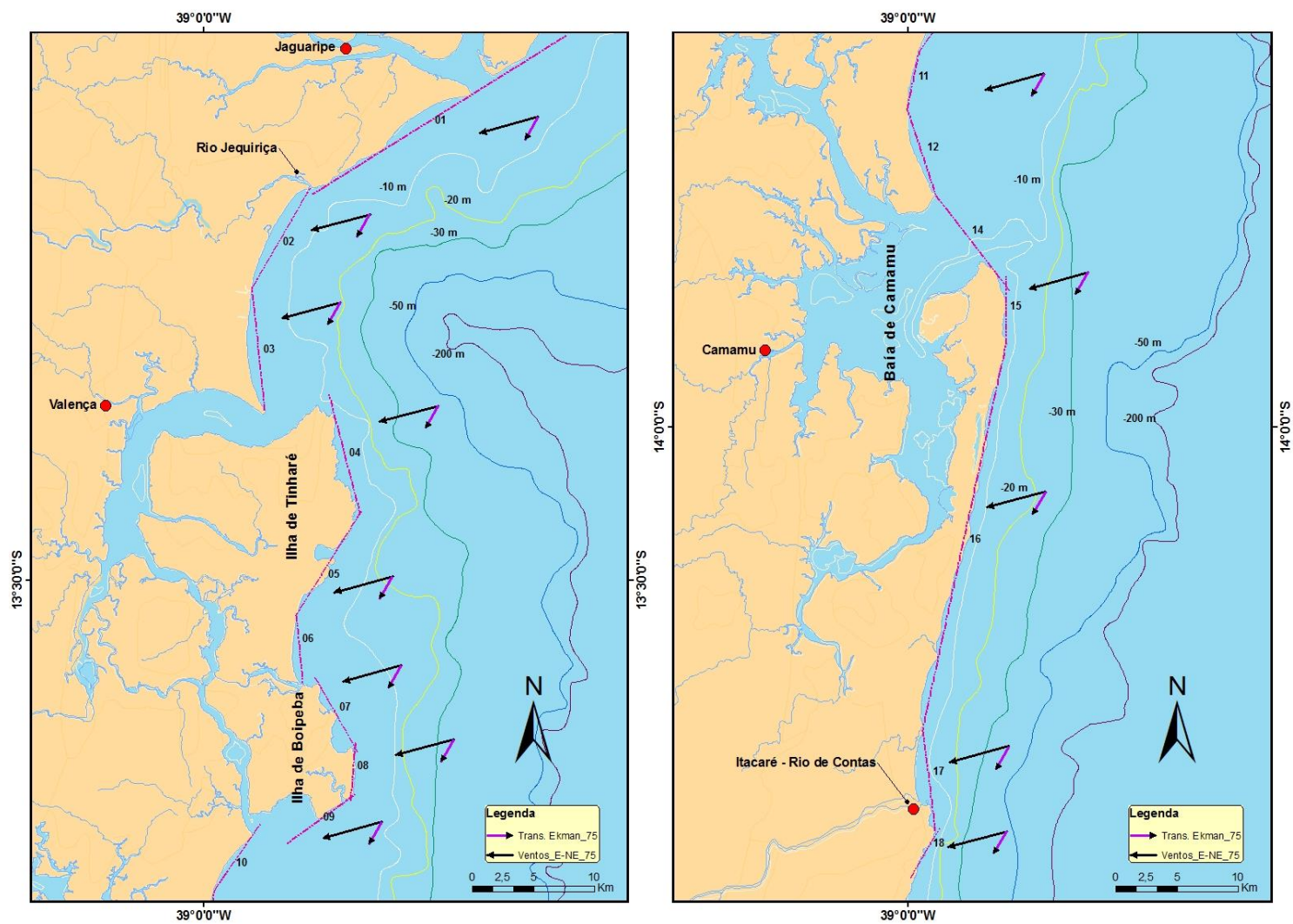


Fig. 4: Ventos de E-NE incidentes na Costa do Dendê e seu respectivo Transporte de Ekman (S-SO).

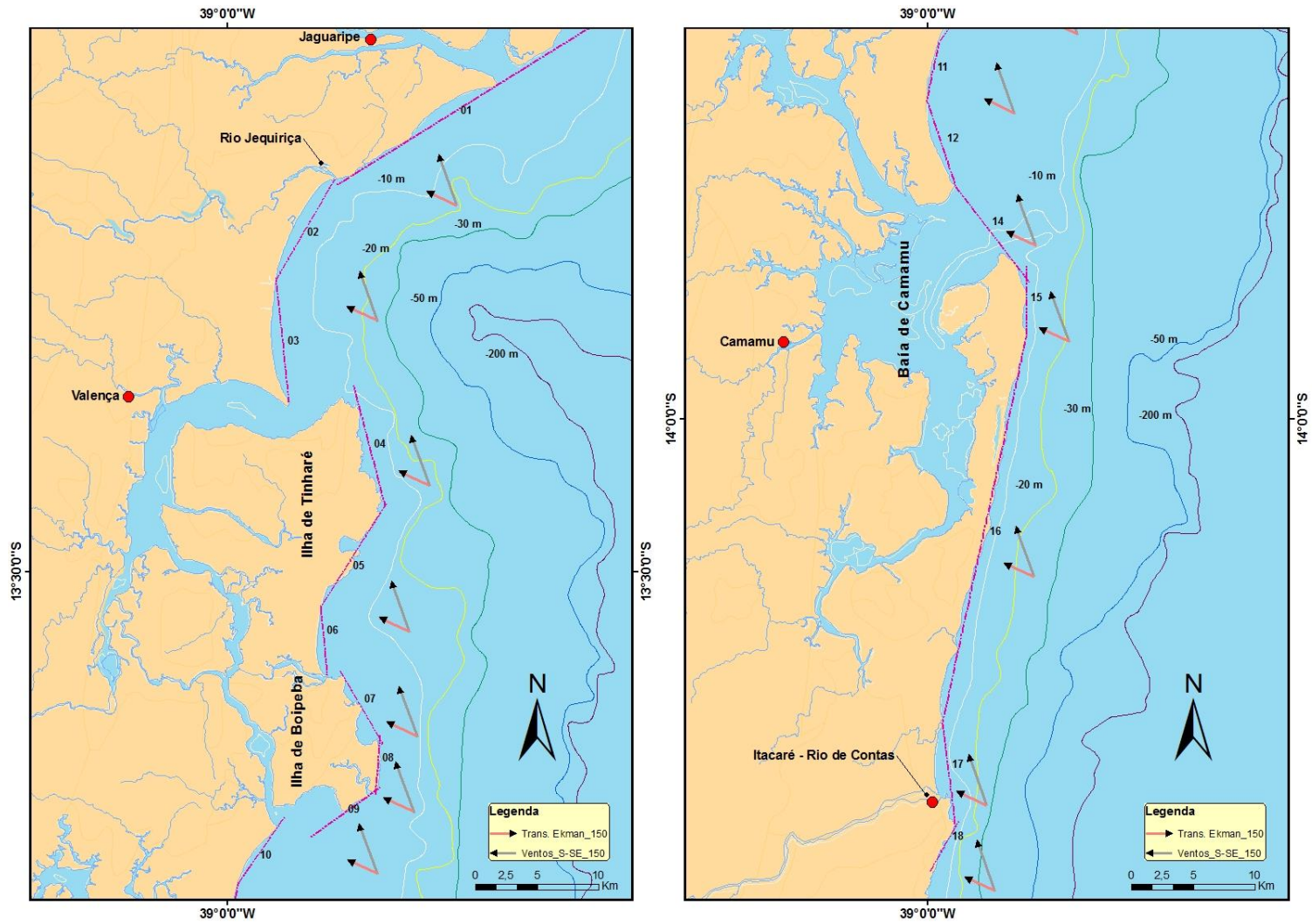


Fig. 5: Ventos de S-SE incidentes na Costa do Dendê e seu respectivo Transporte de Ekman (NO).

### 3.7. Ondas

O campo de ondas de *offshore* define a quantidade de energia geradora de ondas entregue para zona costeira, sua caracterização é, portanto, de primordial importância para o estudo dos processos costeiros (Pianca *et al.*, 2010). A formação das ondas está relacionada com ventos que sopram sobre a superfície do mar sendo sua caracterização dependente da intensidade do vento, duração e alcance/empenho. É uma das principais componentes hidráulicas a conduzir a pluma sedimentar no ambiente marinho.

A dissipação da energia de onda em regiões perto da costa é a principal força controladora da dinâmica do sistema costeiro. Partindo desse princípio podemos definir que as principais direções de frentes-de-ondas que alcançam a costa estão diretamente relacionadas com o regime de ventos e o campo de ondas *offshore*.

As ondas que chegam ao litoral baiano podem ser caracterizadas em 4 tipos: ondas de E, NE, SE e SSE, onde as ondas de SE e NE apresentam respectivamente maiores e menores alturas (Carvalho, 2001; Bittencourt *et al.*, 2000).

Em um relatório técnico de Refração e Difração de ondas realizado na Ponta da Tulha, 30 km ao sul da área de estudo pela empresa, ProOceano foram utilizados dados de ondas coletados pela empresa CEPEMAR em série temporal de 23/08/2008 até 26/05/2009 obtendo as informações dos parâmetros de altura significativa ( $H_s$ ), período de pico ( $T_p$ ), direção de pico ( $D_p$ ), altura máxima ( $H_{max}$ ), período médio ( $T_m$ ) e direção média ( $D_m$ ). Observou-se que as ondas incidentes na região tiveram direções predominantemente de E e SE, com uma representação de 90% do total das ondas que chegam a linha de costa. As alturas máximas e períodos de pico mais frequentes foram de 1,0 a 1,5 metros com 6 a 9 segundos, respectivamente.

Tabela 1: Tabela com as direções, alturas máximas, e frequências das ondas na Ponta de Tulha, 30 km da área de estudo.

Direção de Pico →						
Altura Máxima (m)	NE	E	SE	S	TOTAL	Freq (%)
0.0 → 0.50	0	0	0	0	0	0
0.50 → 1.00	40	1061	108	108	1317	24,88
1.0 → 1.50	15	1116	1847	175	3153	59,57
1.5 → 2.00	0	163	536	54	753	14,23
2.00 → 2.50	0	9	42	8	59	1,11
➤ 2.5	0	0	10	1	11	0,21
Total	55	2349	3556	346	5293	_____

#### 4.0. Metodologia

O sensoriamento remoto tem como princípio a captura de dados em um determinado intervalo de tempo com a utilização de um mecanismo remoto (automático), ausentando a necessidade de um deslocamento do pesquisador para o local de coleta, mas que pode ser acessado por meio de um *link* de comunicação. Geralmente utilizam-se dados gerados por satélites, os quais conseguem obter uma série de parâmetros ambientais dos oceanos. Neste trabalho foi utilizado dados do satélite AQUA para o monitoramento do parâmetro de turbidez da água (K490).

O sistema de modelagem costeira (SMC-Brasil) foi utilizado para validar os dados de dispersão da pluma de sedimentos das bacias hidrográficas junto com os dados coletados pelo satélite, além da elaboração dos modelos de ondas, correntes e transporte de sedimentos.

Dados fluviométricos para análise dos rios com possíveis influências no aporte de sedimento na costa, foram adquiridos através dos dados fornecidos na plataforma online HIDROWEB, da Agência Nacional de Águas (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>).

#### **4.1. Levantamento de dados e Confecção de mapas e gráficos**

A geração dos mapas de direções de incidência dos ventos e seus respectivos transportes foram feitas no ArcGis 10.1 e os *layers* de batimetria, hidrografia e geologia extraídos de CBPM (2000).

Dados com a distribuição percentual de lama foram obtidos a partir da tabela presente em Dominguez *et al.*, (2013). No Arcgis 10.1, os dados pontuais foram interpolados gerando dados contínuos no formato *raster*, por fim, gerando os mapas da distribuição dos pontos de lama ao longo da Costa do Dendê.

A existência de diversas direções da linha de costa onde ventos com maiores ocorrências na área de estudo atuam nos levou a necessidade de elaborar divisões nomeadas nos mapas com setores para melhor visualização na costa.

Através da plataforma do CPTEC (<http://www.cptec.inpe.br/>) foram adquiridos os dados das velocidades e direções dos ventos incidentes capturados pela estação do aeroporto de Salvador (estação mais próxima a área de estudo com o banco de dados mais completo), gerando os gráficos no *software* MatLab, ambiente computacional capaz de analisar estes dados e gerar gráficos.

Em adição, também foram utilizadas informações do Giovanni, uma rede de aplicação desenvolvida pela *Goddard Earth Sciences, Data and Information Services Center* (GES DISC) vinculado a NASA e gerado gráficos com as velocidades dos ventos com séries temporais inter-anuais numa área média da superfície a partir de dados do *Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications - MERRA-2*.

O MERRA 2 iniciado em 1980 teve o intuito de substituir o MERRA original. Nele utiliza-se uma atualização do *Goddard Earth Observing System Model, Version 5* (GEOS-5). Sua resolução espacial permaneceu a mesma antes utilizada pelo MERRA original (50 km na direção latitudinal). É a primeira reanálise global a longo prazo que assimila observações de aerossóis e faz interações com os processos físicos no sistema climático.

Com a utilização de imagens geradas a partir dos processamentos de dados de K490 pelo MODIS AQUA foram gerados os mapas com a distribuição do parâmetro de turbidez (K-490) ao longo da área de estudo.

K490 é um parâmetro de turbidez da água onde expressa quão profundamente a luz visível na região do azul e do verde do espectro penetra na coluna d'água. Assim, o coeficiente de atenuação difusa a 490 nm indica a transparência da coluna d'água. De maneira geral, em regiões onde encontramos altos índices de atenuação do parâmetro K-490 nos indica maior turbidez. Ambientes no qual ocorrem valores altos do k-490 a transparência da água diminui devido ao grande aporte e ou ressuspensão de partículas sedimentares, diminuindo a intensidade de penetração da radiação solar.

O satélite AQUA desenvolvido pela NASA, tem a missão de coletar informações sobre o ciclo da água no qual é equipado com o Espectrorradiômetro de Imagem com Resolução Moderada (MODIS). A captura das imagens ocorre no período da noite, onde junto com um satélite matutino (TERRA) que também faz parte do Sistema de Observação Terrestre (EOS) da NASA, permite que o AQUA colete imagens de todo o globo a cada 1 a 2 dias.

#### **4.2. O Sistema de Modelagem Costeira (SMC)**

O sistema de Modelagem Costeira (SMC) é uma ferramenta desenvolvida inicialmente pelo Instituto Hidráulico Ambiental da Cantábria (IH Cantábria) da Universidade da Cantábria, que permite a combinação de metodologias de trabalho e elaboração de modelos de ondas e correntes a

partir de dados com série temporal para estudo e ou solução de problemas na zona costeira.

Tempos depois o sistema foi adaptado e transferido para a administração pública brasileira através do projeto intitulado “Transferência de metodologias e ferramentas de apoio à gestão do litoral brasileiro”. A versão brasileira dessa ferramenta (SMC-Brasil) apresenta duas divisões:

- SMC TOOLS
- SMC 3.0

A criação do projeto de modelagem foi dada inicialmente pelo SMC TOOLS onde atribuímos para área de estudo os dados de batimetria das cartas náuticas e as linhas de costa exportadas da base de dados BACO.

Essas informações então são transferidas para a ferramenta SMC 3.0. Posteriormente, foi realizada a seleção de um primeiro ponto DOW (*Downscaled Ocean Waves*) no SMC TOOLS que nos dá informações como Altura de onda ( $H_s$ ), Período de pico ( $T_p$ ), e Direção de ondas ( $Dir$ ) mais representativos para a área, fundamental para a geração das malhas e os casos a serem propagados. (Fig. 6a e 6b). Este ponto DOW tem uma base de dados com série temporal de 60 anos.

Nas malhas ocorrem as simulações dos casos de propagação das ondas e as correntes costeiras geradas por elas (Fig. 7a e 7b) através da seleção de um segundo ponto DOW (onde foi levado em conta na escolha um local mais próximo de suas origens, pois, dessa forma tem-se uma área de propagação maior) (Fig.8). Foram confeccionadas as malhas apenas para as direções E e SE.

Foram gerados 300 casos no SMC TOOLS, segundo a recomendação da seleção de 100 casos por níveis de maré. Após a realização de cálculos no SMC 3.0 obtivemos os dados das direções e magnitudes das correntes parciais geradas pelas ondas.

Por fim, no SMC *TOOLS* é gerado o transporte de deriva litorânea. A primeira etapa deste processo é o desenho de perfis de praia de modo que eles estejam o mais perpendicular com a linha de costa. Foram desenhados 10 perfis para a área do Rio de Contas e 9 para a área de Boipeba, onde neles foram gerados o fluxo médio de energia das ondas, elementos fundamentais na DSF em ambiente dominados por onda.

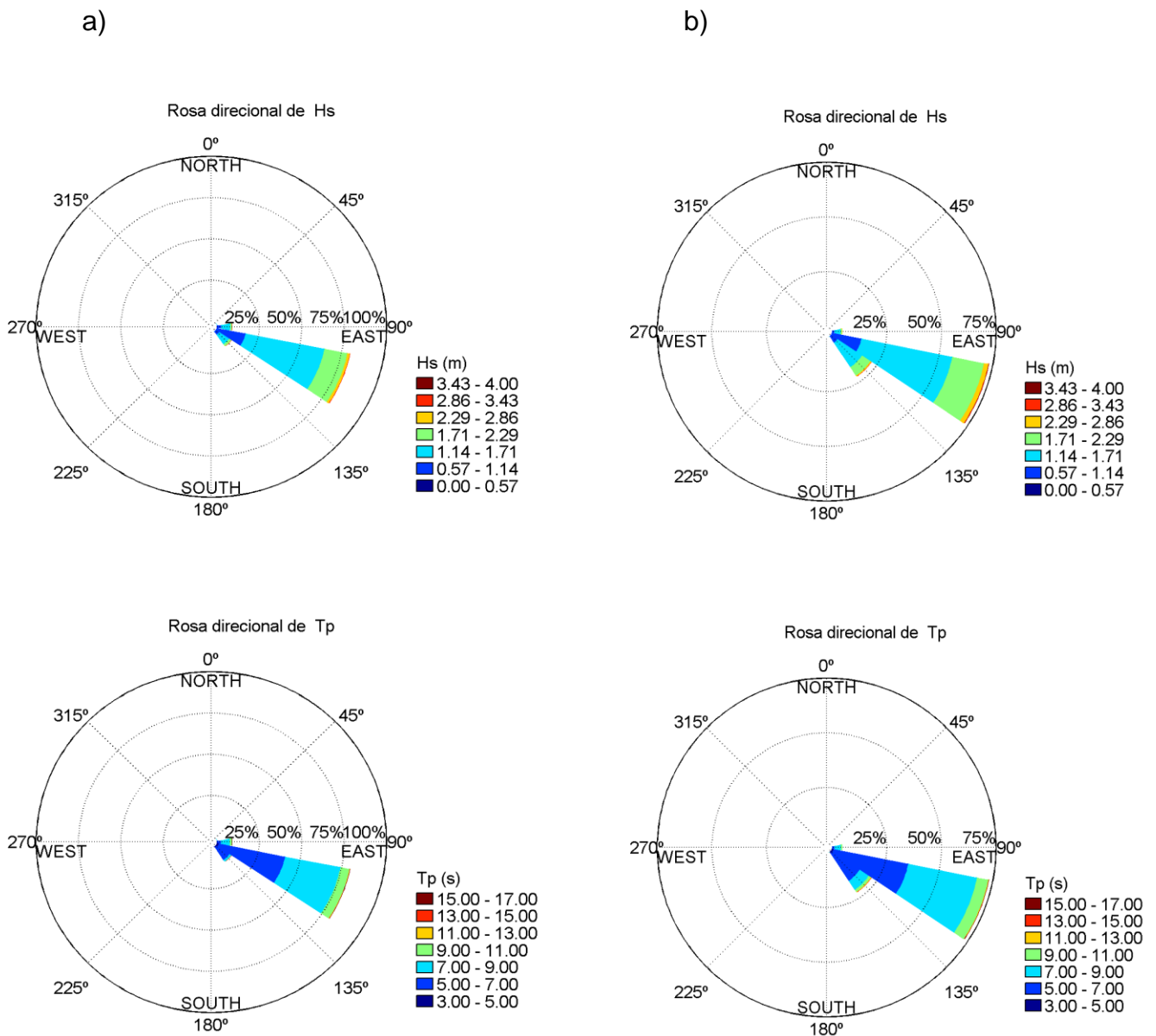
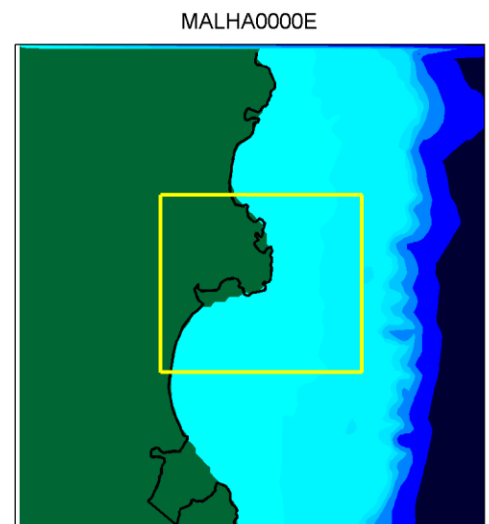
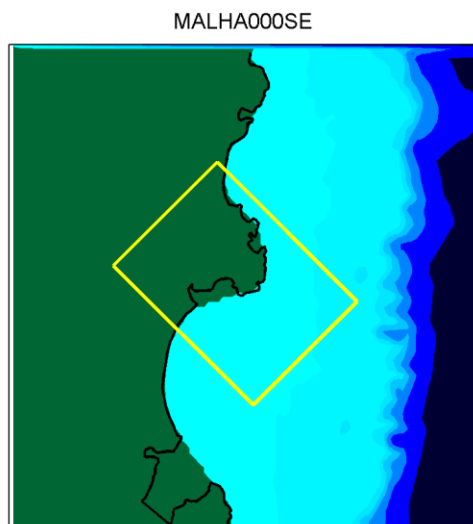


Fig. 6: Caracterização do clima de ondas do ponto DOW (*Downscaled Ocean Waves*). Rosas direcionais de altura de onda (Hs) e período de onda (Tp). a) Ponto em frente ao Rio de Contas; b) Ponto em frente a ilha de Boipeba.



a)



b)

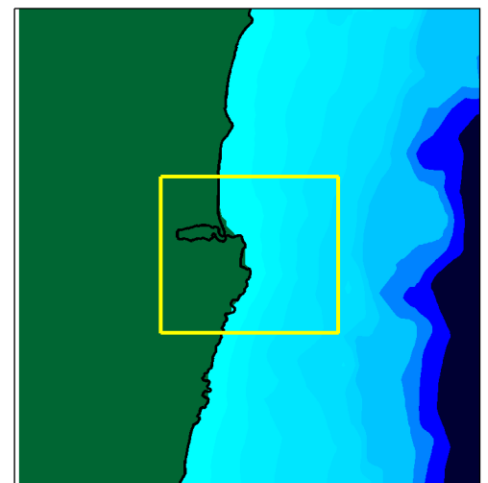
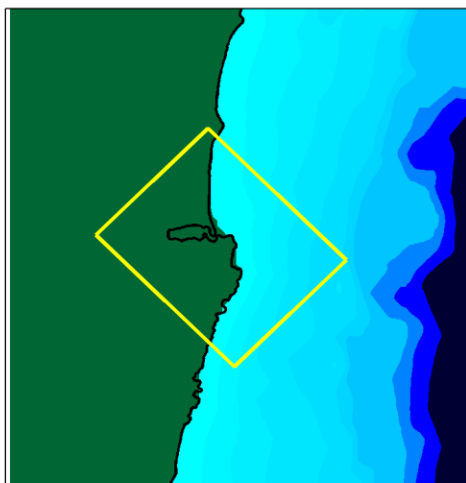
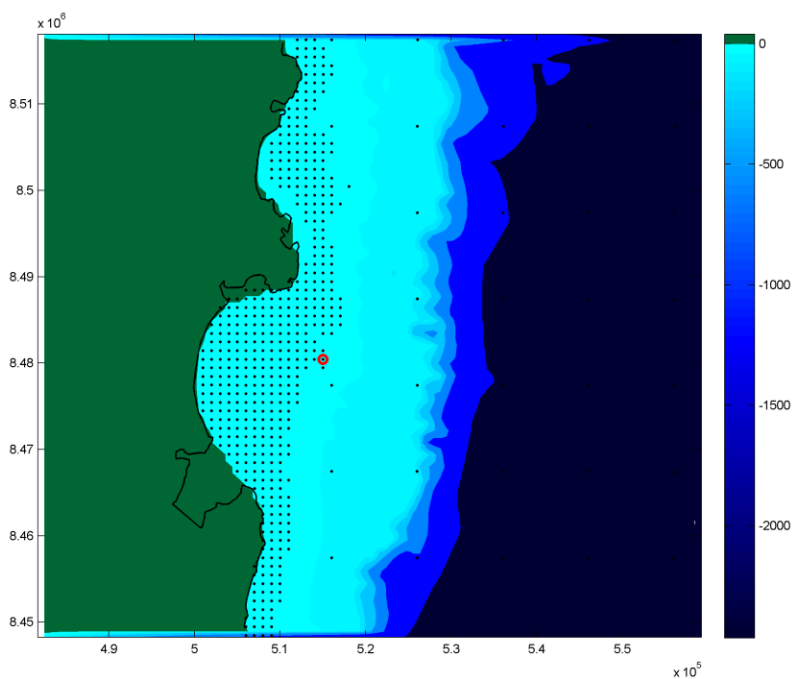


Fig. 7: Malhas de Sudeste e Leste, respectivamente na; a) em frente a ilha de Boipeba e; b) desembocadura do Rio de Contas onde foram gerados os casos a serem propagados.

a)



b)

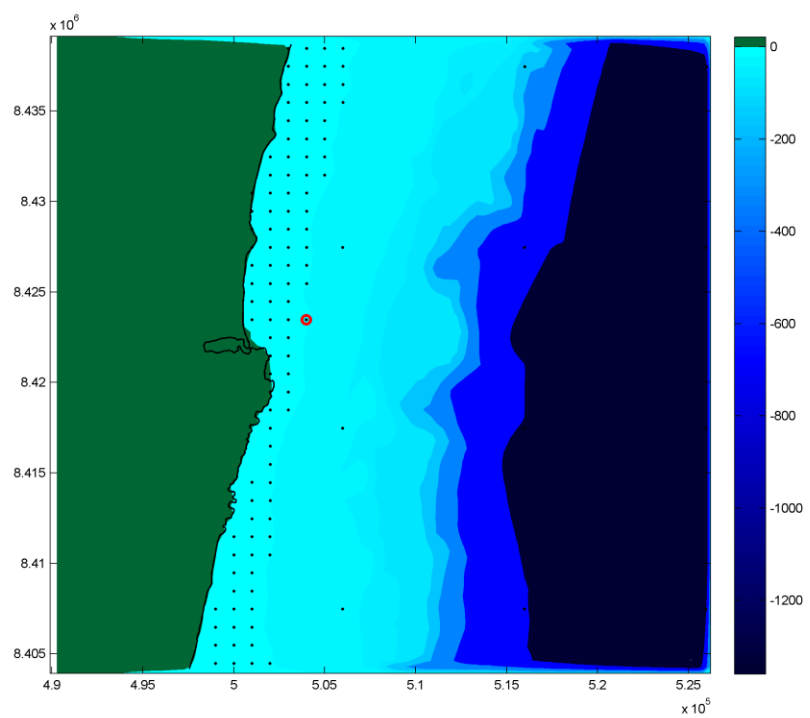


Fig. 8: Ponto DOW (*Downscaled Ocean Waves*) de intersecção entre as malhas e a batimetria da área de estudo; a) em frente a ilha de Boipeba e; b) adjacente a desembocadura do Rio de Contas.

## 5. Resultados e Discussões

### 5.0. Bacias Hidrográficas

As bacias hidrográficas possuem grande importância na dinâmica costeira, uma vez que é a partir delas que volumes de sedimentos aportam as zonas costeiras e plataforma continental.

A sub bacia do Rio Jequiriça faz parte da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Sul que ocupa uma área de 6.900 km<sup>2</sup>, representando 39,6% do total da bacia hidrográfica com uma extensão total de 150 km, desembocando ao sul da cidade de Jaguaripe.

O Rio Una (Valença) possui extensão de 93 km apresentando uma área de drenagem por sua bacia de 1.280 km<sup>2</sup> e a sub bacia do Rio das Almas (Ilha de Boipeba) que drena uma área de 780 km<sup>2</sup> e possui uma extensão de 63,3 km de sua nascente até a sua foz, também compõem a Bacia Hidrográfica do Recôncavo Sul.

Ao sul da área de estudo temos a bacia do Rio de Contas que pertence às bacias do Atlântico Leste, com área total de 55.000 km<sup>2</sup>. Dentre os rios estudados este possui a maior bacia hidrográfica, estando totalmente contida no Estado da Bahia com extensão de aproximadamente 700 km.

Os dados obtidos das vazões médias e máximas dos rios ao longo da Costa do Dendê foram adquiridos em uma série temporal mensal durante 6 anos começando em 2011. Vazões médias acima de 50 m<sup>3</sup>/s com picos de máximas chegando à 750 m<sup>3</sup>/s podem ser observados para o Rio de Contas (Fig. 9). O Rio Jequiriça, possui uma descarga menor, com vazão média de 13,6 m<sup>3</sup>/s (Carvalho, 2011) e pico de máxima de até 167,43 m<sup>3</sup>/s (ANA, 2016).

As vazões médias somadas para os rios Una e das Almas possuem aproximadamente 58 m<sup>3</sup>/s (Carvalho, 2011). Estes rios fazem parte do complexo estuarino Tinharé-Bioipeba, região formada por uma série de canais onde grande quantidade dos sedimentos floculam e ficam trapeados, devido a ocorrência de espaço de acomodação, que permite com que nestes estuários a

floculação ocorra mais intensamente pelas características físico-químicas da coluna d'água.

Nas figuras 13 e 14 temos uma série histórica de 26 anos das vazões médias e máximas do Rio de Contas e Jequiriça. É possível observar vazões médias em torno de 15 m<sup>3</sup>/s para o Rio Jequiriça e cerca de 100 m<sup>3</sup>/s para o Rio de Contas, ratificando o comportamento encontrado nas figuras 9 e 10.

As maiores descargas destes rios ocorrem nos períodos de maior intensidade de chuva em suas cabeceiras, na estação de verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro). As chuvas que ocorrem nesta estação do ano proporcionam a erosão em suas bacias. Essas enxurradas transportam sedimentos finos rio a baixo que podem potencialmente chegar até ao ambiente marinho raso.

De acordo com Walsh e Nittrouer (2009), muitos rios apresentam um carregamento pequeno de sedimento que são entregues a plataforma continental, não sendo diferente para os rios ao longo da Costa do Dendê.

Na zona costeira da Costa do Dendê os rios apresentaram características do sistema de dispersão de sedimentos descrito por Walsh e Nittrouer (2009), como Dominado pela Acumulação Estuarina (EAD), caracterizado por apresentar floculação e circulação estuarina, onde estes são os principais fatores da regulação de acumulação dos sedimentos. Este sistema representa o cenário mais simples para DSF.

Com a diminuição da capacidade de transporte pelas correntes costeiras (deriva litorânea, correntes de marés, correntes superficiais geradas pela ação cisalhante do vento na superfície do mar e correntes de retorno) e diminuto stress cisalhante no leito marinho, grande parte destes sedimentos finos, dispersos pela pluma sedimentar, tendem a acumular não muito longe da desembocadura dos rios.

O Rio Jequiriça possui vazões máximas de 3 a 3,5 vezes maiores que as vazões médias, enquanto o Rio de Contas os valores das vazões máximas oscilam entre 2 a 5 vezes maiores que as vazões médias. Durante estes

eventos de vazões máximas as plumas sedimentares podem ser entregues ao ambiente marinho raso, contribuindo com a deposição atual de lama.

Na costa oeste dos Estados Unidos, Wheatcroft e Sommerfield (2005), expõe que o transporte de sedimentos no Rio EEL, ocorre nos períodos episódicos de vazão de maior energia. Estes mesmos autores salientam a importância de rios de pequena drenagem. Para os autores embora o tamanho da bacia produza uma baixa carga sedimentar (salvo para as pequenas bacias de elevado gradiente topográfico) o tempo de entrega de sedimentos (*timing of sediment delivery*) é potencialmente importante por que o tempo de transito dos sedimentos é rápido (1 a 3 dias). Quando ocorre o aumento da vazão dos rios, simultaneamente, outro evento episódico de alta energia dos ventos pode estar ocorrendo na zona costeira, tendendo a dispersão da pluma por maiores distâncias.

O fator principal que determina o tempo de viagem do sedimento é o tamanho da bacia de drenagem. Tomando como base a bacia de drenagem do rio estudado por Wheatcroft *et al.*, (2005) com área em torno de 8.000 km<sup>2</sup>, qual ele caracteriza sendo pequeno, neste presente estudo a única bacia que pode ser considerado grande é a do Rio de Contas (55.000 km<sup>2</sup>).

Embora, seja possível que a maior carga de sedimentos lamosos tenha ocorrido em tempos pretéritos quando o nível do mar esteve mais baixo que o atual, com a lama ficando retida, nos vales incisos ou áreas depresionais.

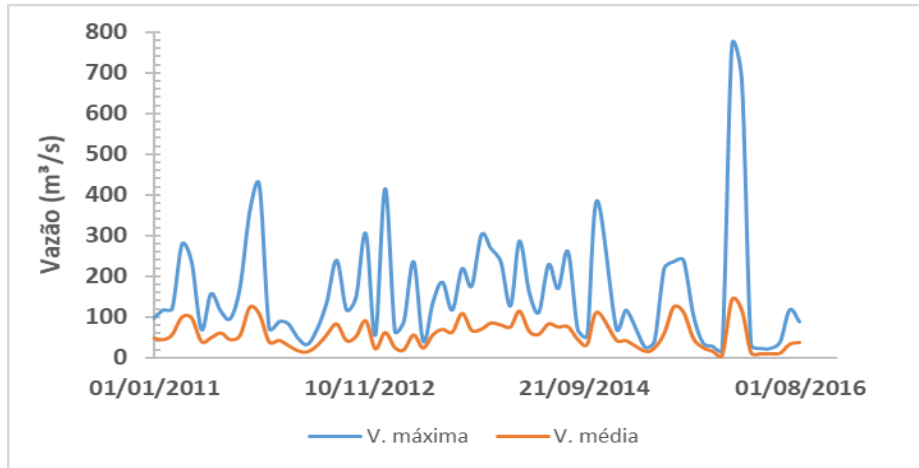


Fig. 9: Serie temporal mensal em 6 anos da vazão do Rio de Contas.

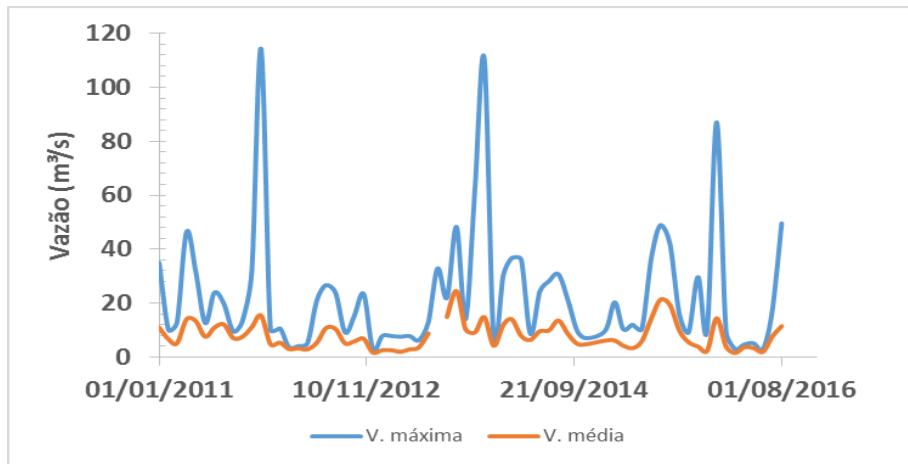


Fig. 10: Serie temporal mensal em 6 anos da vazão do Rio Jequiriça.

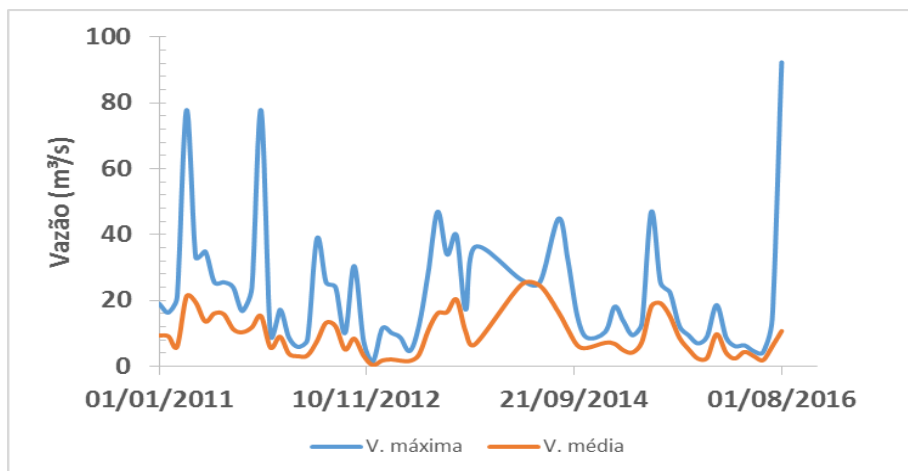


Fig. 11: Serie temporal mensal em 6 anos da vazão do Rio Una (Valença).

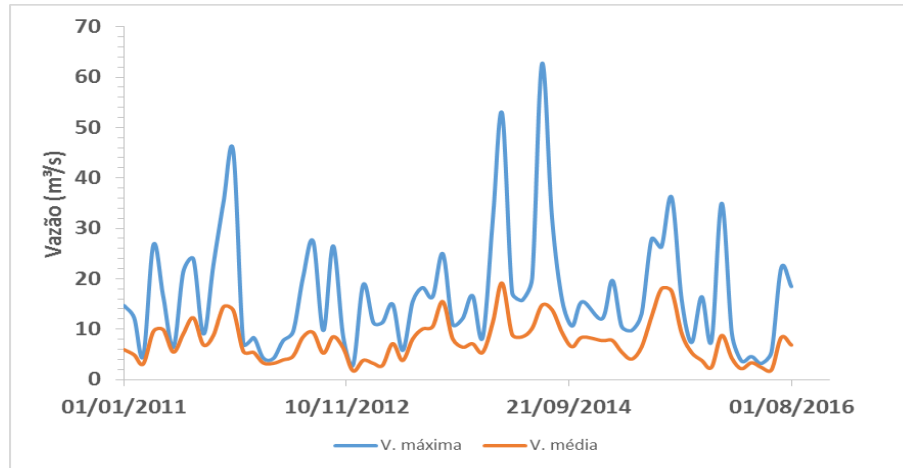


Fig. 12: Série temporal mensal em 6 anos da vazão do Rio das Almas.

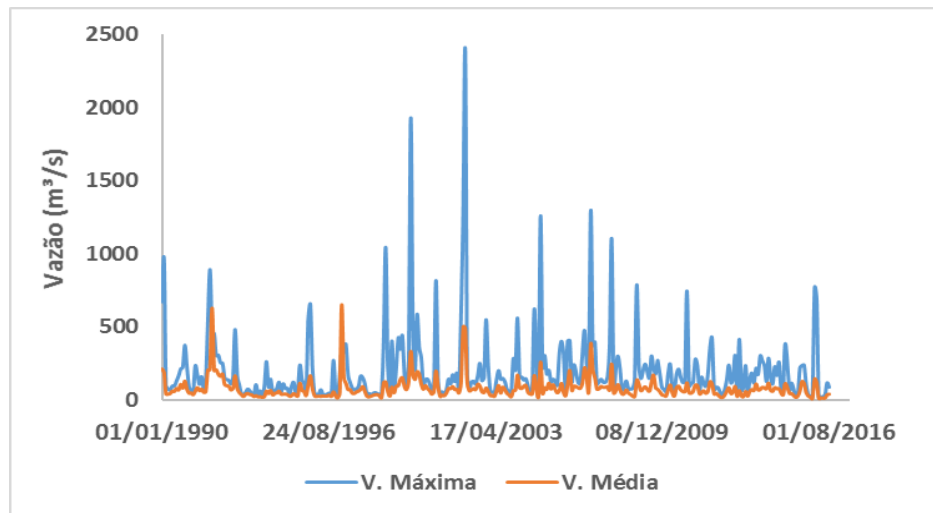


Fig. 13: Série histórica de 26 anos da vazão do Rio de Contas

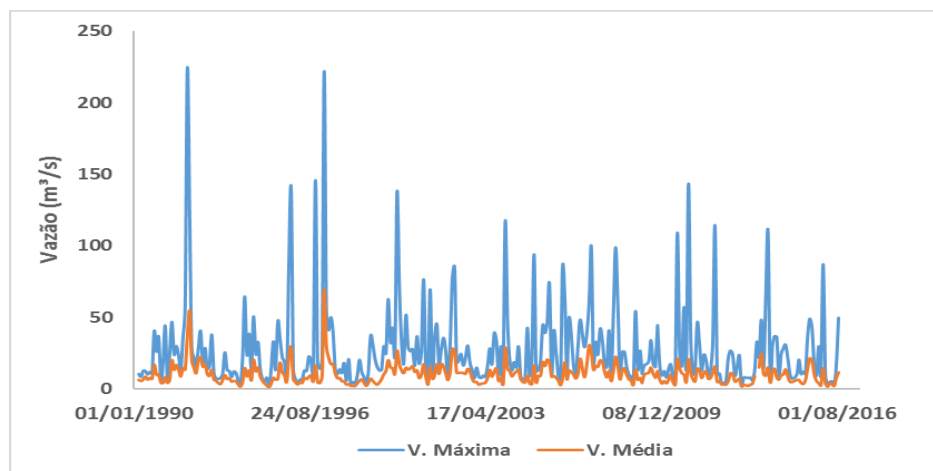


Fig. 14: Série histórica de 26 anos da vazão do Rio Jequiriça.

## 5.1. Regime de Ventos

Nas análises das séries temporais de 2011-2016, observou-se ventos com maiores velocidades entre os meses de Agosto, Setembro, Outubro e Novembro e as menores velocidades entre os meses de Fevereiro, Março e Abril. (Fig.15).

Nas estações de primavera/verão ocorre predominância de direções E-NE, de forma que também tiveram as maiores velocidades durante essas estações. Já nas estações de outono/inverno os ventos de E-SE foram predominantes com as maiores velocidades sobre a região (Fig. 16a & b). Os dados obtidos das estações testificam os resultados de trabalho anteriores como o de Amorim (2011), Bittencourt *et al.*, (2000) e Segal (2007). A série histórica de 20 anos valida a influência dessas direções de ventos sobre a plataforma da Costa do Dendê (Fig. 16c).

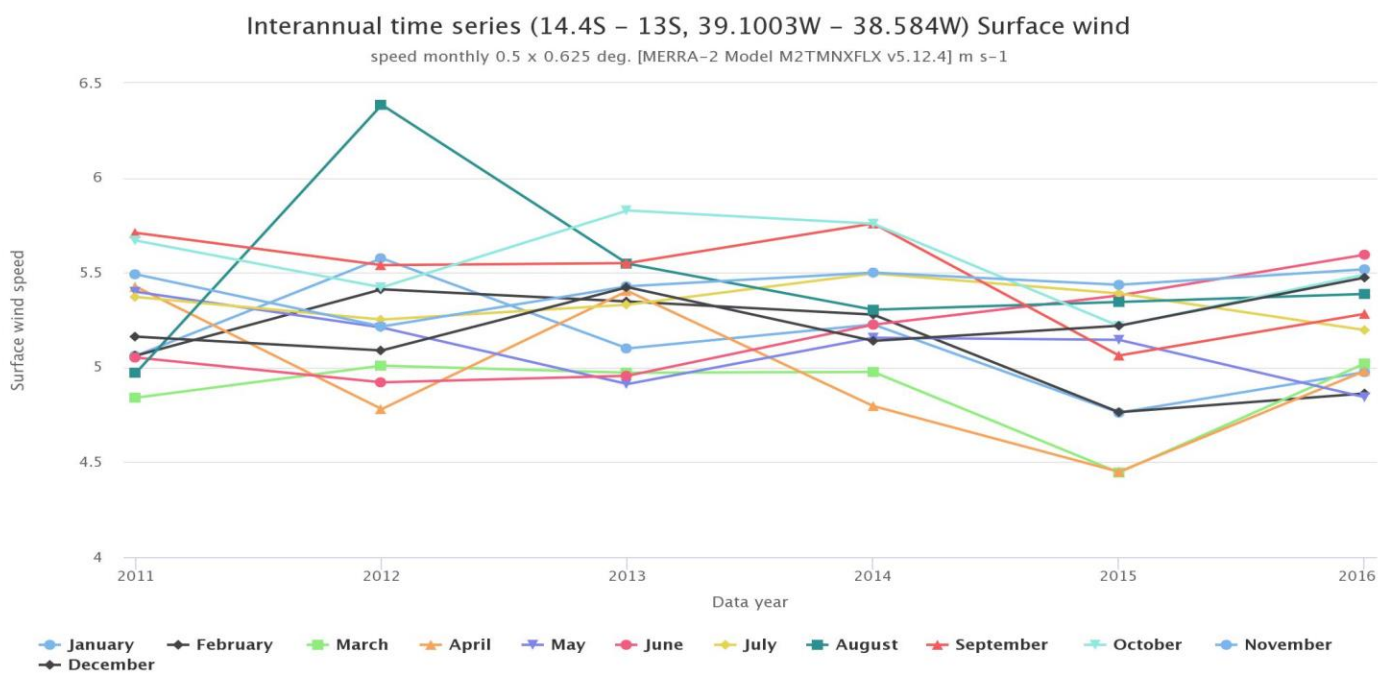


Fig. 15: Gráfico em serie temporal anual da velocidade de incidência dos ventos de superfície entre as latitudes de 13° à 14°. Fonte: <https://discbeta.gsfc.nasa.gov/>



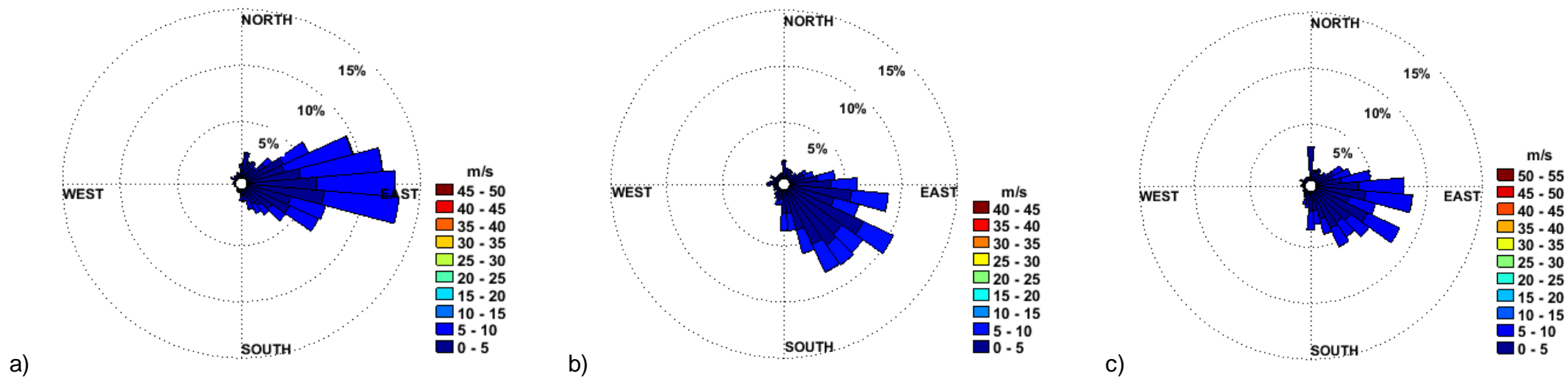


Fig. 16: a) & b) Rosa dos ventos com capturas diárias em 3 - 3 hs numa série temporal semestral de 7 anos a partir de 2010, respectivamente, para as estações de primavera/verão e outono/inverno; c) Rosa histórica anual dos ventos com capturas diárias em 3 - 3 hs numa série temporal de 20 anos a partir de 1996.

Os ventos de direção E-NE proporcionam correntes superficiais paralelas a linha de costa na região da plataforma interna moldada por Ekman com direções orientadas para S-SO. Uma ocorrência na reversão deste transporte acontece com a mudança das estações, onde no outono/inverno as direções destas correntes estão orientadas para NO proveniente da maior incidência de vento de S-SE. As direções destes transportes podem ser revistas nas figuras 4 e 5.

Uma outra influência do regime dos ventos ao longo da área é a ressuspensão de sedimentos gerado pela ressurgência costeira de águas mais profundas acionada pelo bombeamento de Ekman (Santos, 2014) na plataforma interna. Esta forçante física dependendo da sua intensidade e duração pode colocar sedimentos finos na coluna d'água.

## **5.2. Dados de Modelagem no SMC**

Como pode ser visto nas tabelas 2, 3, 4, e 5 as ondas mais prováveis de atingirem a linha de costa da área de estudo são as de E, E-SE e SE. Esses dados foram obtidos a partir de uma primeira escolha de um ponto DOW na área estuda, citado na metodologia referente a modelagem costeira (item 4.2).

Vale ressaltar que Carvalho (2001) e Bittencourt *et al.*, (2000), afirmam a existência da chegada de frente de ondas vindo de NE sobre o litoral baiano. Isso mostra uma limitação do *Software* na identificação desta direção de onda.

Tabela 2. Estatísticas básicas de altura mediana (Hs 50%) e de tempestade (Hs 12), período de pico em condições medianas (Tp50%) e de tempestade (Tp12) e direção de propagação das ondas incidentes em um ponto adjacente ao Rio de Contas – Itacaré.

Direção	Probabilidade de Ocorrência (%)	Hs 50% (m)	Tp 50% (s)	Hs 12 (m)	Tp 12 (s)
E	8,90%	1,31	7,97	2,47	11,38
E-SE	80,06%	1,38	6,9	2,78	12,3
SE	11,03%	1,35	5,81	2,53	9,84

Tabela 3. Estatísticas básicas de altura mediana (Hs 50%) e de tempestade (Hs 12), período de pico em condições medianas (Tp50%) e de tempestade (Tp12) e direção de propagação das ondas incidentes em um ponto adjacente a Boipeba.

Direção	Probabilidade de Ocorrência (%)	Hs 50% (m)	Tp 50% (s)	Hs 12 (m)	Tp 12 (s)
E	4,56%	1,34	7,98	2,47	11,43
E-SE	73,14%	1,43	6,9	2,97	12,39
SE	22,23%	1,44	5,91	2,85	12,11

Tabela 4. Estatísticas básicas de altura mediana (Hs 50%) e de tempestade (Hs 12), período de pico em condições medianas (Tp50%) e de tempestade (Tp12) e direção de propagação das ondas incidentes em um ponto adjacente a Tinharé.

Direção	Probabilidade de Ocorrência (%)	Hs 50% (m)	Tp 50% (s)	Hs 12 (m)	Tp 12 (s)
E	14,59%	1,35	8,02	2,61	11,87
E-SE	81,18%	1,33	6,75	2,62	12,49
SE	4,22%	1,19	5,74	2,12	8,78

Tabela 5. Estatísticas básicas de altura mediana (Hs 50%) e de tempestade (Hs 12), período de pico em condições medianas (Tp50%) e de tempestade (Tp12) e direção de propagação das ondas incidentes em um ponto adjacente a desembocadura do Rio Jequiçá.

Direção	Probabilidade de Ocorrência (%)	Hs 50% (m)	Tp 50% (s)	Hs 12 (m)	Tp 12 (s)
E-SE	68,48%	1,21	6,72	2,32	9,55
SE	31,48%	1,31	6,29	2,49	9,33

A partir das análises estatística geradas pelo SMC – Brasil, observa-se grande variação nas probabilidades de ocorrências das ondas de SE ao longo da Costa do Dendê. Isso decorre das diferentes orientações da linha de costa que influencia na incidência do *trend* de ondas dessa direção.

Esta segmentação de orientação na linha de costa em grande parte da Costa do Dendê limitou que Bittencourt *et al.*, (2000) realizasse o padrão de dispersão de sedimentos arenosos gerado pela deriva litorânea ao longo da costa na área de estudo.

### 5.2.1. Espectro de Onda

Para a geração do comportamento das ondas foram iniciados dois projetos de modelagem, um adjacente a desembocadura do Rio de Contas no município de Itacaré e um segundo na ilha de Boipeba município de Cairu. Diagramas de isolinhas de altura de onda, vetores de direção das ondas e das correntes costeiras parciais (correntes provocadas por uma única direção de onda) mais suas magnitudes foram geradas para esses projetos. Dos 300 casos gerados para cada projeto, foram escolhidas as frentes de ondas mais representativas para as regiões (E a SE), tendo como critério principal suas probabilidades de ocorrências (Tabela 6).

Tabela 6. Estatísticas das ondas mais representativas dos 300 casos gerados em cada malha para o Rio de Contas e Ilha de Boipeba.

Projetos	Direção da Onda	Altura da onda (m)	Período da onda (s)
Contas	87.86 (E)	1,54	9,27
Contas	107,20° (E-SE)	1,13	7,34
Contas	117,80° (SE)	1,34	5,87
Boipeba	111.20° (E-SE)	1,2	6,88
Boipeba	124,05° (SE)	1,6	6,89

Na região do Rio de Contas os mapas de isolinhas das alturas das ondas (Fig. 17a & d e 18a) mostram ondas com alturas de 1,2 a 1,7 atingindo o ambiente marinho raso com uma diminuição destas alturas na face litorânea, devido a fricção com o fundo.

Para as ondas de E os vetores direcionais vistos na figura 17b indicam que as ondas quase não sofreram refração ao chegarem a linha de costa, com exceção para a desembocadura do rio onde se concentram as maiores magnitudes das correntes (Fig.17c). Um pouco abaixo da desembocadura, numa área com a presença do promontório da praia da Ribeira (resultante da aproximação do Embasamento Cristalino com a linha de costa, formando feições de costões rochosos) um comportamento de divergência das correntes chama a atenção. A perpendicularidade das ondas que chegam a essa região explica o comportamento destas correntes, onde ao sul do promontório as magnitudes são maiores, resultado da maior refração sofrida pelas ondas (Fig.17c). As ondas de E ao longo de toda a face de praia provocou correntes costeiras na região do Rio de Contas.

A figura 17e mostra que ondas de E-SE ao se aproximarem da face da praia nas regiões da desembocadura do Rio de Contas, parte norte e mais ao sul da desembocadura sofrem maiores refrações, região equivalentes as zonas de maiores intensidades das correntes parciais. Na região do promontório da Ribeira, abaixo da desembocadura do rio, as ondas de E-SE refratam com

menor angulação (Fig. 17e), no qual percebe-se correntes costeiras menos intensas a partir desta região (Fig. 17f). Uma pequena divergência também pode ser vista. Mais ao sul essas ondas refletiram na geração de uma corrente de retorno.

A incidência das ondas de SE apresentaram comportamento muito parecido com as ondas de E-SE, com algumas modificações no alcance das correntes e suas magnitudes (Fig. 18b, 18c). Em especial destaca-se os extremos da área, onde na porção norte geraram correntes parciais com intensidades moderadas e ao sul quase não existiram correntes.

Na ilha de Boipeba os mapas de isolinhas Hs (Fig. 19a e 19d) mostram que as ondas incidentes chegam com variações de 1,4 a 2,1 m. Para ondas de E-SE foi registrado grande influência do promontório (resultante dos recifes adjacentes à linha de costa – Ponta dos Castelhanos) refratando as ondas (Fig.19b). Como mostra a figura 19c, magnitudes nesta região são mais fortes, e um ponto de divergência gera correntes na direção norte e sul. No extremo sul da ilha a pequena refração sofrida pelas ondas não teve muita contribuição na geração das correntes costeiras. Talvez por isto ocorra um depósito de lama (possivelmente carbonática) tão próximo a linha de costa.

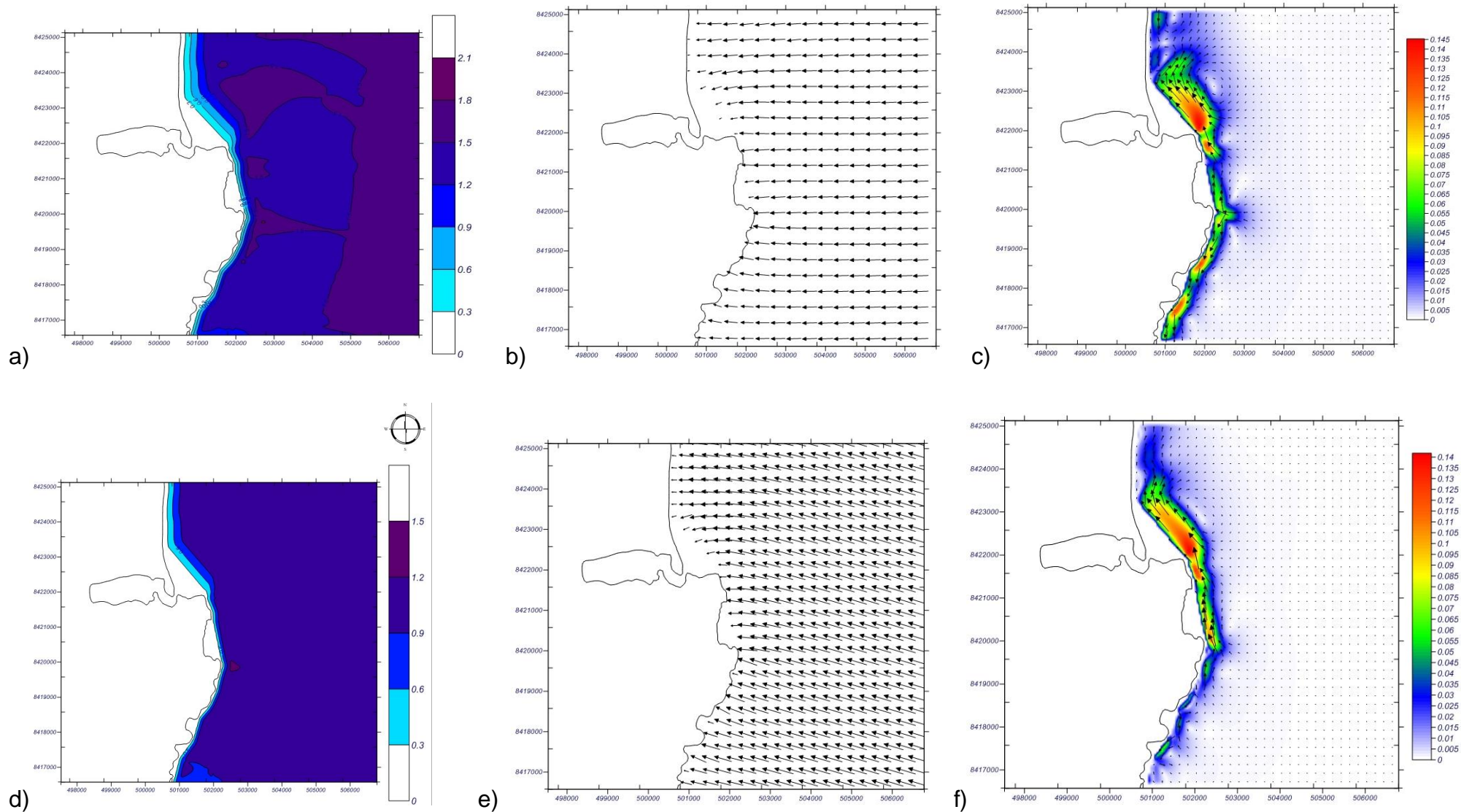
As ondas do quadrante de SE geraram correntes mais fortes em toda área de atuação (Fig. 19f) não diferenciando muito no seu comportamento em relação as ondas de E-SE. As ondas que incidiram ao sul da ilha tiveram pouquíssima influência da direção da linha de costa, onde quase não sofreram mudanças no seu deslocamento (Fig 19e). Assim como na situação anterior (Rio de Contas), a presença do promontório resulta na divergência das correntes costeiras parciais. As ondas de SE contribuíram para a intensidade das correntes, ocorrendo ao norte correntes mais fortes.

A refração é o fenômeno que modifica a direção incidente das ondas de águas profundas quando a razão entre a profundidade local e o comprimento de ondas torna-se menor que  $\frac{1}{2}$  (Hoelfel, 1998). Ao aproximar-se da linha de costa as ondas sofrem os efeitos do empinamento (*shoaling*), de modo que as porções da frente de onda que tiverem sob regiões mais rasas terão suas

velocidades retardadas em relação às porções que se encontram em áreas mais profundas. Assim estas regiões tendem a divergir energia, enquanto regiões mais rasas tendem a convergir.

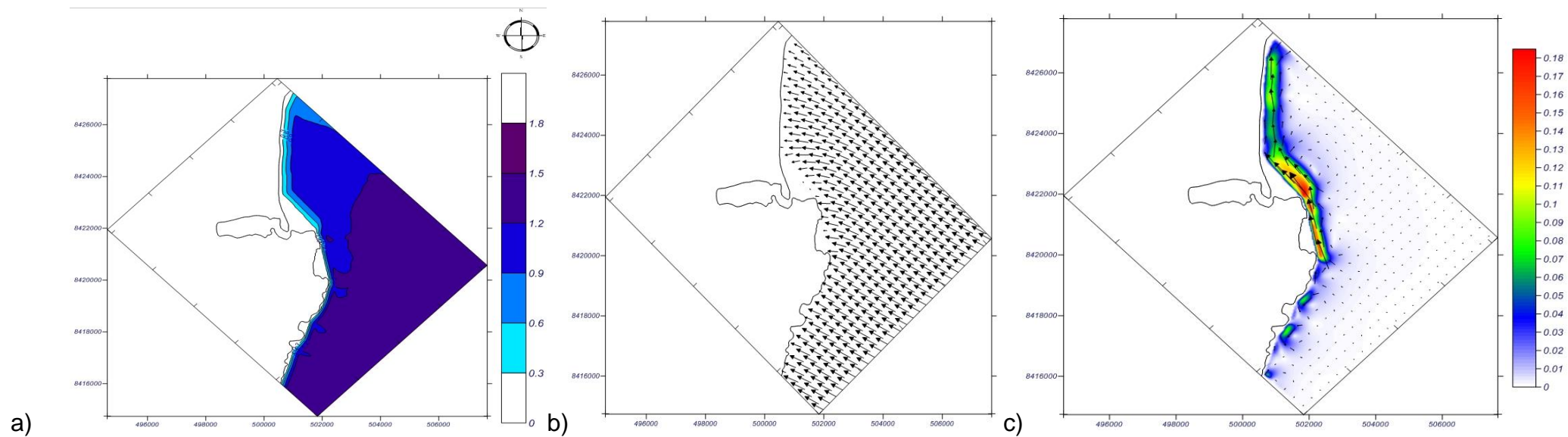
Como resultado deste processo de refração do *trend* de ondas os embaiamentos de Guaibim e Pratigi registram as menores energias de onda conforme atesta o trabalho realizado por Freitas (2002), a partir da modelagem de refração de ondas realizada com o Mike 21.

Em ambas as regiões analisadas a refração sofrida pelas ondas refletiram na geração das corretes costeiras parciais, onde intensidades mais fortes estão localizadas nas áreas de maior refração e influência das maiores ondas (SE).

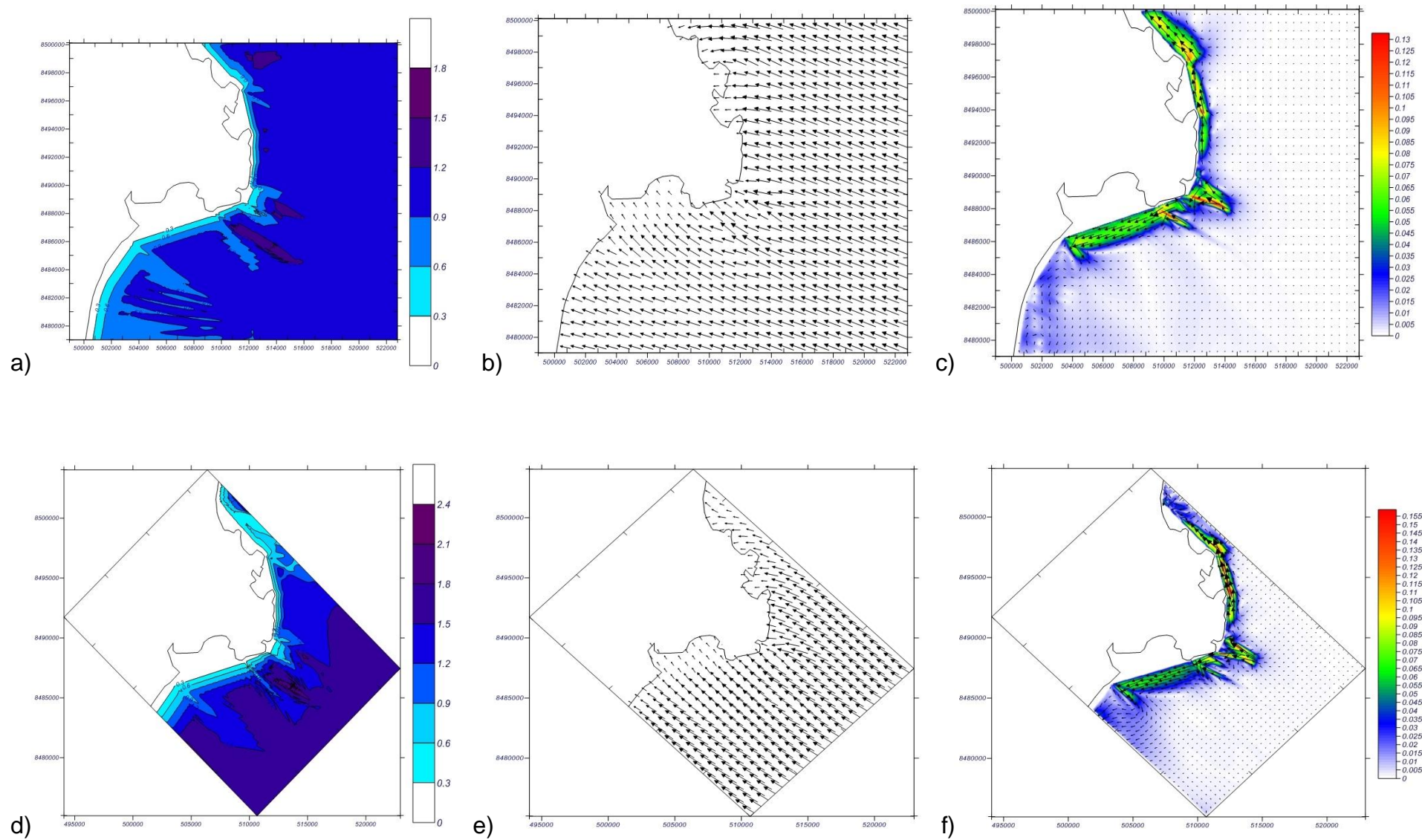


**Fig.17: Mapa das ondas de E e E-SE, respectivamente, adjacente ao Rio de Contas com; a & d) isolinhas de  $H_s$  das ondas; b & e) vetores de direção das ondas e; c & f) vetores + magnitudes das correntes.**





**Fig. 18: Mapa das ondas de SE adjacente ao Rio de Contas com; a) isolinhas de  $H_s$  das ondas; b) vetores de direção das ondas e; c) vetores + magnitudes das correntes.**



**Fig.19: Mapa das ondas de E-SE e SE, respectivamente, adjacente a ilha de Boipeba com; a & d) isolinhas de  $H_s$  das ondas; b & e) vetores de direção das ondas e; c & f) vetores + magnitudes das correntes.**

### 5.2.2. Deriva Litorânea

As correntes de deriva litorânea, geradas pelo trend de ondas com a orientação da linha de costa, apresentaram correlação com as direções das correntes costeiras parciais provocadas pelas ondas nas figuras 17c & f, 18 c e 19c & f. Para as duas regiões modeladas as derivas tiveram comportamentos similares, apesar de estarmos lhe dando com orientações de linha de costa diferentes.

Para a região do Rio de Contas as direções do transporte médio de sedimentos causado pelas derivas foram majoritariamente para N na maior parte da área. Entre os perfis 7 e 8 (Fig. 20) ocorre uma divergência do fluxo para S, localidade esta equivalente a divergência sofrida pelas correntes costeiras parciais geradas pelas ondas no item 5.2.1. As intensidades podem ser vistas pelos tamanhos dos vetores, de forma que, a partir do perfil 7 para norte apresentaram intensidades mais elevadas no transporte realizado pela deriva litorânea.

Na ilha de Boipeba semelhantemente a região de Contas, a deriva litorânea sofreu divergência pela presença do promontório. Do perfil 5 (região do promontório) para cima, o transporte médio teve orientações para N, contudo, a partir do perfil 6 a deriva litorânea apresentou direção orientada para S (Fig.21).

O comportamento dessas correntes é parte da análise dos locais de armazenamento dos sedimentos lamosos presentes na área de estudo, observado que nos pontos de divergência das derivas litorâneas a quantidade da lama é bastante pequena em relação as áreas adjacentes (cerca de 20% na ilha de Boipeba e 40% no Rio de Contas). Isso demonstra um papel importante da incidência das ondas e feições costeiras na geração de correntes costeiras que geram DSF nestas regiões. Bittencourt *et al.*, (2000), mediram as derivas parciais e efetivas para o estado da Bahia. Comparando as derivas parciais inferidas no presente trabalho com as derivas parciais obtidas por esses autores, é perceptível que, de fato, as ondas provenientes do quadrante SE apresentam maiores influências na magnitude das correntes costeiras.

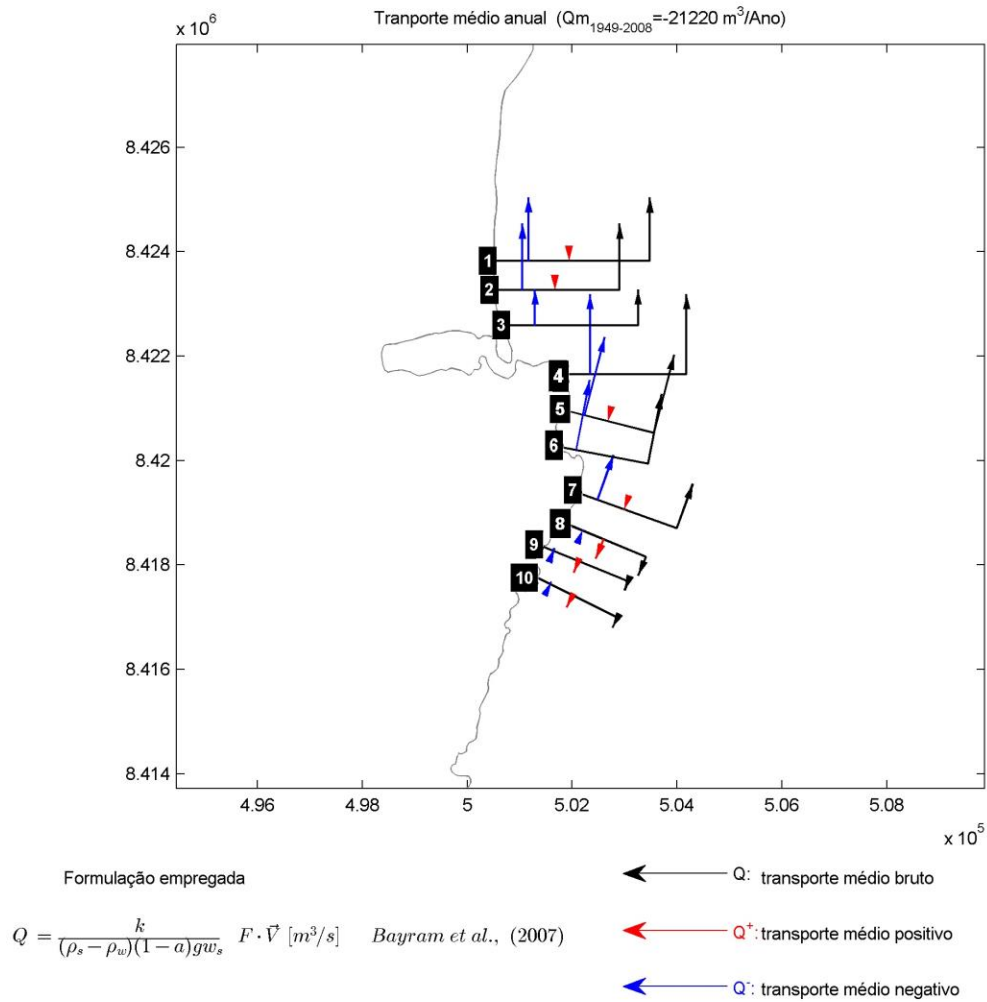


Fig.20: Deriva litorânea efetiva para região do Rio de Contas.

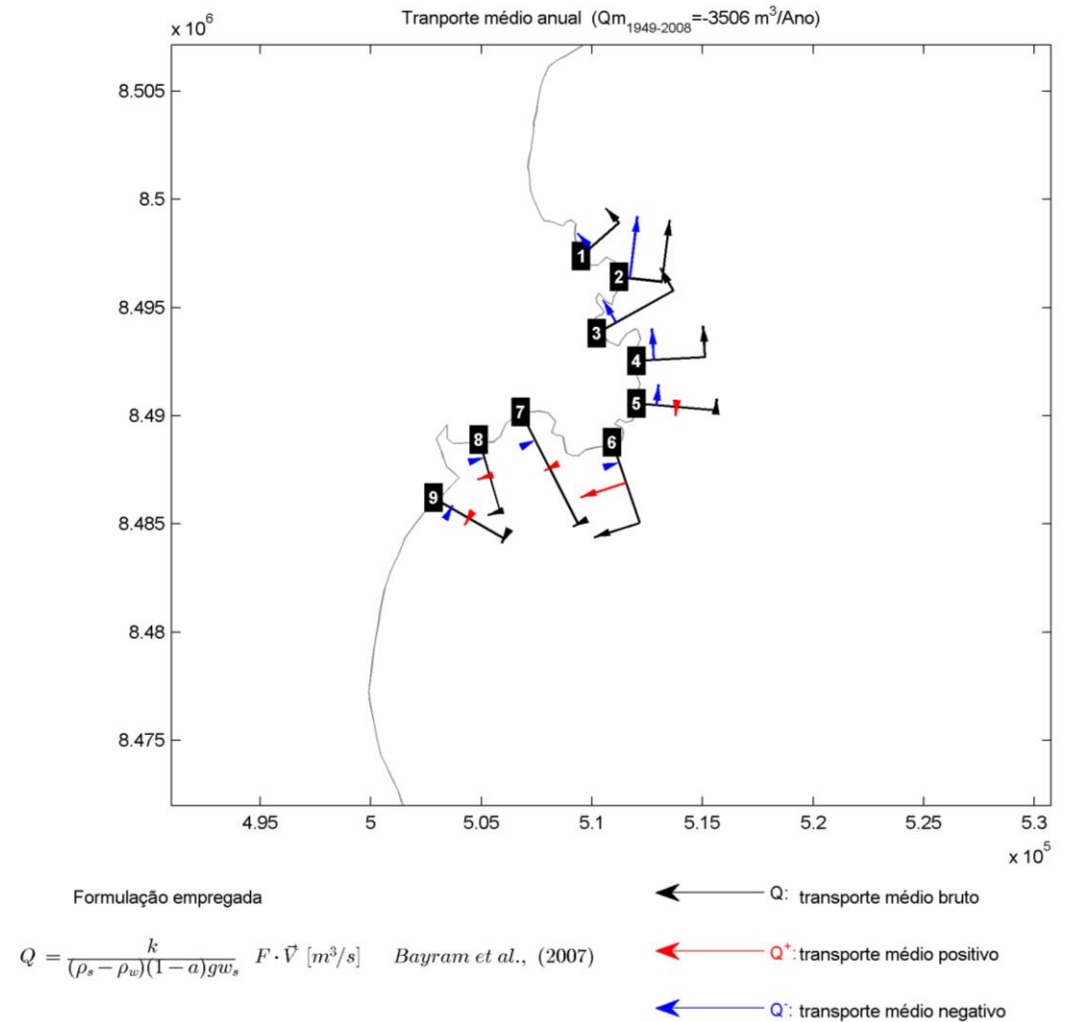


Fig.21: Deriva litorânea efetiva para região da ilha de Boipeba.

### 5.3. Identificação dos pontos de estocagem dos sedimentos finos

O sedimento fino ao longo da Costa do Dendê pode ser classificado em diferentes fácies texturais, variando entre lama (< 25% de areia), lama-arenosa (25-50% de areia e 50-75% de lama) e areia-lamosa (50-75% de areia e 25-50% de lama) (da Silva, 2011). Da Silva (2011), relata que os sedimentos da Costa do Dendê têm uma grande influência de constituintes bioclásticos em sua composição, sendo assim, espera-se na fração lamosa contribuições de calcita e aragonita.

Múltiplos processos que ocorrem na bacia de drenagem irão ditar a quantidade de sedimentos entregues a zona costeira. A dispersão destes sedimentos no sistema marinho é controlada por diversas forçantes, que incluem maré, ventos, direção de ondas, posição da costa e distância da fonte. O destino destes sedimentos também depende do tamanho de suas partículas, mineralogia e materiais anexados a eles (exemplo: matéria orgânica, nutrientes) (Bartley *et al.*, 2014).

Existe a predominância de depósitos lamosos nas ilhas de Boipeba e Tinharé, interior da Baía de Camamu, adjacente à desembocadura do Rio Contas e um pequeno sítio lamoso na desembocadura do Rio Jequiriça (Fig.22). Vale ressaltar a possível contribuição destes depósitos em tempos pretérito, quando o nível do mar esteve mais baixo.

Na porção norte da área de estudo, percentuais em torno de 90% de lama entre as isóbatas de 10 e 50 m são observados. Adjacente à desembocadura do Rio Jequiriça existem teores por volta de 70% de lama perto da isóbata de 10 m. Mais ao sul do Rio Jequiriça, entre Morro de São Paulo (ilha de Tinharé) e ilha de Boipeba, os teores chegam a 60% próximo à linha de costa (< 10 m) onde essas concentrações aumentam (cerca de 90 a 100% de lama) em proximidade com a isóbata de 50 m (Fig.23 - 24).

Na porção intermediária (região de Maráu) a lama está praticamente ausente, com aparições em pontos isolados, sendo exceção o interior da Baía de Camamu na qual é observado maiores teores, com cerca de 60% de lama (Fig.25).

Ao sul da área, na região do Rio de Contas, ocorre uma grande macha de sedimento lamoso dispostos paralelamente à linha de costa entre as isóbatas de 10 e 50 m (da Silva, 2011), com percentuais em torno de 90% de lama (Fig. 26).

O estabelecimento do pacote sedimentar lamoso entre a desembocadura do Rio Jequiçá e o Rio de Contas podem ter influência de vários fatores. Como mencionado anteriormente, a priori a pluma sedimentar é levada a zona costeira pela drenagem dos rios que aportam esses sedimentos finos na face litorânea. A plataforma é um sistema dinâmico onde correntes geradas por diversas forças controlam a DSF e/ou ressuspensão.

A pluma sedimentar ao aportar no ambiente marinho é controlada pelas forças físicas (ondas e suas resultantes, deriva litorânea e correntes de retorno, os fluxos de maré e o efeito cisalhante do vento na superfície do mar).

Já a ressuspensão da carga sedimentar é acionada por dois fatores: ressurgência de massa d'água pelo efeito combinado de Coriolis e espiral de Ekman, e o atrito dos orbitais de onda no fundo marinho que tendem a colocar na coluna d'água os sedimentos finos anteriormente depositados.

Como descreve Bird (2007), os orbitais gerados pela passagem das ondas diminuem com a profundidade, onde seu limite de interação é igual a metade do comprimento da onda ( $L/2$ ). Alterações na topografia do fundo marinho começam a ocorrer quando os orbitais circulares, decorrente do movimento de propagação das ondas atingem  $h/L < 1/4$ ; (profundidade local/comprimento de onda). A partir deste ponto, operam quatro processos básicos: empinamento (*shoaling*), refração, difração e fricção com o fundo. A fricção pode potencialmente ressuspender partículas finas quando não há coesão gerada pela presença de água intersticial.

Para o cálculo de  $L = 1,56 \cdot T_b^2$ , onde  $T_b$  (período) adotando período de 9 seg (Formula anexo 1), o resultado fica  $L = 126,36$ . Para o período de 9 segundos a remobilização começaria a ocorrer a uma profundidade de 31,5 metros, ou seja, teríamos ondas com períodos de 9 segundos atuando sobre a

plataforma média e externa podendo potencialmente, ressuspender as partículas finas.

Geralmente a massa sedimentar aportada pelos rios consiste em partículas de silte e argila, que decantam em áreas mais distantes da face litorânea. As correntes de deriva litorânea geradas pela ação das ondas dispersam estes sedimentos ao longo da costa tendo uma participação das correntes longitudinais geradas pela ação dos ventos, explicando o comportamento da lama ao sul e ao norte de Contas e ao sul do Rio Jequiriça, que chega em maior volume com a vazão dos rios nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro (sob atuação dos ventos E e NE). Na figura 27 temos a influência dos ventos no mês de Agosto (E-SE) na DSF aportado pelo Rio de Contas.

Resultados da modelagem costeira explica o transporte realizado pelas ondas nos itens 5.2.1 e 5.2.2. As marés também são importantes na geração das correntes costeiras, porém apresentam maior influência na direção perpendicular a linha de costa. Em regiões de estuário (Baía de Camamu) a principal forçante é o regime de marés que controlam a circulação, como demonstra os trabalhos de Amorim (2011), este mesmo raciocínio pode ser transportado para o canal de Taperoá, em uma proporção menor.

Segundo Walsh *et al.*, (2009), a flocculação e a circulação dos estuários produzem uma zona de turbidez máxima caracterizada por sedimentos em suspensão que comumente sofrem rápida flocculação devido à grande quantidade de cátions presentes no ambiente marinho (Sódio, Magnésio, Cálcio, Potássio), podendo ser a explicação dos teores de lama encontrados perto da linha de costa, em regiões relativamente rasas.

A composição do material particulado em suspensão na coluna d' água dos rios que desembocam ao longo do Nordeste e Leste da costa brasileira avaliado por Tintelnot (1995) citado por Leipe *et al.*, (1999), indica que cerca de 85% das argilas em suspensão é composta por caulinita e a fração restante ilita. Na proximidade com ambientes recifais ocorre a presença de calcita e aragonita.

Existem pelo menos 4 fatores que podem influenciar a acumulação dos sedimentos na plataforma: 1. Tempo de entrega dos sedimentos; 2: Clima de ondas; 3: Geometria da plataforma; 4: Mecanismos de dispersão sedimentar.

O primeiro refere-se ao tempo que os sedimentos levam para ser descarregados pelos rios no ambiente marinho raso. Pequenos rios são mais prováveis de ocorrer descargas em eventos de tempestades devido ao tamanho reduzido da sua bacia hidrográfica (Wheatcroft e Sommerfield, 2005).

O clima de ondas irá influenciar na geração de correntes superficiais e correntes que fluem perto do assoalho oceânico. Essas correntes juntamente com toda a condição hidráulica, de modo geral, regulam os pontos de acumulação dos sedimentos.

A geometria da plataforma deve também impactar a DSF, onde, por exemplo, a ausência de canhões (*canyons*) favorece a retenção sedimentar em regiões da plataforma. A largura da plataforma também influencia a DSF, em plataformas mais estreitas a velocidade do fluxo hipopical é maior e a energia dos orbitais de onda podem ressuspender a carga de finos previamente depositados. Por fim, o mecanismo ou o caminho que os sedimentos são transportados através da plataforma pode influenciar a acumulação na margem continental (Wheatcroft e Sommerfield, 2005).



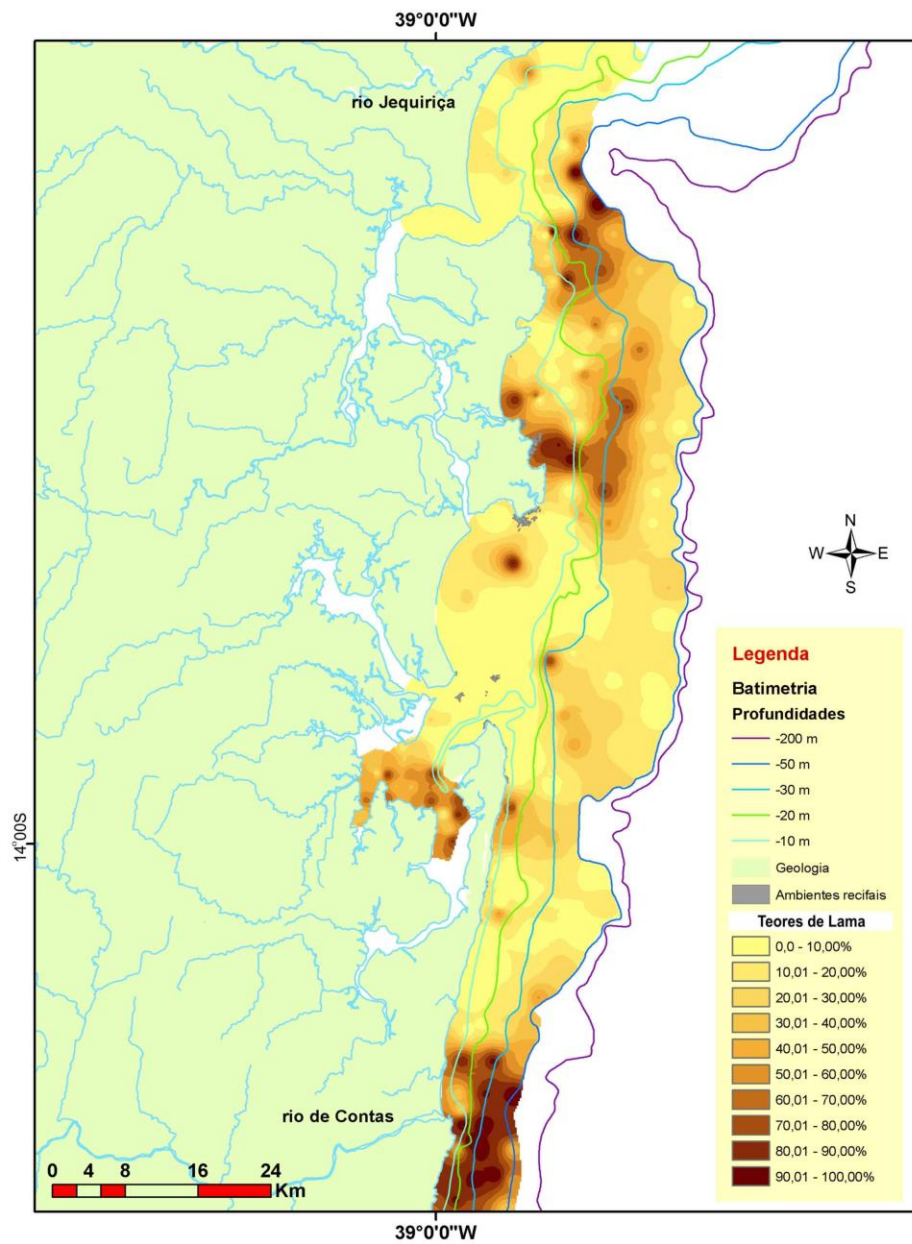


Fig. 22: Mapa dos depósitos de lama e seus teores ao longo da área de estudo.

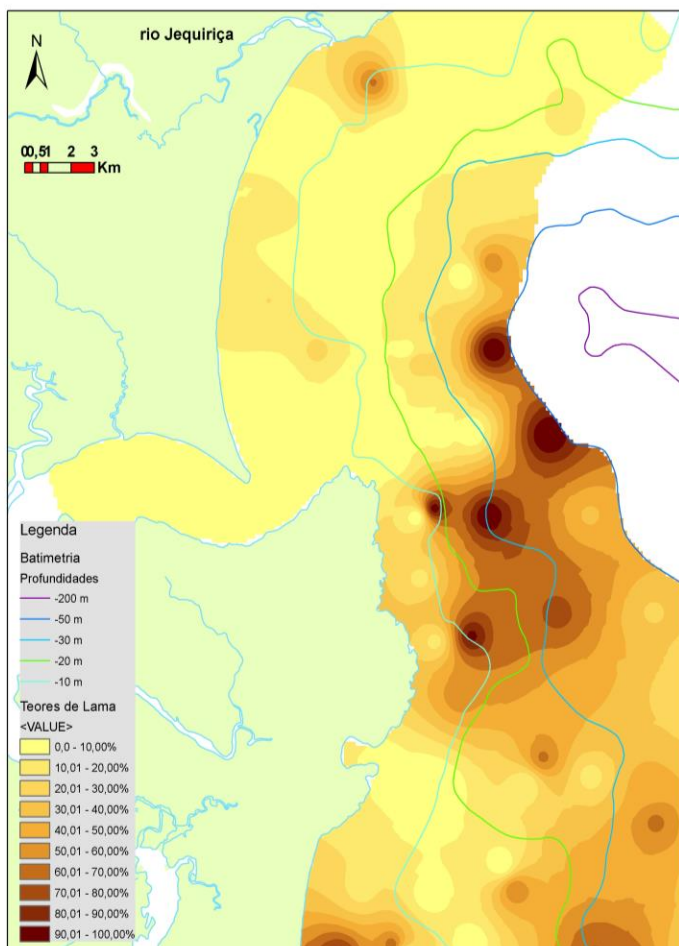


Fig. 23: Depósito lamoso na desembocadura do Rio Jequiriça e adjacente a ilha de Tinharé.

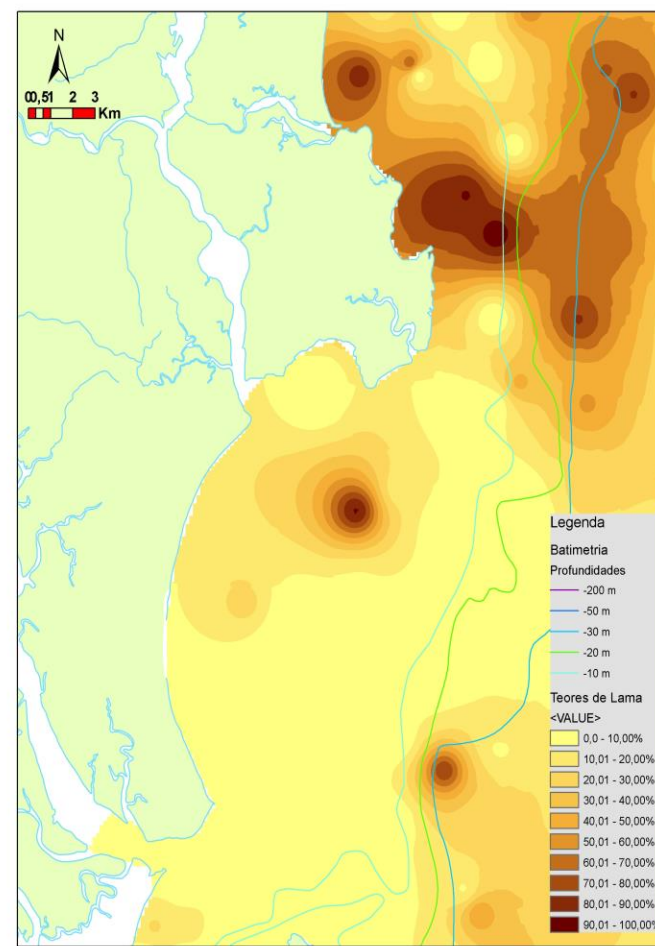


Fig. 24: Depósito lamoso em frente a Ilha Boipeba.

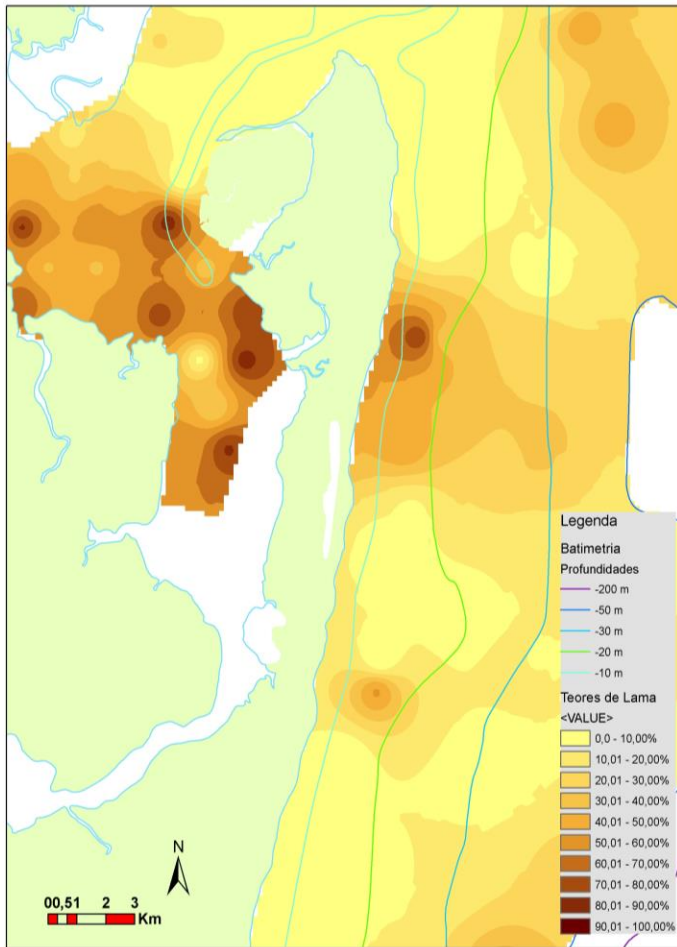


Fig.25: Depósito lamoso na região da Baía de Camamu.

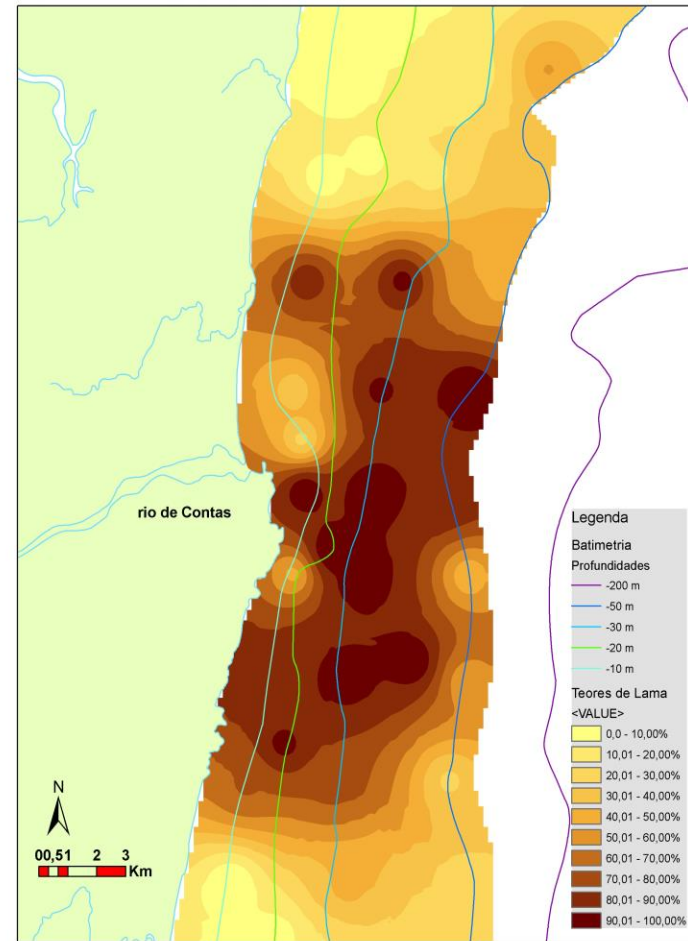


Fig.26: Depósito lamoso adjacente a desembocadura do Rio de Contas.

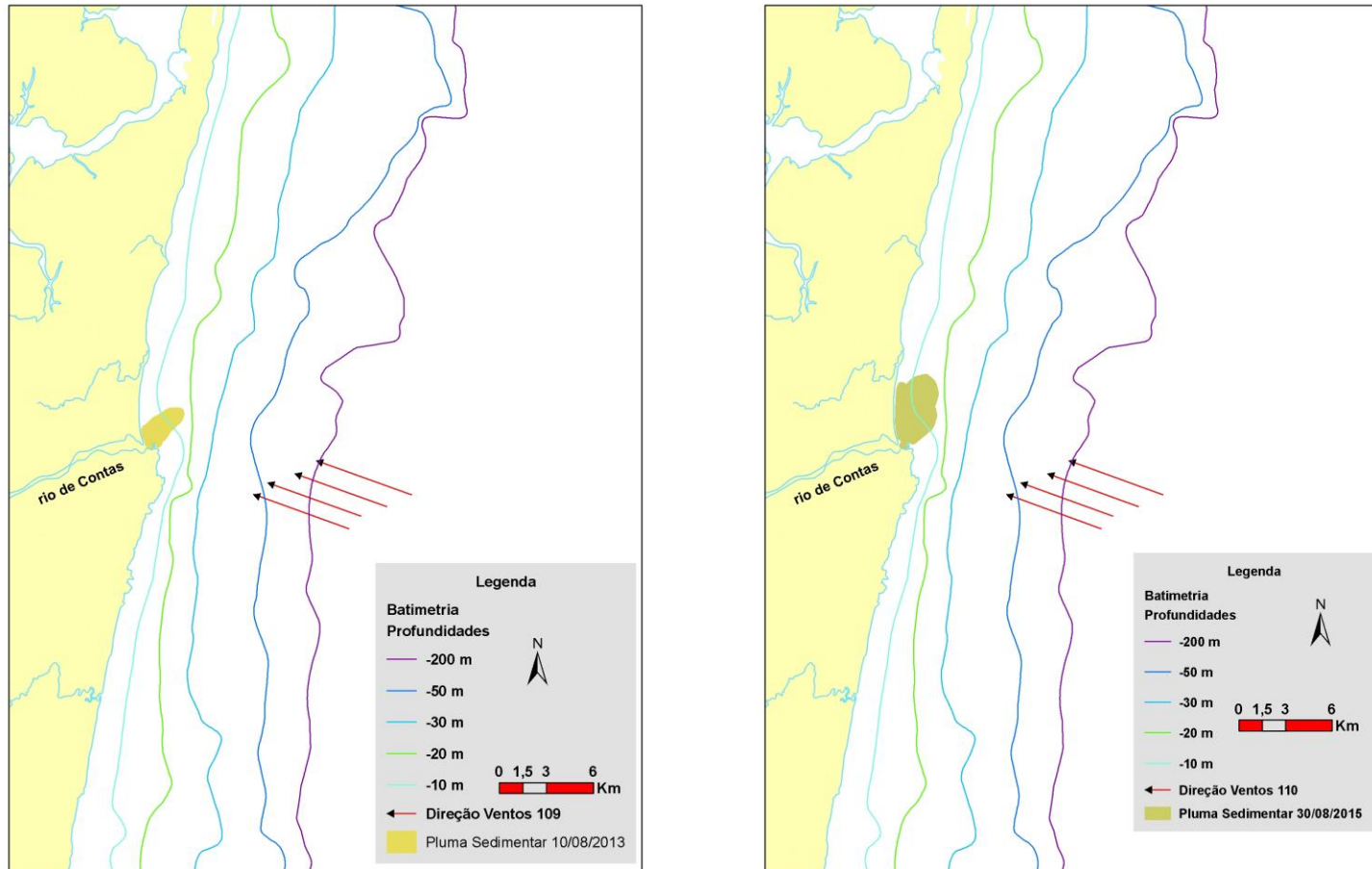


Fig. 27: Dispersão da pluma sedimentar com orientações para N aportada pelo Rio de Contas nos dias 10/08 e 30/08 de 2013 e 2015, respectivamente, influenciada por ventos E-SE incidentes na região.

#### 5.4. Parâmetro de turbidez da água (K490)

O coeficiente de atenuação difusa da luz a 490 nm (K490) explica através da geração de dados de reflectância da luz o grau de turbidez presente na coluna d' água, pela presença de partículas orgânicas e inorgânicas, de forma que podemos avaliar as causas da turbidez confrontando com o período e locais de ocorrência de turbidez com as possíveis forçantes para a ocorrência destes eventos.

Gráficos interanuais de atenuação difusa da luz a 490 nm, dos anos de 2011 a 2016, mostram os maiores valores variando entre os meses de Junho a Setembro (Fig. 28 - 33). Esses meses sofrem influência da Frente Polar do Atlântico que gera ventos de SSE e reforçam os ventos alísios de SE incidentes na área, provocando as maiores turbidezes na área de estudo.

Nas figuras 34, 35 e 36 temos os mapas da distribuição espacial da turbidez ao longo da plataforma continental da Costa do Dendê avaliados nos meses de alta vazão, menor e maior velocidades dos ventos. Nos meses de Setembro, Novembro e Junho, respectivamente, dos anos de 2014, 2015 e 2016 foram observados os maiores valores turbidez (Fig. 34c, 35b e 36b). De maneira geral, o mês de Janeiro (Fig. 28 - 33), apresentou os menores valores de atenuações do k490, com as menores médias.

Sabe-se que as maiores vazões fluviais ocorrem no verão, período de maior intensidade das chuvas em suas cabeceiras. Partindo deste princípio foi escolhido o mês de Janeiro para representar as maiores vazões nos anos de 2014, 2015 e 2016. Adicionalmente, foram avaliados os meses de menor vazão, menor e maior velocidade dos ventos (Tabela 7).

Tabela 7: Meses de avaliação do K490 entre os anos de 2014 a 2016. Os meses em negrito destacam-se por apresentarem as maiores turbidezes.

		<b>k490</b>	
<b>Mês</b>	<b>Maior Vazão</b>	<b>Menor vazão e Menor Vel. do vento</b>	<b>Maior Vel. do vento</b>
<b>2014</b>	Janeiro	Abril	<b>Setembro</b>
<b>2015</b>	Janeiro	Março	<b>Novembro</b>
<b>2016</b>	Janeiro	Abril	<b>Junho</b>

As baixas vazões e baixas intensidades dos ventos dos meses de Março e Abril validam o baixo grau de turbidez existente na plataforma continental entre os anos avaliados visto nas figuras 34b, 35b e 36b. Apesar da baixa turbidez observada nestes meses, em relação ao mês de Janeiro onde esperavam-se maiores valores do k490, pois é o mês que representa as maiores vazões, nos meses de Março e Abril ocorreram maiores atenuações da luz refletindo em uma maior turbidez.

Há uma grande possibilidade dos outros parâmetros de condições físicas ao longo da área estejam atuando e remobilizando os sedimentos. Nestes períodos existe a ocorrência de ondas com alturas suficientes e fluxo de maré que podem provocar correntes de stress cisalhante no fundo (Walsh e Nittrouer, 2009 & Wheatcroft e Sommerfield, 2005) produzindo esta turbidez, sendo muito plausível que sejam as principais forçantes atuando na remobilização e ressuspensão dos sedimentos nestes meses.

Alguns pontos foram reincidentes com as maiores turbidezes ao longo da área de estudo durante o período avaliado. Estes pontos estão situados ao sul da ilha de Boipeba e ao norte da ilha de Tinharé, locais de embaiamento (Fig.34,35,36). Observa-se que estas regiões apresentam uma linha de costa mais recuada e batimetrias mais profundas, sendo possível que o transporte longitudinal a costa (deriva litorânea provocado pelas ondas, transporte de Ekman gerado pelos ventos e correntes geradas pelo regime de maré) esteja carreando sedimentos de áreas adjacentes e depositando nestas regiões.

É possível que ventos de direção NE (primavera/verão) estejam provocando ressurgências costeiras nos locais de embaçamento. Observar-se que nestas áreas ocorrem os maiores hiatos de sedimentação carbonática, representado pelos ambientes recifais. Além desses fatores, é observado que nestas regiões encontram-se a desembocadura do canal de Taperoá e a Baía de Camamu, sendo plausível que outros materiais em suspensão, além da lama, estejam provocando turbidez ao longo de todo o ano.

A variação dos meses que apresentaram os maiores valores do K490 nos indicam que as forças variam de acordo com os meses do ano, com uma possível sinergia dos ventos, *trend* de ondas e atuação do regime de maré.

Esperava-se que nos locais com os maiores valores do K490, ou seja, maior turbidez, existissem os sítios sedimentares com maiores porcentagens de lama, porém não foi isso observado, onde as maiores concentrações de lama está adjacente a desembocadura do Rio de Contas e região confrontante às ilhas de Tinharé e Boipeba.

Em resumo, depois da deposição inicial a ressuspensão dos sedimentos só ocorrerá caso as forças combinadas de stress cisalhante sejam suficientemente maiores que o *background* do stress de cisalhamento crítico do assoalho capaz de manter a partícula sedimentar em inércia. Quando as condições combinadas cisalhantes do assoalho ultrapassam o limite de stress de cisalhamento crítico do fundo, os sedimentos são ressuspensos e então podem ser dispersados ao longo da área, ocorrendo a sua deposição novamente quando as condições hidráulicas diminuem (Walsh e Nittrouer, 2009).

As figuras 40, 41 e 42 mostram os valores do K490, suas médias e medianas na área de estudo. Quanto maior forem os valores menor será a penetração da luz, indicando menor transparência da água.

No ano de 2014 esses gráficos mostram a média do k490 entre os *pixels* no mês de Setembro, com valor de 0.0555 m<sup>-1</sup>. Em 2015, Março apresentou a



maior média com  $0.0449 \text{ m}^{-1}$ . Já para 2016 o mês de Abril foi o que teve maior média entre os *pixels*, com  $0.0499 \text{ m}^{-1}$ .

Segal *et al.*, (2007), relatam que o resultado combinado da frente polar com o coeficiente de atenuação da luz e resultados do fluxo de sedimentos reforça a ideia que a turbulência associada a estes fatores deve ser tomada em consideração para o entendimento do processo de sedimentação.

As altas velocidades dos ventos para os 3 anos (Fig. 37, 38 e 39) mostraram-se capazes de gerar correntes de stress cisalhante no assoalho que ultrapassam o limiar de movimento dos sedimentos do fundo marinho (Wash *et al.*, 2009), que junto com correntes que fluem perto do fundo oceânico provocadas pelos orbitais de ondas e pelo regime de maré ressuspendem os sedimentos na coluna d'água.

As ondas de NE e E começam a interagir com um fundo em uma profundidade de 20 m aproximadamente, enquanto as ondas de SE e SSE, interagem numa profundidade maior (~ 35 m) devido a maiores alturas. Essas frentes de ondas que incidem na Costa do Dendê geram interferências no fundo oceânico de forma que os orbitais gerados por elas são capazes de retrabalhar e ressuspender sedimentos finos inconsolidados até o final da plataforma continental média (Bittencourt *et al.*, 2000), assim podendo gerar turbidez em toda extensão da área de estudo.

Sobre a Costa do Dendê ocorre avanços periódicos da frente polar. O impacto desse avanço tende a ser maior durante o inverno, quando esses sistemas são mais energéticos e alcança latitudes mais baixas (Segal *et al.*, 2007). Esses ventos podem chegar até 10 m/s, vide figura 16, gerando em média ondas em regime de tempestade com alturas de 2,5 m e períodos variando de 9 a 12 s (Tabela 2 e 3).



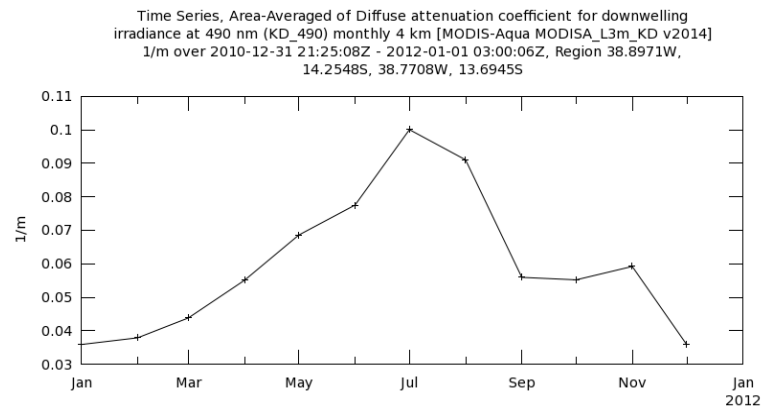


Fig. 28: Gráfico interanual do coeficiente de atenuação difusa a 490 nm (k490) para o ano de 2011.

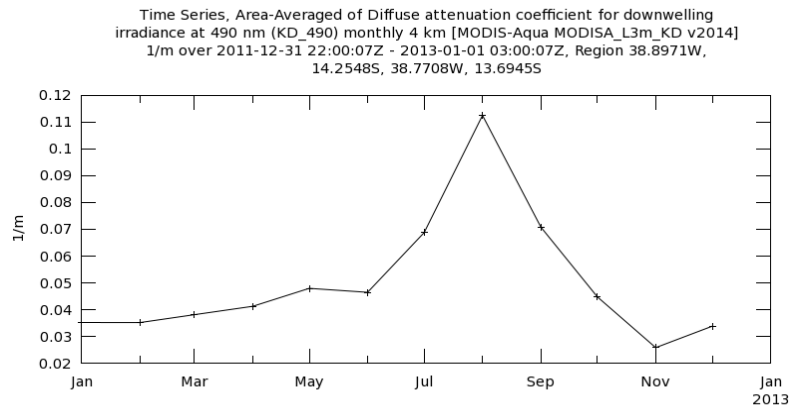


Fig. 29: Gráfico interanual do coeficiente de atenuação difusa a 490 nm (k490) para o ano de 2012.

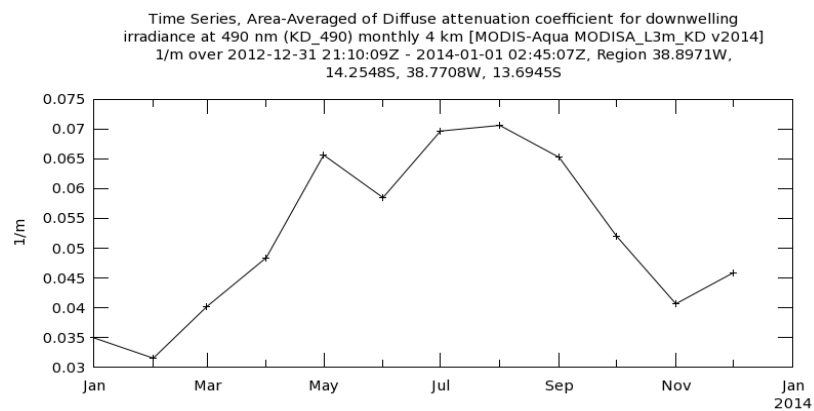


Fig. 30: Gráfico interanual do coeficiente de atenuação difusa a 490 nm (k490) para o ano de 2013.

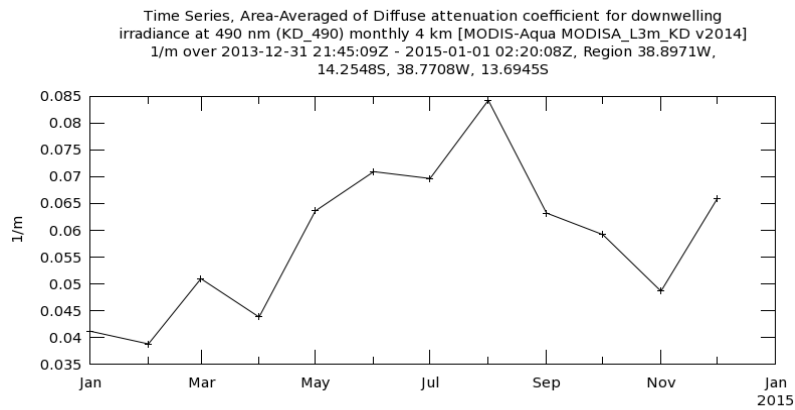


Fig. 31: Gráfico interanual do coeficiente de atenuação difusa a 490 nm (k490) para o ano de 2014.

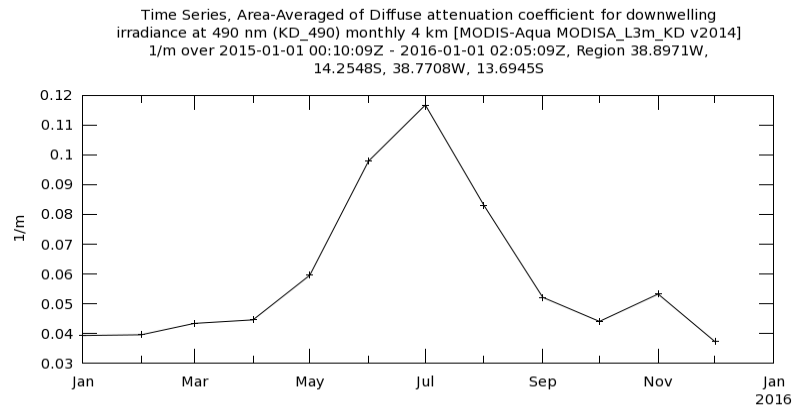


Fig. 32: Gráfico interanual do coeficiente de atenuação difusa a 490 nm (k490) para o ano de 2015.

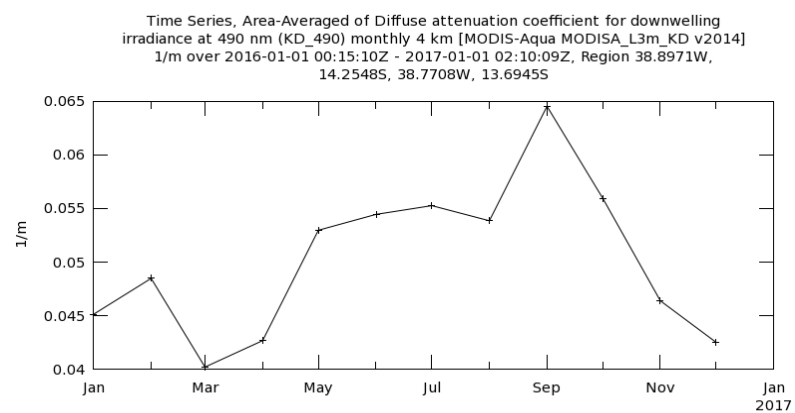


Fig. 33: Gráfico interanual do coeficiente de atenuação difusa a 490 nm (k490) para o ano de 2016.

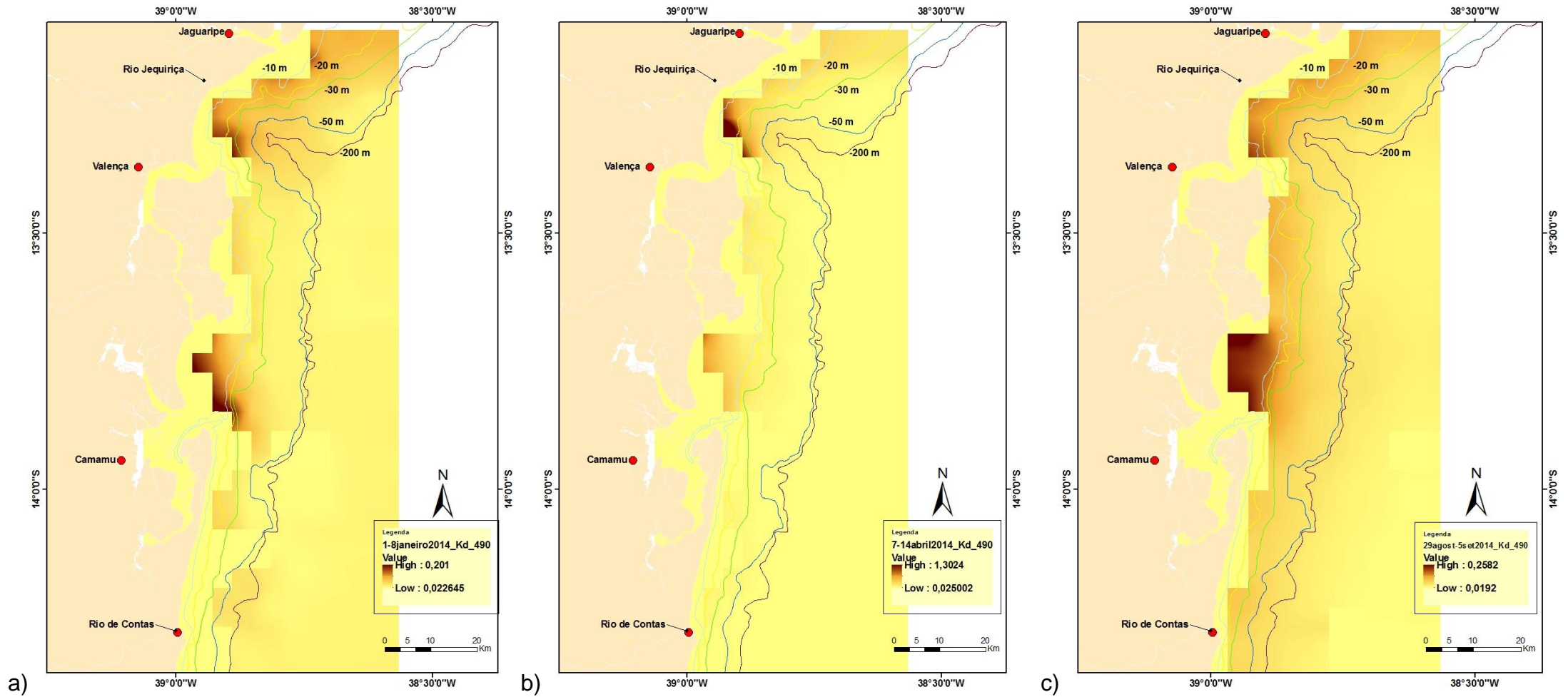


Fig. 34: Mapa com os dados do parâmetro de turbidez (k490) para o ano de 2014 nos meses de; a) Janeiro; b) Abril; c) Setembro.

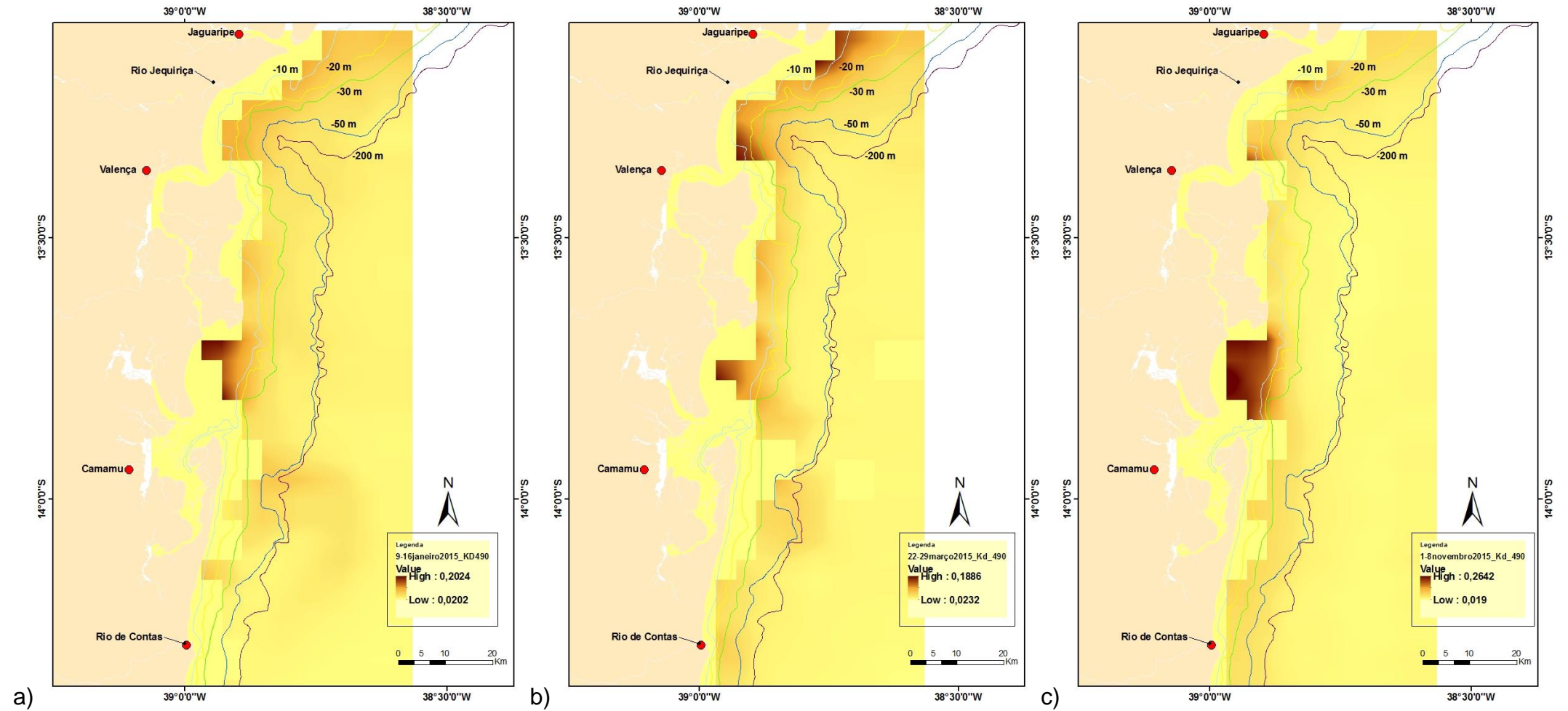


Fig. 35: Mapa com os dados do parâmetro de turbidez (k490) para o ano de 2015 nos meses de; a) Janeiro; b) Março; c) Novembro.

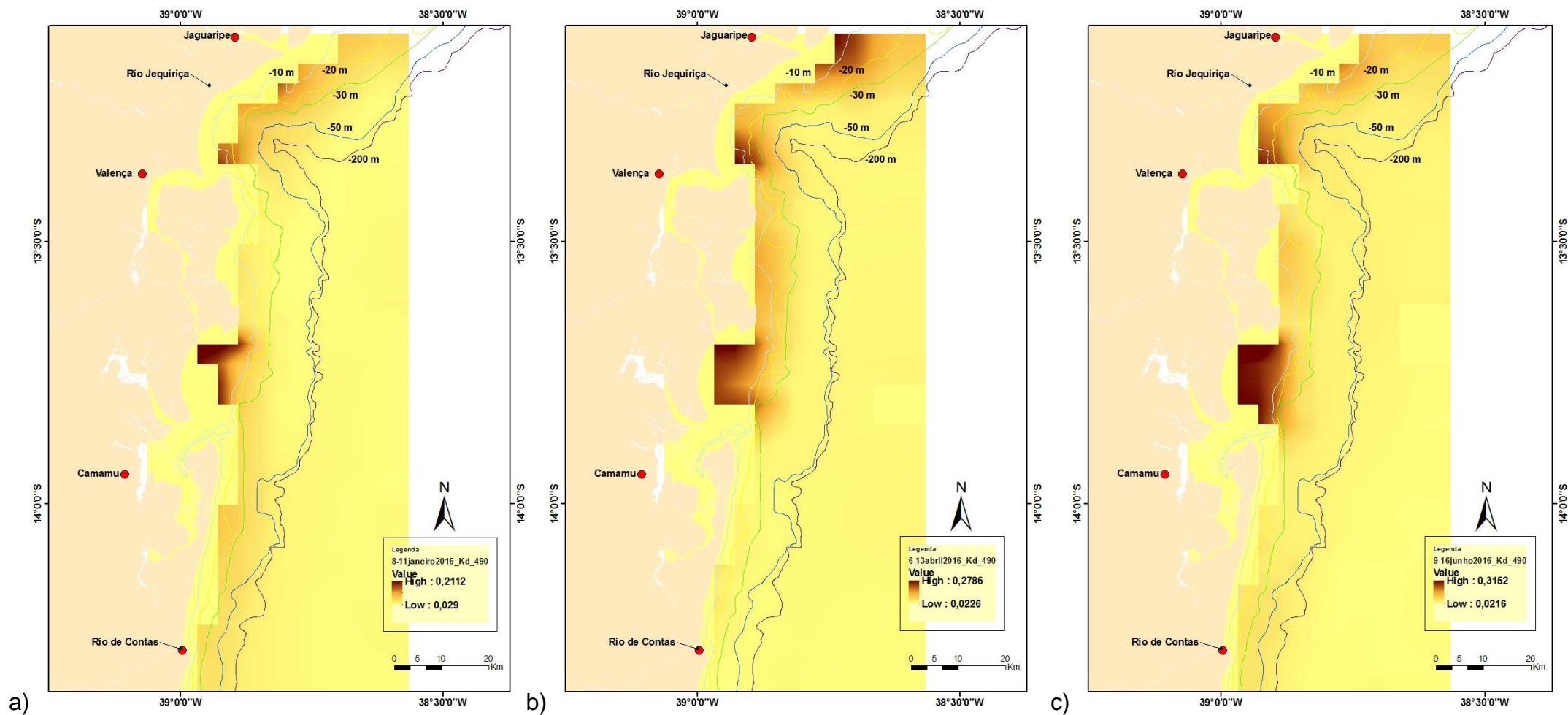


Fig. 36: Mapa com os dados do parâmetro de turbidez (k490) para o ano de 2016 nos meses de; a) Janeiro; b) Abril; c) Junho.

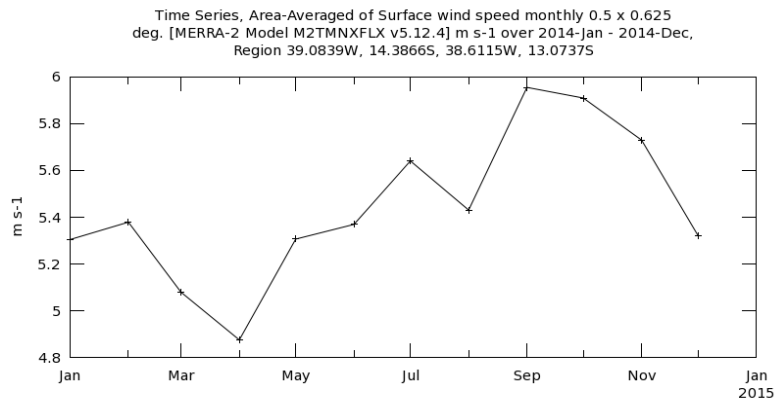


Fig. 37: Série temporal para uma área média da velocidade de superfície do vento mensal para o ano de 2014.

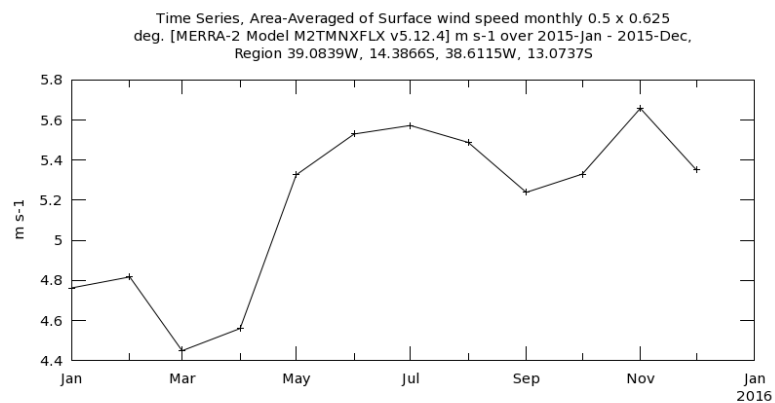


Fig. 38: Série temporal para uma área média da velocidade de superfície do vento mensal para o ano de 2015.

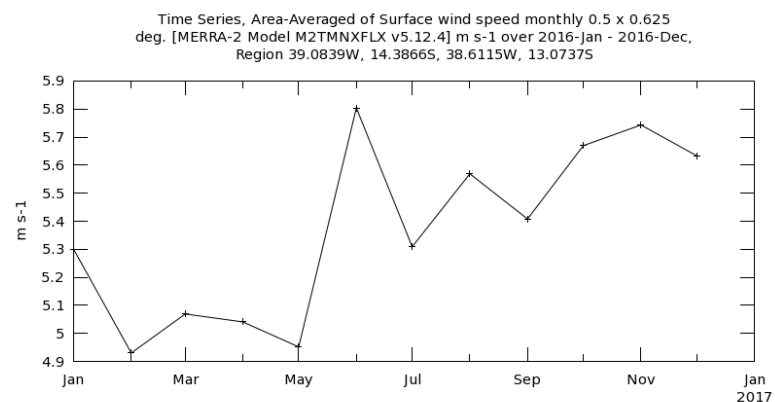
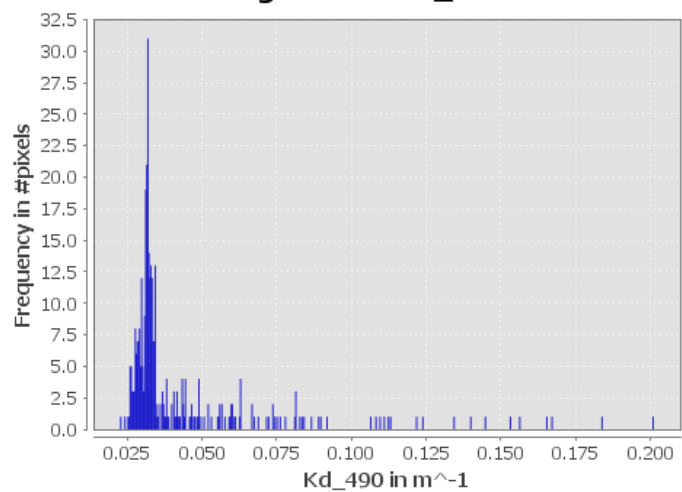


Fig. 39: Série temporal para uma área média da velocidade de superfície do vento mensal para o ano de 2016.

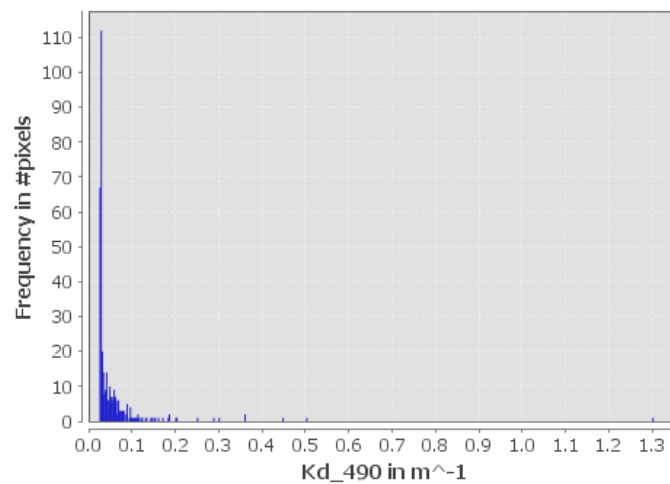
Janeiro

Histogram for Kd\_490



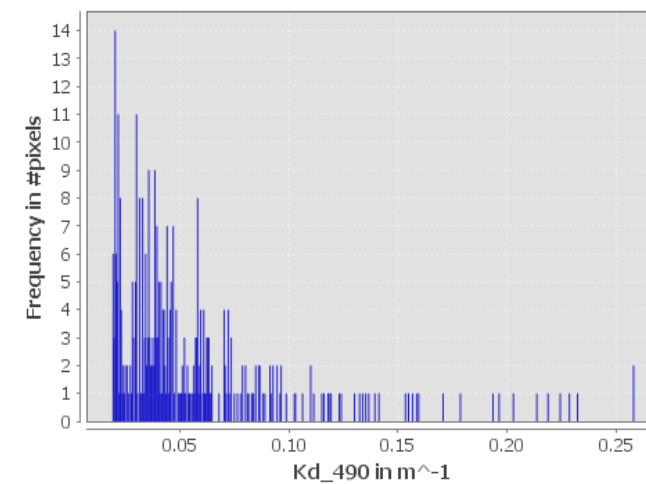
Abril

Histogram for Kd\_490



Setembro

Histogram for Kd\_490



a)

Média:	0.0424
Mediana:	0.0323

Média:	0.0551
Mediana:	0.0311

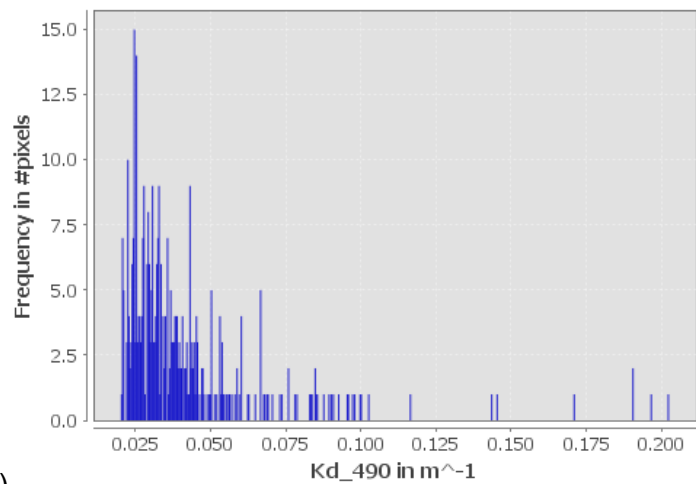
Média:	0.0555
Mediana:	0.0424

b)

Fig. 40: a) Histogramas do índice de atenuação e; b) tabelas das médias e medianas dos meses de Janeiro, Abril e Setembro, respectivamente, para o ano de 2014.

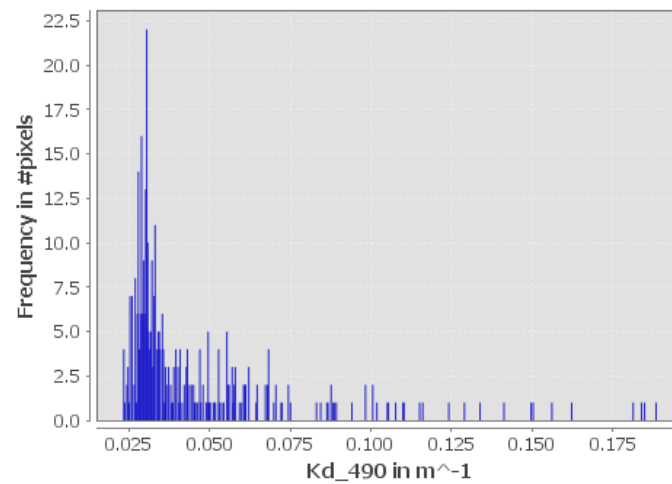
Janeiro

Histogram for Kd\_490



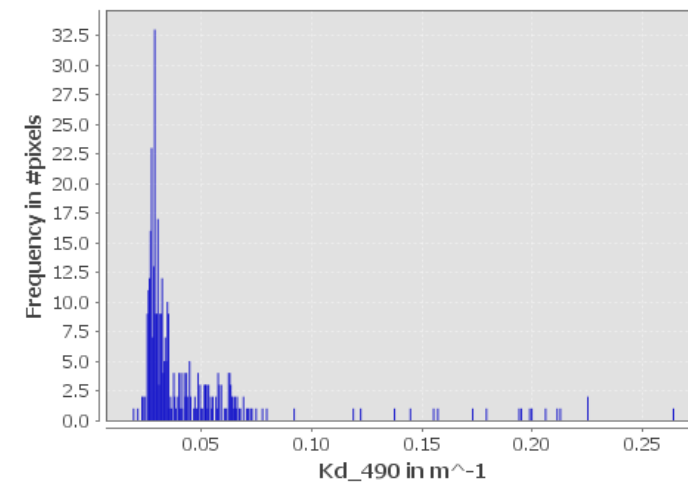
Março

Histogram for Kd\_490



Novembro

Histogram for Kd\_490



a)

Média:	0.0414
Mediana:	0.0333

Média:	0.0449
Mediana:	0.0331

Média:	0.0443
Mediana:	0.0319

b)

Fig. 41: a) Histogramas do índice de atenuação e; b) tabelas das médias e medianas dos meses de Janeiro, Março e Novembro, respectivamente, para o ano de 2015.



Janeiro

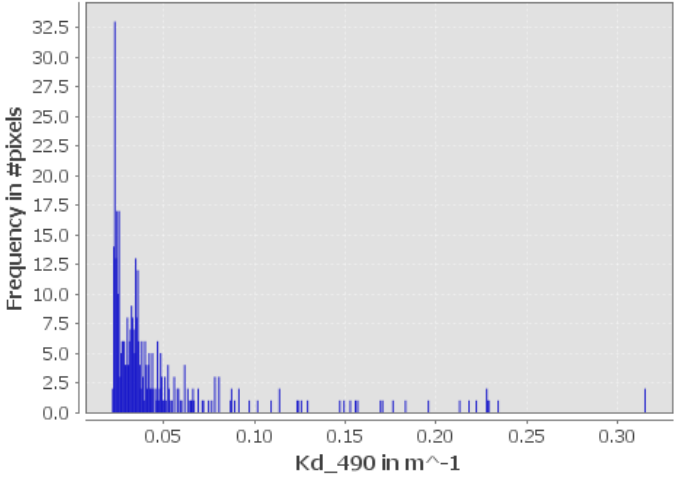
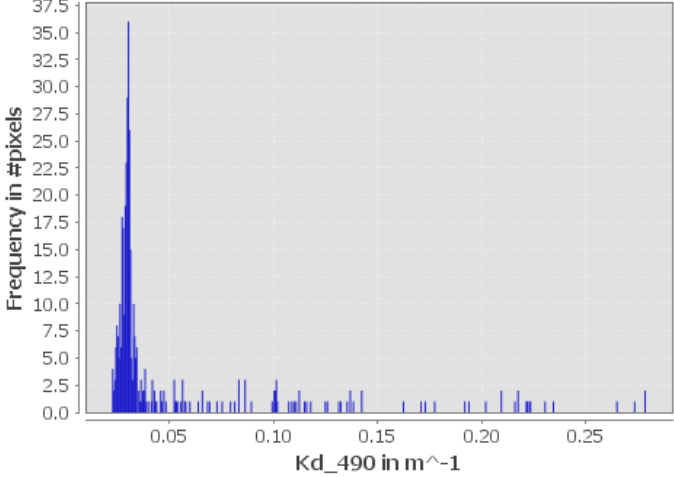
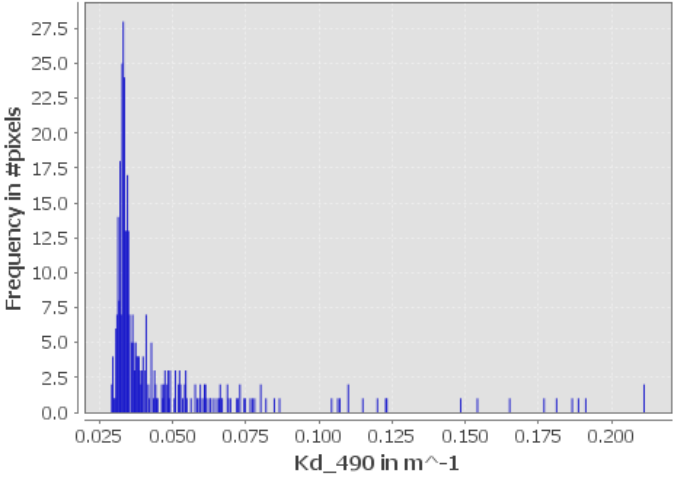
Abril

Junho

**Histogram for Kd\_490**

**Histogram for Kd\_490**

**Histogram for Kd\_490**



a)

Média:	0.0454
Mediana:	0.0347

Média:	0.0499
Mediana:	0.0305

Média:	0.0470
Mediana:	0.0339

b)

Fig.42: a) Histogramas do índice de atenuação e; b) tabelas das médias e medianas dos meses de Janeiro, Abril e Junho, respectivamente, para o ano de 2016.

## 6. Conclusão

Com a realização deste trabalho podemos entender um pouco mais sobre a dispersão da pluma sedimentar e a sua influência na sedimentação mista (siliciclástica/carbonática) na plataforma continental da Costa do Dendê associado aos mecanismos meteo-oceanográficos no seu transporte e deposição.

Os rios ao longo de toda a área apresentaram pequenas vazões com exceção do Rio de Contas. Desta forma, a plataforma continental entre 13° 12' e 14° 16' é caracterizada por um aporte limitado de sedimentos alóctones (siliciclástica), o que, associado ao clima tropical da região, favorece uma sedimentação predominantemente autóctone (carbonática).

As plumas sedimentares descarregadas pelas bacias hidrográficas influenciam na sedimentação carbonática uma vez que a turbidez gerada pelas plumas provocam efeitos como sufocamento dos corais e diminuição da incidência da radiação luminosa que impede o crescimento dos recifes (Bartley *et al.*, 2014).

Os sedimentos finos são dispersos por correntes determinadas pelas condições físicas que podem posteriormente depositar com a diminuição da hidrodinâmica local. Um fator bastante importante, porém, colocado de lado nos estudos de dispersão de sedimentos e a influência das ondas na ressuspensão e transporte dos sedimentos. As ondas são um componente hidráulico que geram correntes costeiras e correntes no fundo oceânico capazes de gerar a ressuspensão dos sedimentos e coloca-los novamente à mercê do transporte no ambiente marinho raso.

Assim, o entendimento das forçantes da circulação local foi de extrema importância para realização do trabalho. É possível que as forçantes físicas representadas pelas ondas, marés e ventos sejam os principais fatores geradores de turbidez na Costa do Dendê.

Este estudo traz à tona a discussão sobre as condições físicas na geração da circulação costeira e suas influências na ressuspensão e dispersão

dos sedimentos finos, principalmente pelas ondas, no qual o seu papel é bastante negligenciado nos estudos de transporte de sedimentos, além de utilizar um conjunto de ferramentas relativamente nova nos estudos de modelagem costeira, o SMC-Brasil. Espera-se que os resultados aqui fornecidos sirvam para estudos posteriores.

## 7. Referências

AMORIM, F.N.; **A dinâmica sazonal da plataforma continental leste brasileira entre 10<sup>os</sup> e 16<sup>os</sup>. 2011.** 185 f.Tese (Doutorado em ciências na área de Oceanografia Física) - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 2011.

BARBOSA, J.S.F.; DOMINGUEZ, J.M.L.; **Geologia da Bahia: texto explicativo para o mapa geológico ao milionésimo.** Salvador: Secretaria da Indústria, Comércio e Mineralização. Superintendência de Geologia e Minerais,1996. 400 pg.

BARTLEY, R.; BAINBRIDGE, Z.T.; LEWIS, S.E.; KROON, F.J.; WILKINSON, S.N.; BRODIE, J.E.; SILBURN, D.M.; **Relating sediment impacts on coral reefs to watershed source, processes and management: a review.** Science of Total Environment, 1138-1153, 2014.

BIRD, E.C.F.; **Coastal geomorphology : an introduction.** Second edition. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England: John Wiley & Sons Ltd, 2007. 441 pg.

BITTENCORT, A.C.S.P.; LEÃO, Z.M.A.N.; KIKUCHI, R.K.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; **Deficit of sand in a sediment transport model favors coral reef development in Brazil.** *An. Acad. Bras. Ci.*, 205-214 pg, 2008.

BITTENCORT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; MARTIN, L.; SILVA, I.R.; **Patterns of Sediment Dispersion Coastwise the State of Bahia – Brazil.** *An. Acad. Bras. Ci.*, 2000.

CARVALHO, R.C.; **Recifes de coral e unidades de conservação marinha no Estado da Bahia: análise geoambiental de representatividade e conectividade de ambientes.** Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia. 2011.

COELBA-ANEEL. **Estado da Bahia: Atlas do Potencial Eólico.** 61 pg, 2002.

CBPM. **Geologia da Bahia: Pesquisa e Atualização**. vol. 2. 643 p, 2012.

DOMINGUEZ, J.M.L.; DA SILVA, R.P.; NUNES, A.N.; FREIRE, A.F.M.; **The narrow, shallow, low-accommodation shelf of central Brazil: sedimentology, evolution, and human uses**. *Geomorphology* 203 (2013) 46–59.

FILHO, G.A.R.; **Mudanças na deriva litorânea durante a evolução do Delta do Rio Jequitinhonha, Bahia, Brasil**. 52 f. TCC (Bacharelado em Oceanografia) – Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia. 2016.

FREITAS, L.M.B.; **Caracterização geoambiental e sensibilidade da linha de costa com ênfase nas praias da Costa do Dendê-Ba utilizando um sistema de informações geográficas (SIG)**. TCC (Bacharelado em Geologia) – Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia. 2002.

HETZEL, B.; CASTRO, C. B.; **Corais do sul do Bahia**. Rio de Janeiro, 1994, (ed.) Nova Fronteira, 189 pg.

HORIOM, S.; BERGAMINO, N.; STENUITE, S.; DESCY, J.-P.; PLISNIER, P.-D.; LOISELLE, S.A.; CORNET, Y.; **Optimized extraction of daily bio-optical time series derived from modis/aqua imagery for lake Taganyika, Africa**. *Remote Sensing of Environment*, v 114, p. 781–791, 2009.

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; TESTA, V. 2003. **Corals and coral reefs of Brazil**. In: Cortés, J. (ed.) *Latin America Coral Reefs*. Elsevier Science, 9-52 pg, 2003.

LIU, J.P.; XU, K.H.; LI, A.C.; MILLIMAN, J.D.; VELOZZI, D.M.; XIAO, S.B., and YANG, Z.S., 2007. **Flux and fate of Yangtze River sediment delivered to the East China Sea**. *Geomorphology*, 85, 208–224

MILLIMAN, J.D.; SYVISTSKI, P.M.; **Geomorphic/Tectonic control sediment discharge to the ocean: The importance os small mountainous rivers**. 1992.

MOROES, J.O.; TINTELNOT, M.; IRON, G.; PINHEIRO, L.S.; **Pathways of clay mineral transport in the coastal zone of the brazilian continental shelf from Ceará to the mouth of the amazon river.** 2005.

NASCIMENTO, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; SANTOS, A.N.; DOMINGUEZ, J.M.L. **Deriva Litorânea ao Longo da Costa do Cacau, Bahia: Repercussões na Geomorfologia Costeira.** Revista Pesquisa em Geociências 45-56 pg, 2007.

NUNES, A. S.; **A utilização da geologia na identificação dos habitats mais adequados para o estabelecimento de áreas marinhas protegidas na Costa do Dendê, Bahia, Brasil.** 2009. 178 f.Tese (Doutorado em ciências na área de Geologia) – Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia. 2009.

OGANAUSKAS, I.; **DINÂMICA LITORÂNEA E EROSÃO COSTEIRA EM CORUMBAU, LITORAL SUL DO ESTADO DA BAHIA: UMA AVALIAÇÃO UTILIZANDO O SMC-BRASIL.** 39 f. TCC (Bacharelado em Oceanografia) – Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia. 2016.

OLAVO, G.; COSTA, P. A. S.; MARTINS, A.; FERREIRA, B. P.; **Shelf-edge reefs as priority areas for conservation of reef fish diversity in the tropical Atlantic.** Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst., 21, 199–209, 2011.

PIANCA, C.; MAZZINI, P.L.F.; SIEGLE, E.; **Brazilian offshore wave climate based on nww3 reanalysis.** Brazilian journal of oceanography, v. 58, n. 1, p. 53-70, 2010.

SANTOS, F.M.; **Ressurgência costeira localizada na zona da Corrente do Brasil (13° S).** 105 f. Dissertação de Mestrado (Mestre em Ciências em Geofísica) – Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia. 2014.

SEGAL, B.; EVANGELISTA, H.; KAMPEL, M.; GONÇALVES, A.C.; POLITO, P.S.; DOS SANTOS, E.A.; **Potencial impacts of polar fronts on sedimentation processes at Abrolhos coral reefs (South-West Atlantic Ocean/Brazil)**. Continental Shelf Research. 2007.

STORLAZZI, C.D.; FIELD, M.E.; BOTHNER, M.H.; PRSTO, M.K.; DRAUT, A.E.; **Sedimentation processes in a coral reef embayment: Hanalei Bay, Kauai**. Marine Geology. 2009.

WALSH, J.P.; NITTROUER, C.A.; **Understanding fine-grained river-sediment dispersal on continental margins**. Marine Geology. 2009

WHEATCROFT, R.A.; SOMMERFIELD, C.K.; **River sediment flux and shelf accumulation rates on the pacific northwest margin**. Continental Shelf Research. 2005.

WOOLFE, K.J.; LARCOMBE, P.; **Terrigenous sediment accumulation as a regional control on the distribution of reef carbonates, 25**. Special Publication of the International Association of Sedimentologists; 1998. p. 295–310.

**ANEXO 1 - Formula do cálculo do comprimento de onda.**

$$C_o^2 = \frac{gL_o}{2\pi}$$

$$L_o = C_o T,$$

$$C_o = \frac{gT}{2\pi} \text{ or } 1.56T \text{ in m/sec}$$

Co: velocidade de propagação da onda;

g: gravidade;

Lo: comprimento de onda e;

2π: constante.