

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências Faculdade de Oceanografia

Breylla Campos Carvalho

Aplicação de múltiplas ferramentas no estudo do transporte de sedimentos na margem interna da restinga da Marambaia (baía de Sepetiba, RJ)

> Rio de Janeiro 2014

Aplicação de múltiplas ferramentas no estudo do transporte de sedimentos na margem interna da restinga da Marambaia (baía de Sepetiba, RJ)

> Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Processos oceanográficos na interface continenteoceano

Orientadora: Prof.^a Dra. Josefa Varela Guerra

Aplicação de múltiplas ferramentas no estudo do transporte de sedimentos na margem interna da restinga da Marambaia (baía de Sepetiba, RJ)

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Processos oceanográficos na interface continenteoceano

Aprovada em 30 de setembro de 2014.

Banca Examinadora:

Prof.^a Dra. Josefa Varela Guerra (Orientadora) Faculdade de Oceanografia - UERJ

Prof. Dr. Alexandre Macedo Fernandes Faculdade de Oceanografia – UERJ

Prof. Dr. Dieter Carl Ernst Heino Muehe Universidade Federal do Espírito Santo

> Rio de Janeiro 2014

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Claudio e Ineis (in memoriam), e ao tio Joaquim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Josefa Varela Guerra, minha orientadora, pela paciência, confiança e dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho. Aos professores Alexandre Fernandes, Antonio Tadeu dos Reis e Gleyci Moser pela contribuição e críticas ao meu trabalho. Ao engenheiro Emmanuel Poizot, um dos desenvolvedores do GisedTrend, que pacientemente respondeu à todas as minhas dúvidas e me auxiliou, mesmo à distância, na instalação do plugin.

Aos amigos que fiz ao longo do curso, em especial: Ana Paula Doin e Renata Grassi pela ajuda em campo e pela troca de ideias, Rafael Cortez, Roberto Freires e Tatiana Dadalto pela enorme ajuda nas campanhas amostrais e por me ajudar a encarar o Matlab, Vanessa Silva e Maria da Conceição Resende por me ajudarem na análise das amostras de sedimentos. Aos alunos da graduação pelo auxílio nas campanhas amostrais.

Aos amigos que mesmo distantes estiveram presentes nessa etapa da minha vida, Rafael Pellegrini, Vitor Aguiar, Rayane Nakahama, Mirella Rosenberger, Karolina Ferreira e Íris Neves. Um agradecimento especial ao amigo e geógrafo André Luiz Ferreira por digitalizar os mapas da dissertação do Poçano e por refazer os mapas conceituais da área de estudo.

Ao Programa de Pós Graduação em Oceanografia, pelo suporte oferecido e ao pessoal do Laboratório de Oceanografia Geológica, pela colaboração na análise das amostras, em especial à Núbia que pacientemente me ensinou a arte do pré-tratamento e peneiramento das amostras.

Um agradecimento especial a minha família pelo apoio constante e o amor incondicional, mesmo eu estando alguns quilômetros longe da minha amada São Bernardo. Ao meu pai, que sempre foi meu maior exemplo, por seu constante incentivo para eu estudar e me dedicar ao que gosto de verdade, pela paciência incomensurável e por estar presente em minha vida desde sempre.

Ao companheiro de todas as horas, Bernardo Rangel, pelo incentivo, paciência e dedicação. A amizade será eterna!

Às agências financiadoras Capes, por permitir o custeio da bolsa de estudos, CNPq e Faperj, pelo financiamento dos projetos de pesquisa em que esse trabalho se insere.

Tudo parece impossível até que seja feito. Nelson Mandela

RESUMO

CARVALHO, Breylla Campos. Aplicação de múltiplas ferramentas no estudo do transporte de sedimentos na margem interna da restinga da Marambaia (baía de Sepetiba, RJ). 2014. 139 f. Dissertação de Mestrado em Oceanografia – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

Dados sedimentológicos e hidrodinâmicos foram utilizados para estudar a dinâmica sedimentar da margem interna da restinga da Marambaia (baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, SE Brasil). Foram realizadas três campanhas amostrais para coleta de sedimentos ao longo da restinga da Marambaia e na área submersa adjacente. Adicionalmente, em dezembro de 2013, três fundeios simultâneos para aquisição de dados hidrodinâmicos foram conduzidos paralelamente à restinga, ao longo da profundidade média de 6,5 metros. As medições abrangeram dois ciclos de maré (25 horas), incluindo perfilagem com CTDs, perfilagem correntométrica e coleta de amostras de água para determinação das concentrações do material particulado em suspensão. A partir do processamento das amostras de sedimentos em laboratório, foram obtidos os parâmetros estatísticos (média, desvio-padrão e assimetria) para o detalhamento da caracterização sedimentológica da área de estudo, bem como a aplicação de um modelo de tendência direcional de transporte de sedimentos (GisedTrend). A restinga apresenta areias médias e bem selecionadas, enquanto as amostras coletadas na porção submersa, em profundidades maiores que 2 m, passam de areias finas e bem selecionadas a siltes finos e mal selecionados em maiores profundidades. Quatro casos de tendência de transporte foram explorados em um total de 14 possibilidades e os mais significativos foram analisados com o intuito de identificar áreas de acumulação e remoção de sedimentos, podendo estar associados aos processos responsáveis pelo transporte de sedimentos, tais como correntes geradas pelos ventos locais, marés e dispersão de plumas de sedimentos em suspensão. Os dados hidrodinâmicos, durante o período amostrado, permitiram observar o complexo padrão de circulação existente, especialmente na área adjacente à área central da restinga. Dentre as observações realizadas, verificou-se a ocorrência de assimetria da maré, fato já documentado em trabalhos anteriores conduzidos próximo ao principal canal de acesso à baia, com períodos de enchente mais curtos e períodos de vazante mais longos. Diferentemente do que foi reportado nestes trabalhos, os períodos de vazante foram associados às correntes de maior intensidade. As concentrações de material particulado em suspensão situaram-se, em média, entre 10 e 20 mg/L tanto em superfície como próximo ao fundo; no entanto, suas variações temporais não apresentaram qualquer relação com as fases da maré. Possíveis áreas de convergência e divergência da circulação / células de transporte de sedimentos foram identificadas e comparadas aos vetores de tendência de transporte obtidos através do modelo GisedTrend, com resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Modelo de tendência direcional de transporte. Circulação hidrodinâmica. Restinga da Marambaia. Baía de Sepetiba.

ABSTRACT

CARVALHO, Breylla Campos. Application of multiple tools to the study of sediment transport along Marambaia barrier island bayside shoreline (Sepetiba bay, RJ). 2014. 139 f. Master's thesis in Oceanography – School of Oceanography, State University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

Sedimentological and hydrodynamic data sets have been used to study the sediment dynamics along the Marambaia barrier island bayside shoreline (Sepetiba bay, Rio de Janeiro state, SE Brazil). Three sampling campaigns were carried out to collect surface sediment samples along the barrier island and on the nearby submersed area. Additionally, in December 2013, hydrodynamic measurements were simultaneously conducted at three anchor stations positioned parallel to the barrier island, roughly along the 6.5 m isobath. The measurements, that spanned two full tidal cycles (25 hours), included water column profiling with CTDs, water column current profiling, and water column sampling to determine suspended-sediment concentrations. Once the sediment samples had been processed in the laboratory, statistical parameters (mean, sorting and skewness) were computed, allowing the thoroughful sedimentological characterization of the study area as well as the application of a grain-size trend analysis model (GisedTrend) to determine sediment transport trend vectors. The barrier island is chiefly made up of medium, well-sorted sands grading to fine, well-sorted sands and fine, poorly-sorted silts at greater depths. Four trend cases out of the 14 possibilities were explored and the most significant were further analyzed in order to identify areas of sediment accumulation or removal, and then be associated with the possible physical processes responsible for sediment transport, such as tidal currents, wind-generated currents and dispersal of sediment plumes. Hydrodynamic data documented that, over the time scale of the measurements, the water column circulation is highly complex, especially in the area adjacent to the center of the barrier island. As already verified in the area close to the main navigational channel, tidal asymmetry was documented, with floods being shorter than ebbs. However, contrarily to these previous observations, ebb currents were stronger than flood currents. Mean suspended-sediment concentrations (SSC) ranged between 10 and 20 mg/L both close to the surface and the nearbed area; yet, no relationship between SSC temporal variability and tidal stage could be identified. Possible convergence and divergence circulation / sediment transport cells were identified and compared to the GisedTrend output, with satisfactory results.

Keywords: Grain-size trend analysis. Hydrodynamic circulation. Marambaia barrier island. Sepetiba bay.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Escala espacial e temporal dos fenômenos costeiros.	16
Figura 2 – Localização da área de estudo	19
Figura 3 – Mapa geológico com as principais unidades litológicas que circundam a baía de	
Sepetiba	21
Figura 4 – Classificação dos parâmetros texturais das amostras	22
Figura 5 – Mapa de distribuição textural dos sedimentos superficiais da baía de Sepetiba	23
Figura 6 – Modelo de circulação hidrodinâmica proposto por Moura et al. (1982)	26
Figura 7 – Modelo conceitual de evolução da restinga da Marambaia proposto por Lamego	29
Figura 8 – Progradação do cordão arenoso interno para leste	30
Figura 9 – Formação de canais de arrombamento no cordão arenoso interno	31
Figura 10 – Progradação lateral do cordão arenoso externo para leste	31
Figura 11 – Progradação de cúspides de baía e de laguna	32
Figura 12 – Circulação interna da baía de Sepetiba, conforme Roncarati e Barrocas (1978)	33
Figura 13 – Modelo esquemático da localização das amostras e a relação dos parâmetros	
granulométricos	36
Figura 14 – Principais etapas de desenvolvimento dos modelos de tendência direcional de	
transporte de sedimentos	37
Figura 15 – Método 1D	38
Figura 16 – Método 2D ponto-a-ponto	40
Figura 17 – Método 2D	41
Figura 18 – Método de Asselman	42
Figura 19 – A entrada e saída de dados do plugin GisedTrend	43
Figura 20 – Semivariograma	44
Figura 21 – Diagrama esquemático sumarizando os métodos 1D, 2D ponto-a-ponto e 2D	46

Figura 22 – Perfilador acústico de corrente por efeito Doppler no modo downward looking.	48
Figura 23 – Perfilador acústico de corrente por efeito Doppler (Aquadopp) no modo upward	
looking	48
Figura 24 – Localização dos pontos de coleta de sedimentos.	50
Figura 25 – Coleta de sedimentos.	50
Figura 26 – Semivariograma utilizado para obter a distância geoestatística (Dg)	55
Figura 27 – Histograma das distâncias mínimas entre os pontos de amostragem	56
Figura 28 – Correntômetro e perfiladores acústicos usados durante o fundeio	58
Figura 29 – CTD SBE 37 plus usado para perfilagem da coluna d'água e garrafa Van Dorn	59
Figura 30 – Classificação dos parâmetros texturais das amostras	64
Figura 31 – Comparação entre tamanho médio do grão versus desvio-padrão	65
Figura 32 – Comparação entre tamanho médio do grão versus assimetria	65
Figura 33 – Vetores de tendência definidos pelo modelo GSTA para os casos de transporte	
CB-, CB+, FB- e FB+ combinados com a função XOR, a partir de uma malha regular	68
Figura 34 – Vetores de tendência definidos pelo modelo GSTA para os casos de transporte	
CB-, CB+, FB- e FB+ somados vetorialmente, a partir de uma malha regular	69
Figura 35 – Vista panorâmica da restinga da Marambaia	71
Figura 36 – Indícios de eventos de transposição no entorno da estação 18M	72
Figura 37 – Formas de fundo observadas na região do Pontal da Pombeba	73
Figura 38 – Esquema dos padrões de transporte de sedimentos, incluindo áreas de acumulaçã	ίο
e remoção de sedimentos	75
Figura 39 – Mudança no padrão praial do cordão arenoso da baía da Marambaia:	76
Figura 40 – Previsão da maré e variação da profundidade local nas estações 1 e 3 para o período de 04 a 05 de dezembro de 2013.	78
Figura 41 – Intensidade e direção dos ventos e pressão atmosférica para os dias 03 a 06 de de de dezembro de 2013	79
Figura 42 – Temperatura da água em dois períodos de medição na estação 1	82

Figura 43 – Intensidade e direção das correntes em dois períodos de medição na estação 183
Figura 44 – Componentes L-O e N-S da velocidade das correntes em dois períodos de
medição na estação 1
Figura 45 – Amplitude do eco em dois períodos de medição na estação 1
Figura 46– Série temporal da temperatura, salinidade e densidade da água na estação 287
Figura 47 – Intensidade e direção das correntes na estação 2
Figura 48 – Componentes L-O e N-S das correntes na estação 2
Figura 49 – Intensidade e direção das correntes em três posições ao longo da coluna d'água, para a estação 291
Figura 50 – Pefil médio das velocidades na estação 2
Figura 51 – Amplitude do eco não corrigida e corrigida quanto às perdas por absorção e atenuação da energia acústica, na estação 294
Figura 52 – Concentração de material particulado em suspensão (MPS) nas estações 2 e 3 e variação residual do nível da maré
Figura 53 – Série temporal da temperatura, salinidade e densidade da água na estação 397
Figura 54 – Intensidade e direção das correntes na estação 3
Figura 55 – Componentes L-O e N-S das correntes na estação 3
Figura 56 – Velocidade e direção das correntes em quatro posições ao longo da coluna d'água (rotacionadas em 90°), para a estação 3
Figura 57 – Pefil médio das velocidades na estação 3102
Figura 58 – Amplitude do eco não corrigida e corrigida quanto às perdas por absorção e atenuação da energia acústica, na estação 3
Figura 59 – Esquema dos padrões correntométricos próximo à superfície (~3 maf) nas estações 2 e 3, com base nas medições mostradas nas Figuras 49 e 55
Figura 60 – Esquema dos padrões correntométricos próximo ao fundo (~0,5 maf) nas estações 2 e 3, com base nas medições mostradas nas Figuras 49 e 55109
Figura 61 – Matéria orgânica na superfície da baía de Sepetiba no dia 05/12/2013111
Figura 62 – Temperatura da superfície do mar e concentração de clorofila em nov e dez/2013.111

Figura 63 – Campo de velocidade das correntes para situações de maré enchente e vazante	
durante o período de sizígia	113
Figura 64 – Campo de correntes para situações de meia maré vazante durante o período de	
sizígia e campo de corrente residual para este cenário	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vazão dos rios que deságuam na baía de Sepetiba	24
Tabela 2 – Casos definidos a partir dos parâmetros granulométricos (combinados ou não)	35
Tabela 3 – Classificação dos tamanhos das partículas sedimentares	52
Tabela 4 – Classificação do grau de seleção das partículas sedimentares	52
Tabela 5 – Classificação da assimetria das partículas sedimentares.	53
Tabela 6 – Sumário das informações utilizadas nos cálculos dos vetores de tendência	56
Tabela 7 – Sumário de informações sobre os levantamentos com uso de perfiladores	
acústicos	58
Tabela 8 – Resumo das informações das estação em cada período da maré (04 a 05/12/2013).	
Médias de 1 minuto	104

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	1	
1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	1	
1.1	Localização	1	
1.2	Aspectos geológicos/geomorfológicos	2	
1.3	Aspectos hidrodinâmicos e metereológicos	2	
1.4	Modelos conceituais existentes		
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA		
2.1	Modelos de tendência direcional de transporte de sedimentos		
2.1.1	Principais modelos GSTA		
2.1.2	Considerações sobre os diferentes métodos	2	
2.1.3	Limitações do método	Z	
2.2	Perfilador Acústico de Correntes por efeito Doppler	2	
4	MATERIAIS E MÉTODOS		
4.1	Coleta e tratamento dos dados sedimentológicos	2	
4.1.1	Campanhas amostrais para coleta de sedimentos	2	
4.1.2	Análise das amostras de sedimentos		
4.1.2.1	Pré-tratamento e determinação da distribuição granulométrica		
4.1.2.2	Cálculo dos parâmetros estatísticos		
4.2	Aplicação do modelo GisedTrend		
4.3	Coleta e tratamento dos dados hidrográficos e correntométricos		
4.3.1	Fundeios simultâneos	4	
4.3.2	Tratamento dos dados		
4.3.2.1	Correção da amplitude do sinal acústico		
4.3.3	Dados complementares		
5	RESULTADOS		
5.1	Caracterização sedimentológica e aplicação do modelo de tendência	(
	direcional de transporte		
5.1.1	Parâmetros texturais	(
5.1.2	Aplicação do modelo de tendência direcional de transporte de sedimentos.		
5.1.3	Discussão sobre os resultados dos dados sedimentológicos e dos modelos	,	
	<u>GSTA</u>		
5.2	Caracterização hidrodinâmica e fluxo de sedimentos ao longo de dois	,	

	ciclos de maré			
5.2.1	Variações temporais e ao longo da coluna d'água dos dados	80		
	hidrodinâmicos e do material particulado em suspensão			
5.2.1.1	Estação 1			
5.2.1.2	Estação 2 8			
5.2.1.3	Estação 3	96		
6	DISCUSSÃO	105		
6.1	Modelos de tendência direcional de transporte	105		
6.2	Observações hidrodinâmicas	106		
6.3	Amplitude corrigida do eco	110		
6.4	Comparações entre os resultados da aplicação do modelo GSTA e das	112		
	medições hidrodinâmicas e os modelos numéricos e conceituais pré-			
	existentes			
	CONCLUSÕES	115		
	REFERÊNCIAS	116		
	APÊNDICE A – Reanálise dos dados de Ponçano (1976)	125		
	APÊNCICE B – Derivadores de fundo	128		
	APÊNDICE C – Gráficos da análise granulométrica	133		

INTRODUÇÃO

A zona costeira, no entendimento de Inman e Brush (1973), pode ser compreendida como uma área em que os processos costeiros se extenderam durante o período geológico do Quaternário, incluindo planícies costeiras, praias e plataformas continentais. Segundo Masselink e Hughes (2003), o ambiente costeiro é um sistema geomórfico dinâmico controlado por condições ambientais que irão moldá-lo, como a geologia local ou regional, a disponibilidade de sedimentos e as forçantes externas que fornecem a energia necessária para dirigir os processos e a evolução costeira.

Os sistemas costeiros consistem em quatro componentes principais, os quais estão conectados uns aos outros (COWELL; THOM, 1994): processos; transporte sedimentar; morfologia; e estratigrafia. Os processos mais importantes na zona costeira são os hidrodinâmicos – ondas, marés e correntes – e eólicos – vento. Já o transporte é a interação entre o fluido que se move e a mobilidade do fundo de induzir o *stress* cisalhante que irá resultar no arrasto e subsequente transporte do sedimento (MASSELINK; HUGHES, 2003).

Ao aprofundar o entendimento das duas primeiras componentes (processos e transporte), adentramos um campo do conhecimento conhecido como dinâmica sedimentar que se caracteriza por sequências de processos de pequena escala (Figura 1), abrangendo três etapas:

- remoção do sedimento;
- transporte;
- deposição.

Sabendo que as proporções das diferentes classes de sedimentos e a textura dos sedimentos clásticos podem fornecer informações sobre a história do transporte do material e o ambiente de deposição (NICHOLS, 2009), realizar a análise granulométrica ajuda a descrever e interpretar um ambiente deposicional.



Figura 1 – Escala espacial e temporal dos fenômenos costeiros.

Escala Espacial (km)

Legenda: Formas costeiras de larga escala operam em escalas temporais mais longas, enquanto as feições de pequena escala repondem em escalas de tempo mais curtas (MASSELINK; HUGHES, 2003). Fonte: modificado de COWELL; THOM, 1994.

Existem inúmeras formas de se entender a dinâmica sedimentar de determinado ambiente, sendo uma delas o estudo dos padrões de transporte através de modelos de análise de tendência direcional de transporte de sedimentos (*Grain-size trend analysis* – GSTA), em que as tendências seriam respostas à variedade de processos, como abrasão, transporte seletivo e a adição de partículas sedimentares produzidas localmente (GAO; COLLINS, 1992). Outra forma é a utilização de equipamentos acústicos para monitoramento das correntes e do material particulado em suspensão, que também são indicativos do transporte sedimentar ao longo das áreas costeiras.

Uma feição importante do ambiente costeiro é a ilha-barreira, que deve sua formação e manutenção à combinação de uma série de fatores dentre os quais se destacam o ambiente geológico, a disponibilidade de sedimentos, a ocorrência de mecanismos de transporte de sedimentos, o regime de ondas e marés e o comportamento do nível relativo do mar (COOPER; PILKEY, 2004a; COOPER; PILKEY, 2004b; STUTZ; PILKEY, 2011). Kusky (2005) define ilha-barreira como um depósito arenoso alongado e estreito, geralmente paralelo à linha de costa, com elevação pouco acima do nível de maré alta e separada do continente por uma laguna.

As teorias mais comuns para a origem das ilhas-barreiras relacionam-se à emersão de barras de costa-afora e com retrabalhamento de depósitos de frente deltaica ou a topografias pré-existentes geradas durante queda do nível relativo do mar. De todo modo, a ilha-barreira é uma feição do ambiente costeiro resultante do retrabalhamento de sedimentos que foram transportados ao longo da costa pela ação de ondas (ROSSETTI, 2008). Devido à sua pequena altura acima do nível do mar, as ilhas-barreiras são ambientes suscetíveis a drásticas transformações em função das variações do nível relativo do mar.

Deste modo, o presente trabalho consistiu em investigar os mecanismos de transporte na restinga da Marambaia e na baía de Sepetiba (litoral sul do Rio de Janeiro, Brasil), sendo que o entendimento dos processos sedimentares que ocorrem na baía de Sepetiba (porção ao norte da restinga da Marambaia) ajudarão à identificar as condições a que a restinga está exposta, permitindo prever as condições futuras desse ambiente. A motivação para realização desse trabalho se deve em parte ao pouco conhecimento atual a respeito da evolução desse setor costeiro, bem como as escassas informações dos padrões atuais de transporte de sedimentos, fato que dificulta o prognóstico da evolução em um cenário de subida do nível do mar. Os modelos conceituais elaborados se baseiam em observações de distribuição de organismos presentes em amostras de sedimentos coletadas no interior da baía (BRÖNIMANN et al., 1981; MOURA et al., 1982), na observação de feições morfológicas (BORGES, 1990) ou em observações diretas de curta duração (CUNHA et al. 2006).

Outro ponto relevante diz respeito ao estreitamento do setor central da restinga da Marambaia, atribuído à divergência de correntes provenientes do setor norte da baía de Sepetiba, fato que ocasionaria a remoção dos sedimentos desta área (RONCARATI; BARROCAS, 1978). Contudo, essa hipótese buscar explicar a diminuição da largura do setor central da restinga sem qualquer observação direta do padrão de circulação e de transporte de sedimentos. Diante destes fatos, este trabalho visa aplicar uma técnica, que têm obtido grande sucesso, para responder a questão referente à direção predominante de transporte de sedimentos neste setor do litoral, bem como verificar o padrão hidrodinâmico da área durante dois ciclos de maré.

Assim, o presente trabalho está estruturado da seguinte forma:

- seção 1: objetivos gerais e específicos do trabalho;
- seção 2: caracterização da área de estudo;
- seção 3: revisão bibliográfica da metodologia empregada nesta dissertação;
- seção 4: materiais e métodos;
- seção 5: resultados
- seção 6: discussão dos modelos conceituais e nova proposta;
- conclusões.

OBJETIVOS

Objetivo geral

O principal objetivo da pesquisa é analisar os padrões de transporte de sedimentos no setor central da restinga da Marambaia, ao longo da linha de costa voltada para a baía de Sepetiba, através de dados sedimentológicos e hidrodinâmicos.

Objetivos específicos

Para atender este objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Detalhar a caracterização sedimentológica da restinga da Marambaia e da baía de Sepetiba, com destaque para a área central;
- 2. Implementar e aplicar um modelo de tendência direcional de transporte de sedimentos ao longo da margem norte da restinga da Marambaia;
- Caracterizar a circulação no setor adjacente à porção central da restinga da Marambaia durante dois ciclos de maré;
- Identificar os possíveis padrões de transporte de sedimentos ao longo da margem norte da restinga da Marambaia;
- 5. Desenvolver um modelo conceitual do padrão de transporte de sedimentos ao longo do setor central da restinga da Marambaia através da integração de dados sedimentológicos e hidrodinâmicos e compará-los aos modelos existentes.

1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

1.1 Localização

A restinga da Marambaia é uma ilha-barreira, na concepção de Pilkey et al. (2009), Stutz e Pilkey (2011) e Otvos (2012), com orientação leste-oeste e cerca de 40 km de extensão e largura que varia de 120 a 1800 metros, estendendo-se do Pico da Marambaia, a oeste, até a Barra de Guaratiba, a leste (OLIVEIRA et al., 2008), com sua parte submersa se estendendo até 2 metros de profundidade, localizando-se no litoral sul do estado do Rio de Janeiro, na região sudeste do Brasil (Figura 2).

A ilha-barreira faz a separação entre o oceano Atlântico e a baía de Sepetiba. Esta última apresenta formato elipsoidal, com 40 km de comprimento e 16 km de largura, com área total de espelho d'água de aproximadamente 305 km² (VILLENA et al., 2012).





19

1.2 Aspectos geológicos/geomorfológicos

A área de estudo se insere no Gráben da Guanabara, tendo como característica marcante o recuo erosivo de suas escarpas, que durante meia centena de milhões de anos fez com que se aproximasse da borda sul do gráben, desfazendo-a em morros e serras que constituem os Maciços Litorâneos: a Ilha Grande e a de Sepetiba; as serras da Carioca e Niterói, e mais para leste, outras serras e morros costeiros (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998). A última transgressão (Holoceno) inundou parte dessa bacia hidrográfica, formando uma ria, a baía de Guanabara. Foram igualmente inundadas as baías de Sepetiba e Ilha Grande, orladas pelas escarpas da Serra do Mar, assim como o canal de São Sebastião (RUELLAN, 1944; FURTADO et al. 1996; ALMEIDA; CARNEIRO, 1998).

Acerca do contexto geológico regional, a área de estudo situa-se no Escudo Atlântico da Plataforma Sul-Americana, sendo uma região formada essencialmente por rochas metamórficas e ígneas de gênese e desenvolvimento ainda bastante controvertidos, sendo identificadas principalmente granitóides brasilianos pré a sin-colisionais do complexo Rio Negro, Angelim, Bela Joana e Catalunha (Pré-Cambriano) e granitóides tardi-colisionais da suíte Serra das Araras (Pré- Cambriano), além de sedimentos fluviais e flúvio-marinhos e litorâneos (PONÇANO, 1976; RIO DE JANEIRO (Estado), 1990) (Figura 3).

Em resumo, o litoral do Rio de Janeiro conforma-se uma costa de rias gerada a partir de processos tectônicos terciários, associados à reativação Sul Americana. A orientação geral NE-SW é emoldurada pela descontínua frente dissecada da Serra do Mar, ao fundo, e pelos maciço costeiros, que representariam restos erodidos de blocos falhados e basculados em direção à depressão da Guanabara. Esses blocos teriam sofrido movimentos longitudinais e deslocamentos em direção geral N-S ou NNE, sugerindo o conjunto como um segundo escalonamento rebaixado do gráben do Paraíba do Sul, por exemplo: Ilha da Marambaia (hoje Pico da Marambaia) e Ilha Grande. (SAMPAIO, 2009).

Estudos anteriores realizados na área de estudo, por exemplo Ponçano (1976); Borges (1990) e Pereira (1998), mostraram que existe uma grande diversidade de sedimentos, os quais refletem a história geológica recente deste setor do litoral brasileiro. Desta forma, são encontrados tanto sedimentos de origem fluvial, atualmente trazidos para a baía pelos cursos que deságuam no setor nordeste da baía, como sedimentos de origem marinha.





Fonte: modificado de RIO DE JANEIRO (Estado), 1990.

Ponçano (1976) analisou 273 amostras de sedimentos superficiais coletados em toda a baía de Sepetiba e verificou que os sedimentos gradam desde areias na região de comunicação com o oceano a lamas na desembocadura dos cursos d'água situados no setor nordeste da baía (Figura 4A). O canal de entrada oeste apresenta areia grossa, com algumas manchas de lama enquanto a margem da restinga voltada para a baía apresenta areia média. As baías (Marambaia e Sepetiba) apresentam-se cobertas por silte e a porção leste da baía de Sepetiba mostra presença de argila nas desembocaduras dos rios. Na região do principal canal de comunicação com o oceano, Ponçano (1976) registrou a presença de bolas de lama.

O grau de seleção (Figura 4B) revela três setores distintos: a área do canal oeste (onde varia de moderadamente bem selecionada a moderadamente selecionada), a área da restinga (bem selecionada a moderadamente bem selecionada), e a baía propriamente dita, com predominância de amostras mal e muito mal selecionadas. A assimetria (Figura 4C) se mostra muito negativa na porção leste da baía, coincidindo com as áreas de desembocadura dos cursos d'água, na região das ilhas de Itacuruçá e da Madeira, e negativa próximo à entrada da baía. Em boa parte do canal de acesso à baía e na própria restinga, as amostras descritas por Ponçano (1976) são quase simétricas, com algumas áreas positivas.



Figura 4 - Classificação dos parâmetros texturais das amostras.

Legenda: (a) tamanho médio das amostras; (b) grau de seleção; (c) assimetria. IM – Ilha da Madeira; II – Ilha de Itacuruçá; IJ – Ilha de Jaguanum; IG – Ilha Guaíba; IGr – Ilha Grande; PM – Pico da Marambaia; BG – Barra de Guaratiba. A linha tracejada indica a isóbata de 2 m e a linha contínua, a de 5 m. Para o presente trabalho, os pontos de amostragem foram digitalizados e vetorizados através do programa ArcGISTM 10.2 e compilados com os dados da análise granulométrica em um banco de dados digital. A interpolação dos dados foi realizada através do método IDW. Fonte: A autora, 2014.

Pereira (1998) descreve a presença de sedimentos arenosos na entrada da baía e do canal central, coincidindo com os locais de maior profundidade e de correntes mais intensas, relacionando-se à presença de dunas e a ventos de tempestade. Os depósitos transicionais se localizam na posição intermediária entre a entrada e o fundo da baía, estando associados ao

aporte fluvial e baixa intensidade das correntes. Já os sedimentos lamosos localizam-se em áreas abrigadas e rasas do centro para o fundo da baía (Figura 5).



Figura 5 – Mapa de distribuição textural dos sedimentos superficiais da baía de Sepetiba

A restinga da Marambaia tem a leste uma paisagem dominada por um campo de dunas parabólicas, na face interna, e longitudinais, nas áreas voltadas para o oceano Atlântico, com direção NE-SW (PONÇANO, 1976; BORGES, 1990). O nível de erosão é de 4 a 5 m e no extremo leste da baía as planícies de maré são pouco desenvolvidas. O setor leste da ilhabarreira revela maior idade que o setor oeste e as praias da face interna revelam contribuição local a partir do retrabalhamento por ondas das areias da própria restinga (BORGES, 1990).

O alinhamento da Restinga da Marambaia, em conformidade com o alinhamento geral do litoral fluminense, compreendido entre o cabo Frio e a ilha da Marambaia (MUEHE, 2011), fez com que sua evolução venha sendo descrita em consonância com os processos inferidos para o restante das restingas encontradas nesse compartimento do litoral brasileiro (LAMEGO, 1948; PONÇANO, 1976; RONCARATI; BARROCAS, 1978).

Fonte: modificado de PEREIRA et al., 2009.

2.3 Aspectos hidrodinâmicos e metereológicos

A ilha-barreira está inserida na baía de Sepetiba, que é uma bacia semiconfinada, tendendo a fechamento e a colmatagem (PONÇANO, 1976), e limita a comunicação da baía com o oceano Atlântico. A entrada de correntes se dá pela Barra de Guaratiba, pelas Ilha Grande/Pico da Marambaia e Ilha de Jaguanum e pelas Ilhas Jaguanum, Itacuruçá e continente (PONÇANO, 1976; BORGES, 1990).

A circulação hidrodinâmica da baía de Sepetiba é fortemente influenciada pela descarga de água doce proveniente de canais e rios adjacentes (Tabela 1) e a troca de águas com o oceano é dificultada pela restinga da Marambaia (FRAGOSO, 1999). Neste sentido, Pereira (2008) aponta que a rede fluvial que escoa para a baía é limitada pela Pedra de Guaratiba e pelas serras adjacentes, fazendo que as desembocaduras dos rios concentrem-se na face N/NE.

Após obras de retificação de alguns canais e a transposição do rio Paraíba do Sul para a baía, a vazão de água doce que escoa pelo sistema Rio Guandu/Canal de São Francisco passou para 168m³/s, em média (triplo da descarga média natural), com picos de 300m³/s (VILLENA et al., 2012).

Rio	Vazão (m³/s)
Rio da Guarda	19,1
Canal de São Francisco	187,0
Canal do Guandú	8,8
Canal do Itá	3,2
Saco do Engenho	0,5
Rio Piraquê	4,9

Tabela 1 – Vazão dos rios que deságuam na baía de Sepetiba

Fonte: CUNHA et al., 2006.

O principal mecanismo gerador de correntes na baía é a maré, do tipo estacionária, com picos de velocidade máximas ocorrendo próximo à metade do período de enchente ou vazante (VILLENA et al., 2012). As variações nas intensidades das correntes estão associadas à maré assimétrica (CUNHA et al., 2006; GUTIERREZ, 2012; FONSECA, 2013), ocorrendo devido às baixas profundidades. Em geral, as correntes de enchente são maiores e ocorrem em períodos mais curtos que as de vazante. O desenvolvimento da maré assimétrica causa importantes efeitos na evolução geológica dos estuários (FRIEDRICHS; AUBREY, 1988).

Sobre os modelos de circulação na baía de Sepetiba, Signorini (1980) afirma que a circulação na baía é regida pela associação dos ventos, marés e fluxos gravitacionais. A defasagem da onda de maré entre a entrada e o fundo da baía faz com que as correntes de maré na baía sejam fortes.

Brönnimann et al. (1981) propõem um modelo de circulação baseado na distribuição de organismos bentônicos e planctônicos e Moura et al. (1982) (Figura 6) apresentam um modelo de circulação elipsoidal para baía, com presença de correntes marinhas (Subantárticas) que adentram a baía pela entrada oeste, tendo padrão horário. Após adentrarem, as mesmas se aquecem e se tornam superficiais na altura do rio Guandú.

Sobre a presença de águas subantáticas na baía de Sepetiba, através da integralização de dados de organismos bentônicos, séries de derivadores e mapas de temperatura da superfície do mar, Stevenson et al. (1998), verificaram a presença de foraminíferos e ostracodos que são comuns na plataforma argentina nas áreas de entrada e sudoeste da baía de Sepetiba, respectivamente. Os dados dos derivadores mostraram que a região é penetrada por águas derivadas da corrente subantártica, preferencialmente durante o inverno.

Em trabalho de modelagem bidimensional realizado por Cunha et al. (2006), a partir da comparação de dados de modelo e dados de campo, eles observaram que dentro da baía em locais que apresentam baixa profundidade as correntes são mais fracas e que em pontos onde há um canal natural as correntes se propagam mais intensamente. Também foi possível observar vórtices próximos às ilhas e a oeste da baía há presença de uma corrente residual que segue a batimetria formada pelo canal principal.

Durante um cruzeiro oceanográfico na região costeira adjacente à baía de Sepetiba, Coelho (2010) verificou a presença da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) em toda coluna d'água abaixo de 20 m com termoclina sazonal proeminente, com temperatura variando entre 18° e 22°C, separando-a da Água Costeira (AC), que está localizada na parte superior da coluna d'água. Segundo Coelho (2010), a intrusão da ACAS está associada à presença de ventos E-NE sobre a plataforma continental nos dias que antecederam as medições. Esses ventos forçam o processo de ressurgência costeira com intrusão da ACAS em subsuperfície.

Em estudo elaborado por Gutierrez (2012), as águas da baía de Sepetiba apresentam as maiores temperaturas durante o verão e menores no inverno. Associando os valores de temperatura e salinidade apresentados pela autora, é possível comprovar a influência da ACAS no canal de entrada oeste até a altura da Ilha de Jaguanum em alguns períodos do ano, como também foi pontuado por Signorini (1980) e Coelho (2010).



Figura 6 – Modelo de circulação hidrodinâmica proposto por Moura et al. (1982).

Fonte: modificado de MOURA et al., 1982 por FERREIRA, 2014.

A alta salinidade encontrada no período amostrado por Gutierrez (2012) pode ser resultado das anomalias geradas pelo fenômeno *La Niña*, presente no período da amostragem. Em geral, a baía não apresenta estratificação horizontal quanto à salinidade (GUTIERREZ, 2012), sendo que há estratificação significativa apenas em situações de maré de quadratura, próximo à embocadura dos principais estuários (CUNHA et al., 2006). É possível identificar algumas frentes salinas na região sudeste da baía, que possuem águas menos densas.

Segundo estudo realizado por Rio de Janeiro (Estado) (1998), os ventos predominantes nesta área são os de nordeste/sudoeste e leste-nordeste/sul-sudoeste, com fluxo e refluxo determinados pela topografia local e pela proximidade com o mar, com geração de brisa marítima. Já outro estudos (SIGNORINI, 1980; BORGES, 1990; FRAGOSO, 1995) apontam que os ventos predominantes na região são de sul/sudoeste. Os ventos do quadrante sul, associados geralmente à passagem de frente fria, são mais frequentes e energéticos que os de quadrante norte, em geral fracos e associados à ocorrência da ACAS no interior da baía (SIGNORINI, 1980; BORGES, 1990; FRAGOSO, 1995).

Pereira (1998) aponta que os ventos de direção SE proporcionam o espalhamento dos sedimentos trazidos pelo rio Guandu, ocasionado o assoreamento do canal principal, enquanto os de SO promovem o empilhamento da água da baía em direção ao canal de Barra de

Guaratiba, ocasionado o fenômeno da maré metereológica, que provocam inundações nas áreas de manguezais da região.

2.4 Modelos conceituais existentes

A evolução da restinga da Marambaia, e consequentemente da baía de Sepetiba, já foi estudada a partir de indicadores fisicoquímicos, geológicos, bioindicadicadores e através do controle estrutural por Lamego (1945), Ponçano (1976), Roncarati e Barrocas (1978), Suguio et al. (1979), Moura et al. (1982), Reis e Figueiredo (1989), Borges (1990), Carelli et al. (2007), Sampaio (2002, 2009).

Três modelos evolutivos distintos da restinga da Marambaia foram apresentados por Lamego (1945), Ponçano (1976) e Roncarati e Barrocas (1978) em que apesar de tentarem explicar a origem da restinga não esclarecem com precisão a fonte de sedimentos, sua direção de crescimento e a sequência de aparecimento das feições geomorfológicas. Além disso, não existe consenso quanto ao padrão de circulação e de transporte de sedimentos no interior da baía de Sepetiba e os poucos modelos existentes são baseados em escassas observações diretas e, principalmente, em indicadores indiretos, como os padrões de distribuição de organismos bentônicos (CARELLI et al., 1998) e a observação da dispersão de plumas de sedimentos através de imagens de satélite (COSTA et al., 2005).

Documentos históricos, como cartas náuticas, mostram que o setor central da restinga da Marambaia tinha cerca de 360 m no fim século XIX (RIO DE JANEIRO (Estado), 2001). Em estudos mais recentes, a comparação de imagens de satélite obtidas entre 1975 e 2004 (OLIVEIRA et al., 2008) documentou uma variação de 158 m (no ano de 1975) para 100 m (no ano de 2004). Contudo, os mecanismos responsáveis por essa variação ainda não são conhecidos.

O modelo evolutivo proposto por Lamego (1945) (Figura 7), considera o que hoje é a baía de Sepetiba como sendo uma enseada, em seu estágio inicial, por apresentar os requisitos necessários para a formação da restinga da Marambaia: mar raso, corrente litorânea bordejando o litoral e aporte sedimentar suficiente para ser transportado pelas correntes. Assim se inicia a formação da restinga da Marambaia, como um pequeno esporão a partir do Pico da Marambaia (que na época era uma ilha), de oeste para leste.

O cordão de ilhas (da Madeira até o Pico da Marambaia) barrava o transporte dos sedimentos oriundos dos rios Guandú e Itaguaí para oeste, em direção à baía de Ilha Grande, assim esses sedimentos se depositavam na porção leste do Pico da Marambaia. Lamego (1945) coloca que o fluxo fluvial geraria uma corrente interna na entrada da enseada e seria na zona de água mortas entre esta e a corrente litorânea que se depositariam esses sedimentos.

O crescimento da restinga continua a avançar para leste, agora com os sedimentos expostos durante a maré baixa sendo retrabalhados pelos ventos. Aproximando-se de Barra de Guaratiba, reduz-se seu feixe externo e aumenta a velocidade, fato que explicaria seu curvamento para sul. Aí a restinga não está "enraizada", pois devido a circulação interna acaba desenvolvendo-se uma porção mais lamosa com vegetação de manguezal.

Com a restinga formada e a baía semi-fechada, as correntes são alteradas, agora mais fortemente influenciada pelos ventos, com circulação interna em circuitos menores (LAMEGO, 1945). Essa nova circulação dará origem ao esporão da Ponta da Pombeba e à baía da Marambaia.

Na visão de Ponçano (1976) e Ponçano et al. (1979), a gênese da restinga da Marambaia se inicia quando o nível médio do mar estava a 100 m abaixo do atual, em que a rede de drenagem, hoje submersa, formava uma bacia de drenagem com uma linha principal próxima ao eixo maior da baía de Sepetiba, sendo a área de interflúvio onde hoje se localiza a restinga da Marambaia.

Antes da última transgressão, começa a se formar um esporão a partir do morro de Guaratiba, com atuação de ventos proporcionando o crescimento lateral e vertical (dunas). Nesta época também se formaram coroas arenosas nas proximidades do Pico da Marambaia (na época era uma ilha), se caracterizando por barras alongadas, fechando corpos d'água.

Durante a transgressão há um entalhe generalizado dos sedimentos e a esta época a parte central da restinga servia de comunicação da baía de Sepetiba com oceano, tendo como indício um esporão em forma de meia lua voltado para o oceano Atlântico.

Desde a descida do nível do mar até o nível atual, houve o assoreamento de pequenas lagunas na porção oeste da restinga, formação de campos de dunas de baixa topografia em ambos os lados, a retificação da parte central unindo os dois esporões (oeste e leste), tendo ocasionado a mudança na circulação das águas já que houve o fechamento da baía e assim abriram-se os canais de Barra de Guaratiba. Na face interior da restinga ocorreu o crescimento de esporões e tômbolos e a erosão da Ponta da Pombeba.



Figura 7 – Modelo conceitual de evolução da restinga da Marambaia proposto por Lamego.

Fonte: modificado de LAMEGO, 1945 por FERREIRA, 2013.

Roncarati e Barrocas (1978) descreveram a migração de dois cordões arenosos, interno e externo, com idades distintas, tendo sua origem a partir do Pico da Marambaia, sob ação de correntes litorâneas e retrabalhamento pelo mar transgressivo dos sedimentos continentais depositados na face regressiva, no que era então a enseada de Sepetiba. Recentemente, Roncarati e Menezes (2005) fizeram uma revisão do modelo proposto por Roncarati e Barrocas, inserindo dados de testemunhagens, reforçando o modelo proposto anteriormente, só que com maior detalhamento da cronosequência hipotética das feições presentes na restinga.

Conforme colocam Roncarati e Menezes (2005), ao fim da última transgressão, em vez da baía existiria ali uma enseada com baixa profundidade e a áreas teria o nível médio do mar de 4 a 6 mestros acima do atual, condições que favoreceriam as correntes litorâneas vindas de oeste penetrarem a enseada e ao se misturar com as águas interiores, geraria uma nova corrente que circundaria a enseada, chamada de corrente de circulação interna, com o papel de retrabalhar as areias marinhas e os sedimentos fluviais. Elas perderiam a velocidade no Pico da Marambaia (que era uma ilha na ocasião), bem como a capacidade transporte, depositando os sedimentos na porção leste do pico. Assim começa a formação do cordão arenoso interno (Figura 8). Baseados em trabalho realizado no manguezal de Guaratiba (COELHO et al., 1999), em que a instalação da vegetação de mangue ali se deu a menos de 1000 anos e este cenário só é possível em ambientes protegidos, os autores pressupõem que a formação do cordão interno se completou provavelmente a 1500 A.P.



Figura 8 – Progradação do cordão arenoso interno para leste.

Fonte: modificado de RONCARATI; MENEZES, 2005.

Para Roncarati e Menezes (2005), durante a formação deste cordão interno ocorreram eventos marinhos de alta energia que ocasionaram o arrombamento do cordão, em ao menos 5 locais, próximo ao Pico da Marambaia, formando leques de arrombamento na margem voltada para a baía. Nos vales dos canais de arrombamento, formou-se pequenas lagunas que aos poucos foram colmatadas (Figura 9).



Figura 9 – Formação de canais de arrombamento no cordão arenoso interno.

Fonte: modificado de RONCARATI; MENEZES, 2005.

No período de abaixamento do nível do mar, a construção do cordão interno foi abandonada e iniciou-se a construção do cordão externo (lado oceânico), com o mesmo mecanismo gerador do cordão interno, só que desta vez foram remobilizadas as areias submersas da face sul do cordão interno (RONCARATI; MENEZES, 2005) (Figura 10). Figura 10 – Progradação lateral do cordão arenoso externo para leste.



Fonte: modificado de RONCARATI; MENEZES, 2005.

Entre o cordão interno e o externo formou-se uma laguna alongada, que a posteriori teve a formação de cúspides. Os autores colocam que está laguna diferencia-se das demais encontradas em outras regiões do litoral fluminense, por esta ser estreita (menos de 300 metros de largura) (Figura 11). A origem das cúspide formadas na laguna, baseia-se na remoção das areias do cordão arenoso por meio da ação de correntes de circulação interna, que os autores nomeiam de "corrente em oito": são correntes provocadas pelo vento, com ação superficial, erodindo, transportando e depositando sedimentos.



Fonte: modificado de RONCARATI; MENEZES, 2005.

O fechamento da baía possibilitou a formação de um novo sistema de correntes, fazendo com que ela se tornasse um corpo d'água restrito, protegido da ação das ondas e agora com predominância da ação dos ventos, ocasionando a formação de correntes de circulação interna, designadas, assim como as correntes da laguna, de "corrente em oito" (Figura 12): essa corrente estabeleceu a constituição das cúspides nas porções oeste e leste da restinga a partir dos sedimentos erodidos na porção central do cordão interno (RONCARATI; BARROCAS, 1978; RONCARATI; MENEZES, 2005). Os autores pontuam que a construção da ponta da Pombeba e, consequentemente, da baía da Marambaia se deve à ação contínua dessas correntes, que atuam até hoje, sendo responsáveis pela erosão na porção central do cordão interno e na ponta da Pombeba.



Figura 12 – Circulação interna da baía de Sepetiba, conforme Roncarati e Barrocas (1978).

Fonte: modificado de RONCARATI; BARROCAS, 1978 por FERREIRA, 2014.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Modelos de tendência direcional de transporte de sedimentos

De acordo com Gao e Collins (1991), a partir da distribuição granulométrica em um ambiente é possível: a) identificar os ambientes deposicionais; b) identificar diferentes mecanismos controladores do transporte de sedimentos pela análise da curva de frequência acumulada da distribuição granulométrica; c) comparar características específicas da distribuição sedimentar, delineando os padrões de transporte.

Para aprofundar a análise deste último item, foram desenvolvidos modelos de análise de tendência direcional de transporte de sedimentos (GSTA – *Grain-Size Trend Analysis*). Parte-se do pressuposto que as tendências são respostas à variedade de processos, como abrasão, transporte seletivo e a adição de partículas sedimentares produzidas localmente (KOMAR, 1987; GAO; COLLINS, 1992). Incertezas existem ao definir os caminhos do transporte usando um único parâmetro granulométrico (média, desvio-padrão ou assimetria), por isso obtêm-se melhores resultados ao combiná-los (MCLAREN, 1981). Segundo Gao e Collins (1994), para que haja transporte é preciso que se satisfaçam duas condições:

- ter alta frequência de significância de ocorrência da tendência na direção do transporte;
- a dominância existirá se houver relação do material exportado entre as amostras de sedimento analisadas.

Os modelos GSTA são aplicados em obras de engenharia costeira, em programas de dragagem, em estudos ambientais e em investigações sedimentológicas (LE ROUX; ROJAS, 2007) nos mais diversos tipos de ambiente, como: rios (MOHD-LOKMAN et al., 1998; ASSELMAN, 1999), estuários (MALLET et al., 2000; BARTHLOMA; FLEMMING, 2007; MAILLET et al., 2011), praias (DELGADO ET AL., 2002; MASSELINK et al., 2008; POIZOT et al., 2013), lagoas (PAPATHEODOROU et al., 2012) e plataformas continentais (DUMAN et al., 2006; DUC et al., 2007). A maior parte dos estudos tiveram os modelos aplicados em ambientes de escala regional, sendo poucos os trabalhos aplicados em ambientes de escala mais detalhada (PLOMARITIS et al., 2013).
As variações de tendências entre duas amostras de sedimentos podem ser definidas como: mais fina (F) ou mais grossa (C) em relação à média (μ), melhor (B) ou pior (P) selecionada (σ) e com assimetria (Sk) positiva (+) ou negativa (-) (POIZOT et al., 2008). Com a combinação desses parâmetros, quatorze casos de tendência podem ser definidos (Tabela 2). No entanto, apenas alguns casos são explorados nos modelos GSTA: FB-, CB+, CB- e FB+ (Le Roux, 1994).

Ten sedime	idência entológica	Definição			
	В	$\sigma_A > \sigma_B$			
	Р	$\sigma_A \leq \sigma_B$			
	CB	$\mu_A > \mu_B e \sigma_A > \sigma_B$			
	FB	$\mu_A < \mu_B e \sigma_A > \sigma_B$			
	СР	$\mu_A > \mu_B e \sigma_A < \sigma_B$			
	FP	$\mu_A < \mu_B e \sigma_A < \sigma_B$			
(CB-	$\mu_A\!\!>\!\!\mu_B,\sigma_A\!\!>\!\!\sigma_B\;e\;Sk_A\!\!<\!\!Sk_B$			
]	FB+	$\mu_A \!\!<\!\! \mu_B, \sigma_A \!\!>\!\! \sigma_B e Sk_A \!\!>\!\! Sk_B$			
(CB+	$\mu_A \ge \mu_B, \sigma_A \ge \sigma_B e Sk_A \ge Sk_B$			
]	FB-	$\mu_A\!\!<\!\!\mu_B,\sigma_A\!\!>\!\!\sigma_B \:e\:Sk_A\!\!<\!\!Sk_B$			
(CP-	$\mu_A\!\!>\!\!\mu_B,\sigma_A\!\!<\!\!\sigma_BeSk_A\!\!<\!\!Sk_B$			
]	FP+	$\mu_A \!\!<\!\! \mu_B, \sigma_A \!\!<\!\! \sigma_B e Sk_A \!\!>\!\! Sk_B$			
(CP+	$\mu_A\!\!>\!\!\mu_B,\sigma_A\!\!<\!\!\sigma_B \:e\:Sk_A\!\!>\!\!Sk_B$			
	FP–	$\mu_A\!\!<\!\!\mu_B,\sigma_A\!\!<\!\!\sigma_BeSk_A\!\!<\!\!Sk_B$			

Tabela 2 – Casos definidos a partir dos parâmetros granulométricos (combinados ou não).

Legenda: μ = tamanho médio do grão; σ = desvio-padrão e Sk = assimetria. Notas: São usadas unidades em Φ . A e B são dois locais de amostragem

Fonte: modificado de POIZOT et al., 2008.

Em geral, o padrão geralmente decresce na direção do transporte (Figura 13) e existem duas tendências de transporte dominantes na natureza (GAO; COLLINS, 1992; POIZOT et al., 2008):

 sedimentos bem selecionados, mais finos e com assimetria mais negativa (FB-) em direção ao transporte

caso 1:
$$\sigma_2^2 \le \sigma_1^2$$
, $\mu^2 > \mu_1$, $Sk_2 \le Sk_1$

 sedimentos bem selecionados, mais grossos e com assimetria mais positiva (CB+) em direção ao transporte

caso 2:
$$\sigma_2^2 \le \sigma_1^2$$
, $\mu^2 < \mu_1$, $Sk_2 \ge Sk_1$

Figura 13 – Modelo esquemático da localização das amostras e a relação dos parâmetros granulométricos



Fonte: modificado de GAO; COLLINS, 1991.

Os grãos mais finos têm maior probabilidade de serem transportados do que os grãos mais grossos e, em contrapartida, há maior probabilidade de os grãos mais grossos serem depositados do que os grãos mais finos (MCLAREN, 1981).

Temos então, que depósitos sucessivos ao longo do transporte se tornam mais bem selecionados e mais positivamente assimétricos, sendo mais finos ou grossos (GAO; COLLINS, 1992). Para McLaren e Bowles (1985), quando o sedimento se torna fino, a assimetria se torna mais negativa.

O aumento do desvio-padrão com o transporte será muito raramente observável, validando, assim, a hipótese da diminuição do desvio-padrão com o transporte (MCLAREN; BOWLES, 1985). Gao e Collins (1992) apontam que em alguns casos o tamanho médio dos sedimentos pode aumentar ou diminuir na direção do transporte sem apresentar mudança na assimetria.

2.1.1 Principais modelos GSTA

O primeiro pesquisador a desenvolver um modelo conceitual e empírico de transporte de sedimento baseado no estudo de parâmetros granulométricos combinados foi McLaren (1981). Desde então, outros pesquisadores vêm elaborando e aperfeiçoando outros modelos GSTA.

Segundo Poizot et al. (2008) os três modelos principais seriam: a) método 1D, STA[®] (método de MCLAREN, 1981), b) método 2D ponto-a-ponto (método de GAO; COLLINS, 1991, 1992) e c) método 2D (método de LE ROUX, 1994). Posteriormente, alguns

pesquisadores fizeram modificações nestes dois últimos modelos, implementando-os em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que aqui chamamos de método de Asselman (ASSELMAN, 1999) e método de Poizot e Méar (POIZOT; MÉAR, 2010).

A aplicação dos modelos de tendência direcional de transporte envolve 4 etapas (POIZOT et al., 2008): a) coleta de dados; b) escolha dos casos de transporte a serem usados na análise; c) definição dos vetores de tendência; d) teste de significância dos vetores de transporte obtidos. Os dois métodos 2D requerem um passo adicional, que corresponde à média dos vetores de tendência (Figura 14).





Fonte: modificado de POIZOT et al., 2008.

Método de McLaren (1D)

McLaren (1981) e McLaren e Bowles (1985) implementaram um método para deduzir a direção do transporte de sedimento a partir das mudanças espaciais nos parâmetros granulométricos (Figura 15). A ideia básica do modelo parte do pressuposto que a distribuição granulométrica nos ambientes sedimentares é afetada pelo arrasto seletivo, transporte e deposição e como resultado os sedimentos tendem a se tornar mais finos, bem selecionados e mais negativamente assimétricos na direção do transporte.

Cada par de amostras é comparado ao longo de uma linha de amostragem, por isso é considerado um método unidimensional, tendo a possibilidade de existirem até oito casos de tendência (combinação dos parâmetros F, C, B, P, + e -). No primeiro trabalho proposto por McLaren (1981), o autor usou apenas quatro tendências possíveis, chamadas de Caso I, Caso

II, Caso IIIA e Caso IIIB, que correspondem aos casos FB-, CB+, FB+ e CB+, respectivamente (POIZOT et al., 2008).

No início, o método 1D foi desenvolvido para a análise de ambientes longitudinais, através do estudo da evolução granulométrica ao longo de linhas, que requerem um mínimo de nove amostras. Para estudar uma região mais complexa e analisar a direção de transporte de sedimento de duas dimensões, uma malha amostral é necessária, com no mínimo oito amostras adicionais, fazendo um matriz 3 x 3 (POIZOT et al., 2008).

Aplica-se um teste de significância (Z-score) para determinar a direção de transporte preferencial e validá-la. O aceite final da tendência é feito por uma avaliação qualitativa de um coeficiente de correlação múltipla entre os parâmetros granulométricos estudados de cada amostra contida na sequência (MCLAREN et al., 1993).



Figura 15 – Método 1D.

Legenda: A- Método 1D determina a direção de transporte ao longo de uma linha de amostragem, comparando os parâmetros sedimentológicos de todos os pares possíveis na linha de amostragem (LE ROUX; ROJAS, 2007; POIZOT et al., 2008). B – As modificações propostas por McLaren e Bowles (1985), fazem com que se produzam diferentes direções de transporte dependendo da direção selecionada nas linhas de coleta.

Fonte: modificado de LE ROUX; ROJAS, 2007.

Método de Gao e Collins (2D ponto-a-ponto)

Gao e Collins (1991, 1992) desenvolveram um modelo que dá tratamento bidimensional aos dados, tornando sua aplicação mais fácil e, também, apresentam resultados mais significativos (ASSELMAN, 1999; POIZOT et al., 2008).

Neste método, cada amostra é comparada ao seu vizinho, baseado em uma distância característica (Dcr) que representa a escala espacial da área de estudo, normalmente o máximo intervalo de amostragem. Se duas estações têm a distância menor que a Dcr, elas são consideradas vizinhas e seus parâmetros granulométricos são comparados (Figura 16). Se algum caso é identificado entre as duas estações, então um vetor de tendência é definido para a estação com maior coeficiente de selecionamento. Vale destacar que um vetor de maior tamanho mostra tendência direcional com maior probabilidade de ser verdadeira, ou seja, apresenta maior robustez estatística (GAO; COLLINS, 1992; ASSELMAN, 1999).

Os autores consideram os três parâmetros granulométricos (média, desvio-padrão e assimetria) para definir dois casos de tendência dominantes: Caso 1 e Caso 2, que correspondem aos casos FB– e CB+, respectivamente. Eles também apontam para o caso FB+ em ambientes de praia (POIZOT et al., 2008). Em um estudo realizados por Gao et al. (1994), os autores compararam diversos casos de tendências, e das catorzes tendências iniciais, eles rejeitaram todas com decréscimo do coeficiente de seleção e também concluíram que apenas quatro casos se mantinham (CB+, FB–, CB– e FB+) e os casos CB+ e FB– combinados.

Gao e Collins (1992) sugerem um teste estatístico, a fim de validar a significância dos vetores de transporte, baseando-se no comprimento para que um vetor seja significativo: como para cada estação pode haver mais de um vetor, é feito o somatório vetorial a fim de se obter os vetores residuais. Segundo Chang et al. (2001), a esses vetores residuais aplica-se o teste de significância, que confirma se o comprimento médio é significativo, ou seja, a probabilidade do vetor residual identificado ter a chance de ocorrer. Um valor crítico é definido, por exemplo L₉₉ (representa uma cauda de 99% de confiança) e então a significância do comprimento do vetor residual é julgada com base em duas considerações:

- Se $L > L_{99}$, então a tendência é significativa;
- Se $L < L_{99}$, então a tendência não é significativa.

Também se aplica um processo de filtragem aos dados para remover possíveis ruídos, através da média dos vetores resultantes de cada estação e dos seus vizinhos. Alguns autores (ASSELMAN, 1999; LE ROUX et al., 2002; POIZOT et al., 2008) sugerem não executar a suavização dos dados, pois pode reduzir a resolução espacial e perder informações valiosas.

Figura 16 – Método 2D ponto-a-ponto.



Legenda: o vetor residual é obtido pela soma dos vetores de tendência de todas as amostras vizinhas. As amostras são consideradas vizinhas com base na distância característica. As setas mais finas representam os vetores de tendências e a seta mais larga representa o padrão de transporte. Fonte: modificado de POIZOT et al., 2008.

Método de Le Roux (2D)

O método de Le Roux (1994) baseia-se no fato do transporte sedimentar acontecer através de frentes unidirecionais extensas e amplas do que apenas ponto a ponto. Neste método, grupos de 5 amostras são usadas para definir os vetores de tendência, com uma estação central e 4 estações satélites locadas nas principais radiais a iguais distâncias da estação central (Figura 17).

Os parâmetros granulométricos de cada amostra são combinados, resultando em um número dimensional, procedimento que dá igual importância a todos os parâmetros. Então uma análise vetorial convencional é aplicada para extrair a direção e a magnitude principal (LE ROUX; ROJAS, 2007). Os autores consideram quatro casos em separado (CB+, CB–, FB+ e FB–), baseando-se nas escolhas de trabalhos prévios (POIZOT et al., 2008).

Ao fim do procedimento, a distribuição dos vetores é calculada usando o teste não paramétrico de Watson (1966) para analisar estatisticamente os vetores resultantes e validálos. Este teste determina a distribuição dos vetores resultantes, verificando se a tendência é preferencial ou uniforme, a partir do seguinte cálculo (Equação 1; Equação 2):

$$u^{2} = (u *^{2} + 0.1/n^{2} - 0.1/n)(1 + 0.8/n)$$
(Eq. 1)

onde,

$$u *^{2} = \sum (\theta_{i}/360)^{2} - 2/n \sum (i\theta_{i}/360) + 1/n \dots$$
(Eq. 2)
$$\sum (\theta_{i}/360) + n \left\{ 1/n \sum (\theta_{i}/360) - \left[1/n \sum (\theta_{i}/360) \right]^{2} + 1/12 \right\}$$

Se $u *^2 > u^2$, com $u^2 > 0,187$ para um nível de confiança a 95%, a hipótese nula é rejeitada e a hipótese alternativa (por exemplo: distribuição não randômica) é aceita (LE ROUX et al., 2002).





- Legenda: A O valor da estação central é subtraído dos valores das estações satélites. Valores negativos são adicionados a estações nas radiais opostas, sendo expressos como proporções do valor total e substituídas pela frequência proporcional das direções registradas numa análise de vetores tradicional.
 B Quatro estações satélites localizadas nas principais radiais equidistantes da estações central são necessárias para a análise do vetor, então a distribuição irregular das estações é matematicamente movida para essas posições.
- Nota: Le Roux (1994) propõe uma análise de vetores baseada nos parâmetros granulométricos adimensionais combinados.
- Fonte: LE ROUX; ROJAS, 2007.

Método de Asselman

O método proposto por Asselman (1999) tem como base o método de Gao e Collins, ligeiramente modificado, e implementado em ambiente SIG, com uso de ferramentas geoestatísticas (Figura 18). A autora interpola cada parâmetro através da krigagem, gerando assim malhas regulares, definindo os vetores por comparação com células vizinhas.

Cada imagem raster com os vetores é comparada e produz-se um único vetor quando casos do Tipo 1 (FB–) ou 2 (CB+) estão presentes. Os vetores de tendência nas três imagens raster elaboradas são comparados célula por célula, aceitando aqueles que as tendências são identificadas nos três mapas. Faz-se a média desses vetores e um único vetor é produzido.

Além das estações vizinhas, também são usadas estações com uma variação ótima (LE ROUX; ROJAS, 2007).

Outra contribuição importante desse método é o uso da simulação de Monte Carlo para executar o teste estatístico dos vetores de tendência (POIZOT et al., 2008), proporcionando uma indicação da direção de transporte do sedimento, enquanto o desviopadrão proporciona informação na precisão das direções identificadas.

Este método é mais objetivo do que o método original de McLaren, pois há melhor visualização 2D das tendências obtidas e é menos sensível a irregularidades nas configurações de amostragem (ASSELMAN, 1999).



Legenda: A, B - São preparados mapas raster dos diferentes parâmetros granulométricos usando a ferramenta *kriging* para interpolação. C - Cada célula do raster é comparada com as células vizinhas para definir os vetores, sendo então comparados com os vetores das mesmas células nos outros mapas. D - A média desses vetores produz um único vetor de tendência.
 Fonte: modificado de LE ROUX; ROJAS, 2007.

Método de Poizot e Méar

No método proposto por Poizot e Méar (2010), os vetores de tendência são gerados a partir da modificação do método 2D ponto-a-ponto e 2D, através do *plugin* GisedTrend (Figura 19), que se encontra integrado a um ambiente SIG, neste caso o programa QuantumGIS, permitindo o desenvolvimento dos seguintes aspectos (POIZOT; MÉAR, 2010):

 seleção de um *buffer* composto por estações de amostragem vizinhas, criada através de uma distância característica fornecida pelo pesquisador.

- estações são excluídas a partir de uma seleção prévia se estiverem localizadas atrás de um obstáculo; esta informação é dada por meio de uma camada vetorial (linha ou polígono). Durante a computação vetorial, a intersecção geográfica é testada entre uma linha virtual que junta dois pontos de amostragem e as camadas vetoriais definindo o obstáculo.
- para cada estação amostral colocada na seleção do *buffer*, os parâmetros estatísticos são comparados usando os casos de tendência definidos. Para um caso de transporte particular, o impacto da estação vizinha nos parâmetros finais do vetor é inversamente proporcional a distância do local de interesse central, ou seja, dando peso aos componentes vetoriais.



Nota: A entrada do conjunto de dados sedimentológicos utilizados nos modelo GSTA no *plugin* GisedTrend pode ser feita por meio de arquivos de textos, arquivos geoespaciais ou a partir de base de dados PostgreSQL/PostGIS. A saída também pode ser armazenada em arquivos geoespaciais ou base de dados PostgreSQL/PostGIS. A elaboração de mapas com os dados de saída é facilmente realizada, podendo incorporar informações ambientais provenientes de uma base disponível em ambiente web. Fonte: POIZOT; MÉAR, 2010.

Outro incremento proposto pelos autores diz repeito a análise de múltiplos casos de transporte, sendo possível escolher dois comportamentos (POIZOT; MÉAR, 2010):

- 1. combinar os casos: o vetor final é a soma vetorial de todos os casos testados;
- 2. usar a operação "exclusiva ou" (XOR): apenas um caso de transporte é adotado para uma dada localização. A escolha do caso a ser adotado é governada por dois requisitos: o maior número de casos encontrados e a melhor homogeneidade direcional. Este último requisito é avaliado pelo comprimento do vetor obtido pela soma dos vetores para cada caso particular. Quanto maior o comprimento, melhor a homogeneidade.

A geoestatística dos dados, ou seja, a correlação espacial entre os dados, se torna importante para obtenção da distância geoestatística em detrimento da distância característica no cálculo dos vetores de tendência. Essa análise é a base quantitativa para interpolar os pontos não amostrados, sendo a forma de medição mais comum o semivariograma, também chamado de variograma (Figura 20) (POIZOT et al., 2006).

Figura 20 – Semivariograma.



Nota: Representa um gráfico da média dos valores no eixo y e a distância (conhecida como *lag*) no eixo x. A distância onde o modelo é ajustado é conhecido como *range*. O valor que o modelo atinge no *range* é chamdo de *sill*. O *nugget* (efeito pepita) pode ser atribuído a erros de medição ou fontes espaciais de variação de distâncias menores do que o intervalo de amostragem.
Fonte: Desconhecida, 2014.

O semivariograma é criado usando como parâmetro granulométrico a média. Quando a distância entre as amostras crescem, o valor do semivariograma aumenta até o nível conhecido como *sill*, ou seja, reflete o grau de homogeneização das amostras. Esta é a distância em que as amostras não são mais espacialmente correlacionáveis e é conhecido como o *range* de influência (POIZOT et al., 2006). Feita esta análise, usamos o valor do *range* como a distância característica.

3.1.2 Considerações sobre os diferentes métodos

As principais diferenças desse último método para o método de Gao e Collins (1991, 1992) e de Le Roux (1994) são a produção de um malha regular das estações amostrais, uso da distância geoestatística e a possibilidade de escolher os casos de tendência de transporte (POIZOT et al., 2008; POIZOT; MÉAR, 2010).

Segundo Poizot et al. (2008) o método 1D de McLaren (1981) é melhor que o método 1D de McLaren e Bowles (1985) no estudos de bancos de areia, já que leva em conta mais casos de transporte de sedimentos e o modelo 2D ponto-a-ponto (GAO; COLLINS, 1991, 1992) é mais realístico, pois é possível distinguir áreas dominadas por enchente e vazante.

Ríos et al. (2002, 2003) compararam os métodos 1D, 2D ponto-a-ponto e 2D para o estudo de uma enseada. Os três métodos aplicados concordaram com os resultados obtidos em análises correntométricas e de fotografias aéreas. Em geral, o método 1D tende a confundir a escala espacial do processo de transporte sedimentar e isso pode representar a circulação sedimentar em larga escala. Os outros dois métodos permitem o acesso a informações de circulação sedimentar em mesoescala. Para os autores é preciso combinar as metodologias para obter uma melhor representação dos padrões de transporte sedimentar (POIZOT et al., 2008).

A maior parte das aplicações dos modelos de tendência de transporte se dão em ambientes marinhos abertos, onde muitas vezes não há conhecimento prévio da direção do transporte. Sendo assim, parece mais realístico usar uma abordagem bidimensional (POIZOT et al., 2008). De acordo com Le Roux e Rojas (2007), o método 2D produz os melhores resultados em estudos específicos. De modo contrário, McLaren et al. (2007) consideram que o método 2D só deveriam ser usados como guias para maior detalhamento do método 1D.

Dentre os pesquisadores que utilizaram os modelos GSTA, Masselink et al. (2008) utilizaram o modelo de Gao e Collins e não obtiveram sucesso no estudo da dinâmica sedimentar de uma praia do sudoeste francês, onde perceberam que não houve concordância entre a tendência observada e a derivada do vetor de tendência. Isso mostra que nem sempre os modelos atendem as necessidades de quem os utiliza, por isso aplicar diferentes modelos pode ser uma saída para avaliar qual se adapta melhor a área a ser estudada.

Na Figura 21 são sumarizados os três métodos principais aplicados nas análises de modelos de tendência direcional de transporte de sedimentos e as modificações aplicadas pelo método proposto por Poizot e Méar (2010).



Figura 21 – Diagrama esquemático sumarizando os métodos 1D, 2D ponto-a-ponto e 2D.

Legenda: As linhas traço-ponto ligam as diferentes etapas do método 1D. As linhas pontilhadas ligam as etapas do método 2D ponto-a-ponto. Este último método tem sido modificado, assim a etapa de elaboração do malha regular (2) não é sempre implementada. A etapa de filtragem (2) é aplicada pelo teste estatístico do programa GSTAST (CHANG et al., 2001). As linhas tracejadas ligam as etapas do método 2D. Neste método, a filtragem (1) pode ou não ser executada. As linhas sólidas juntam as etapas do método 2D ponto-a-ponto definida por Poizot et al. (2006), em que a maior diferença é a produção de um malha regular, uso da distância geoestatísticas e a escolha dos casos de tendência. Fonte: modificado de POIZOT et al., 2008.

3.1.3 Limitações do método

Como em todos os tipos de modelgem, existem limitações técnicas para a aplicação dos modelos de transporte de sedimento (GAO; COLLINS, 1992), dentre as quais destacamse: a) o fato de os modelos não são desenvolvidos para áreas onde os tipos de ambientes sedimentares são altamente variáveis a pequenas distâncias; b) pode falhar na identificação da "rede" de transporte devido a suas características estatísticas. Quando os intervalos de amostragem são pequenos e o gradiente dos parâmetros granulométricos é baixo, erros introduzidos pela análise granulométrica podem destruir qualquer padrão ordenado nas tendências, logo a interpretação do dado a partir da amostra mais próxima pode não fornecer a melhor tendência (ASSELMAN, 1999). Esse fator é importante quando se pretende fazer a interpolação dos dados.

Algumas observações realizadas por Poizot et al. (2008) apontam algumas incerteza do modelos ligada aos dados de entrada, que seriam as propriedades físicas do sedimento, a modificação mecânica e química das partículas, a profundidade da amostragem, a densidade da amostragem (escala espacial), a duração da campanha e as etapas de análise das amostras.

Além disso, há as incertezas próprias do modelo, como a falta de uma nomenclatura comum dos casos de tendência entre os modelos propostos, dificultando a comparação entre eles, as mudanças na identificação do coeficiente de selecionamento, as mudanças de convenção na formulação do caso, a distribuição regular x irregular das amostras, a suavização dos dados, a análise de significância dos resultados e o programa utilizado (POIZOT et al., 2008).

3.2 Perfilador Acústico de Correntes por efeito Doppler

O perfilador acústico de corrente por efeito Doppler (*Acoustic Doppler current profiler* – ADCP) é um instrumento que é tipicamente montado em embarcações (quando se escolhe a opção de identificação do fundo – *downward-looking*) (Figura 22) ou fundeado (*upward-looking*) (Figura 23). O ADCP requer que seus sensores fiquem em contato com a água para transmitir e medir os pulsos sonoros (*pings*) diretamente pela coluna d'água. Os pulsos sonoros transmitidos pelo equipamento, por meio de seus transdutores (*beam*, em geral são 3 ou 4), a uma frequência conhecida são refletidos (retro-espalhamento acústico – *backscatter*) a partir do contato do pulso com pequenas partículas em suspensão (*scatteres*) na água, como organismos planctônicos, bolhas, partículas de sedimentos, entre outros (THORNE et al., 1993; MUSTE et al., 2008).

O efeito Doppler é o resultado da mudança de frequência sofrida pelo pulso de onda mecânica transmitida pelo equipamento. Sua causa está no movimento relativo entre a fonte e o material em suspensão na água sob a ação do feixe das ondas sonoras. A mudança de

frequência é diretamente proporcional à velocidade relativa entre a fonte e o observador (MUSTE et al., 2008).



Figura 22 – Perfilador acústico de corrente por efeito Doppler no modo downward looking.

Legenda: Princípio de operação do ADCP (Teledyne RDI): A – arranjo do *beam*; B - saída da medição. Fonte: modificado de MUSTE et al., 2008.

Figura 23 – Perfilador acústico de corrente por efeito Doppler (Aquadopp) no modo *upward looking*.



Legenda: (A) *Aquadopp High Resolution* (2 MHz, Nortek AS); (B) Esquema mostrando a disposição do *Aquadopp High Resolution* na estrutura, bem como a distância entre cada Bin. Fonte: Nortek, 2014.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos, foram realizadas campanhas amostrais para coleta de sedimentos e um fundeio de 25 horas para coleta de dados hidrográficos (temperatura, condutividade e pressão) e correntométricos (veleocidade e direção das correntes). Após a etapa de coleta, realizou-se a análise em laboratório das amostras sedimentológicas e então determinou-se os parâmetros estatíticos, que foram usados na aplicação do modelo de tendência de transporte de sedimento. Os dados correntométricos foram corrigidos, tratados e analisados.

4.1 Coleta e tratamento dos dados sedimentológicos

4.1.1 Campanhas amostrais para coleta de sedimentos

Cinquenta e seis amostras de sedimento foram coletadas na parte emersa e submersa da restinga da Marambaia e na porção central da baía de Sepetiba, em abril de 2013, e quarenta e quatro amostras na Ponta da Pombeba e baía da Marambaia, tanto na parte emersa como na submersa, em setembro e dezembro de 2013 (Figura 24).

A posição de cada ponto de coleta de sedimento foi previamente demarcada em gabinete com distância de 1 a 2 km entre si. A malha amostral foi desenhada com o objetivo de detalhar o conhecimento sedimentológico desta área do litoral fluminense, e obter resultados adequados à aplicação do modelo de tendência direcional de transporte previamente selecionado.

Em cada estação coletou-se cerca de 200 gramas de amostra de sedimento (Figura 25): nas amostras coletadas na área emersa utilizou-se uma pá; já na área submersa, as amostras foram coletas com o auxílio de um amostrador de fundo Van Veen. Para localização dos pontos e navegação foram utilizados os *GPS*s Garmin® Rino 610 e 650.



Figura 24 – Localização dos pontos de coleta de sedimentos.

Fonte: A autora, 2014.



Figura 25 – Coleta de sedimentos.

Legenda: A – Coleta de sedimento realizada com o amostrador de fundo Van Veen. B – Coleta de sedimento realizada na ilha-barreira com o auxílio de uma pá. Fonte: A – GUERRA, 2013. B – A autora, 2013.

4.1.2 Análise das amostras de sedimentos

Nas análises laboratoriais das amostras de sedimentos foi empregada a análise granulométrica, que conta com o pré-tratamento da amostra com a eliminação da matéria orgânica e dos carbonatos, separação das frações areia por peneiramento e determinação das frações silte e argila através do analisador de partículas MalvernTM e cálculo dos parâmetros granulométricos.

4.1.2.1 Pré-tratamento e determinação da distribuição granulométrica

Em laboratório as amostras foram processadas segundo as técnicas clássicas de análise de sedimentos (KRUMBEIN; PETTIJOHN, 1938), onde foram eliminados os sais solúveis, a matéria orgânica (H₂O₂ a 10%) e os carbonatos (HCl a 30%). A fração de sedimentos grossos (> 0,062mm) de cada amostra foi peneirada a intervalos de 0,5 ϕ enquanto a fração fina (< 0,062 mm) foi inicialmente peneirada a úmido para separação da fração grossa; posteriormente, as frações silte e argila foram determinadas através do analisador de partículas por difração a laser MalvernTM.

A distribuição granulométrica foi composta por 13 frações de grossos, indo de -2Φ (4,00 mm) a 4 Φ (0,062 mm) a intervalos de 0,5 Φ e 6 frações de finos, indo desde 4 Φ (0,062 mm) a 10 Φ (0,00098 mm). Com esses resultados foi possível calcular os parâmetros estatísticos através do programa GRADISTAT versão 8.0 (BLOTT; PYE, 2001), baseando-se no método proposto por Folk & Ward (1957).

4.1.2.2 Cálculo dos parâmetros estatísticos

A média, desvio-padrão e assimetria de cada amostra de sedimentos são parâmetros importantes na interpretação dos processos atuantes sobre o sedimento e, além disso, são os parâmetros utilizados pelos modelos GSTA.

Para facilitar a leitura dos dados foi realizada a transformação do diâmetro do grão de milímetros para phi, de modo a ter uma distribuição normal (MCLANE, 1995) (Equação 3):

$$\Phi = -\log_2 d \tag{Eq. 3}$$

onde Φ é o tamanho phi e *d* é diâmetro do grão em milímetros.

A média gráfica (M_z ou μ) foi calculada segundo Folk e Ward (1957) de acordo com a fórmula (Equação 4):

$$M_z = \frac{\Phi 16 - \Phi 50 - \Phi 84}{3}$$
(Eq. 4)

onde ΦN é o valor do diâmetro do grão em N% na frequência acumulada. Assim, a distribuição do tamanho médio dos grãos foi classificada de acordo com a classificação Udden-Wentworth (Tabela 3):

Tabela 3 – Classificação dos tamanhos das partículas sedimentares.					
	Classificação Udden-Wentworth	Tamanho em phi	Tamanho em mm		
	Grânulo	> -1	> 2		
	Areia muito grossa	-1 to 0	2 to 1		
	Areia grossa	0 to 1	1 to 0,5		
	Areia média	1 to 2	0,5 to 0,25		
	Areia fina	2 to 3	0,25 to 0,125		
	Areia muito fina	3 to 4	0,125 to 0,0625		
	Silte grosso	4 to 5	0,0625 to 0,0312		
	Silte médio	5 to 6	0,0312 to 0,0156		
	Silte fino	6 to 7	0,0156 to 0,0078		
	Silte muito fino	7 to 8	0,0078 to 0,0039		
	Argila	8 to 10	0,0039 to 0,00098		

Fonte: LIDHOLM, 1987.

O desvio-padrão gráfico (σ) (FOLK; WARD, 1957) foi calculado pela seguinte equação (Equação 5) e classificada de acordo com a Tabela 4:

$$\sigma_I = \frac{\Phi 84 - \Phi 16}{4} + \frac{\Phi 95 - \Phi 5}{6.6}$$
(Eq. 5)

Tabela 4 –	Classifica	ção do	grau de	seleção	das 1	partículas	sedimentares.

Classificação		
Muito bem seleciona		
Bem selecionada		
Moderadamente bem selecionada		
Moderadamente selecionada		
Mal selecionada		
Muito mal selecionada		
Extremamente mal selecionada		

Fonte: LIDHOLM, 1987.

A assimetria gráfica (Sk), de acordo com Folk e Ward (1957) é apresentada na Equação 6 e classificada de acordo com a Tabela 5:

$$Sk_{I} = \frac{\Phi 16 + \Phi 84 - 2\Phi 50}{2(\Phi 84 - \Phi 16)} + \frac{\Phi 5 + \Phi 95 - 2\Phi 50}{2(\Phi 95 - \Phi 16)}$$
(Eq. 6)

Coeficiente de assimetria (Φ)	Classificação	
1,0 to 0,3	Muito positiva	
0,3 to 0,1	Positiva	
0,1 to -0,1	Quase simétrica	
-0,1 to -0,3	Negativa	
-0,3 to -1,0	Muito negativa	

Tabela 5 – Classificação da assimetria das partículas sedimentares.

Fonte: LIDHOLM, 1987.

Os mapas de distribuição dos parâmetros granulométricos foram realizados através da interpolação dos dados de média (μ), desvio-padrão (σ) e assimetria (*Sk*). A interpolação é um procedimento matemático de ajuste de uma função a pontos não amostrados, que permite criar uma superfície contínua a partir de amostras de valores pontuais (VERFAILLIE et al., 2009; BULHÕES; DRUMOND, 2012).

Para o presente trabalho, foram elaborados os mapas no programa ArcGIS[™] 10.2, usando o método de interpolação Inverso das Distâncias (*Inverse Distance Weighted* – IDW). Esse interpolador assume que cada ponto amostral tem influência local que diminui com a distância, ou seja, quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores (WEI; MCGUINNESS, 1973; VARELLA; SENA, 2008; ESRI, 2014). Essa ferramenta permite limitar o número de pontos e o raio de amostragem utilizados para a interpolação de cada célula. Além disso, o uso de dados vetoriais como barreiras também é um diferencial do IDW, pois representa um limite para a busca de amostras utilizadas no cálculo: só as amostras de um mesmo lado da barreira são consideradas (ESRI, 2014).

4.2 Aplicação do modelo GisedTrend

O GisedTrend foi desenvolvido como um *plugin* do programa *opensource* Quantum GIS (QGIS) e desta forma se torna uma ferramenta flexível, já que está atrelada às possibilidades oferecidas pelos programas de ambiente SIG (POIZOT; MÉAR, 2010), entre elas:

- importação e exportação dos dados em diferentes formatos (vetor GRASS, ESRI[®] shapefile, camada PostGIS[®], camada SpatiaLite, camada MapInfo[®], etc.);
- manejo geodésico dos dados;
- mistura de conjuntos de dados vetoriais e raster;
- acesso à ferramentas de análise geográfica.

O *plugin* foi escrito em linguagem C++ (para mais detalhes sobre essa linguagem de programação ver STROUSTRUP, 2013) e permite realizar uma performance bidimensional da análise de tendência direcional de transporte do sedimento com escolha completa dos casos de tendência, levando em conta os limites geográficos e antropogenéticos, interpretação através de mapas temáticos, novos métodos de computação vetorial e atualização fácil da apresentação dos resultados (POIZOT; MÉAR, 2010).

No QGIS, o GisedTrend apresenta-se como uma caixa de diálogo (comum a qualquer outro plugin). Na primeira aba são colocados os dados de entrada, podem ser de duas formas distintas (POIZOT, 2011):

- arquivo de texto (arquivo .txt, .csv, etc.): é preciso vincular as informações requeridas pelo GisedTrend, como coordenadas geográficas e parâmetros granulométrico;
- arquivos SIG (ESRI[©] shapefile, camada MapInfo[®], etc.): o plugin lê a tabela de atributos e os vínculos são definidos entre os campos da camada vetorial e as informações necessárias para rodar o modelo.

Devido à conexão do *plugin* ao sistema de gerenciamento de bancos de dados PostgreSQL^{©1} e ao módulo PostGIS^{©2} é possível gerenciar os objetos geográficos (pontos, linhas, polígonos), usar funções de análise geográfica e, ainda, ser compatível com o OpenGIS^{®3}, garantindo a durabilidade dos dados armazenados em formato aberto e totalmente documentado (POIZOT; MÉAR, 2010).

Na segunda aba, são informados os parâmetros adicionais para o cálculo dos vetores de tendência (POIZOT, 2011):

 informa-se o valor da Distância Característica (*Dcr*) ou da Distância Geoestatística (*Dg*);

¹ Disponível em http://www.postgresql.org

² Disponível em http://www.postgis.org

³ Disponível em http://www.opengeospatial.org

- escolhem-se os casos de tendência. Quando se escolhe usá-los combinados é possível habilitar a função "Exclusivo ou" (XOR);
- 3. escolhe-se o teste estatístico;
- 4. escolhe-se o processo de suavização, ou não, dos vetores;
- 5. é escolhida a conexão e selecionada a camada que funcionará como barreira;
- 6. os vetores de tendência são computados.

Os resultados são armazenados em uma base de dados PostgreSQL[©]/PostGIS[©] em forma de tabela temporária composta por dez campos:

- três campos são destinados aos dados de entrada (parâmetros granulométricos);
- um campo contém a informação geométrica que corresponde a um tipo de dado PostGIS[©];
- seis campos correspondem a propósitos internos do plugin, sendo preenchidos durante o cálculo dos vetores de tendência, por exemplo, ângulo, módulo, caso de tendência, etc.

A saída pode ser armazenada de duas maneiras:

- criação de arquivos de dados brutos com os dados dos vetores, sendo facilmente exportados em arquivos de texto ou formatos SIG;
- criação de mapas com os vetores com acesso às informações geográficas do Web Map Service.

Para o presente trabalho, distância geoestatística (Dg) foi determinada através da análise de um semivariograma e o valor obtido foi de 3716 metros (Figura 26).







Para o cálculo dos vetores de tendência foi criada uma grade regular dos parâmetros estatísticos, tendo como base a grade amostral original (irregular). Esta grade regular foi obtida através da análise de um histograma das distâncias mínimas entre as amostras, adotando-se o valor mais frequente. Este procedimento tem sido usado por alguns pesquisadores a fim de se obter resultados mais fidedignos (Asselman, 1999; Ríos et al., 2003; Friend et al., 2006; Lucio et al., 2006; Poizot et al., 2006). Para as amostras analisadas, a distância mínima escolhida foi de 800 metros (Figura 27).

Figura 27 – Histograma das distâncias mínimas entre os pontos de amostragem.



Fonte: A autora, 2014.

Foram elaborados mapas para os casos FB+, FB-, CB+ e CB- combinados utilizando a função XOR e para os mesmos casos somados vetorialmente. Utilizou-se o teste de significância de Watson, a 95% de confiança, conforme sugerido pelos autores (GAO; COLLINS, 1992; LE ROUX et al., 2002; POIZOT et al., 2008). A Tabela 6 resume os valores adotados para os cálculos dos vetores de tendência aplicados às amostras estudadas. A aplicação do modelo GSTA para os dados de Ponçano (1976) encontram-se no Apêndice A.

Tabela 6 – Sumário das informações utilizadas nos cálculos dos vetores de tendência.

	Distância mínima entre as mostras (m)	Dcr (m)	Dg (m)	
	800	2500	3716	
tama 2012	-	-		

Fonte: A autora, 2013.

4.3 Coleta e tratamento dos dados hidrográficos e correntométricos

4.3.1 Fundeios simultâneos

Durante o período de 04 a 05 de dezembro de 2013, foram realizados três fundeios simultâneos de 25 horas (Figura 24), sob condição de maré de sizígia, totalizando dois ciclos completos de maré, em que foram coletados os dados correntométricos e os valores do sinal de intensidade do eco. Nas estações 2 e 3 foram coletados dados para caracterização das propriedades fisico-químicas da água.

Na estação 1, os dados foram obtidos com o correntômetro acústico *Aquadopp Deep Water* (2 MHz, Nortek AS), utilizado no modo *upward-looking*, com aquisição de dados realizada a uma frequência de 2 MHz (Figura 28A). Como este equipamento mede apenas um nível da coluna d'água e devido a uma mudança na localização do equipamento em relação a profundidade, das 13:00 h do dia 04/08/2013 até às 6:30 h do dia 05/12/2013, as medições foram feitas a partir de uma profundidade com variação de pouco mais de 6,8 metros acima do fundo (maf), e das 6:50 h até às 16:45 h do dia 05/12/2013, a profundidade local era de apenas 2,7 maf. Relativo a mudança de profundidade, o fato deve ter ocorrido, provavelmente, devido à pesca de arrasto que estava acontecendo próximo à restinga da Marambaia na ocasião do trabalho de campo.

Na estação 2, os dados foram coletados com o perfilador acústico ADCP (600 KHz, Teledyne RD Instruments), usado com a opção de identificação de fundo (*bottom-tracking*), fixado à lateral da embarcação (modo *downward-looking*), com tamanho de célula de 0,25 cm e taxa de medição de ~ 4 segundos em alta frequência (Figura 28B). Médias dos dados foram armazenadas a cada 10 minutos. O início da aquisição de dados começou às 16:30 h do dia 04/12/2013 e terminou às 16:15 h do dia 05/12/2013. Nesta estação, a primeira célula de medição foi obtida a partir de 1,55 m a partir da superfície, assim foi amostrado deste 0,61 maf até 5 maf, em 25 células de 25 cm.

Na estação 3, a coleta de dados foi realizada com o perfilador acústico *Aquadopp High Resolution* (2 MHz, Nortek AS), no modo *upward-looking*, com aquisição de dados realizada a uma frequência de 2 MHz (Figura 28C). Médias dos dados foram armazandas a cada 1 minuto. O início da amostragem iniciou às 14:40 do dia 04/12/2013 e terminou às 16:00 h do dia 05/12/2013. A primeira célula de medição foi amostrada a partir de 0,31 maf e se estendeu até aproximadamente 7 maf, em 20 células de 30 cm.

A Tabela 7 sumariza as informações e configurações adotadas para cada equipamento utilizado no fundeio.

Tabela 7 – Sumário de informações sobre os levantamentos com uso de perfiladores acústicos.

Estação	Equipamentos	Tamanho de célula (m)	Intervalo de medição (min)	Blanking distance	Distância ao fundo do 1ª célula de medição (m)	Posição do equipamento
1	Aquadopp DW*	-	1	0,40	1,44	upward- looking
2	ADCP RDI**	0,25	10	0,50	1,50***	downward- looking
3	Aquadopp HR*	0,30	1	0,20	0,31	upward- looking

Notas: * equipamentos fundeados.

** equipamento fixado à lateral do barco.

*** distância a partir da superfície da coluna d'água da 1ª célula de medição.

Fonte: A autora, 2014.

Figura 28 – Correntômetro e perfiladores acústicos usados durante o fundeio.



Legenda: A – Aquadopp Deep Water; B – ADCP Teledyne RDI; C – Aquadopp High Resolution. Fonte: A autora, 2013; CORTEZ, 2013.

Os perfis horários de temperatura e condutividade foram obtidos com o CTD (*Conductivity,Temperature and Depth*) *SBE 37 plus (Sea-Bird Eletronics*) (Figura 29A) e a coleta de água para determinação da concentração do material particulado em suspensão (MPS) foi realizado de duas em duas horas, amostrando um volume de 500 ml no fundo e na superfície da coluna d'água, com garrafa do tipo Van Dorn (Figura 29B).



Figura 29 – CTD SBE 37 plus usado para perfilagem da coluna d'água e garrafa Van Dorn.

Legenda: A – CTD *SBE 37 plus*; B – garrafa *Van Dorn*. Fonte: GUERRA, 2013.

4.3.2 Tratamento dos dados

Os dados obtidos a partir do correntômetro e dos perfiladores acústicos foram processados, com o intuito de descrever o comportamento característicos das correntes da região, relacionando-as às variações do nível d'água condicionadas pelos ciclos de maré e também pelas condições metereológicas.

Os dados de corrente foram corrigidos quanto à declinação magnética local (22°W) no programa Matlab® (*MathWorks*®) e o sinal de intensidade do eco (SIE) foi corrigido quanto ao sinal acústico. Os dados de condutividade obtidos durante a perfilagem da coluna d'água foram convertidos em salinidade através das rotinas do pacote "*seawater*" desenvolvido pela "*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation – CSIRO*"⁴.

As concentrações de MPS foram determiandas a partir do método gravimétrico (MCCAVE, 1979). As amostras foram homogeneizadas e filtradas em filtros de acetato de celulose Milipore pré-pesados (poro de 0,45µm), utilizando-se bomba a vácuo. Feita a filtração, os filtros foram lavados com água destilada para remoção de sais e secos em estufa a cerca de 50°C por cerca de 72 horas e pesados (de 24 em 24 horas) até que se chegasse a peso constante.

⁴ Disponível em http://www.cmar.csiro.au/datacentre/ext_docs/seawater.htm

4.3.2.1 Correção da amplitude do sinal acústico

A correção da amplitude do sinal acústico, fornecido pelo ADCP e pelo Aquadopp, para obtenção do SIE é requerida devido as variações espaciais na atenuação e absorção da energia acústica (DEINES, 1999). Os dados de saída são convertidos de *counts* para dB (dados fornecidos pelo fabricante: 1 *count* = 0,425 dB) (LOHRMANN, 2001), determinando-se um nível de referência, o "*Reference Level*" (RL).

O valor de R (ou SIE_{bruto}), que se refere ao valor da inclinação do transdutor em relação às partículas refletora, é definido por Deines (1999) como (Equação 7):

$$R = \left(\left[\frac{B_d + \frac{(L+D)}{2} ((N-1)D) + \left(\frac{D}{4}\right)}{\cos \theta} \right] \left[\frac{c'}{c_1} \right] \right)$$
(Eq. 7)

onde,

 B_d = distância em branco;

L = comprimento do pulso acústico;

D = espessura da célula;

N = número de células;

 θ = ângulo de inclinação dos transdutores;

c ' = velocidade média do som;

 c_1 = velocidade do som utilizada pelo equipamento.

A partir do *R* calcula-se a perda de energia acústica causada pela atenuação (*BS*) (Equação 8):

$$BS = 20 \log_{10} R \tag{Eq. 8}$$

O cálculo do coeficiente de absorção do som na água do mar (v) é feito com base no método proposto por Schulkin e Marsh (1962) (Equação 9):

$$\alpha = \left(\frac{SAf_t f^2}{f_{t^2}} + \frac{Bf^2}{f_t}\right) (1 - 6.5x 10^{-4}P)$$
(Eq. 9)

onde,

 $A = \text{constante igual a } 2,3 \times 10^{-6};$

S = salinidade;

 f_t = frequência (21,9x 10^[$\frac{6-1520}{T-278}$]) dependente da temperatura em °C; f = frequência acústica;

B = constante de valor aproximadamente igual a 3,38x10⁻⁶;

 $P = \text{pressão em atm ou kg.cm}^{-2}$.

Para calcular o "*Relative Backscatter*" (*RB*) é necessário fazer a soma do "*Reference Level*" (*RL*), da perda causada pela atenuação (*BS*) e do coeficiente de absorção (α), que representa a amplitude final corrigida para atenuação e absorção da energia acústica.

Os dados de salinidade e temperatura utilizados nos cálculos são os valores médios obtidos durante a realização do fundeio através dos perfis realizados com o CTD.

4.3.3 Dados complementares

Como dados complementares temos as previsões da maré para as acampanhas amostrais e as informações metereológicas para o período dos fundeios simultâneos de 25 horas. As previsões da maré foram obtidas da estação Terminal Ilha Guaíba, que é disponibilizada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil⁵ e as informações metereológicas, intensidade e direção dos ventos e pressão atmosférica, são provenientes da estação de monitoramento da Marambaia, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)⁶ (Figura 2). Dados complementares referentes ao lançamento de derivadores de fundo na área de estudo encontram-se no Apêndice B.

⁵ Disponível em http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/

⁶ Disponível em http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas

5 RESULTADOS

5.1 Caracterização sedimentológica e aplicação do modelo de tendência direcional de transporte

Neste capítulo são apresentadas as análises referentes aos dados sedimentológicos e os resultados da aplicação do modelo de tendência direcional de transporte para o setor central e oeste da ilha-barreira da Marambaia, incluindo a ponta da Pombeba e baía de Sepetiba e da Marambaía.

5.1.1 Parâmetros texturais

A análise granulométrica das amostras ajuda a entender melhor a dinâmica sedimentar deste compartimento do litoral fluminense e proporciona a construção de mapas detalhados dos parâmetros analisados, complementando os trabalhos já realizados anteriormente (PONÇANO, 1976; BORGES; 1990; PEREIRA, 1998). Os gráficos elaborados para esta seção encontram-se no Apêndice C.

Quanto à classificação textural, a parte emersa da ilha-barreira apresenta areia média, com raras ocorrências de areia grossa (Figura 30A). Destaca-se que a região da extremidade mais distal relacionada à Ponta da Pompeba tem uma porcentagem razoável (~15%) de sedimentos finos (< 0,062 mm) na sua composição. A partir de 2 m de profundidade em direção ao centro da baía de Sepetiba há gradação de areia fina a silte fino. Vale destacar que as amostras coletadas nas estações 6, 8, 9 e 12 são classificadas como areia média (com até 60% de areia grossa), destoando das amostras do seu entorno. A baía da Marambaia apresenta cobertura sedimentar de areia muito fina, com algumas regiões de silte muito grosso.

Sobre os valores da média e da mediana, boa parte das amostras apresentaram valores semelhantes. Aquelas que mostram valores discrepantes se localizam nas áreas submersas das baías de Sepetiba e da Marambaia. Analisando o teor de matéria orgânica, percebemos que há um elevado percentual nas amostras adjacentes à ponta da Pombeba (entre 15 e 20%) e em algumas amostras da baía de Sepetiba com valores de aproximadamente 15% e 20%,

respectivamente. As amostras coletadas durante o fundeio apresentam valores de cerca de 50%. Quanto ao teor de carbonato, o percentual maior que 10% é na parte mais a leste da baía de Sepetiba, na extremidade da ponta da Pombeba e na parte sul da baía da Marambaia.

O grau de selecionamento (Figura 30B; Figura 31) apresenta uma distribuição bem demarcada nos diversos subambientes: a ilha-barreira, tanto na sua parte emersa quanto submersa (até 2 m de profundidade), varia de bem selecionada a moderadamente bem selecionada; já as áreas da baía da Marambaia e de Sepetiba as amostras são moderadamente a mal selecionadas, com algumas amostras muito mal selecionadas, coincidindo com as áreas lamosas. Outra vez destaca-se a estação 6, em que a área se classifica como moderadamente bem selecionado enquanto seu entorno é mal selecionado.

Boa parte da área amostrada apresenta assimetria positiva ou muito positiva (Figura 30C; Figura 32). A região da ponta da Pombeba, a área sudoeste da baía da Marambaia e a parte central da ilha-barreira apresentam-se quase simétricas, com algumas amostras com assimetria negativa. A extremidade mais distal da ponta da Pombeba e a porção leste da baía da Marambaia apresentam assimetria muito positiva. As areia médias variam muito de assimetria, sendo que as amostras de menor granulometria (< 0,125µm) se mostram quase simétricas a muito positivas (Figura 32).



Figura 30 – Classificação dos parâmetros texturais das amostras.

Legenda: (a) tamanho médio das amostras; (b) grau de seleção; (c) assimetria. A linha tracejada indica a isóbata de 2m e a linha contínua, a de 5m. Fonte: A autora, 2014.



Tamanho médio versus desvio-padrão

Figura 31 - Comparação entre tamanho médio do grão versus desvio-padrão.

Fonte: A autora, 2014.

Figura 32 - Comparação entre tamanho médio do grão versus assimetria.



Tamanho médio versus assimetria

Antes de apresentar os resultados da aplicação do modelo de tendência, vale ressaltar que o significado do tamanho dos vetores indica que quanto maior for o vetor, maior é a probabilidade da tendência ser verdadeira (robustez estatística) (GAO; COLLINS, 1992) e não o quanto de sedimento é carregado ao longo do transporte.

Para ambas as amostragens, o modelo foi aplicado a um malha regular, utilizando a distância geoestatística (Dg) calculada através de um semivariograma (como apresentado na seção 4.3). Foram escolhidos os casos de tendência FB–, CB+, CB– e FB+ combinados com a função XOR e os mesmos casos de tendência somados vetorialmente. Adicionalmente, os casos de tendência anteriores foram aplicados de maneira isolada e somados vetorialmente, às amostras coletadas no setor central da restinga da Marambaia e na Ponta da Pombeba, através de uma grade irregular (ou seja, mantendo a distância original entre as amostras). Para a malha regular, os vetores de transporte CB– e CB+ apresentaram resultados estatisticamente mais robustos nas áreas submersas (Figura 33). Com a malha irregular, o setor central da restinga da Marambaia mostrou tendências de transporte mais significativas estatisticamente para os casos FB– e FB+ (Figura 33A e 33B), enquanto que na Ponta da Pombeba verificouse maior robustez dos casos CB– e CB+ (Figura 33C e 33D).

Para o caso de transporte CB-, em que as amostras se tornam mais grossas, melhor selecionadas e assimetricamente negativas na direção do transporte (Figura 33), é possível notar duas tendências principais: a primeira, em que os vetores da baía da Marambaia convergem para a área emersa da Ponta da Pombeba; a segunda, na porção central da baía, onde os vetores se orientam no sentido de norte para sul, ou seja, em direção à restinga. Há também a convergência dos vetores da área central para a porção oeste da baía de Sepetiba. Na Ponta da Pombeba, os vetores de transporte se orientam da extremidade mais distal em direção à restinga da Marambaia (Figura 33A). No caso de transporte CB+, que difere do anterior somente em relação à assimetria (Figura 33), os vetores localizados na baía da Marambaia assim como alguns vetores localizados na parte oeste da restinga convergem para a Ponta da Pombeba. Ao longo da própria Ponta da Pombeba, esse caso de tendência mostra sentido contrário ao caso anterior, exceto a amostral mais distal que mostra sentido igual ao caso CB- (Figura 33B).

O caso de transporte FB–, em que as amostras se tornam mais finas, melhor selecionadas e assimetricamente negativas na direção do transporte (Figura 33), mostra-se pouco significativo, sendo relevante a presença de alguns vetores robustos no sentido da área adjacente à restinga em direção ao centro da baía de Sepetiba. Ao longo da área emersa do setor central da restinga da Marambaia, este caso mostra o predomínio do sentido oeste para leste (Figura 33D). O caso de transporte FB+, que difere do anterior quanto à assimetria positiva (Figura 33), mostra uma tendência dominante dos vetores em direção ao centro da baía de Sepetiba. No setor central da restinga nota-se a divergência dos vetores na área central (Figure 33C).

O mapa que apresenta todos os casos de tendência somados vetorialmente, mostra a predominância 1) da convergência dos vetores em direção à Ponta da Pombeba e 2) o sentido de norte para sul dos vetores da área central da baía em direção à restinga (Figura 34). Outra tendência significativa é a que sugere a ocorrência de transporte paralelo à parte central da restinga, em uma profundidade menor que 2 metros. Na Ponta da Pombeba, verifica-se o sentido da extremidade distal, em que há presença de vetores mais robustos estatisticamente, em direção à restinga (Figura 34A), enquanto que no setor central nota-se áreas de divergência e convergência de vetores de transporte e a presença de vetores mais robustos em uma área em que há ocorrência de eventos de transposição durante a ocorrência de ondas de tempestades e marés meteorológicas (Figura 34B).



Figura 33 – Vetores de tendência definidos pelo modelo GSTA para os casos de transporte CB–, CB+, FB– e FB+ combinados com a função XOR, a partir de uma malha regular.

Nota: A partir de uma malha irregular, os casos de transporte CB-e CB+ foram aplicados isoladamente para a Ponta da Pombeba e os casos de transporte FB-e FB+ foram aplicados isoladamente para o setor central da restinga da Marambaia. Fonte: A Autora, 2014.



Figura 34 – Vetores de tendência definidos pelo modelo GSTA para os casos de transporte CB-, CB+, FB- e FB+ somados vetorialmente, a partir de uma malha regular.

Nota: A partir de uma malha irregular, os casos de transporte vetorialmente somados foram aplicados para a Ponta da Pombeba e para o setor central da restinga da Marambaia.

Fonte: A Autora, 2014.

5.1.3 Discussão sobre os resultados dos dados sedimentológicos e dos modelos GSTA

A interpretação dos resultados obtidos com a aplicação dos modelos de tendência direcional de transporte apresenta muitos desafios pois refletem a complexidade e variabilidade temporal dos processos responsáveis pela distribuição espacial dos sedimentos. Na área de estudo, os mapas de classificação dos parâmetros estatísticos e os vetores de tendência de transporte permitem distinguir três compartimentos:

- restinga da Marambaia (até 2 m de profundidade);
- Ponta da Pombeba;
- baía da Marambaia e de Sepetiba.

A restinga, incluindo sua porção submersa até 2 m de profundidade, apresenta sedimentos de granulometria média com bom selecionamento, como resposta aos processos responsáveis pela sua redistribuição pelas correntes (PONÇANO, 1976; BORGES, 1990) e como consequência de sua história evolutiva ao longo dos últimos 2000-3000 anos (FRIEDERICHS et al., 2013; RAMOS, 2013; MATTOSO, 2014). Para diversos autores (PONÇANO, 1976; RONCARATI; BARROCAS, 1978; BORGES, 1990) a porção central da restinga da Marambaia é uma área erosiva, onde haveria uma bifurcação das correntes, ocasionando a retirada de sedimentos para as áreas a leste e a oeste. Segundo estudo realizado por Borges (1990), o aprofundamento da batimetria transversal à área central da restinga, as escarpas erosivas presentes na porção emersa, presença de turfa e vegetação menos densa seriam indicativos da erosão ali existente.

A aplicação do modelo de tendência direcional de transporte à porção central da restinga (em sua área emersa) mostrou que os casos FB– e FB+ (Figuras 33C, D) foram os mais significativos. A assimetria negativa indica que há uma adição de sedimentos mais grossos à amostra ou a remoção seletiva dos sedimentos finos, enquanto a assimetria positiva indica adição de sedimentos finos à amostra ou remoção seletiva dos mais grossos. No setor mais raso adjacente à restinga (profundidade < 2 m), observa-se o transporte lateral desde a área oeste até sua região central. Na área analisada, a coexistência desses dois casos e o transporte lateral na área rasa sugere uma dinâmica governada principalmente por correntes geradas pelos ventos e, secundariamente, pelas correntes de maré. Esta é uma área em que é possível observar tanto através de imagens de satélite como através de vôos sobre a área, a frequente existência de altas concentrações de Material Particulado em Suspensão na região adjacente à margem norte da restinga (Figura 35).


Figura 35 – Vista panorâmica da restinga da Marambaia.

Nota: Destaque para o estreitamento da porção central (~100 m em 2004 segundo Oliveira et al., 2008) e a grande quantidade de sedimento em suspensão ao longo da margem norte da restinga, evidenciando transporte ativo e/ou ressuspensão in situ.

Fonte: Carvalho, 2007.

Durante a realização do trabalho de campo de abril/2013, em que foram coletadas amostras no setor central da restinga e da baía (veja a localização das estações amostrais na Figura 24), entre as estações 13M e 18M (localização na Figura 24) foi possível perceber feições como pequenas escarpas erosivas e dunas, estando as mesmas recobertas por vegetação de restinga, em alguns pontos mais rasteiras e em outros mais arbustiva. Nas estações 19M e 20M a restinga se torna mais plana e com baixa elevação topográfica.

Na estação 18M (localização na Figura 24), na área central da restinga, há uma duna de aproximadamente 5 m de altura, que no dia da campanha apresentava uma área alagada/úmida na porção voltada para a margem da baía e inúmeras marcas de deixa na margem oceânica, podendo evidenciar a área como uma zona de transposição (*overwash*; Figura 36). As amostras 6 e 12 (localização na Figura 24), localizadas dentro da baía de Sepetiba, caracterizadas como areia grossa e areia média (com 39% de areia grossa na sua composição) mostram certo alinhamento em relação a estação 18M, o que evidencia a

hipótese de ocorrência de eventos de transposição nessa área, influenciando as áreas submersas adjacentes da ilha-barreira.



Figura 36 – Indícios de eventos de transposição no entorno da estação 18M.

Legenda: A – Duna eólica vegetada no topo, localizada na estação 18M, tendo aproximadamente 5 metros de altura. B – Lagoa localizada em frente a duna descrita, podendo evidenciar uma zona de *overwash*. C – Área úmida em frente a duna. D – marcas de deixa na face oceânica da ilha-barreira.
 Fonte: A autora, 2013.

Na região adjacente ao setor oeste da restinga é visível um extenso campo de dunas subaquáticas (Figura 37), indicando transporte ativo de sedimentos arenosos em direção à Ponta da Pombeba. Estas formas de fundo são possivelmente o resultado de uma complexa interação entre o padrão geral da circulação da baía de Sepetiba, fortemente influenciado pela maré (FONSECA, 2013) e a ação das ondas e correntes geradas pelos ventos locais. A presença de esporões formados na foz de pequenos canais, evidenciam o transporte de sedimentos do centro da restinga para leste (BORGES, 1990).

A Ponta da Pombeba, caracterizada por areias médias bem selecionadas e quase simétricas, é tida como uma área que vem sofrendo erosão, tendo sua parte mais distal subaereamente desconectada da restinga. A análise multitemporal de imagens Landsat e CBERS-2, realizada por Oliveira et al. (2006), indicou o decréscimo da área do pontal arenoso que em 1975 tinha 0,82 km² e em 2004 passou a 0,55 km²; no entanto, os autores ressaltam que, por ser uma feição rasa, as estimativas sobre a variação da área da Ponta da Pombeba através de imagens de satélite são sujeitas a imprecisões. A aplicação do modelo GSTA, resultou em duas tendências principais ao longo da Ponta da Pombeba, os casos de tendência CB– e CB+ (Figura 33A, B). Esses casos expressam o alto dinamismo que ocorre

neste setor, mostrando um padrão de transporte que tende a adicionar sedimentos mais grossos no sentido da extremidade da Ponta para a restinga e no sentido inverso adicionar sedimentos mais finos, fato atestado pela presença de amostras caracterizadas como areia média e com teor de lama de até 15%.





Legenda: (a) dunas subaquáticas com sentido NO-SE e comprimento de até 230m e (b) feições menores, com comprimento de cerca de 100m, sobrepostas às dunas subaquáticas. Fonte: Google Earth, 26/06/2003.

As baías (Sepetiba e Marambaia) se caracterizam pela presença de silte muito mal selecionado, tendo áreas tanto com assimetria muito positiva como muito negativa. A porção centro-leste da baía de Sepetiba apresenta altas porcentagens de argila (~8%), moderadamente selecionadas, caracterizando um ambiente da baixa energia, reflexo da influência fluvial, já que ali se encontram as principais desembocaduras de rios da região (Figura 2). O aumento do acúmulo de sedimentos finos nestas áreas deveu-se em grande parte a alterações antropogênicas, como a transposição do rio Paraíba do Sul, conectando-o à baía de Sepetiba através do rio Guandú, e as dragagens realizadas no canal de acesso principal ao porto de Itaguaí, o que levou ao aumento da descarga de sedimentos finos nas últimas seis décadas (PATCHINEELAM et al., 2011).

A transposição aumentou a transferência fluvial para a baía em três vezes: o fluxo original era de 41m³/s e atualmente chega a 129m³/s (LACERDA et al., 2007). Este aumento no fluxo proporcionou um aumento de 28% (270×10³ t/ano) no aporte total dos sólidos em suspensão que chegam à baía de Sepetiba (MOLISANI et al., 2006), fazendo com que aumentasse a taxa de sedimentação na área leste da baía, exatamente onde se encontram as desembocaduras dos rios. As taxas passaram de 30 mg/cm² ao ano no ano de 1900 para

74

320mg/cm² ao ano a partir da década de 1970 (LACERDA et al., 2004), fato este que pode ter intensificado o assoreamento da bacia. Além dessa modificação no aporte sedimentar fluvial, as obras de dragagem no canal de acesso ao Porto de Sepetiba representam mais uma fonte de sedimentos pois permitem que o material dragado fique disponível na coluna d'água.

Os vetores de tendência obtidos na região das baías de Sepetiba e da Marambaia apresentam mais casos CB- e CB+, ou seja, os sedimentos se tornam mais grossos, bem selecionados e com assimetria positiva ou negativa ao longo do transporte, em que é possível observar tendências de transporte tanto em direção à restinga, a partir de oeste e leste, e mesmo da restinga para a baía (Figura 33), podendo evidenciar um transporte por tração das partículas mais grossas. Nota-se que ocorre uma divergência dos vetores de transporte, que se limita até 5 m de profundidade, em que há a redistribuição dos sedimentos mais finos, possivelmente pela ação dos ventos que criam correntes superficiais que transportam os sedimentos supridos pela drenagem continental. No entanto, não se nota a bifurcação proposta por Roncarati e Barrocas (1978) nas áreas mais rasas (até de 2 m de profundidade) e que, segundo os autores, seria responsável pela erosão do setor central. Conforme McLaren e Bowles (1985) e Maillet et al. (2011), o caso CB+ pode ser interpretado como resultado do processo de transporte ou como um depósito residual. Na área de estudo é possível entender esse caso com resultado do processo de transporte, em que há adição de finos, muito possivelmente oriundos da parte nordeste da baía e que ali se depositam (Figura 34). Apesar de serem menos frequentes, os casos FB- e FB+ são relevantes neste setor. O caso de tendência FB- mostra a remoção seletiva dos sedimentos mais finos, e o caso FB+, em que se nota a convergência dos sedimentos na área central da baía (Figura 33). Em trabalho realizado por Sánchez et al. (2010) na Bahía de Magdalena (México), os autores relataram que os vetores de transporte encontrados tinham trajetórias similares às correntes residuais da maré. É possível sugerir que estes dois casos de tendência de transporte (FB- e FB+) representem os sentidos das residuais da maré, tendo em vista a sua importância na baía de Sepetiba.

Com o intuito de delinear os padrões de transporte de sedimentos na área de estudo através da análise dos parâmetros granulométricos e dos mapas de tendência de transporte de sedimentos, foi elaborado um mapa síntese dos padrões de transporte mais significativos e das possíveis áreas de acumulação e remoção de sedimentos (Figura 38).



Figura 38 – Esquema dos padrões de transporte de sedimentos, incluindo áreas de acumulação e remoção de sedimentos.

Legenda: A – áreas de acumulação de sedimentos; R – área de remoção de sedimentos Fonte: A autora, 2014.

A Ponta da Pombeba apresenta áreas de acumulação de sedimentos, enquanto sua porção mais distal apresenta tendências que apontam a retirada de sedimentos. Na baía de Sepetiba, na área central próximo à isóbata de 5 m e na parte mais a leste, notam-se áreas de acumulação de sedimentos, enquanto que os setores localizados mais a norte da área de estudo se caracterizam como áreas de remoção de sedimentos. Na porção mais próxima à restinga, também se verifica a remoção, porém através da ressuspensão dos sedimentos (Figura 35). A porção central emersa da restinga da Marambaia mostra áreas de acumulação e de retirada de sedimentos, como resposta às correntes de maré que exercem grande influência sobre a hidrodinâmica local. Duman et al. (2004) ao analisarem os vetores de tendência direcional na baía de Izmir (Turquia), relataram a relação das correntes geradas por ventos, o fluxo da descarga fluvial e a entrada de água marinha como fatores que regem o transporte de sedimentos na região e que os vetores computados refletiam essa dinâmica, tendo considerado a convergência de vetores como indicativo de áreas de acumulação de sedimentos. Do mesmo modo, Balsinha (2012) verificou no estuário do Tejo (Portugal), áreas de acumulação de sedimentos onde havia convergência dos vetores, observação também verificada neste trabalho na região da Ponta da Pombeba e nos setores oeste e leste da baía de Sepetiba (Figura 36).

A baía da Marambaia apresenta características morfológicas que atestam as áreas de retirada e de acumulação mostradas na Figura 39. A análise dos vetores de tendência mostra que a parte sudoeste desta baía é uma área de remoção de sedimentos. Por outro lado, a porção NE (uma das margens da Ponta da Pombeba) é observada como uma área de

acumulação. As mudanças nas características morfológicas da linha de costa da baía da Marambaia atestam as tendências encontradas: desde o pico da Marambaia até a parte central da baía são observadas escarpas erosivas, associadas às áreas de remoção de sedimentos, que gradativamente desaparecem, dando lugar a uma linha de costa plana e mais retilínea, reiterando o fato de ali ser uma área de acumulação (Figura 39).

Figura 39 – Mudança no padrão praial do cordão arenoso da baía da Marambaia:



Nota: A – presença da escarpa erosiva associada às áreas de remoção de sedimentos; B – área mais plana, associada às áreas de acumulação de sedimentos.
Fonte: CORTEZ, 2013.

5.2 Caracterização hidrodinâmica e fluxo de sedimentos ao longo de dois ciclos de maré

Com o intuito de analisar as condições hidrodinâmicas no setor central da restinga da Marambaia, nesta seção são apresentados os dados dos três fundeios simultâneos de 25 horas realizados entre os dias 04 e 05 de dezembro de 2013 (Figura 24).

A maré prevista para o período do fundeio variou entre 0 e 1,3 m (Figura 40A). A primeira preamar ocorreu às 16:00 h (1,20 m de altura), próximo das 00:00 h houve a primeira baixamar (~0 m), a segunda preamar às 5:00 h (1,30 m) e a segunda baixa mar às 12:00 h (0,40 m). Os dados de pressão adquiridos nas estações 1 e 3 (Figura 40B e 40C) apresentaram bom ajuste em relação à maré prevista, com pequenas diferenças entre os picos de enchente e vazante, fato considerado normal, já que a localização da Ilha Guaíba (Figura 24) está mais próxima à comunicação com o oceano e as estações 1 e 3, verifica-se que são bem semelhantes e assim torna-se possível adotar estes dados como critério para determinação dos

limites dos períodos de enchente e vazante, inclusive para a estação 2, onde foi utilizado um ADCP sem sensor de pressão.

Quanto às condições metereológicas durante a realização dos fundeios, as velocidades dos ventos variaram entrem 1 e 7,5 m/s, com velocidades médias de 3,78 m/s (Figura 41A). Os ventos sopraram das direções NO a SE, com predominância dos ventos de E e N (Figura 41B). Durante o primeiro período de vazante e de enchente houve predomínio dos ventos de NE e as intensidades médias registradas foram de 3,89 m/s e 1,2 m/s. No início da segunda vazante, houve predomínio de vento de E, porém a partir de 8:00 h do dia 05/12/2013 houve uma mudança para SE. A intensidade média neste período foi de 4,13 m/s. Na última enchente a direção predominante dos ventos foi de NO, com intensidade média de 3,45 m/s. Quanto à pressão atmosférica, não foram verificadas importantes variações, registrando-se o valor mínimo de 1003 mbar e o máximo, 1008 mbar, com valor médio de 1006 mbar (Figura 41C).



Figura 40 – Previsão da maré e variação da profundidade local nas estações 1 e 3 para o período de 04 a 05 de dezembro de 2013. previsão da maré - Ilha Guaíba

Legenda: A - Previsão da maré; B - Variação da profundidade local na estação 1; C - Variação da profundidade local na estação 3. Nota: Previsão da maré elaborada com os dados fornecidos pela tábua de maré do DHN (Terminal da Ilha Guaíba). Estações 1 e 3: médias a intervalos de 1 minuto. Fonte: A autora, 2014.



Figura 41 – Intensidade e direção dos ventos e pressão atmosférica para os dias 03 a 06 de dezembro de 2013.



5.2.1 <u>Variações temporais e ao longo da coluna d'água dos dados hidrodinâmicos e do</u> material particulado em suspensão

5.2.1.1 Estação 1

Na estação 1 (profundidade local de 6 m; localização na Figura 24) os dados correntométricos foram adquiridos com o Aquadopp DW a uma distância fixa do fundo (1,44 m acima do fundo). Durante a coleta de dados, o equipamento sofreu uma mudança de posição, provavelmente devido à pesca de arrasto que ocorria na área, em que o equipamento foi arrastado para uma área de menor profundidade. No primeiro período de medição (entre 13:00 h e 6:30 h), a profundidade variou de 5,83 a 7,90 m, com média de 6,84m enquanto no segundo período (entre 6:50 h e 16:40 h), a profundidade variou de 2,20 a 2,73 m. Como nesta estação o fundeio não foi continuamente supervisionado, não foram realizados perfis horários de temperatura e condutividade, nem coletadas amostras de água para determinação das concentrações de material particulado em suspensão.

No primeiro período de medição, a temperatura variou de 23,43°C a 26,63°C, com valor médio de 25,78°C, sendo que as maiores temperaturas foram registradas durante a vazante. No segundo período, a temperatura variou de 26,22°C a 29,16°C, com valor médio de 27,47°C, apresentando um aumento gradual da temperatura ao longo do tempo (Figura 42).

Durante o primeiro período de medição, a intensidade e direção das correntes (Figura 43), mostra que no período de enchente (de 13:00 h às 16:35 h) há correntes com direção NE (fluxo em direção à área central da baía), enquanto no período de vazante (16:35 h até 20:45 h) a direção predominante é S-SO (fluxo em direção à restinga), exceto no final da vazante (de 20:45 h até 0:40 h), em que predominam correntes com direção N. Na enchente seguinte, (de 1:00 h às 5:00 h), a direção NE é predominante, com intensidade de até 0,2 m/s. Para o segundo período de medição (Figura 43) é possível notar que as correntes apresentam direção NO (fluxo em direção à ponta da Pombeba), exceto no período final da vazante, em que as correntes se direcionam para S (fluxo em direção à restinga). Em geral, quando as correntes se direcionam para o interior da baía (N), isso acontece por longos períodos (de 4 a 5 horas) e com maior intensidade (até 0,3 m/s); verifica-se também que a assimetria é maior em relação à intensidade e à duração. Já as correntes que se direcionam para a restinga (S), ocorrem em períodos mais curtos (menos de 3 horas) e com menor intensidade (não ultrapassam 0,2 m/s).

Na Figura 44 são apresentadas as componentes L-O e N-S das correntes. Durante o primeiro período de medição, a componente L-O alcançou valores entre 0,24 m/s na direção L e 0,30 m/s na direção O. Vale destacar que durante a primeira vazante, a componente L-O apresentou valores próximo a zero. Já a componente N-S alcançou valores de até 0,27 m/s na direção N e 0,29 m/s na direção S. No segundo período de medição, os valores da componente L-O chegaram a 0,16 m/s na direção O e 0,33 m/s na direção L e os valores da componente N-S alcançaram 0,11 m/s na direção N e 0,30 m/s na direção S.

Com relação à amplitude do eco (Figura 45), durante o primeiro período de amostragem, os valores variaram entre 59 dB e 76 dB, com o valor médio de 64 dB. Os maiores valores foram obtidos durante a enchente (valor médio de 67 dB), nas primeiras horas de amostragem, enquanto que durante a vazante, a amplitude do eco diminuiu ao mínimo, com um pico durante o fim da vazante (atingiu 64 dB). Já no segundo período, os valores variaram entre 57 dB e 89 dB, com valor médio de 71 dB. É possível observar que durante a vazante foram obtidos os menores valores (chegou a 57 dB) e na enchente os maiores (pico de 90 dB). Cabe destacar a medição de um valor muito baixo (65 dB) durante o fim da enchente.



Figura 42 – Temperatura da água em dois períodos de medição na estação 1.

Legenda: A – Profundidade local no período de amostragem; B – Temperatura da água a 1,44 maf. Médias a intervalos de 1 minuto. E: enchente; V: vazante. A linha tracejada indica o limite dos períodos de vazante e enchente. Fonte: A autora, 2014.



Figura 43 – Intensidade e direção das correntes em dois períodos de medição na estação 1.

Legenda: A – Profundidade local no período de amostragem; B – Intensidade e direção das correntes a 1,44 maf. Médias a intervalos de 1 minuto. E: enchente; V: vazante. A linha tracejada indica o limite dos períodos de vazante e enchente. Fonte: A autora, 2014.



Figura 44 – Componentes L-O e N-S da velocidade das correntes em dois períodos de medição na estação 1.

Legenda: A – Profundidade local no período de amostragem; B – Componente L-O das correntes a 1,44 maf; C – Componente N-S das correntes a 1,44 maf. Médias a intervalos de 1 minuto. E: enchente; V: vazante. A linha tracejada indica o limite dos períodos de vazante e enchente. Fonte: A autora, 2014.



Figura 45 – Amplitude do eco em dois períodos de medição na estação 1.

Legenda: A – Variação do nível de água no período de amostragem; B – Amplitude do eco a 1,44 maf. Médias a intervalos de 1 minuto. E: enchente; V: vazante. A linha tracejada indica o limite dos períodos de vazante e enchente. Fonte: A autora, 2014.

Os dados da estação 2, localizada 5 km a leste da estação 1 (profundidade local de 6 m; localização na Figura 24), foram coletados com ADCP Monitor (detalhes na seção Materiais e Métodos) posicionado na lateral da embarcação, com aquisição de dados a partir de 1,5 m abaixo da superfície até aproximadamente 0,25 m acima do fundo. As medições se iniciaram às 16:30 h do dia 04/12/2013 e terminaram às 16:00 h do dia 05/12/2013.

Ao longo da amostragem, a temperatura da água variou de 23,7°C a 26,6°C, sendo que a média nesta estação foi de 25,3°C (Figura 46A). No início da amostragem, a temperatura ao longo da coluna d'água variou de 26°C, na superfície e no meio (4 maf), a 24°C, próximo ao fundo. Das 2:00 h até às 11:00 h, as temperaturas diminuíram, variando de 26°C na superfície a 23°C em direção ao fundo. Pode-se observar que durante a primeira enchente e a segunda vazante (~2:00 h às 12:00 h de 05/12/2013), a temperatura da água apresentou os menores valores desde o meio até o fundo da coluna d'água, enquanto a segunda enchente registra os maiores valores próximo à superfície (> 29°C). Ao longo do fundeio a salinidade variou entre o valor máximo de 30,8 e mínimo de 26,0, com média de 28,2 (Figura 46B). Próximo ao fundo foram registrados os maiores valores de salinidade (> 31). Durante a primeira enchente e a segunda vazante (de 1:00 h até 11:00 h) foram registrados valores menores de salinidade (< 29) para toda coluna d'água. A densidade variou de 1016 kg/m³ a 1020 kg/m³ durante o período de amostragem, tendo valor médio de 1018 kg/m³ (Figura 47C).

Quanto à intensidade das correntes (Figura 47A), o valor mínimo foi de 0 m/s e o máximo de 0,58 m/s, com média de 0,19 m/s. Durante os períodos de vazante as correntes são mais intensas (acima de 0,5 m/s) desde a superfície até ~2 maf. Por outro lado, durante o período de enchente as correntes são menos intensas em toda a coluna d'água (< 0,2 m/s), com alguns períodos em que alcançam até 0,35 m/s. Em geral, os períodos de maré enchente foram mais curtos, durando em média 3 horas, enquanto que os períodos de vazante foram mais longos (em média 8 horas). Com relação à direção das correntes (Figura 47B), a direção predominante durante a vazante é para SE, com alguns momentos de inversão de direção para NO e L (a ~1 maf na primeira vazante e ~3 maf na segunda). Durante a enchente há o predomínio da direção S.



Legenda:A – Temperatura; B – Salinidade; C – Densidade. E: enchente; V: vazante. A linha tracejada indica o limite dos períodos de vazante e enchente. Fonte: A autora, 2014.



Figura 47 – Intensidade e direção das correntes na estação 2.



Com relação à componente L-O (Figura 48A), os máximos valores das correntes foram de 0,23 m/s na direção a O e 0,45 m/s na direção L. Durante a vazante (16:45 h até 0:55 h) verificou-se velocidades máximas em direção a L (0,4 m/s) desde a superfície até ~2 maf. No período seguinte, de enchente (0:55 h até 4:35 h), registrou-se ao longo de toda a coluna d'água uma inversão de correntes de L para O, com valor máximo de 0,2m/s. Na segunda vazante (4:45 h até 13:15 h) a intensidade das correntes atingiu até 0,35 m/s na direção L, para toda a coluna d'água nas primeiras horas, posteriormente apresentando velocidades menores (0,1 m/s para L e para O) até o fim da amostragem.

A componente N-S (Figura 48B), registrou velocidade máxima de 0,21 m/s para as correntes dirigidas para N e 0,57 m/s, para as dirigidas para S. Durante o período da primeira vazante as correntes mais intensas foram registradas desde a superfície até ~2 maf (chegando até 0,4 m/s na direção S). Durante o período de maré enchente subsequente mantiveram-se a direção e os valores máximos da velocidade das correntes porém para toda a coluna d'água. O período seguinte, de vazante, caracterizou-se por velocidades menores (~0,1 m/s) exceto durante as horas finais (11:00 h até 13:00 h), quando observa-se a intensificação das correntes dirigidas para N (chegando a 0,6 m/s) desde a superfície até ~1 maf. O período final da amostragem, sob condições de enchente, são registradas velocidades de 0,1 m/s para as correntes dirigidas para S e 0,3 m/s para as dirigidas para N.

Na Figura 49 são mostradas a direção e a intensidade das correntes em três posições ao longo da coluna d'água. Durante a primeira vazante, as dua primeiras posições (3,5 e 2 metros acima do fundo) apresentam direções e intensidades semelhantes, predominantemente para SE. Já a posição mais próxima ao fundo (0,5 m acima do fundo) apresenta direção para N em boa parte da amostragem. Na enchente subsequente e na segunda vazante é possível observar similaridades nas três posições: na enchente há predomínio de fluxos dirigindo-se para S e na vazante os fluxos se dirigem para SE no início do período, passam para NO no meio da amostragem e ao final se direcionam para S. Na última enchente, as posições de 3,5 e 2 metros acima do fundo apresentam direções e intensidades similares, para S no ínicio e posteriormente até o final da amostragem para NNO. Já na posição próxima ao fundo a direção predominante é para NNE em praticamente todo o período.



Figura 48 – Componentes L-O e N-S das correntes na estação 2.





Figura 49 – Intensidade e direção das correntes em três posições ao longo da coluna d'água, para a estação 2.

Legenda:Intensidade e direção das correntes em três posições ao longo da coluna d'água: A - 3,5 maf (superfície); B- 2 maf (meio); C - 0,5 maf (fundo). Médias a intervalos de 10 minutos. E: enchente; V: vazante. A linha tracejada indica o limite dos períodos de vazante e enchente. Fonte: A autora, 2014.

Ao analisar o perfil médio da velocidade das correntes para todo o período de medições (Figura 50A), observa-se que os maiores valores se encontram a cerca de 1,5 m abaixo da superfície e a direção predominante é para SE. O perfil médio das velocidades para cada período da maré (Figura 50B) apresenta, para as vazantes, correntes com direção para SE, aproximando-se de zero na região mais próxima ao fundo, com intensidades médias maiores na primeira vazante. Já em relação aos dois períodos de maré enchente, observam-se diferenças marcantes nos perfis médios apresentados: enquanto na primeira enchente as correntes fluiram para S ao longo de toda a coluna d'água, no segundo período observa-se que as correntes são direcionadas para sudeste próximo à superfície (~1 m), para noroeste próximo ao fundo (~1 m), aproximando-se de zero na faixa intermediária.

Na Figura 51 é apresentada a amplitude do eco sem correção (Figura 51A) e corrigida quanto às perdas por absorção e atenuação da energia acústica (Figura 51B). Durante a amostragem, os valores mínimo e máximo da amplitude do eco corrigida foram de, respectivamente, 8,7 dB e 69,5 dB, com valor médio de 43,6 dB. Durante a primeira vazante registrou-se os maiores valores (acima de 60 dB), desde a superfície até ~2 maf. A primeira enchente apresentou valores menores que os da vazantes, variando de 20 a 50 dB, sendo que os valores mais altos foram encontrados próximo ao fundo. A segunda vazante apresentou características semelhantes à primeira enchente, exceto no final (a partir de 11:00h) quando foram registrados valores acima de 60 dB desde a superfície até 2,5 maf. A última enchente apresentou os maiores valores na superfície (~50 dB) enquanto o restante da coluna d'água os valores oscilaram entre 30 e 40 dB.

Na estação 2 as concentrações de material particulado em suspensão (MPS) variaram de 11,5 a 32,2 mg/L ao longo de todo o período amostrado (Figura 52). Durante a primeira vazante os valores encontrados na superfície da coluna d'água variaram de 12,3 a 23,7 mg/L e próximo ao fundo, de 11,5 a 23,2 mg/L, com aumento gradual ao longo do período. No momento da inversão da maré vazante para a maré enchente foi registrada, próximo ao fundo, a maior concentração de MPS (32,2 mg/L). Durante o período de enchente subsequente, os valores na superfície diminuíram de 16,6 para 14,0 mg/L e no fundo aumentaram de 11,8 para 18,6 mg/L. Na segunda vazante, a concentração se manteve entre 15,6 e 21,1 mg/L na superfície enquanto no fundo foram obtidos valores em torno de 20,0 mg/L. Na última enchente, quando apenas uma amostra foi coletada próximo à superfície e próximo ao fundo, as concentrações foram de, respectivamente, 17,7 e 23,4 mg/L.



Legenda: Perfil médio das velocidades: A - perfil médio para todo o período do fundeio; B - perfil médio para cada período da maré. Médias a intervalos de 10 minutos. Os valores positivos indicam correntes para L e para N.

Fonte: A autora, 2014.



Figura 51 – Amplitude do eco não corrigida e corrigida quanto às perdas por absorção e atenuação da energia acústica, na estação 2.

Legenda: Amplitude do eco: A – medido em counts (sem correção); B – medido em dB (corrigido). Médias a intervalos de 10 minutos. E: enchente; V: vazante. A linha tracejada indica o limite dos períodos de vazante e enchente.

Nota: Durante o processamento dos dados foram retirados os 2 primeiros *bins* por não apresentarem dados confiáveis. Fonte: A autora, 2014.





Legenda: E: enchente; V: vazante. A linha tracejada indica o limite dos períodos de vazante e enchente. Nota: Dados coletados de 2 em 2 horas. Os valores não apresentados foram considerados dados espúrios. Fonte: A autora, 2014. Os dados da estação 3 (profundidade local de 4 m; localização na Figura 24) foram coletados com o Aquadopp HR a partir de 0,3 metros acima do fundo, no modo *upward*-*looking*. O período de medição se iniciou às 14:40 h do dia 04/12/2013 e terminou às 16:00 h do dia 05/12/2013. Os dados correntométricos coletados entre 6:23 h e 9:14 h de 05/12/2013 não puderam ser utilizados devido a problemas de posicionamento da estrutura na qual o Aquadopp estava colocado.

A temperatura da água ao longo da amostragem (Figura 53A) variou de 24°C a 29°C, sendo a temperatura média nesta estação de 26,2°C. Ao longo do período amostrado as águas superficiais até pouco mais da metade da coluna d'água apresentaram altas temperaturas (> 27°C) e no fundo temperaturas menores que 26°C. Apenas no final da amostragem toda a coluna d'água teve aumento de temperatura em relação ao período anterior, variando de 27°C a 29°C. Os valores da salinidade variaram de 27 a 32 ao longo do período amostrado, tendo o valor médio de 29,5 (Figura 53B). Ao longo do fundeio observou-se gradientes verticais da salinidade, exceto durante os períodos de enchente, especialmente de 2:00 às 6:00 h do dia 05/12/2013 (primeira enchente), quando foram registrados valores menores que 29 em toda coluna d'água. Durante a amostragem, a densidade variou de 1016 kg/m³ a 1022 kg/m³, sendo seu valor médio 1016 kg/m³ (Figura 53C).

Na Figura 54 são apresentadas a intensidade e direção das correntes. A intensidade das correntes variou entre 0 m/s e 0,59 m/s, com valor médio 0,22 m/s. Tanto durante os períodos de enchente como de vazante observaram-se momentos de diminuição acentuada da intensidade das correntes, que alcançaram valores abaixo de 0,1 m/s (Figura 54A). Nas vazantes predominaram as direções O e SO, enquanto que nas enchentes houve predomínio da direção L (Figura 54B).

A velocidade da componente L-O das correntes (Figura 55A) atingiu valores máximos de 0,47 m/s para L e 0,73 m/s para O. Durante os períodos de vazante ocorreram episódios com duração de ~2 horas em que a porção inferior da coluna d'água apresentou sentido oposto (para leste) ao da camada superficial (para oeste). Durante os períodos de enchente, sempre mais curtos que os de vazante, predominaram fluxos para leste com valores acima de 0,2 m/s em toda coluna d'água. Quanto à componente N-S (Figura 55B), esta oscilou de 0,22 m/s para N a 0,48 m/s para S, sem variações significativas ao longo do fundeio.



Legenda:A – Temperatura; B – Salinidade; C – Densidade. E: enchente; V: vazante. A linha tracejada indica o limite dos períodos de vazante e enchente. Fonte: A autora, 2014.



Figura 54 – Intensidade e direção das correntes na estação 3.





Figura 55 – Componentes L-O e N-S das correntes na estação 3.

Legenda: A – Componente L-O das correntes; B – Componente N-S das correntes. Médias a intervalos de 1 minuto. E: enchente; V: vazante. A linha tracejada indica o limite dos períodos de vazante e enchente. Fonte: A autora, 2014.

Na Figura 56 são mostradas a direção e intensidade das correntes em quatro posições ao longo da coluna d'água. Na primeira vazante, as posições a 4,8 e a 3,5 metros acima do fundo apresentaram direções e intensidades semelhantes, predominantemente para SO. Nas posições a 2 e 0,5 metros acima do fundo observou-se similaridades, com fluxos dirigindo-se para SSO no início, para L no meio do período e para O nas horas finais da primeira vazante. Nos demais momentos da maré as direções foram semelhantes em todas as posições ao longo da coluna d'água e com diminuição da intensidade em direção ao fundo. Na primeira enchente observou-se que os fluxos direcionaram-se predominantemente para NNE e L, na segunda vazante para O e na última enchente para L.

O perfil médio das velocidades na estação 3 (Figura 57A) permite observar que a direção predominante foi para SO a partir de 2,5 m acima do fundo enquanto próximo ao fundo os fluxos dirigiram-se para NE. Ao analisar o perfil médio das velocidades para cada período da maré (Figura 57B), observa-se que nas duas vazantes há o predomínio da direção SO e nas duas enchentes, predomínio da direção L.

Em relação à amplitude do eco corrigido (Figura 58), os valores variaram de 26 dB a 77 dB, com valor médio foi de 43 dB. Observou-se que durante o início da primeira vazante (entre 16:30 h e 1:10 h) e do final da segunda vazante (a partir de 9:00 h) até o término do fundeio, foram registrados os maiores valores de amplitude do eco desde a superfície até \sim 3 maf, com valores acima de 60 dB.

As concentrações de MPS na estação 3 variaram de 5,0 a 42,3 mg/L em todo período de amostragem (Figura 52). Na primeira vazante, os valores na superfície variaram de 5,6 a 19,1 mg/L e próximo ao fundo registrou-se valores de 12,8 a 23,4 mg/L. Durante o período de maré enchente , as concentrações na superfície registraram aumento de 18,1 para 23,9 mg/L. No segundo período de vazante, as concentrações na superfície oscilaram entre 5,0 e 10,0 mg/L e no fundo mantiveram-se acima de 22,2 mg/L, alcançando 42,3 mg/L. Na última enchente, a amostra coletada em superfície apresentou concentraçõe de 23,7 mg/L.



Figura 56 – Velocidade e direção das correntes em quatro posições ao longo da coluna d'água (rotacionadas em 90°), para a estação 3. 4,8 maf

Legenda: Velocidade e direção das correntes em três posições ao longo da coluna d'água (o topo da figura aponta para leste): A - 4,8 maf (superfície); B- 3,5 maf (meio); C - 2 maf (meio); D - 0,5 maf (fundo). Médias a intervalos de 1 minuto. E: enchente; V: vazante. A linha tracejada indica o limite dos períodos de vazante e enchente. Fonte: A autora, 2014.



Figura 57 – Pefil médio das velocidades na estação 3.

Legenda: Perfil médio das velocidades: A – perfil médio para todo o período do fundeio; B – perfil médio para cada período da maré. Médias a intervalos de 1 minutos. Os valores positivos indicam correntes para L e para N. Fonte: A autora, 2014.

A Tabela 8 sumariza as informações de cada estação em cada período da maré no período amostrado (04 a 05 de dezembro de 2013).



Figura 58 – Amplitude do eco não corrigida e corrigida quanto às perdas por absorção e atenuação da energia acústica, na estação 3. Amplitude do Eco sem correção

Legenda: Amplitude do eco: A – medido em *counts* (sem correção); B – medido em dB (corrigido). Médias a intervalos de 1 minuto. E: enchente; V: vazante. A linha tracejada indica o limite dos períodos de vazante e enchente. Fonte: A autora, 2014.

Parâmetro		1 ^ª vazante			1 ^a enchente			2ª vazante			2ª enchente		
		Est.1	Est.2	Est.3	Est.1	Est 2	Est.3	Est.1	Est.2	Est.3	Est.1	Est.2	Est.3
Duração (h)		8,2	9,1	9,7	3,81	4,7	4	5,5	8,7	8,4	3,8	3	2,4
Int. (m/s) do vento	Mx		7,50			2,10			6,00			4,30	
	Mn		0			0			2,10			2,30	
	md		3,89			1,20			4,13			3,45	
Dir. (°) do vento	-		NE			NE			Е			NO	
Temp. (°C)	Mx	26,63	26,57	27,44	25,85	25,73	26,75	28,34	26,41	27,17	29,16	26,73	27,59
	Mn	25,85	25,33	24,89	24,03	24,12	25,62	26,26	23,76	25,67	28,26	25,83	26,65
	md	26,52	25,77	25,95	25,03	24,87	26,11	26,78	24,60	26,30	28,6	26,33	26,99
Sal.	Mx	-	30,27	31,52	-	27,53	29,28	-	30,84	30,99	-	30,84	30,19
	Mn	-	27,53	28,27	-	26,53	26,95	-	26,02	27,15	-	30,17	30,06
	md	-	29,46	30,01	-	26,77	27,83	-	26,80	29,35	-	30,55	30,12
Intens. (m/s)	Mx	0,28	0,50	0,51	0,26	0,35	0,48	0,38	0,58	0,59	0,27	0,35	0,45
	Mn	0	0	0	0,02	0,01	0	0	0	0	0	0	0
	md	0,09	0,28	0,20	0,12	0,18	0,21	0,17	0,19	0,22	0,11	0,11	0,21
Comp. L-O (m/s)	Mx (L)	0,10	0,46	0,22	0,23	0,22	0,48	0,06	0,34	0,19	0,06	0,16	0,43
	Mx (O)	0,16	0,13	0,73	0,02	0,2	0,20	0,21	0,15	0,44	0,18	0,23	0,11
Comp. N-S (m/s)	Mx (N)	0,21	0,15	0,15	0,18	0,09	0,19	0,37	0,12	0,22	0,22	0,21	0,22
	Mx (S)	0,23	0,38	0,35	0,11	0,32	0,26	0,09	0,57	0,48	0,18	0,34	0,24
Ampl. (dB)	Mx	71,82	69,50	74,64	64,88	55,41	51,60	89,11	66,20	68,48	89,96	63,42	70,24
	Mn	59,07	32,55	31,42	59,78	30,97	27,37	57,23	34,77	26,13	65,87	26,51	29,86
	md	63,41	50,52	43,70	63,00	42,56	34,89	65,00	42,40	44,49	79,00	45,01	42,03

Tabela 8 – Resumo das informações das estação em cada período da maré (04 a 05/12/2013). Médias de 1 minuto.

Nota:Int = intensidade; Dir = direção; Temp = temperatura; Sal = salinidade; Comp = componente; Ampl = amplitude do eco; Mx = valor máximo; Mn = valor mínimo; Md = valor médio.

Fonte: A autora, 2014.

6 DISCUSSÃO

Os modelos já propostos para a circulação e transporte de sedimentos na baía de Sepetiba, e mesmo para a evolução da restinga da Marambaia, se basearam em poucas observações diretas e em alguns indicadores indiretos (p. ex. distribuição de carapaças de organismos). Os modelos de circulação propostos por Brönnimann et al. (1981) e Moura et al. (1982) descrevem um padrão de circulação elipsoidal para a baía de Sepetiba, com presença de águas provenientes de altas latitudes, baseando-se na distribuição de organismos bentônicos e planctônicos. A presença dessas águas foi também proposta por Stevenson et al. (1998) através da identificação de foraminíferos e ostracodos típicos dessas regiões no interior da baía, e pelo uso de derivadores. Alguns exercícios de modelagem numérica propuseram esquemas simplificados de circulação que levam em consideração primordialmente o possível efeito dos ciclos de maré sobre o sentido e a intensidade das correntes (FRAGOSO, 1999; CUNHA et al., 2006).

A partir da caracterização sedimentológica e dos dados hidrodinâmicos apresentados nesta dissertação, é possível estabelecer alguns padrões de circulação e transporte de sedimentos para a área central da baía de Sepetiba, na margem norte da restinga da Marambaia, em diferentes escalas temporais. Os sedimentos refletem na sua composição textural e na sua distribuição espacial os processos sedimentares que sofreram, que podem variar de dias a alguns milhares de anos. Já os dados hidrodinâmicos são importantes ao examinar o transporte dos sedimentos, embora forneçam apenas parte de um panorama (VINCENT et al., 1981).

6.1 Modelos de tendência direcional de transporte

Pela análise dos dados sedimentológicos e dos resultados da aplicação dos modelos GSTA, pode-se setorizar a região de estudo em 3 áreas: a restinga da Marambaia, a Ponta da Pombeba e as baías de Sepetiba e da Marambaia. Ao longo da margem norte da restinga da Marambaia, os padrões de circulação obtidos através da aquisição dos dados hidrodinâmicos se mostram bastante complexos se comparados aos modelos conceituais propostos

anteriormente (RONCARATI; BARROCAS, 1978; BRÖNNIMANN et al., 1981; MOURA et al., 1982; CUNHA et al., 2006).

A setorização apontada acima reflete as condições de transporte sugeridas pelo modelo de tendência direcional de transporte, em que há maior frequência dos casos de transporte CB+ e CB-, em que o sedimento se torna mais grosso, melhor selecionado e com assimetria positiva ou negativa ao longo do transporte, para a área central da baía e da Ponta da Pombeba e casos de transporte FB- e FB+, em que o sedimento se torna mais fino, melhor selecionado e assimetricamente positivo ou negativo, mais frequentes no setor central da restinga da Marambaia (Figuras 33 e 34).

O trabalho realizado por Borges (1990) fornece importantes subsídios para os resultados obtidos para a Ponta da Pombeba, em que a autora apontou a existência de formas de fundo que indicam o transporte de sedimentos da restinga para a Ponta. Estudos prévios indicam que a região da Ponta da Pombeba e o setor central da restinga são áreas de erosão (RONCARATI; BARROCAS, 1978; BORGES, 1990; OLIVEIRA et al., 2006), o que não foi integralmente observado na análise dos resultados do modelos GSTA, em que a divergência dos vetores limita-se à isóbata de 5 m (Figura 33), provavelmente porque os processos que regem o transporte de sedimentos até esta isóbata não sejam os mesmos que atuam nas áreas mais rasas. Já a região da Ponta da Pombeba se mostra mais complexa, com pontos tanto de acúmulo como de retirada de sedimentos, o que possivelmente reflete a ação de múltiplos processos que atuam no transporte de sedimentos.

6.2 Observações hidrodinâmicas

A análise dos dados hidrodinâmicos possibilita a exploração do possível padrão de transporte de sedimentos num curto espaço de tempo, neste caso 2 ciclos de maré. Durante os fundeios houve predomínio dos ventos de E e NE e com maior intensidade no início da campanha de coleta de dados (Figura 41). A predominância desta direção de ventos já foi registrada em trabalhos anteriores (COELHO, 2010; FONSECA, 2013).

Uma característica importante é a assimetria da maré, em que os períodos de enchente são mais curtos que os de vazante e com ausência de estofa de maré, fato já apontado nos trabalhos de Cunha et al. (2006), Gutierrez (2012), Fonseca (2013) e Oliveira (2013). Em relação à assimetria da maré, Cunha et al. (2006) assinalam que isto ocorre na baía de
Sepetiba devido às baixas profundidades locais. Allen et al. (1980) afirmam que em estuários com baixa profundidade, a crista da onda da maré enchente se propaga mais rapidamente que a de maré vazante, provocando a assimetria e produzindo correntes mais intensas na enchente, sendo que durante condições de sizígia esses eventos se tornam mais pronunciados.

Assim como reportado por Gutierrez (2012) e Fonseca (2013), também verificou-se durante as vazantes a ocorrência de duas baixa-mares separadas por episódios com duração de 2 a 4 horas, de aumento da profundidade local o que, segundo as autoras, pode ser o resultado da amplificação do sinal da maré pela influência da componente M4.

Fonseca (2013) aponta que as velocidades das correntes de enchente são maiores que as de vazante na região do canal de acesso à baía de Sepetiba. No entanto, neste trabalho as maiores velocidades foram registradas nos períodos de vazante, sendo que duas horas antes do final da segunda vazante foram registradas as correntes mais intensas de todo o período de medições (0,58 m/s na estação 2, Figura 47; e 0,59 m/s na estação 3, Figura 54), não estando associadas à mudança de direção das correntes, mas podendo ter influência dos ventos, já que que nestes momentos finais de vazante foram registradas rajadas de até 11 m/s (Figura 41).

A análise das componente L-O e N-S das correntes sugere o predomínio da componente L-O, ou seja, ao longo da orientação das isóbatas paralelas à restinga. Durante o período de enchente, verifica-se uma uniformidade do sentido das correntes ao longo de toda coluna d'água. No período de vazante, observam-se maiores velocidades para a componente L-O e a inversão do sentido próximo ao fundo (até ~2 maf), em resposta aos episódios de aumento da profundidade local. A componente N-S apresenta-se menos intensa em ambos os períodos, exceto na estação 2, em que as correntes apresentam-se mais intensas no começo do período de vazante (Figuras 48).

No período em que as correntes são menos intensas e não ocorrem mudanças significativas (bruscas) de direção, a coluna d'água se mantém estratificada. Os períodos finais da vazante mostram aumento de intensidade das correntes e mudanças rápidas de direção, gerando turbulência ao longo da coluna d'água e tornando-a homogênea (Figuras 45 e 53).

Ao comparar as direções das correntes nas três estações, observa-se que as estações 1 e 3 apresentam características esperadas para cada período da maré, ou seja, que as correntes tenham um sentido para O durante a vazante e para E, durante a enchente, conforme exemplificado para ambos cenários nos modelos apresentados por Fragoso (1999) e Cunha et al. (2006). Entretanto, a estação 2 mostra um comportamento diferente das outras duas estações, apresentando correntes transversais à orientação da restinga. Próximo à superfície (~3 maf), observa-se na primeira vazante uma convergência das correntes em direção à restinga da Marambaia (Figura 59). Ainda durante este período (~21:00 h), na estação 2 as correntes se dirigem para NE por cerca de uma hora e depois retornam para SE. No período de enchente, as correntes na estação 2 se dirigiam para a restinga enquanto na estação 3, para o centro da baía, exceto entre 2:00 h e 4:00 h quando também se dirigiam para S-SSE. Na segunda vazante, em ambas as estações, as correntes convergem em direção à restinga. Durante a segunda enchente, as correntes se dirigem para sul (estação 2) e SE (estação 3) durante os primeiros trinta minutos de medições. Nos trinta minutos seguintes, a estação 2 apresenta correntes com direção SE e a estação 3, correntes com direção L. No período final da amostragem, as correntes apresentam direções opostas, em que a estação 2 mostra correntes direcionadas para a baía e a estação 3, para a restinga.

Figura 59 – Esquema dos padrões correntométricos próximo à superfície (~3 maf) nas estações 2 e 3, com base nas medições mostradas nas Figuras 49 e 55.

1 ª Vazante 16 – 21 h	21 - 22 h	22 – 1 h	~3 maf
	∕!↓	× ←	
1ª Enchente		4-5h	Estação 2
1	$\sqrt{1}$		Estação 3
2 ª Vazante 5 – 9 h	9 – 10 h	10 – 13 h	
	$\downarrow \downarrow$	V V	
2 ª Enchente 13 – 13:30 h	13:30 – 14 h	14 – 15 h	
↓ ↘	$\downarrow \rightarrow$	~ >	
2014			

Fonte: A autora, 2014.

Próximo ao fundo (~0,5 maf), durante as primeiras 9 horas de medições, realizadas sob condições de vazante, o sentido das correntes variou frequentemente tanto na estação 2 como na 3 (Figura 60). Observa-se ora a convergência ora a divergência das correntes bem como fluxos em sentidos opostos, como nas 2 últimas horas da primeira vazante. Na primeira enchente, os fluxos em ambas as estações se dirigem para a restinga, exceto na estação 3 durante as duas primeiras horas, quando se dirigem para NE (para a baía). Na segunda

vazante, nota-se um padrão com complexidade semelhante à da primeira, exceto nas três últimas horas, quando os fluxos se dirigem para oeste na estação 3. Na segunda enchente, as correntes apresentam, de maneira geral, sentidos opostos em ambas as estações.

Figura 60 – Esquema dos padrões correntométricos próximo ao fundo (~0,5 maf) nas estações 2 e 3, com base nas medições mostradas nas Figuras 49 e 55.

1 ª Vazante 16 – 19 h	19 - 22 h	22 – 23 h	∼0,5 maf 23 – 1 h
	r 1	1	71
1ª Enchente 1 – 3 h	3 – 4:30 h	4:30 – 5 h	
1	77	K K	
2 ª Vazante 5 – 7 h	7 – 9 h	9 – 10 h	10 – 13 h
	51	↓ <	
2 ª Enchente 13 – 13:30 h	13:30 – 14 h	14 – 15 h	Estação 2
1	$\land \rightarrow$	~ >	Estação 3

Fonte: A autora, 2013.

Em geral, as correntes na região mais próxima à superfície tendem a fluir em direção à restinga. Já próximo ao fundo, as correntes se alternam, ora em direção à baía, ora em direção à restinga. Destaca-se também que as correntes documentadas na estação 3 mostraram um padrão semelhante durante os dois períodos de vazante, para cada profundidade analisada (superfície e fundo). A partir destes apontamentos, é possível inferir que as direções das correntes ao longo da face interna da restinga da Marambaia apresentam, em determinados momentos, um padrão de circulação que contém células de convergência e de divergência.

6.3 Amplitude corrigida do eco

A interpretação do sinal de amplitude do eco apresenta diversos desafios devido à multiplicidade de fatores que influenciam sua intensidade, independente das concentrações de material particulado em suspensão; entre eles, a presença de bolhas de ar na coluna d'água, presença de organismos planctônicos, a distribuição granulométrica do material particulado em suspensão (MUSTE et al., 2008). Neste trabalho, a análise da variação temporal das concentrações de MPS nas estações 2 e 3 (Figura 51) não mostrou qualquer relação direta com as variações do sinal de amplitude do eco (respectivamente, Figuras 50 e 56). No início do fundeio, verificam-se tanto na estação 2 como na 3 altos valores de amplitude do eco (acima de 60 dB) desde a superfície da coluna d'água até ~3 maf, podendo ser uma resposta à interação do vento (com velocidade em torno de 5 m/s e rajadas de até 13,5 m/s, com direção L) com a coluna d'água, produzindo um sinal mais forte na amplitude do eco devido à presença de bolhas de ar. Já o período final do fundeio coincide com a ocorrência de altas concentrações de matéria orgânica na baía (Figuras 61). A estação 3, que se localiza mais a leste em relação às demais, foi a primeira a registrar altos valores de amplitude do eco (acima de 50 dB) às 9:00 h. Às 11:00 h registrou-se o aumento dos valores de amplitude do eco na estação 2 (acima de 50 db), e às 12:00 h houve o aumento da amplitude na estação 1 (acima de 75 dB; destaca-se que neste período a aquisição dos dados estava em profundidade local mais rasa em relação ao início da amostragem). Segundo Ciotti (informação pessoal)⁷, houve no dia 29/11/2013 um importante evento de ressurgência na região de Cabo Frio (Figura 62A), que facilitou o crescimento de organismos fitoplanctônicos nas regiões próximas às baías costeiras do litoral fluminense (Figura 62B). A floração nas baías ocorreu com a diminuição da intensidade da ressurgência (Figura 62C) e com o aumento da concentração de matéria orgânica no interior das baías (Figura 62D). Diante destes fatos, os altos valores de amplitude do eco observados no início do fundeio estão relacionados à ação dos ventos enquanto os observados ao final do fundeio podem ser relacionados ao aumento significativo da quantidade de matéria orgânica ocasionado pelo processo de ressurgência costeira no litoral fluminense.

⁷ Ciotti, A. Floração no Rio de Janeiro. Mensagem recebida por ciotti@usp.br em 19 dez. 2013.



Legenda: (A) Estação 3; (B) Estação 2. Fonte: CORTEZ, 2013; BRAGA NETO, 2013.



Figura 62 – Temperatura da superfície do mar e concentração de clorofila em nov e dez/2013.

Legenda: (A) Temperatura da superfície do mar em 29/11/2013; (B) Concentração de clorofila em 29/11/2013; (C) Temperatura da superfície do mar em 04/12/2013; (D) Concentração de clorofila em 04/12/2013.
Fonte: MODIS, 2013.

Ao analisar em conjunto os vetores de tendência de transporte e as medições correntométricas é possível observar, apesar das diferentes escalas temporais envolvidas, similaridades entre os padrões de transporte e os padrões de circulação. Na área próxima à estação 1, os vetores de tendência mostram direções entre NO e SO; na estação 2, os vetores apresentam direções que variam entre N e SO; já na estação 3, as direções dos vetores variam entre NNE e SE, "relacionáveis" às direções predominantes das correntes documentadas durante os 2 ciclos de maré analisados (Figuras 57 e 58). Apesar da coleta de sedimentos e as medições hidrodinâmicas terem sido realizadas em épocas distintas, nota-se que há uma boa relação entre os resultados, sugerindo que o padrão de circulação, um tanto quanto complexo, ocorra de maneira recorrente, já que os padrões de transporte inferidos a partir da análise dos vetores (Figura 38) também apresentam grande complexidade.

Alguns pesquisadores já tentaram relacionar resultados obtidos a partir de modelos de tendência direcional de transporte com dados correntométricos (RÍOS et al., 2003; HÉQUETTE et al., 2008). Héquette et al. (2008) reportam que ao comparar medições de correntes de fundo com os vetores de transporte produzidos pelo modelo de Gao e Collins (1991, 1992), algumas direções coincidiram, enquanto outras apresentaram um padrão confuso em relação ao esperado. Estes autores associaram essa discrepância à escolha das amostras de sedimentos usadas na computação vetorial, sugerindo que as amostras a serem usadas deveriam ser de um mesmo ciclo de maré, já que esta é a principal forçante no transporte de sedimentos na região de estudo. Assim, o transporte de sedimentos de fundo amostrada). Neste sentido, Ríos et al. (2003) também relatam que apenas alguns resultados da aplicação dos modelos de tendência direcional se ajustaram satisfatoriamente às medições correntométricas realizadas. Segundo estes autores, isto é natural, tendo em vista que o transporte sedimentar é resultado de uma combinação complexa de diversos mecanismos.

Retornando à análise dos modelos de circulação previamente elaborados para a baía de Sepetiba, verificou-se que algumas tendências coincidem com as observações apresentadas nesta dissertação. No entanto, os modelos apresentam padrões de circulação extremamente simplificados que não traduzem a realidade registrada tanto através dos padrões de transporte inferidos a partir dos resultados da aplicação do modelo de tendência ou mesmo das medições hidrodinâmicas.

O trabalho de modelagem numérica realizado por Fragoso (1999) (Figura 63) mostra que, durante condições de sizígia, no período de vazante as correntes se direcionam para O e no período de enchente para L ao longo de toda a coluna d'água.





Legenda: A – Situação de maré enchente no período de sizígia. B – Situação de maré vazante no período de sizígia.
 Nota: A gradação de cores indica a velocidade em m/s.
 Fonte: Fragoso, 1999.

Outro trabalho de modelagem numérica realizado na baía de Sepetiba foi elaborado por Cunha et al. (2001) (Figura 64) e apresenta ensaios para o período de meia vazante, sob condições de sizígia, obtendo resultados que mostram o deslocamento das correntes para O. Neste mesmo trabalho, o campo de correntes residuais gerado para este cenário, mostra que à altura da área central da restinga as correntes se deslocam para L enquanto na porção oeste, as correntes se deslocam em direção à Ponta da Pombeba.



Figura 64 – Campo de correntes para situações de meia maré vazante durante o período de sizígia e campo de corrente residual para este cenário.

Legenda: A – Situação de meia maré vazante no período de sizígia. B – Campo de corrente residual para o cenário mostrado em A.
Fonte: Cunha et al., 2001.

Retomando brevemente os modelos conceituais da circulação apresentados nas primeiras seções desta dissertação (Seção 2), Roncarati e Barrocas (1978) apontam que há uma bifurcação das correntes na área central da baía de Sepetiba (Figura 12) e Moura et al. (1982) sugerem uma circulação elipsoidal para a baía (Figura 6). Tendo este panorama como pano de fundo e comparando-o aos resultados obtidos neste trabalho, é possível perceber que, na área rasa da baía, a hidrodinâmica local é influenciada por diversas forçantes. O modelo de correntes residuais elaborado por Cunha et al. (2001) apresenta algumas direções semelhantes às encontradas nas medições correntométricas e nos resultados da aplicação do modelo GSTA, com sentido para a Ponta da Pombeba na porção oeste da baía e para leste na outra extremidade. Já os demais modelos apresentam excessivas simplificações, não retratando a complexa realidade existente na área.

CONCLUSÕES

A partir do detalhamento da caracterização sedimentológica e do registro da circulação hidrodinâmica ao longo de dois ciclos de maré pode-se concluir que:

- a circulação e os padrões de transporte de sedimentos são mais complexos na área central da baía de Sepetiba, não confirmando as simplificações apresentadas pelos modelos conceituais e numéricos previamente publicados;
- os casos de tendência CB+ e CB-, em que os sedimentos se tornam mais grossos, bem selecionados e com assimetria positiva ou negativa ao longo do transporte, são os dominantes, sendo que o caso CB+ representa um processo de transporte que resulta na adição de finos;
- áreas em que há convergência de vetores de transporte correspondem a áreas de acumulação de sedimentos;
- há influência dos eventos de transposição em áreas submersas adjacentes à restinga;
- os ventos influenciam as correntes nas regiões mais rasas (< 2 m), como indicado pelos resultados do modelo GSTA;
- as medições das correntes realizadas na área adjacente ao setor central da restinga da Marambaia mostraram uma elevada complexidade quanto à direção das correntes, tanto entre os períodos de enchente como no decorrer dos períodos de vazante;
- a assimetria da maré é caracterizada por períodos de enchente mais curtos em relação aos períodos de vazante os quais são associados às correntes mais intensas;
- o sinal de amplitude do eco apresentou altos valores no início do fundeio, associados à presença de ventos de maior intensidade, e nas horas finais, associados à ocorrência de floração de fitoplâncton, num período prévio às observações;
- os resultados deste trabalho mostram que a realização de medições hidrodinâmicas é essencial para que futuros exercícios de modelagem numérica reflitam a realidade observada e indicam que um substancial esforço amostral ainda é necessário.

REFERÊNCIAS

ALLEN, G.P.; SALOMON, J.C.; BASSOULLET, P.; DU PENHOAT, Y.; DE GRANDPRÉ, C. Efects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries. **Sedimentary Geology**, v. 26, p. 69-79, 1980.

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 135-150, 1998.

ASSELMAN, N.E.M. Grain-size trends used to assess the effective discharge for floodplain sedimentation, river Waal, the Netherlands. **Journal of Sedimentary Research**, v. 69, n. 1, p. 51–61, 1999.

BALSINHA, M. Sediment trend analysis: A tool for understanding sediment pathways in marine environments (case study: the continental shelf of tagus estuary, Portugal). In: IAS MEETING OF SEDIMENTOLOGY, 29., 2012, Loeben. **Third circular**. Loeben: International Association of Sedimentologists, 2012, p. 237-237.

BARTHOLOMÄ, A.; FLEMMING, B.W. Progressive size sorting along an intertidal energy gradient. **Sedimentary Geology**, v. 202, n. 3, p. 464-472, 2007.

BORGES, H.V. **Dinâmica Sedimentar da Restinga da Marambaia e Baía de Sepetiba**. Rio de Janeiro, 1990. 82 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BLOTT, S.J.; PYE, K. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 26, p. 1237-1248, 2001.

BRÖNIMANN, P; MOURA, J.A; DIAS-BRITO, D. Ecologia dos Foraminíferos e microrganismos associados da área de Guaratiba/Sepetiba: modelo ambiental e sua aplicação na pesquisa de hidrocarbonetos. Rio de Janeiro: Petrobras, 1981. 81 p. Relatório 3549.

BULHÕES, E.M.R.; DRUMOND, M.K. Análises e testes de métodos de interpolação para dados batimétricos e granulométricos: estudo de caso em Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. **Cadernos de Estudos Ambientais**, v. 3, n. 1, p. 5-31, 2012.

CARELLI, S. G.; SOARES, R. F. Datação de sedimentos de cordões arenosos na planície costeira da Baía de Sepetiba, pelo método de termoluminescência. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 10., 2007, Diamantina. **Anais**...Diamantina: SBG, 2007.

CHANG, Y.H., SCRIMSHAW, M.D., LESTER, J.N. A revised grain-size trend analysis program to define net sediment transport pathways. **Computers & Geosciences**, v. 27, p. 109–114, 2001.

COELHO, A.L. Intrusão da ACAS na região adjacente à baía de Sepetiba. **Anais** hidrográficos, t. 67, p. 109-115, 2010.

COELHO, L.G.; BARTH, O.M.; CHAVES, H.A.F. O registro palinológico das mudanças da vegetação na região da Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, nos últimos 1.000 anos. **Leandra**, v. 14, p. 51-63, 1999.

COOPER, J. A. G.; PILKEY, O. H. Longshore drift: Trapped in an expected universe. **Journal of Sedimentary Research**. v. 74, n. 5, p. 599-606, 2004a.

COOPER, J. A. G.; PILKEY, O. H. Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule. **Global and Planetary Change**. v. 43, n. 3-4, p. 157-171, 2004b.

COSTA, D. T. M. A.; ARGENTO, M. S. F.; REIS, C. H. Caracterização das plumas de sedimentos da Baía de Sepetiba como subsídio ao estabelecimento de planos amostrais em ambientes costeiros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. Anais..., Goiânia: INPE, 2005, p. 2121-2127.

COWELL, P.J.; THOM, B.G. Morphodynamics in coastal evolution. In: CARTER, R.W.G.; WOODROFFE, C.D. (Ed.). **Coastal evolution**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. p. 33-86.

CUNHA, C.L.N.; ROSMAN, P.C.C.; FERREIRA, T.C.N.M., Hydrodynamics and water quality models applied to Sepetiba Bay. **Continental Shelf Research**, v. 26, p. 1940–1953, 2006.

DEINES, K.L. Backscatter estimation using broadband acoustic Doppler current profiles. In: IEEE WORKING CONFERENCE ON CURRENT MEASUREMENT, 1., 1999, San Diego. **Proceedings**... San Diego : IEEE, 1999. p. 249-253.

DELGADO, I.; ALCANTARA-CARRIO, J.; ALEJO, I.; ALONSO, I.; LOUZAO, M. Influence of hydrodynamics and sedimentary characteristics of Barqueiro Ria on Arealonga beach dynamics. **Journal of Coastal Research**. Special Issue 36, p. 231–239, 2002.

DUC, D.M.; NHUAN, M.T.; NGOI, C.V.; NGHI, T.; TIEN, D.M.; van WEERING, T.C.E.; van den BERGH, G.D. Sediment distribution and transport at the nearshore zone of the Red River delta, Northern Vietnam. **Journal of Asian Earth Sciences**. v. 29, n. 4, p. 558–565, 2007.

DUMAN, M.; AVCI, M.; DUMAN, S.; DEMIRKURT, E.; DUZBASTILAR, M.K. Surficial sediment distribution and net sediment transport pattern in Izmir Bay, western Turkey. **Continental Shelf Research**, v. 24, n. 9, p. 965–981, 2004.

DUMAN, M.; DUMAN, S.; LYONS, T.W.; AVCI, M.; IZDAR, E.; DEMIRKURT, E. Geochemistry and sedimentology of shelf and upper slope sediments of the south-central Black Sea. **Marine Geology**. v. 227, n. 1–2, p. 51–65, 2006.

ESRI – Environmental Systems Research Institute, Inc. User Manual [online]. Disponível em: http://resources.arcgis.com/en/help/ Acessado em: 22jul2014.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos river bar: a study in the significance of grain-size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**. v. 27, n. 1, p. 3–26, 1957.

FONSECA, S.A.R. **Observações dos Padrões de Circulação e do Fluxo de Material Particulado em Suspensão nas Proximidades do Canal de Acesso à Baía de Sepetiba** (**RJ**). Rio de Janeiro, 2013. 78 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

FRAGOSO, M.R. **Estudo numérico da circulação marinha da região das baías de Sepetiba e Ilha Grande (RJ)**. 1999. 109 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.

FRIEDERICHS, Y.L.; REIS, A. T.; SILVA, C.G.; TOULEMONDE, B.; GUERRA, J. V. Arquitetura Sísmica do Sistema Fluvio-estuarino da Baía de Sepetiba Preservado na Estratigrafia Rasa da Plataforma Interna Adjacente, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 43, n. 1, p. 124-138, 2013.

FRIEDRICHS, C.T.; AUBREY, D.G. Non-linear tidal distortions in shallow well-mixed estuaries: a synthesis. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 27, p. 521-545, 1988.

FRIEND, P.L.; VELEGRAKIS, A.F.; WEATHERSTON, P.D.; COLLINS, M.B. Sediment transport pathways in a dredged ria system, Southwest England. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 67, n. 3, p. 491–502, 2006.

FURTADO, V.V.; BONETTI FILHO, J.; CONTI, L.A. Paleoriver valley morphology and sea level changes at southeastern Brazilian continental shelf. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 68, p.163-169, 1996.

FÚLFARO, V.J.; PONÇANO, W.L. Sedimentação atual do estuário e baía de Santos: um modelo geológico aplicado a projetos de expansão da zona portuária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1., 1976, Ouro Preto. **Anais**. Ouro Preto: ABGE, 1976, p. 67-90.

GAO, S.; COLLINS, M. A critique of the Mc Laren Method for defining sediment transport paths: discussion. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 61, n. 1, p. 143–146, 1991.

GAO, S.; COLLINS, M. Sand sediment transport patterns inferred from grain-size trends based upon definition of "transport vectors". **Sedimentary Geology**, v. 80, p. 47–60, 1992.

GAO, S.; COLLINS, M. Analysis of grain size trends, for defining sediment transport pathways in marine environments. **Journal of Coastal Research**, v. 10, n. 1, p. 70–78, 1994.

GAO, S.; COLLINS, M.B.; LANCKNEUS, J.; DE MOOR, G.; VAN LANCKER, V. Grain size trends associated with net sediment transport patterns: an example from the Belgian continental shelf. **Marine Geology**, v. 121, p. 171–185, 1994.

GUTIERREZ, M.T. Variabilidade especial e temporal da distribuição do material particulado em suspensão nas proximidades do canal de navegação da baía de Sepetiba (**RJ**). 2012. 149 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

HÉQUETTE, A.; HEMDANE, Y.; ANTHONY, E.J. Determination of sediment transport paths in macrotidal shoreface environments: a comparison of grain-size trend analysis with near-bed current measurements. **Journal of Coastal Research**, v. 24, n. 3, p. 695-707, 2008.

INMAN, D.L.; BRUSH, B.M. The coastal challenge. Science, v. 181, p. 20-32, 1973.

KOMAR, P. D. Selective gravel entrainment & the empirical evaluation of flow competence. **Sedimentology**, v. 34, p. 1165–1176, 1987.

KUSKY, T. Encyclopedia of Earth Science. Nova York: Facts On File, 2005. 509 p.

LACERDA, L.D.; MARINS, R.V.; BARCELLOS, C.,; MOLISANI, M. Sepetiba Bay: A case on the environmental geochemistry of heavy metals in a subtropical coastal lagoon. In: LACERDA, L.D.; SANTELLI, R.E.; DUUERMA, E.K.; ABRÃO, J.J. (ed). **Facets of Environmental Geochemistry in Tropical & Subtropical Environments**. Heidelberg: Springer Verlag, p. 239-318, 2004.

LACERDA, L.D.; PARAQUETII, H.H.M.; MOLISANI, M.M.; BARNARDES, M.C.; Transporte de materiais na interface continente-mar na baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR, 12., 2007, Florianópolis. **Anais**... Florianópolis: AOCEANO, 2007, p. 1-3.

LAMEGO, A. R. Ciclo evolutivo das lagunas fluminenses. In: **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, n. 60, p. 1404-1430, 1945.

LE ROUX, J.P. Net sand sediment transport patterns inferred from grain size trends, based upon definition of transport vectors— comment. **Sedimentary Geology**, v. 90, p. 153–156, 1994a.

LE ROUX, J.P. An alternative approach to the identification of s& sediment transport paths based on a grain-size trends. **Sedimentary Geology**, v. 94, p. 97–107, 1994b.

LE ROUX, J.P.; ROJAS, E.M. Sediment transport patterns determined from grain-size parameters: overview & state of the art. **Sedimentary Geology**, v. 202, p. 473-488, 2007.

LE ROUX, J.P.; O'BRIAN, R.D.; RIOS, F.; CISTERNAS, M. Analysis of sediment transport paths using grain-size parameters. **Computers & Geosciences**, v. 28, p. 717–721, 2002.

LIDHOLM, R. **A Practical Approach to Sedimentology**. Boston: Allen & Unwin.1987, 279 p.

LOHRMANN, A. Monitoring sediment concentration with acoustic backscattering instruments. Norway: Nortek, 2001. Nortek Technical Note N. 003.

LUCIO, P.S.; BODEVAN, E.C.; DUPONT, H.S.; RIBEIRO, L.V. Directional kriging: a proposal to determine sediment transport. **Journal of Coastal Research**, v. 22, n. 6, p. 1340–1348, 2006.

MALLET, C.; HOWA, H.; GARLAN, T.; SOTTOLICHIO, A.; LE HIR, P.; MICHEL, D. Utilization of numerical & statistical techniques to describe sedimentary circulation patterns

in the mouth of the Gironde estuary. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 331, p. 491–497, 2000.

MAILLET, G.M.; POIZOT, E.; SABATIER, F.; VELLA, C.; MÉAR, Y. Pattern of sediment transport in a microtidal river mouth using geostatistical sediment-trend analysis. **Journal of sedimentary Reseach**, v. 81, p. 138-152, 2011.

MASSELINK, G.; BUSCOMBE, D.; AUSTIN, M.; O'HARE, T.; RUSSEL, P. Sediment trend models fail to reproduce small-scale sediment transport on an intertidal beach. **Sedimentology**, v. 55, p. 667-687, 2008.

MASSELINK, G.; HUGUES, M.G. Introduction to coastal processes and geomorphology. London: Hodder Arnold, 2003.354 p.

MATTOSO, Y.M. **Evolução do sistema de paleocanais da Baía de Sepetiba**. Rio de Janeiro, 2014. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

MCCAVE, I.N. Suspended sediment. In: DYER, K.R. Estuarine hydrography and sedimentation. Cambridge (UK): Cambridge University Press; 1979, p. 131-185.

MCLANE, M. Sedimentology. Oxford: Oxford University Press, 1995. 423 p.

MCLAREN, P. An interpretation of trends in grain size measures. Journal of Sedimentary Petrology, v. 51, n. 2, p. 611–624, 1981.

MCLAREN, P.; BOWLES, D. The effects of sediment transport on grain-size distributions. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 55, n. 4, p. 457–470, 1985.

MCLAREN, P.; CRETNEY, W.J.; POWYS, R. Sediment pathways in a British Columbia fjord and their relationship with particleassociated contaminants. **Journal of Coastal Research**, v. 9, n. 4, p. 1026–1043, 1993.

MOHD-LOKMAN, H.; ROSNAN, Y.; EJRIA, S.; SHAZILI, N.A.M.; KASSIM, K.K.Y. Deducing sediment transport direction and the relative importance of rivers on a tropical microtidal beach using the "McLaren model". **Environmental Geology**, v. 34, n. 2–3, p. 128–134, 1998.

MOLISANI, M.M.; KJERFVE, B.; LACERDA, L.D. Water discharge and sediment load to Sepetiba Bay from an anthropogenically-altered drainage basin, SE Brail. **Journal of Hydrology**, v. 331, p. 425-433, 2006.

MOURA, J.A.; DIAS-BRITO, D.; BRÖNNIMAN, P. Modelo ambiental de laguna costeira clástica - Baia de Sepetiba, RJ. In: SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL, 4., 1982, Rio de Janeiro. **Atas**... São Paulo: Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 1982, p. 135-152.

MUEHE, D. O litoral brasileiro e sua compratimentação. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. 7ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 390p.

MUSTE, M.; KIM, W.; FULFORD, J.M. Developments in hydrometric technology: new and emerging instruments for mapping river hydrodynamics. **Bulletin of World Metereological Organization**, v. 57, n. 3, 2008. Disponível em <

http://www.wmo.int/wcc3/bulletin/57_3_en/57_3_muste_en.html>. Acesso em: 10 jul. 2014.

NICHOLS, G. Sedimentology & Stratigraphy. New York: Wiley, ed. 2, 432 p. 2009.

OLIVEIRA, F.S.C.; KAMPEL, M., AMARAL, S. 2006. Avaliação multi-temporal da evolução geomorfológica da Restinga da Marambaia, Rio de Janeiro – Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EN PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, 12., 2006, Cartagena. Anais... Cartagena: SELPER, 2006, p. 1-7.

OLIVEIRA, F.S.C.; KAMPEL, M.; AMARAL, S. Multitemporal assessment of the geomorphologic evolution of the Restinga of Marambaia, Rio de Janeiro, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, p. 5585-5594, 2008.

OLIVEIRA, R.F. **Caracterização de dunas subaquosas no canal de navegação da baía de Sepetiba (RJ)**. Rio de Janeiro, 2013, 100 p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense.

OTVOS, E.G. Coastal barriers – Nomenclature, processes, and classification issues. **Geomorphology**, v. 139-140, p. 39-52, 2012.

PAPATHEODOROU, G.; AVRAMIDIS, P.; FAKIRIS, E.; CHRISTODOULOU, D.; KONTOPOULOS, N. Bed diversity in the shallow water environment of Pappas lagoon in Greece. **International Journal of Sediment Research**, v. 27, n. 12, p. 1-17, 2012.

PATCHINEELAM, S.M.; SAANDERS, C.J.; SMOAK, J.M.; ZEM, R.C.; OLIVEIRA, G.; PATCHINEELAM, S.R. A historical evaluation of anthropogenic impact in coastal ecosystems by geochemical signatures. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 22, n. 1, p. 120-125, 2011.

PEREIRA, S.D. Influência da variação relativa do nível do mar no manguezal de Guaratiba – Baía de Sepetiba - RJ. Rio Grande do Sul, 1998. 133 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Centro de Geologia Costeira e Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PETHICK, J. An Introduction to Coastal Geomorphology. London: Edward Baltimore, 260 p., 1984.

PILKEY, O.H.; COOPER, J.A.G.; LEWIS, D.A. Global Distribution & Geomorphology of Fetch-Limited Barrier Islands. **Journal of Coastal Research**, v. 25, n. 4, p. 819-837, 2009.

PLOMARITIS, T.A.; PUYANA-CRUCES, I.; BENAVENTE, J. RODRÍGUEZ-POLO, S. Can size trend analysis be used to identify aeolian sediment transport pathways? The case of Bolonia dune (SW Spain). Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65, p. 1325-1330, 2013.

POIZOT E.; MÉAR Y. Using a GIS to enhance grain size trend analysis. Environmental Modelling & Programa, v. 25, p. 513–525, 2010.

POIZOT, E.; MÉAR, Y.; BISCARA, L. Sediment Trend Analysis through the variation of granulometric parameters: A review of theories and applications. **Earth-Science Reviews**, v. 86, p. 15-41, 2008.

POIZOT, E.; MÉAR, Y.; THOMAS M.; GARNAUD S. The application of geostatistics in defining the characteristic distance for grain size trend analysis. **Computers & Geosciences**, v. 32, p. 360–370, 2006.

POIZOT, E.; ANFUSO G.; MÉAR Y.; BELLIDO C., Confirmation of beach accretion by grain-size trend analysis: Camposoto beach, Cádiz, SW Spain. **Geo-Marine Letters**, v. 33, n. 4, p. 263–272. 2013.

PONÇANO, W.L. Sedimentação atual na Baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro: contribuição à avaliação da viabilidade geotécnica de implantação de um porto. São Paulo, 1976, 278 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

PONÇANO, W.L.; FULFARO, V.J.; GIMENEZ, A.F. Sobre a origem da restinga da Marambaia, RJ. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., 1979, Rio Claro. Atas... Rio Claro: SBG, v. 1, 1979, p. 291-204.

RAMOS, S.S. **Arquitetura sísmica do complexo sedimentar da Restinga da Marambaia** – região de Sepetiba/RJ. Rio de Janeiro, 2013. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

REIS, M.C.B.; FIGUEIREDO JR, A.G. Interpretação da morfologia de fundo da plataforma continental entre a Baía de Guanabara e Baía de Sepetiba. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 1., 1989, Rio de Janeiro. **Anais**... Rio de Janeiro: SBG, 1989, p. 53-54.

RÍOS, F.; CISTERNAS, M.; LE ROUX, J.; CORREA, I. Seasonal sediment transport pathways in Lirquen Harbor, Chile, as inferred from grain-size trends. **Investigaciones marinas**, v. 30, n. 1, p. 3-23, 2002.

RÍOS, F.; ULLOA, R.; CORRÉA, I.C.S. Determination of net sediment transport patterns in lirquén Harbor, Chile, through grain-size trend analysis: a test of methods. **Pesquisa em Geociências**, v. 30, n. 1, p. 65–81, 2003.

RONCARATI, H.; BARROCAS, S.L.S. **Projeto Sepetiba:** estudo geológico preliminar dos sedimentos recentes superficiais da Baía de Sepetiba, município do Rio de Janeiro, Itaguaí e Mangaratiba. Rio de Janeiro: CENPES-Petrobrás, 1978.

RONCARATI, H.; MENEZES, L.F.T. Marambaia, Rio de Janeiro: origem e evolução. In: MENEZES, L.F.T.; PEIXOTO, A.L.; ARAÚJO, D.S.D. **História Natural da Marambaia**. Rio de Janeiro, Seropédica: EDUR, p. 15-38, 2005.

ROSSETTI, D. F. Ambientes Costeiros. In: FLORENZANO, T. G (org.). **Geomorfologia**: Conceitos e Tecnologias Atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

RUELLAN, F. A evolução geomorfológica da baía da Guanabara e das regiões vizinhas. **Revista Brasileira de Geografia**, ano VI, n. 4, p.445-508. 1944.

SAMPAIO, A.C. **O Controle dos Lineamentos Morfoestruturais na Evolução Recente da Baía de Sepetiba**. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SAMPAIO, A.C. **O Coniderações sobre a evolução geomorfológica-geológica recente da Baía de Sepetiba** – litoral sul-sudoeste do Estado do Rio de Janeiro. 2002. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SÁNCHEZ, A.; CHOUMILINE, E.; LÓPEZ-ORTIZ, B.E.; AGUÍÑIGA, S.; SÁNCHEZ-VARGAS, L.; ROMERO-GUADARRAMA, A.; RODRÍGUEZ-MEZA, D. Patrón de transporte de sedimento em Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, inferido del análisis de tendências granulométricas. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 38, n. 2, p. 167-177, 2010.

SCHULKIN, M.; MARSH, H.W. Sound absorption in sea water. Journal of the Acoustical Society of America, v. 34, n. 6, p. 864-865, 1962.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Macroplano de Gestão e Saneamento Ambiental da Bacia da Baía de Sepetiba. Rio de Janeiro: Consórcio ETEP/ECOLOGUS/SM GROUP, 1998.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses** - Síntese Informativa por Macrorregião Ambiental. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 73 p.

RIO DE JANEIRO (Estado). Departamento de Recursos Minerais. **Geologia do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: DRM, 1990. 1 mapa, colororido. Escala: 1:50.000.

SIGNORINI, S.R. A study of the circulation in Bay of Ilha Grande and Bay of Sepetiba: part I. A survey of the circulation based on experimental field data. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 29, n. 1, p. 41-55, 1980.

SPEER, P.E Tidal distortion in shallow estuaries. Tese (Ph. D) – WHOIMIT Joint Program in Oceanography, Wood Hole (MA), 1984.

STEVENSON, K.R.; DIAS-BRITO, D.; STECH, J.L.; KAMPEL, M. How do cold water biota arrive in a tropical bay near Rio de Janeiro, Brazil? **Continental Shelf Research**, v. 18, p. 1595-1612, 1998.

STROUSTRUP, B. **The C++ Programming Language**. 4. ed. Columbia: Addison-Wesley, 2013.

STUTZ, M.L.; PILKEY, O.H. Open-ocean barrier islands: global influence of climatic, oceanographic, and depositional settings. **Journal of Coastal Research**, v. 27, n. 2, p. 207–222. 2011.

THORNE, P.D.; HARDCASTLE, P.J.; SOULSBY, R.L. Analysis of acoustic measurements of suspended sediments. Journal of Geophysical Research, v. 98, p. 899–910, 1993.

VARELLA, C.A.; SENA JUNIOR, D.G. **Estudo do interpolador IDW para utilização em agricultura de precisão**. Disponível em: www.ufrrj.br/... agricultura_de_precisao. Acessado em: 22jul2014.

VERFAILLIE, E.; DU FOUR, I.; Van MEIRVENNE, M.; Van LANCKER, V. Geostatistical modeling of sedimentological parameters using multi-scale terrain variables: application along the Belgian Part of the North Sea. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 23, n. 2, p. 135-150, 2009.

VILLENA, H.H.; PEREIRA, S.D.; CHAVES, H.A. F.; DIAS, M.S.; GUERRA, J.V. Indícios da variação do nível do mar na baía de Sepetiba. In: RODRIGUES, M.A.C.; PEREIRA, S.D.; SANTOS, S.B. (Eds) **Baía de Sepetiba**: estado da arte. Rio de Janeiro: Corbã, 2012. p. 39-59.

VINCENT, C.E.; SWIFT, D.,J.,P.; HILLARD, B. Sediment transport in the New York Bight, North American Atlantic Shelf. **Marine Geology**, v. 42, p.369-398, 1981.

WATSON, G.S. The statistics of orientation data. **Journal of Geology**, v. 74, n. 2, p. 786–797, 1966.

WEI, E.C.; MCGUINNESS, J.L. Reciprocal distance squared method: a computer technique for estimating areal precipitation (RepportARS-NC-8). Illinois: Agricultural Research Service, Department of Agriculture, 1973.

APÊNDICE A

Reanálise dos dados de Ponçano (1976)

Os dados coletados e publicados por Ponçano (1976), duzentas e setenta e três amostras de sedimentos (Figura 1), foram digitalizados, georreferenciados e vetorizados através do programa ArcGISTM 10.2 e compilados com os dados de análise granulométrica em um banco de dados digital. Com esses dados em ambiente SIG, foi possível refazer os mapas de classificação textural, selecionamento e assimetria das amostras e, posteriormente, elaborar os mapas de tendência direcional de transporte de sedimentos.

As amostras foram coletadas com amostrador de fundo Van Veen, equidistantes 2 km, exceto no canal principal em que as amostras tiveram menor distância. Foram tratadas em laboratório, onde foram eliminados sais solúveis, matéria orgânica, pelo método gravimétrico, e carbonatos. Realizou-se o peneiramento a seco da fração grossa e aplicou-se o método da pipetagem para as frações finas (< 0,062 mm). Os parâmetros estatísticos foram calculados segundo Folk e Ward (1957).



Figura 1 – Mapa de localização das amostras de Ponçano (1976).

Fonte: modificado de PONÇANO, 1976.

Aplicação do modelo de tendência direcional de transporte (GisedTrend)

Para o caso de transporte CB– é possível observar algumas tendências na baía da Marambaia e o caso de transporte CB+ apresentou tendências mais notáveis do centro da baía em direção à ilha-barreira. No caso de transporte FB– as tendências mais visíveis são: do meio da baía em direção à planície costeira de Itaguaí e Sepetiba e na área central da baía. O caso de transporte FB+, não apresentou tendência significativa na área de estudo. Para os casos combinados com a função "*XOR*" (Figura 2), temos mais uma vez uma tendência dos vetores na região da baía de Sepetiba em direção a ilha-barreira, com predominância dos casos FB– e CB–. No canal oeste há contribuição de todos os casos. Além destas tendências, há também alguns vetores em direção à ponta da Pombeba, com predominância dos casos CB– e CB+.

Para os quatro casos combinados (Figura 3) podem-se distinguir duas tendências principais:

- da baía em direção à ilha-barreira, direção N-S;
- no canal de acesso oeste.



Figura 2 - Vetores de tendência definidos pelo modelo GSTA para os casos de transporte CB-, CB+, FB- e FB+ combinados com a função XOR, a partir de uma malha irregular.

Nota: Resultados obtidos a partir dos dados de Ponçano (1976). Fonte: A autora, 2014.



Figura 3 - Vetores de tendência definidos pelo modelo GSTA para os casos de transporte CB-, CB+, FB- e FB+ somados, a partir de uma malha irregular.

Nota: Resultados obtidos a partir dos dados de Ponçano (1976). Fonte: A autora, 2014.

APÊNDICE B

Derivadores de fundo

As correntes de fundo em águas rasas de zonas estuarinas ou na plataforma continental são difíceis de serem medidas, devido à ação vigorosa das ondas e, dependendo da localidade, a operação de barcos, comerciais ou de recreação, pode interferir nos equipamentos de medição (FOLGER, 1971). Neste sentido, o entendimento da circulação de correntes a partir do lançamento de corpos de deriva permite a obtenção de dados qualitativos sobre as correntes de fundo (RODRIGUES et al., 2002). Os autores pontuam que longos períodos de permanência desses corpos de deriva podem sugerir tranjetórias não retilíneas.

Derivadores de fundo (*seabed drifters* – SBD's) têm sido usados para estimar a circulação residual de fundo, para mapear o padrão de deriva de fundo, entender os padrões de circulação e transporte de sedimentos.

Os derivadores de fundo de Woodhead (WOODHEAD; LEE, 1960) (Figura 1) são construídos com polietileno e têm o formato de um guarda-chuva. Em geral, o disco é amarelo ou vermelho e a haste, desenhada com um peso que lhe promove flutuabilidade na água, é rosa ou branca, assim obtendo maior visibilidade a partir de uma distância considerável. A cauda da haste se arrasta pelo fundo enquanto o disco é puxado, como se fosse um paraquedas, pela corrente de fundo. De acordo com os autores, a resposta ao movimento da água é 100% para velocidades acima de 17cm/s; a 5 cm/s a taxa de viagem é aproximadamente 70% da verdadeira velocidade.

Os derivadores são marcados com etiquetas adesivas de retorno no verso do disco, em que se pede à pessoa que o encontrar que anote a data e o local em que o encontrou e entre em contato para dizer essas informações e o número do derivador. Muitos derivadores sobrevivem às viagens permanecendo em boas condições, atestando a sua durabilidade (HARTLEY, 1968). A taxa de retorno se torna maior em áreas onde a atividade pesqueira é constante, pois o recolhimento desses corpos de derivas muitas vezes é feita por pescadores (HAMMOND; WALLACE, 1982).

Deve-se levar em consideração que o uso de derivadores de fundo não permite ter precisão da trajetória e das velocidades atingidas, pois só se sabe o ponto de lançamento e de chegada. A ação das ondas também podem afetar esses corpos, bem como o tipo de fundo também influencia nas velocidades e no número de retornos (HARTLEY, 1968).

A B

Figura 1 – Derivador de fundo do tipo Woodhead.

Legenda:A -estrutura do derivador de fundo ; B -fotografia do comportamento dos derivadores no fundo do mar.

Fonte: modificado de HARTLEY, 1968; IMO, 2011.

A partir do modelo de derivador de fundo desenhado por Woodhead (WOODHEAD; LEE, 1960) muitos estudos utilizando este corpo de deriva foram desenvolvidos na Europa e na América do Norte durante as décadas de 1960 a 1980 (por exemplo, LEE et al., 1965; HARVEY, 1968; INGRAHAM; HASTINGS, 1974; SCHUMACHER; KORGEN, 1976; BARTOLINI; PRANZANI, 1977; HAMMOND; WALLACE, 1982).

Recentemente, os derivadores de fundo do tipo Woodhead foram novamente utilizados em estudos de padrões de transporte sedimentar: Rodrigues et al. (2002) em trabalho realizado nas enseadas de Ubatumirim e Picinguaba, no litoral paulista, lançaram os corpos de deriva nas desembocaduras dos rios Puruba, Ubatumiribm e Fazenda, como complemento as demais amostragem realizadas. Os autores registraram uma tendência semelhante em ambas trajetórias. Brothers et al. (2008) ao estudar o transporte de sedimentos no estuário do rio Saco, na costa sul dos Estados Unidos, utilizou os derivadores de fundo de *Woodhead* para delinear os padrões de transporte no fundo do estuário, a fim de ilustrar a trajetória de transporte das areias.

Utilização de derivadores de fundo do tipo Woodhead na baía de Sepetiba

Neste trabalho, foram lançados 60 derivadores de fundo do tipo *Woodhead* em 15 diferentes estações (Figura 2), tendo sido lançado 12 derivadores no dia 06 e 07 de abril de 2013 (GP1 a GP3), e os 48 restantes nos dias 16 e 17 de abril de 2013 (DR1 a DR 12). Em cada estação foram lançado 4 derivadores presos por uma pedra de sal (para garantir que os

derivadores começarima a derivar no mesmo momento), com cartão de identificação com a solicitação para que o número identificador e a posição em que foi resgatado fosse comunicada aos responsáveis pela investigação (Figura 32).



Figura 2 – Mapa das estações de lançamento dos derivadores de fundo.

Fonte: A autora, 2013.





Legenda: A – Derivadores de fundo lançados na estação DR1, presos por uma pedra de sal e com peso (tubo de cobre) na parte inferior; B – Parte superior do derivador com ficha de identificação do projeto; C – Número de identificação do derivador; D – Lançamento do derivador.
Fonte: GUERRA, 2013.

Resultados obtidos

Dos quarenta e oito derivadores de fundo lançados na campanha amostral de abril, em 15 estações diferentes, apenas 3 foram resgatados (Figura 4). A taxa de retorno dos derivadores é muito variável, já que depende-se das pessoas para comunicarem o local e data do resgate. O tempo para ser encontrado também é bem variável

O primeiro derivador resgatado foi o da estação DR 11, lançado em 17/04/2013 no canal de navegação principal, entre as ilhas Itacuruçá e Jaguanum, encontrado por um pescador 2 dias após o lançamento, a cerca de 1,9 km de distância do ponto de lançamento, na ilha do Bandolim, em frente a praia de Muriqui (Figura 4 – DR11).

O segundo derivador foi encontrado 2 meses e 16 dias após o lançamento na estação DR 1 no dia 16/04/2013, ao sul da ilha de Itacuruçá, sendo resgatado por uma morador da ilha de Itacuruçá, na Praia Grande, localizada neste ilha (Figura 4 – DR 1).

O último derivador encontrado foi lançado em 17/04/2013 na estação DR 12 no canal de acesso oeste próximo à boia de navegação da Marinha. Ele foi resgatado 11 meses e 20 dias depois de ser lançado, na praia de Garatucaia, em Angra dos Reis (Figura 4 – DR 12). Quem os encontrou, relatou que ele estava inteiro, com pouca lama e estava na beira da praia. A tabela 1 apresenta o resumo de informações de cada derivador encontrado.



Figura 4- Localização de resgate dos derivadore de fundo.

Fonte: A autora, 2013.

Estação de Lançamento	DR1	DR11	DR12		
Número de Série	23385	22599	22606		
Data de Lançamento	16/04/2013	17/04/2013	17/04/2013		
Maré na hora do lançamento	vazante	vazante	enchente		
Data de Resgate	02/07/2013	19/04/2013	06/04/2014		
Distância entre local de lançamento e de resgate	1,2 km	1,9 km	18 km		

Tabela 8 - Resumo de informações dos derivadores resgatados.

Fonte: A autora, 2014.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTOLINI, C.; PRANZINI, E. Tracing nearshore bottom currents with sea-bed drifters. **Marine Geology**, v. 23, p. 275-284, 1977.

BROTHERS L. L.; BELKNAP D. F.; KELLEY J. T.; JANZEN, C. D. Sediment transport and dispersion in a cool-temperate estuary and embayment, Saco River estuary, Maine, USA. **Marine Geology**, v. 251 (3-4), p. 183-194, 2008.

FOLGER, D. W. Nearshore tracking of seabed drifters. Limnol. Oceanogr, v. 16, p. 588-589, 1971.

HAMMOND, R.R.; WALLACE, W.J. Seabed drifter movement in San Diego Bay and adjacent waters. Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 14, p. 623-634, 1982.

HARVEY, J. The movements of sea-bed and sea-surface drifters in the Irish Sea, 1965-1967. 2nd European Symposium on Marine Biology. **Sarsia**. v. 34, p. 227-242, 1968.

INGRAHAM JR, W. J.; HASTINGS, J.R. Seabed drifters used to study bottom currents off Kodiak Island. **Marine Fisheries Review**, v. 36, n. B, 1974.

LEE, A.J.; BUMPUS, D.F.; LAUZIER, L.H. The sea-bed drifter. Int. Comm. Northwest Atl. Fish. Res. Bull., v. 2, p. 42-47, 1965.

RODRIGUES, M.; MAHIQUES, M. M.; TESSLER, M. G. Sedimentação atual nas enseadas de Ubatumirim e Picinguaba, região norte de Ubatuba, Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Oceanografia**, São Paulo, v. 50, p. 27-45, 2002.

SCHUMACHER, J.D.; KORGEN, B.J. A Seabed drifter study of near-bottom circulation in North Carolina Shelf Waters. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 4, p. 207-214, 1976.

WOODHEAD, P. M.; LEE, A. J. A new instrument for measuring residual currents near the sea bed. International Council for the Exploration of the sea. 1960. 12 p.

APÊNCIDE C

Gráficos da Análise Granulométrica



Frequência em peso por classe granulométrica



Fonte: A autora, 2014.



Porcentagem de Sedimentos Finos e Grossos

Fonte: A autora, 2014.

Grossos

Finos



Classificação Textural pela Média e Mediana

Fonte: A autora, 2014.

Teor de Matéria Orgânica







Teor de Carbonato

Fonte: A autora, 2014.

Selecionamento



Fonte: A autora, 2014.