



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR – LABOMAR
CURSO DE OCEANOGRAFIA

RODOLFO TEIXEIRA ALVES

**ESTUDO DA DERIVA LITORÂNEA EM FORTALEZA/CE: ANÁLISE
QUANTITATIVA DO TRANSPORTE LONGITUDINAL PARA GESTÃO
COSTEIRA E PORTUÁRIA**

FORTALEZA/CE

2012

RODOLFO TEIXEIRA ALVES

ESTUDO DA DERIVA LITORÂNEA EM FORTALEZA/CE: ANÁLISE QUANTITATIVA
DO TRANSPORTE LONGITUDINAL PARA GESTÃO COSTEIRA E PORTUÁRIA

Trabalho de conclusão do curso de oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em oceanografia. Área de concentração: Dinâmica Costeira.

Orientador: Prof. Dr. Luis Parente Maia

FORTALEZA

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Rui Simões de Menezes

-
- O482e Alves, Rodolfo Teixeira
 Estudo da deriva litorânea em Fortaleza/Ce: análise quantitativa do transporte longitudinal para
gestão costeira e portuária / Rodolfo Teixeira Alves. – 2012.
 70 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso
de Oceanografia, Fortaleza, 2012.
 Orientação: Prof. Dr. Luis Parente Maia.
1. Sedimentos (Geologia). 2. Porto do Mucuripe. I. Título.

CDD 551.303

RODOLFO TEIXEIRA ALVES

ESTUDO DA DERIVA LITORÂNEA EM FORTALEZA/CE: ANÁLISE QUANTITATIVA
DO TRANSPORTE LONGITUDINAL PARA GESTÃO COSTEIRA E PORTUÁRIA

Trabalho de conclusão do curso de oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em oceanografia. Área de concentração: Dinâmica Costeira.

Aprovado em: ____ / ____ / _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luis Parente Maia (orientador)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Joaquim Bento Cavalcante Filho (membro externo)
Companhia Docas do Ceará

Prof. Dr. Jader Onofre de Moraes (membro externo)
Universidade Estadual do Ceará

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador prof. Dr. Luis Parente Maia, por todas as oportunidades que me ofertou durante minha graduação, pelos ensinamentos e pelos conselhos.

A minha família e amigos que estiverem presentes em todos os momentos importantes durante minha graduação.

À CNPq, à Companhia Docas do Ceará e à CAGECE pelo apoio financeiro para as pesquisas deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Dinâmica Costeira, pelo aprendizado e pela amizade acima de tudo: Gleidson, Leonardo, Mario Godoy, Kleber Melo, Airton (gato guerreiro), Larissa Luana.

A todos os meus colegas de classe da primeira turma de oceanografia da Universidade Federal do Ceará, por todos esses anos de alegria juntos: Andrea da Consolação (consolas), Andrea Oliveira (presidenta), Bruno Catunda, Cecília Perdigão (Ceci), Clarissa Dantas, Francisco Bruno (senvergoin), Francisco Jailton (jota), Ítalo Góis (goizão), Jorge Felipe, José Filho (zezão), José Gabriel, Liana Pacheco, Lucas Antunes, Pedro Paulo (pepe), Pedry, Rayza Araruna.

A todos os professores e funcionários do Instituto de Ciências do Mar, pelo aprendizado e companheirismo, transformando o LABOMAR em uma segunda casa para todos nós.

Aos professores doutores Carlos Eduardo Peres Teixeira e Pedro de Souza Pereira, pelo tempo cedido para ajudar em correções da monografia e todos os conselhos dados.

RESUMO

O estudo de deriva litorânea é muito importante para a gestão da zona costeira e portuária, como é o caso da cidade de Fortaleza. A falta de conhecimento da dinâmica sedimentar durante a construção do porto do Mucuripe gerou sérios problemas ao balanço sedimentar da região. Os molhes de contenção do porto barraram o transporte natural de sedimento vindo da praia do Futuro, o que acarretou em forte erosão nas praias a oeste. Estudos climatológicos indicam que de dezembro a abril, devido à influência dos ventos alísios de nordeste, há uma maior incidência de ondas nesta direção, gerando maior transporte nas praias a oeste do porto e um transporte de sedimentos contrário à direção predominante na praia do Futuro, devido à inclinação natural das suas linhas de costa. Enquanto que de maio a novembro, devido a uma maior incidência dos ventos alísios de sudeste e locais de leste, a praia do Futuro apresenta um intenso transporte sedimentar, e nas demais praias o transporte é muito baixo. No presente trabalho, tentou-se estimar o valor do transporte longitudinal a partir de uma metodologia experimental comparada com um estudo teórico, de forma a aferir a qualidade dos resultados. Utilizou-se o software ACES (Automated Coastal Engineering System) para calcular o transporte teórico nas praias do Futuro, Meireles e Leste-Oeste, a partir de dados de direção e altura significativa de ondas. Enquanto que experimentalmente, foram realizadas análises de sedimento em suspensão e de vazão instantânea com um ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) nas praias do Futuro e Leste-Oeste, para calcular o transporte sedimentar. Através do programa ACES, calculou-se uma taxa de transporte sedimentar de 1,3 milhões de m³/ano para a praia do Futuro, 0,6 milhões de m³/ano para a praia do Meireles e 0,4 milhões de m³/ano para a praia da Leste-Oeste. Enquanto que experimentalmente, calculou-se uma taxa de transporte sedimentar média de 2,3 milhões de m³/ano para a praia do Futuro e 4,2 milhões de m³/ano para a praia da Leste-Oeste. Os valores ficaram muitos próximos entre os estudos teórico e experimental considerando apenas o transporte em julho na praia do Futuro, cerca de 0,22 milhões de m³, mostrando uma correlação de 90% entre a variação do nível da maré e a vazão registrada. A grande diferença nos resultados anuais deve-se a fato de experimental ter se utilizado somente 2 meses de dados para se estimar o transporte anual. Além disso, nas praias a oeste do porto, o estudo experimental foi realizado próximo à desembocadura do emissário submarino da cidade, 3 km distante da costa, superestimando os cálculos do transporte.

Palavras-chave: Transporte Longitudinal, Balanço Sedimentar, Porto do Mucuripe.

ABSTRACT

The study of littoral drift is very important to coastal zone management and harbors for coastal, such as Fortaleza city. The lack of knowledge of sediment dynamics during the construction of the Mucuripe Harbor generated serious problems for the sedimentary balance of the region. The harbor's jetty has barred the natural transport of sediment from the Futuro beach, which resulted in severe erosion in west beaches. Climatological studies indicate that from December to April, due to influence of northeast trade winds, there is a higher incidence of waves in this direction, generating greater transport in the west beaches of the harbor and transport of sediments on the contrary to the predominant direction on the Futuro beach, due to natural coastline inclination. While from May to November, due to a higher incidence of the trade winds from the southeast and east locations, the Futuro beach presents an intense sediment transport, on the other beaches the transport is very slow. In this study, it tried to estimate the longitudinal transport from an experimental methodology compared with a theoretical study in order to assess the quality of results. It was used the software ACES (Automated Coastal Engineering System) to calculate the theoretical transport on the Futuro, Meireles and Leste-Oeste, from data of direction and significant wave height. While experimentally, it was analyzed suspended sediment and the discharge with an ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) on the Futuro and Leste-Oeste beach, to calculate the sediment transport. Through the ACES program, it was calculated a rate of sediment transport of 1,3 million m³/year for the Futuro beach, 0,6 millions m³/year for the Meireles beach and 0,4 millions m³/year for the Leste-Oeste beach. While experimentally, it was calculated an average rate of sediment transport 2,3 million m³/year for the Futuro beach and 4,2 million m³/year for the Leste-Oeste beach. The values were very close between the theoretical and experimental studies considering only transport in July for the Futuro beach, about 0,22 million m³, showing a 90% correlation between the variation of water level and discharge recorded. The big difference in the annual results is due to experimental study has used only 2 months of data to estimate the annual transportation. Moreover, the west beaches of the harbour, the experimental study have been conducted near the mouth of the outfall of the city, 3 km off the coast, overestimating the transport calculations.

Keywords: Transport Longitudinal, Sedimentary Balance, Mucuripe Harbor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Caracterização do litoral de Fortaleza	04
Figura 02 - Direção e período das ondas no Oceano Atlântico gerado pelo modelo wavewatch da NOAA - Outubro de 2005	06
Figura 03 - Direção e período das ondas no Oceano Atlântico gerado pelo modelo wavewatch da NOAA - Março de 2006	07
Figura 04 - Direção das ondas em Janeiro medidas por uma boia waverider	08
Figura 05 - Direção das ondas em Fevereiro medidas por uma boia waverider	08
Figura 06 - Direção das ondas em Março medidas por uma boia waverider	09
Figura 07 - Direção das ondas em Abril medidas por uma boia waverider	09
Figura 08 - Direção das ondas em Maio medidas por uma boia waverider	09
Figura 09 - Direção das ondas em Junho medidas por uma boia waverider	09
Figura 10 - Direção das ondas em Julho medidas por uma boia waverider	10
Figura 11 - Direção das ondas em Agosto medidas por uma boia waverider	10
Figura 12 - Direção das ondas em Setembro medidas por uma boia waverider	10
Figura 13 - Direção das ondas em Outubro medidas por uma boia waverider	10
Figura 14 - Direção das ondas em Novembro medidas por uma boia waverider	11
Figura 15 - Direção das ondas em Dezembro medidas por uma boia waverider	11
Figura 16 - Interface do software ACES	16
Figura 17 - Modelo ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) utilizado no trabalho	19

Figura 18 - Ilustração do funcionamento do perfilador de correntes ADCP, que calcula as intensidades e direções por célula de medição, ao longo de um perfil. Os cálculos são feitos baseados no efeito Doppler, causado pela movimentação do material em suspensão, o qual ecoa uma frequência transmitida. O ponto de referência estático utilizado é a superfície batimétrica	20
Figura 19 - Coleta de água para análise de material em suspensão realizada durante as campanhas com uma garrafa de Van Dorn	20
Figura 20 - Imagem com a localização dos quadrados feitos nas praias do Futuro e da Leste-Oeste para medição de vazão	21
Figura 21 - Direção das correntes na praia do Futuro medido com ADCP em outubro de 2011	38
Figura 22 - Direção das correntes na praia da Leste-Oeste medido com ADCP em outubro de 2011	38
Figura 23 - Comparação entre a vazão e a variação da maré na praia do Futuro na campanha de 29/07/2011	39
Figura 24 - Comparação entre a vazão e a variação da maré na praia do Futuro na campanha de 27/10/2011	39
Figura 25 - Comparação entre a vazão e a variação da maré na praia da Leste-Oeste na campanha de 04/10/2011	40
Figura 26 - Comparação entre a vazão e a variação da maré na praia da Leste-Oeste na campanha de 11/10/2011	40
Figura 27 - Direção das correntes pela velocidade na 1° vazante - 1° campanha praia do Futuro	41
Figura 28 - Direção das correntes pela velocidade na 1° enchente - 1° campanha praia do Futuro	41
Figura 29 - Direção das correntes pela velocidade na 2° vazante - 1° campanha praia do Futuro	42
Figura 30 - Direção das correntes pela velocidade na 1° enchente - 1° campanha praia da Leste-Oeste	42
Figura 31 - Direção das correntes pela velocidade na 1° vazante - 1° campanha praia da Leste-Oeste	43
Figura 32 - Direção das correntes pela velocidade na 1° vazante - 2° campanha praia da Leste-Oeste	43

Figura 33 - Direção das correntes pela velocidade na 1° enchente - 2° campanha praia da Leste-Oeste	44
Figura 34 - Direção das correntes pela velocidade na 2° vazante - 2° campanha praia da Leste-Oeste	44
Figura 35 - Direção das correntes pela velocidade na 1° vazante - 2° campanha praia do Futuro	45
Figura 36 - Direção das correntes pela velocidade na 1° enchente - 2° campanha praia do Futuro	45
Figura 37 - Direção das correntes pela velocidade na 2° vazante - 2° campanha praia do Futuro	46
Figura 38 - Gráfico com o transporte de sedimentos para as praias do Futuro (PF), do Meireles (PM) e da Leste-Oeste (PLO) em cada mês do ano	47
Figura 39 - Gráfico com o sentido da direção das ondas para cada mês do ano	48
Figura 40 - Imagem QUICKBIRD do litoral de Fortaleza - maio de 2010	48
Figura 41 - Imagem QUICKBIRD do transporte sedimentar na praia do Futuro - agosto de 2011	49
Figura 42 - Imagem QUICKBIRD da retenção de sedimentos pelos píers e quebra-mares a oeste do Porto - julho de 2011	49
Figura 43 - Correlação entre a variação da maré durante o dia com a vazão instantânea medida com correntômetro ADCP - Campanha praia do Futuro 29/07/2011	52
Figura 44 - Correlação entre a variação da maré durante o dia com a vazão instantânea medida com correntômetro ADCP - Campanha praia da Leste-Oeste 04/10/2011	53
Figura 45 - Correlação entre a variação da maré durante o dia com a vazão instantânea medida com correntômetro ADCP - Campanha praia da Leste-Oeste 11/04/2011	53
Figura 46 - Correlação entre a variação da maré durante o dia com a vazão instantânea medida com correntômetro ADCP - Campanha praia do Futuro 27/11/2011	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de tabela de dispersão conjunta entre Direção (D) e Altura Significativa (Hs) das ondas	17
Tabela 2 - Exemplo de tabela com as porcentagens correspondentes de cada par de Direção (D) pela Altura Significativa (Hs)	17
Tabela 3 - Ângulos que as ondas fazem com a costa nas praias do Futuro (PF), praia do Meireles (PM) e praia da Leste-Oeste (PLO). A cor rosa representa transporte negativo, ou seja, contrário à direção predominante da deriva. A cor azul representa transporte positivo da deriva. E a cor amarela indica que não existe transporte para esses ângulos nas praias em destaque	18
Tabela 4 - Coordenadas das campanhas realizadas em quadrado na praia do Futuro e na praia da Leste-Oeste	21
Tabela 5 - Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de janeiro	23
Tabela 6 - Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de janeiro	23
Tabela 7 - Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de janeiro	24
Tabela 8 - Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de fevereiro	24
Tabela 9 - Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de fevereiro	25
Tabela 10 - Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de fevereiro	25
Tabela 11 - Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de março	26
Tabela 12 - Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de março	26
Tabela 13 - Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de março	26
Tabela 14 - Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de abril	27
Tabela 15 - Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de abril	27
Tabela 16 - Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de abril	27
Tabela 17 - Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de maio	28
Tabela 18 - Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de maio	28
Tabela 19 - Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de maio	28
Tabela 20 - Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de junho	29
Tabela 21 - Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de junho	29
Tabela 22 - Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de junho	30
Tabela 23 - Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de julho	30
Tabela 24 - Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de julho	31
Tabela 25 - Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de julho	31
Tabela 26 - Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de agosto	32

Tabela 27 - Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de agosto	32
Tabela 28 - Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de agosto	32
Tabela 29 - Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de setembro	33
Tabela 30 - Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de setembro	33
Tabela 31 - Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de setembro	33
Tabela 32 - Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de outubro	34
Tabela 33 - Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de outubro	34
Tabela 34 - Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de outubro	34
Tabela 35 - Transporte de sedimento na praia do Futuro no mês de novembro	35
Tabela 36 - Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de novembro	35
Tabela 37 - Transporte de sedimento na praia da Leste-Oeste no mês de novembro	35
Tabela 38 - Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de dezembro	36
Tabela 39 - Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de dezembro	36
Tabela 40 - Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de dezembro	37
Tabela 41 - Comparação das campanhas entre a vazão média, em m ³ /s, e o transporte anual, em m ³ , de acordo com a data e o local da campanha	39
Tabela 42 - Comparação das campanhas entre a vazão média, em m ³ /s, e o transporte mensal, em m ³ , de acordo com o mês e o local da campanha	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	01
1.1 Caracterização da área	04
1.1.1 Geografia	04
1.1.2 Climatologia	05
1.1.3 Ondas, maré e correntes	07
2 OBJETIVOS	13
3 JUSTIFICATIVA	14
4 MATERIAIS E MÉTODOS	15
4.1 Estudo teórico	15
4.2 Estudo experimental	18
5 RESULTADOS	23
5.1 Resultados teóricos	23
5.1.1 Janeiro	23
5.1.2 Fevereiro	24
5.1.3 Março	25
5.1.4 Abril	26
5.1.5 Maio	28
5.1.6 Junho	29
5.1.7 Julho	30
5.1.8 Agosto	31
5.1.9 Setembro	32
5.1.10 Outubro	34
5.1.11 Novembro	35
5.1.12 Dezembro	36
5.1.13 Dados Totais	37
5.2 Resultados experimentais	38
6 DISCUSSÃO	47
7 CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS	57

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira é uma região de contato entre o continente e o oceano, que sofre constantes modificações no espaço e no tempo. Fatores físicos como vento, onda e maré geram o fenômeno do transporte de sedimentos nesta região. Este é um ciclo contínuo que ao sofrer interferência antrópica pode causar sérios problemas na zona litorânea.

A dinâmica dos oceanos, associada aos movimentos de materiais sólidos por ação dos ventos, tem determinado significativa transformação das linhas de costa, nos continentes, em uma escala de tempo bem definida. Conhecer e dominar este processo costeiro implica em estabelecer um domínio completo dos impactos causados pela presença física das mais variadas obras marítimas como também de construção costeira, o que representa um dos grandes desafios encontrados pelos engenheiros e cientistas que tratam de resolver problemas relacionados com a dinâmica costeira.

Entre os agentes que participam do transporte e distribuição de sedimentos na zona costeira, as ondas respondem pela maior parte deste processo. Notadamente, a dispersão de sedimentos ao longo da linha de costa é basicamente determinada pela intensidade e distribuição da energia das ondas e a interação entre a sua propagação com o fundo marinho e/ou obstáculos ao seu deslocamento, o que resulta em modificações na sua altura e trajetória, principalmente através do processo de refração. Há forte correlação entre a altura média das ondas, a inclinação da praia e o tamanho do grão do sedimento (Longuet-Higgins, 1970).

Ao alcançarem a zona litorânea, além de dissiparem sua energia em função da interação com o fundo, as ondas também geram correntes costeiras. A corrente longitudinal e a deriva litorânea de praia compõem a deriva litorânea de sedimentos. A direção e magnitude dessa deriva estão relacionadas, respectivamente, à direção de aproximação da onda em relação à linha de costa e à sua energia. Neste sentido, para uma energia constante, a quantidade máxima de material transportado depende do ângulo com que a onda incide na linha de costa. Conseqüentemente, o aumento ou a diminuição no valor deste ângulo implicará em elevação ou decréscimo da capacidade de transporte.

As principais forçantes da corrente longitudinal são a altura e o ângulo de incidência das ondas (Longuet-Higgins, 1970), portanto, a direção da corrente superficial tende a acompanhar a direção de propagação das ondas na zona de surfe. O vento também influencia a direção da propagação das correntes costeiras, transferindo momentum para a coluna d'água (Feddersen et al., 2007).

Jung (2010), estudando correntes longitudinais na praia de Tramandaí, no Rio Grande do Sul, observou que os fluxos mais intensos ocorrem na presença de ondas altas e

com grande ângulo de incidência em relação à linha de costa. Os valores medidos e estimados possuíam uma correlação linear significativa.

A corrente longitudinal é demasiadamente lenta para transportar os grãos de areia por si mesma, mas tem tal ação facilitada pela região de arrebentação das ondas, que mantém a areia em suspensão e resuspensão. O mecanismo é simples: na superfície da praia, as partículas de areia transportadas pela água que chega descrevem um movimento de zigue-zague na mesma direção da corrente de deriva litorânea, de tal modo que cada onda as movimenta em um pequeno trecho ao longo da praia. Na água, ocorre a mesma coisa: as ondas podem levantar os grãos de areia e a corrente de deriva litorânea imprime a estes grãos um movimento de zigue-zague. Como consequência, a areia é movimentada pela ação da corrente.

O transporte de sedimento pode dar-se por arrasto, rolamento e saltação (a parcela da descarga total que está em maior ou menor contato com o leito durante o transporte), por suspensão (a parcela da descarga total que se move sem contato contínuo com o leito, devido à agitação do fluido em turbulência) e na água, wash load, mas este tipo de transporte é, em geral, desconsiderado no cálculo.

Como toda a região litorânea é muito dinâmica, deve-se ter cautela com quaisquer tipos de construções que bloqueiam a movimentação de areia. Assim, construções como píers ou molhes devem ser acompanhadas por estudos oceanográficos que assegurem o não impedimento dos fluxos de água e areia na região. Como ocorre, por exemplo, na região metropolitana de Fortaleza. Com a construção do Porto do Mucuripe, houve um bloqueio dos sedimentos oriundos da Praia do Futuro, fato que acabou gerando erosão nas Praias a oeste do porto, já que na maior parte do ano o transporte de sedimento que vem da praia do Futuro se dá de Sudeste para Noroeste (Morais, 1980).

Para Pitombeira (1976), a construção do molhe de proteção do Porto do Mucuripe deveria servir para evitar a entrada de ondulações na enseada, e impedir que o transporte litorâneo de sedimentos provocasse o assoreamento da bacia portuária. Todavia o molhe construído ocasionou uma deformação nas ondas incidentes sobre esta região, ocorrendo então à entrada de ondas difratadas na bacia de evolução do Porto do Mucuripe.

Segundo Morais (1980), a hidrodinâmica das águas costeiras, associada às características texturais dos sedimentos, leva a admitir que os tipos predominantes de transporte de sedimentos na costa de Fortaleza são o transporte litorâneo e o transporte frontal, sendo o primeiro muito mais intenso que o segundo. O autor define transporte litorâneo como o transporte paralelo à costa, realizado pelas ondas na zona de rebentação,

devido à direção oblíqua de incidência sobre as praias. E transporte frontal é devido à incidência perpendicular das ondas sobre as praias, levando sedimentos do largo para a praia e vice-versa.

Maia (1998), estudando o balanço sedimentar do litoral de Fortaleza, estimou um transporte de sedimentos na ordem de 860.000 m³/ ano. Seus cálculos mostram como as obras do espigão interceptarão o transporte de sedimentos de forma gradual, passando de uma acumulação inicial de 694.200 m³ no primeiro período (1938-1940), quando a obra era permeável e tinha uma profundidade de -3 metros, a 3.217.000 m³ nos dois anos seguintes (1940-1942), quando a obra interceptava completamente o transporte e o dique alcançava a conta de -12 metros.

Ferreira *et al.* (2002) usou traçadores de areia pintadas com tinta para determinar as taxas de transporte litorâneo em Fortaleza e que, como consequência, formaram a praia Mansa. Ele concluiu que há um deslocamento do sedimento que pode chegar a 30 m/dia, e que devido a processos de refração e difração nos espigões de proteção do porto, a areia transportada para a parte de sombra do molhe formou a praia Mansa. Já Bezerra, Pinheiro e Moraes (2007), estudando a evolução da praia Mansa por fotografias aéreas e imagens Quickbird, constataram uma evolução da área de 0,13843 km² em 1972 para 0,15455 km² em 2003.

Fortaleza é uma cidade costeira que sofre significativa influência antrópica, modificando seu regime de transporte sedimentar. Próximo da costa, o setor oeste da cidade é marcado por diversas obras costeiras como molhes e espigões que geram uma zona de calmaria a jusante. O setor Leste, na praia do Futuro, é uma região aberta à incidência das ondas, como maior atividade hidrodinâmica, com predominância de direção das correntes para noroeste.

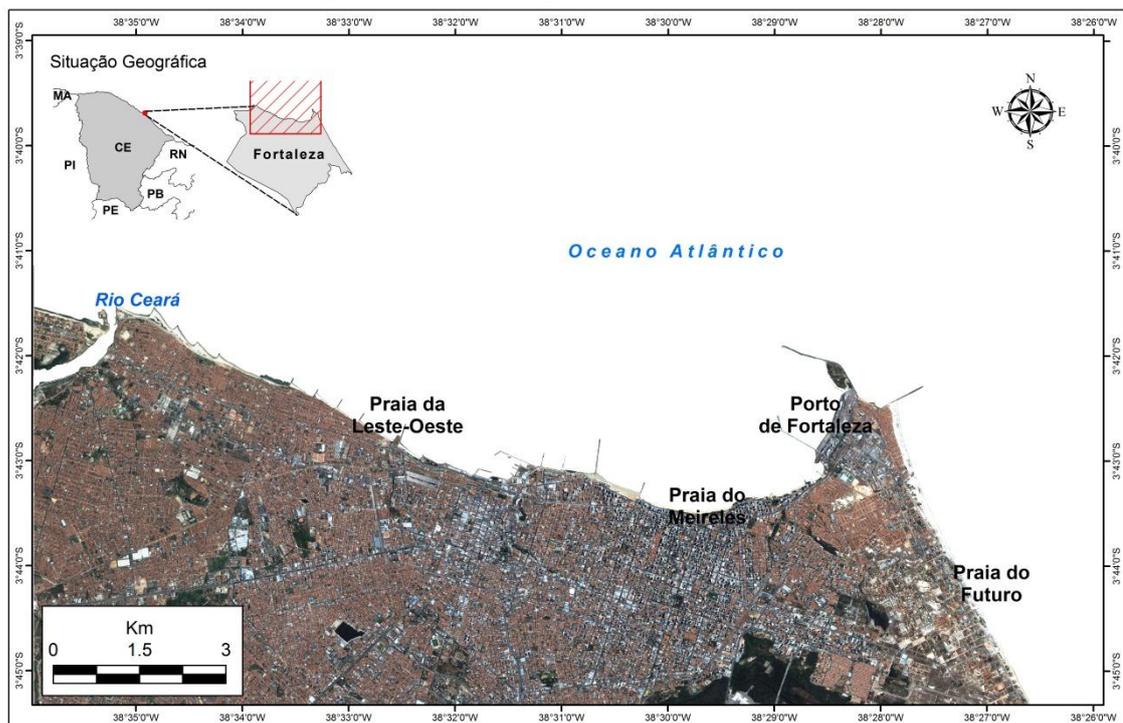
Com a construção do Porto, as praias a oeste foram fortemente erodidas e seu equilíbrio sedimentar modificado por conta do molhe de proteção do porto, que barra o sedimento vindo da praia do Futuro, levando esse sedimento para o fundo do mar, onde atualmente forma um enorme banco arenoso com mais de 3 km de extensão.

1.1 Caracterização da área

1.1.1 Geografia

O município de Fortaleza é limitado ao norte pelo Oceano Atlântico, ao sul pelos municípios de Maracanaú, Pacatuba, Itaitinga e Eusébio, a leste pelos municípios de Eusébio, Aquiraz e a oeste pelos municípios de Caucaia e Maracanaú. Seu litoral possui uma extensão aproximada de 23 km (compreendido entre a foz do rio Cocó e a foz do rio Ceará). Este é segmentado em dois setores pela presença da ponta natural, rochosa, do Mucuripe, onde fica o porto da cidade, de forma tal que a área pode ser dividida em: (1) uma faixa do Rio Cocó ao Porto do Mucuripe, com uma extensão de aproximadamente 8 km; e (2) uma faixa do Porto do Mucuripe até a foz do Rio Ceará, com uma extensão aproximada de 15 km de costa. Ecossistemas naturais e estruturas artificiais encontram-se distribuídas ao longo das duas faixas (figura 1).

Figura 01. Caracterização do litoral de Fortaleza.



Fonte: o autor

Na faixa do rio Cocó até o Porto do Mucuripe situa-se a foz do rio Cocó com manguezal e cordões de beach rocks, além de praias, dunas, espigões costeiros e o próprio Porto; já na faixa do Porto do Mucuripe até o rio Ceará ocorrem praias com cordões de beach rocks, foz de riachos costeiros, paleodunas, calçadões urbanos, aterros litorâneos, pontes litorâneas (piers), a estação de tratamento de esgotos da CAGECE (Companhia de Água e

Esgoto do Ceará) e a foz do rio Ceará, tomados ainda por obras costeiras, tais como espigões e muralhas de proteção.

O ambiente está inserido na planície litorânea com predomínio de areias quartzozas, que apresentam caráter bimodal ao longo da costa. Segundo Morais (1981), os ambientes superficiais submersos marinhos em frente à cidade de Fortaleza caracterizam-se pela ocorrência de sedimentos terrígenos que se estendem da linha de baixa-mar até a profundidade de 10 a 20 metros, em uma faixa bastante estreita. Em seguida, estão as algas calcárias que ocorrem em manchas esparsas na profundidade de 10 a 20 metros e, daí em diante, em bancos contínuos até a borda da plataforma continental.

Morais (1981) diz que há predominância total da fração areia sobre as frações cascalho e silte mais argila na praia do Futuro. Ficando comprovado que os rios locais não têm aporte de sedimentos nem apresentam espigão hidráulico que transporte material para a plataforma. Há uma predominância de areia média nas bermas e linha de maré alta, e areia grossa na zona de maré baixa, representando esta última uma região de maior energia, justamente por ser o local onde há maior frequência de rebentação de ondas. As areias finas predominam nas áreas de descontinuidade litorânea no litoral leste, e no litoral noroeste apenas nos locais onde há ocorrência de dunas. O movimento litorâneo prevalece com o arraste de areia média.

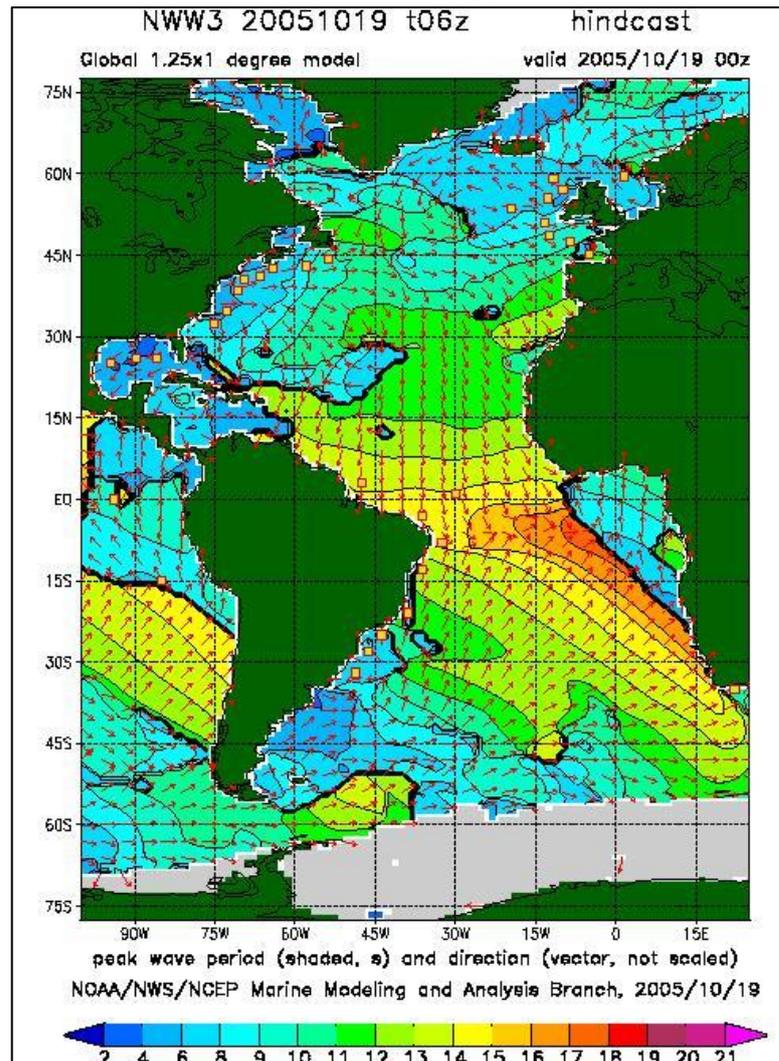
1.1.2 Climatologia

A área estudada fica no Nordeste brasileiro, inserida no semiárido. O regime térmico da região está caracterizado por temperaturas elevadas e baixa amplitude. A temperatura média anual é de 27 °C, com variações inferiores aos 5 °C. O regime pluviométrico é do tipo tropical com chuvas concentradas em 4 meses consecutivos. Geralmente, a estação chuvosa começa no mês de fevereiro, com um máximo no mês de março, e diminui progressivamente no resto do ano até alcançar os valores mínimos nos meses de setembro a novembro. A precipitação média anual situa-se em 1440 mm. O primeiro semestre acumula 93% da precipitação anual. A variação anual da precipitação vem controlada pelo movimento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que, dependendo de sua posição e tempo de permanência sobre a zona, podendo gerar anos com mais ou menos chuvas.

Os ventos são controlados por um movimento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que se desloca de norte a sul com o movimento das estações. Farias, Lorenzetti e Chapron (2011) estudando a origem e formação dos ventos alísios no Atlântico

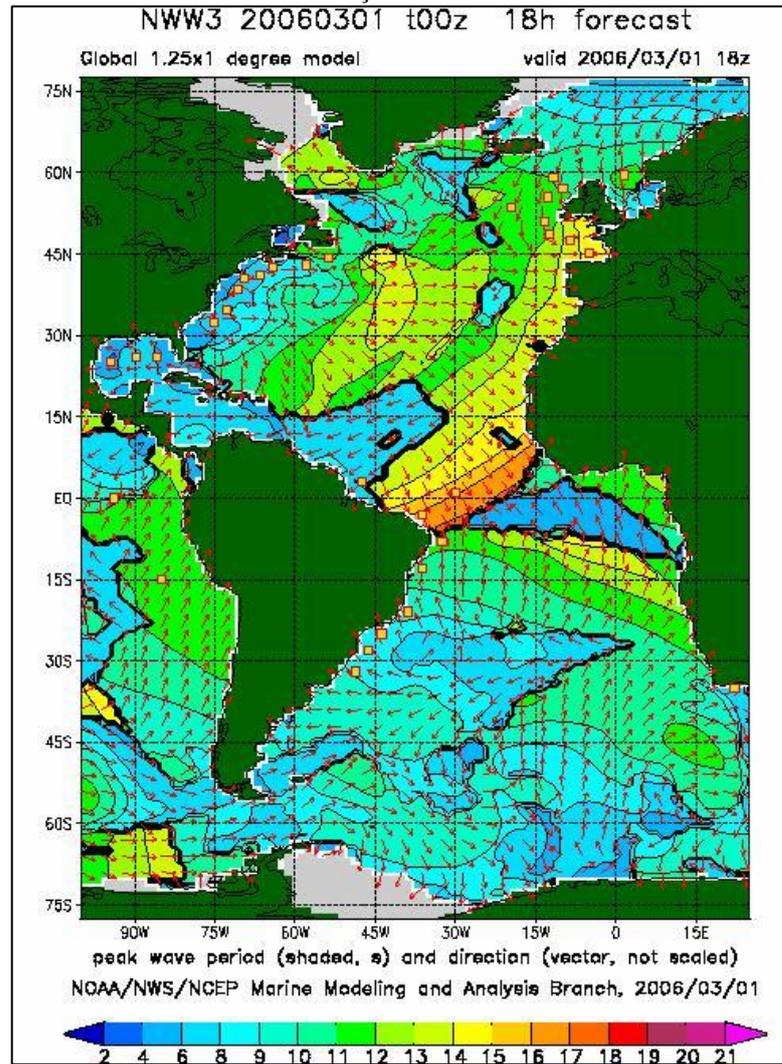
Norte, concluíram que as ondas swell são geradas no Noroeste do Atlântico por fortes sistemas de baixa pressão movendo-se de Sudoeste para Nordeste. Esse sistema de ventos que geram ondas de longo período e grande energia, ao chegarem à costa cearense, podem causar episódios de forte ressaca, como os ocorridos em outubro de 2005 e março de 2006 (figuras 2 e 3).

Figura 02. Direção e período das ondas no Oceano Atlântico gerado pelo modelo wavewatch da NOAA – Outubro de 2005.



Fonte: NOAA

Figura 03. Direção e período das ondas no Oceano Atlântico gerado pelo modelo wavewatch da NOAA – Março de 2006.



Fonte: NOAA

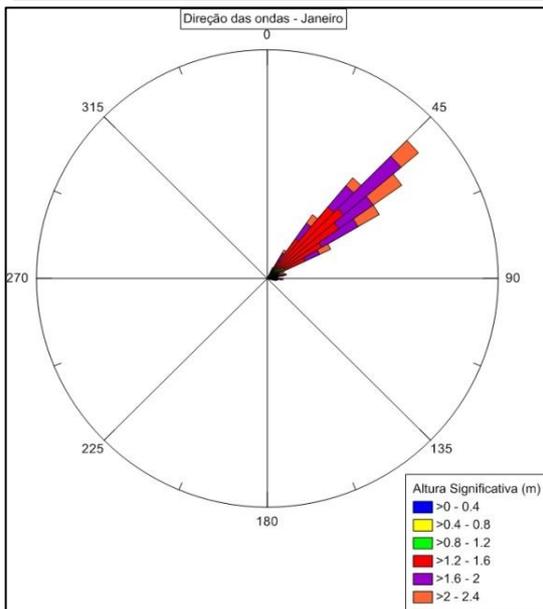
A velocidade média do vento oscila ao longo do ano entre 2.5 e 4.5 m/s, onde os maiores valores são encontrados nos meses de agosto e setembro, e os mínimos nos meses de março a abril. A direção predominante dos ventos está entre sudeste e leste e, com menor frequência, da componente norte e nordeste durante os quatro primeiros meses.

1.1.3 Ondas, Marés e Correntes

De acordo com dados obtidos de uma boia oceanográfica do tipo waverider fundeada a 18 metros de profundidade pelo INPH (Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias) na praia do Pecém, 70 km de Fortaleza, o clima de ondas apresenta dois períodos distintos. O primeiro vai de dezembro a abril, onde temos uma direção principal das ondas vinda de Norte-Nordeste, com períodos variando de 4 a 20 segundos, predominando ondas do tipo swell. Isso ocorre devido à presença marcante da Zona de Convergência

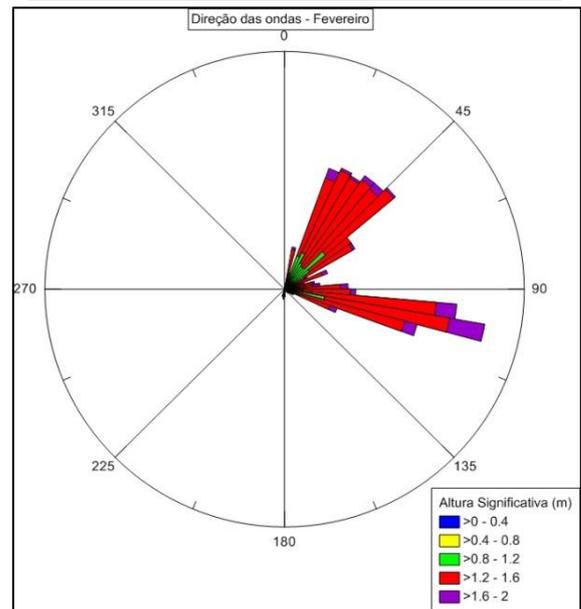
Intertropical e de tempestades extratropicais no Hemisfério Norte. No outro período, de maio até novembro, ocorrem direções de ondas predominantes de Sudeste, com períodos abaixo de 10 segundos, caracterizando ondas do tipo sea, que sofrem maior influência de ventos locais e dos ventos alísios de sudeste. As figuras abaixo correlacionam a direção da onda com sua altura significativa para cada mês do ano de acordo com os dados obtidos da boia oceanográfica fundeada na praia do Pecém (figuras 04 a 15).

Figura 04. Direção das ondas em Janeiro medida por uma boia waverider.



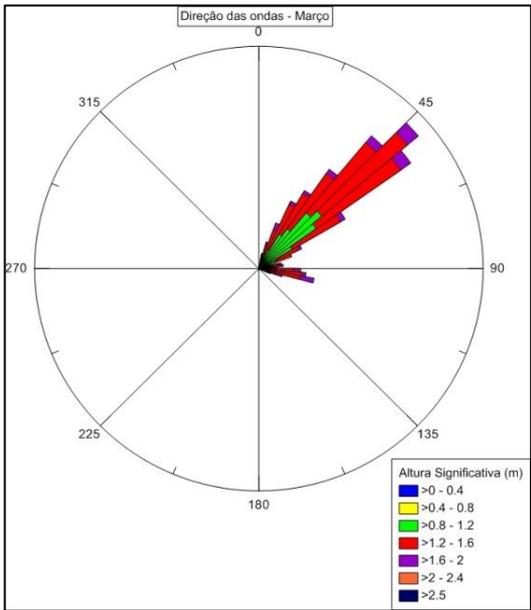
Fonte: o autor

Figura 05. Direção das ondas em Fevereiro medida por uma boia waverider.



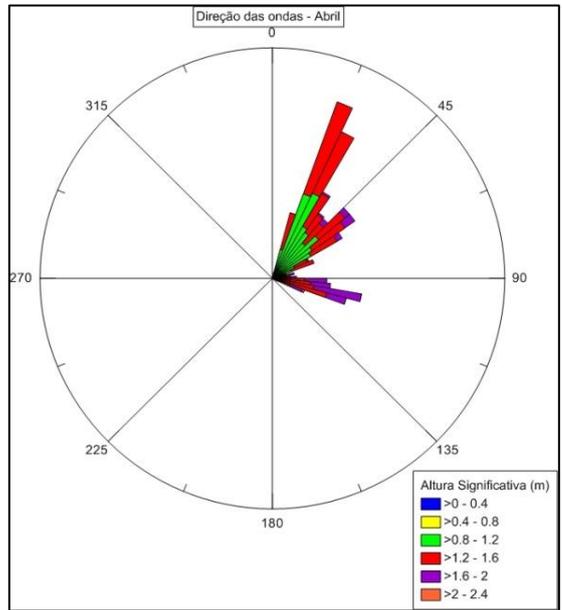
Fonte: o autor

Figura 06. Direção das ondas em Março medida por uma boia waverider.



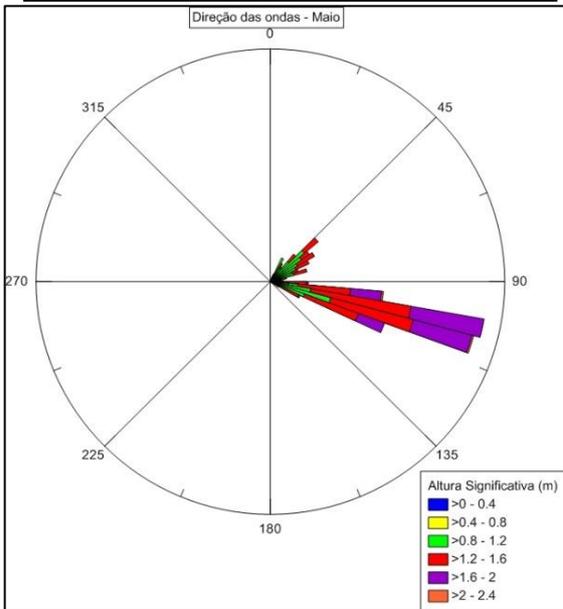
Fonte: o autor

Figura 07. Direção das ondas em Abril medida por uma boia waverider.



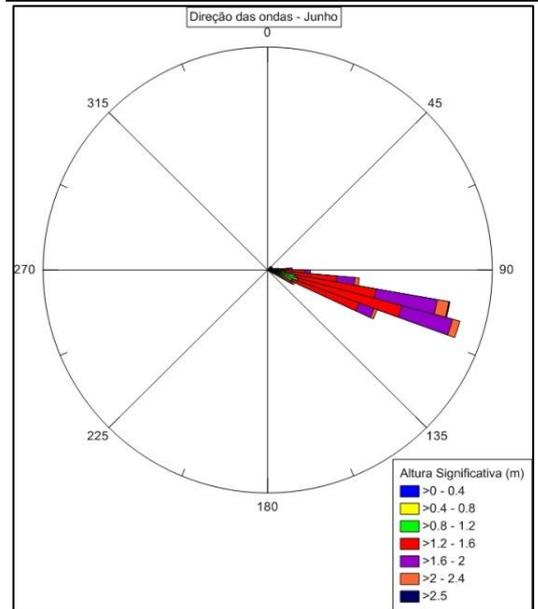
Fonte: o autor

Figura 08. Direção das ondas em Maio medida por uma boia waverider.



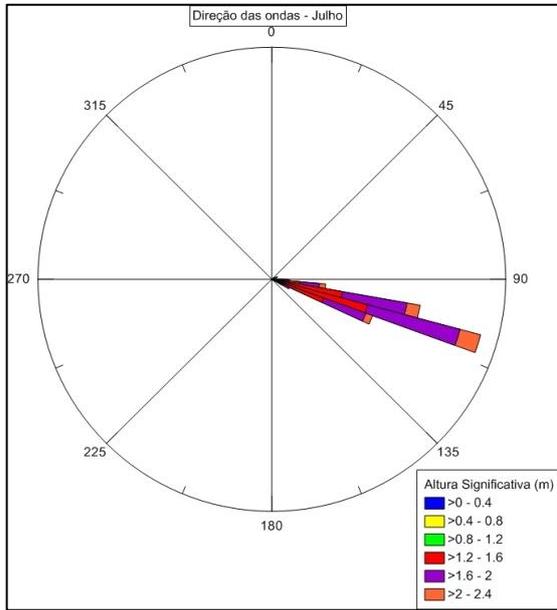
Fonte: o autor

Figura 09. Direção das ondas em Junho medida por uma boia waverider.



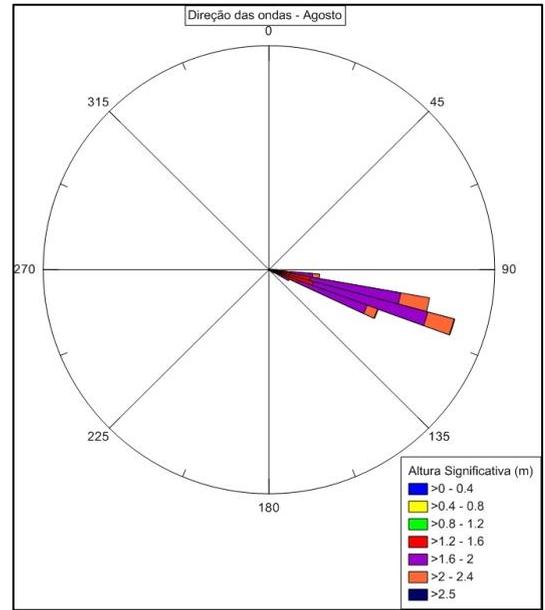
Fonte: o autor

Figura 10. Direção das ondas em Julho medida por uma boia waverider.



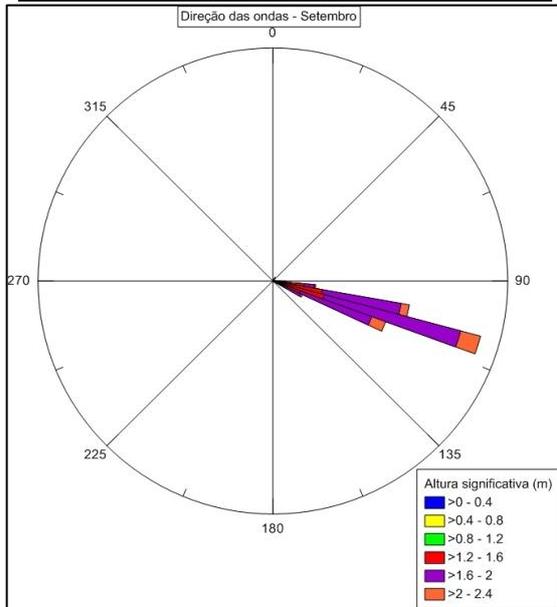
Fonte: o autor

Figura 11. Direção das ondas em Agosto medida por uma boia waverider.



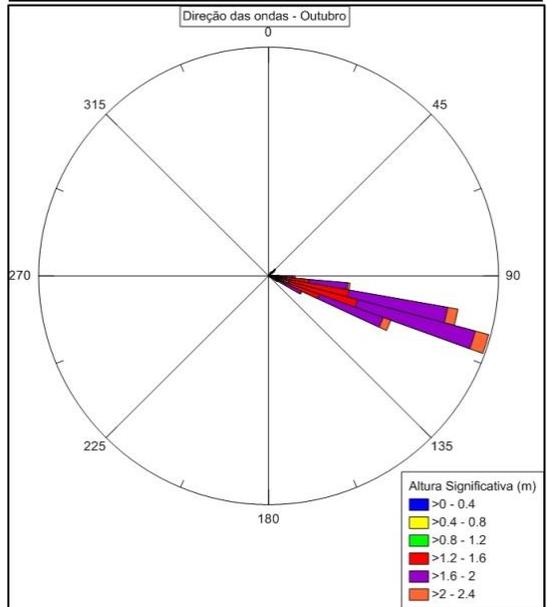
Fonte: o autor

Figura 12. Direção das ondas em Setembro medida por uma boia waverider.



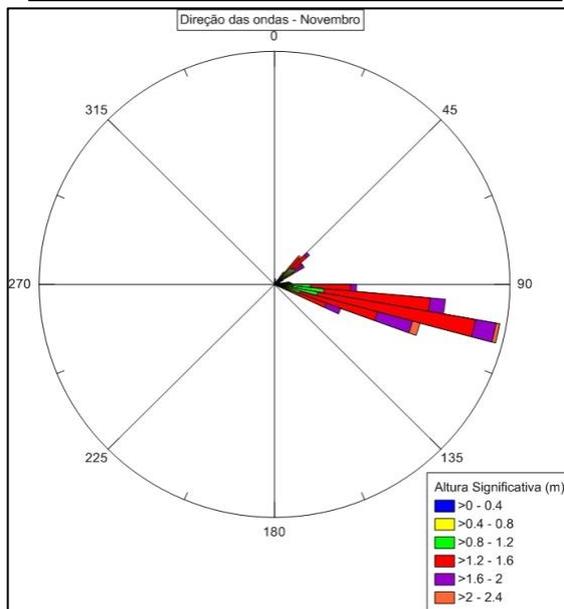
Fonte: o autor

Figura 13. Direção das ondas em Outubro medida por uma boia waverider.



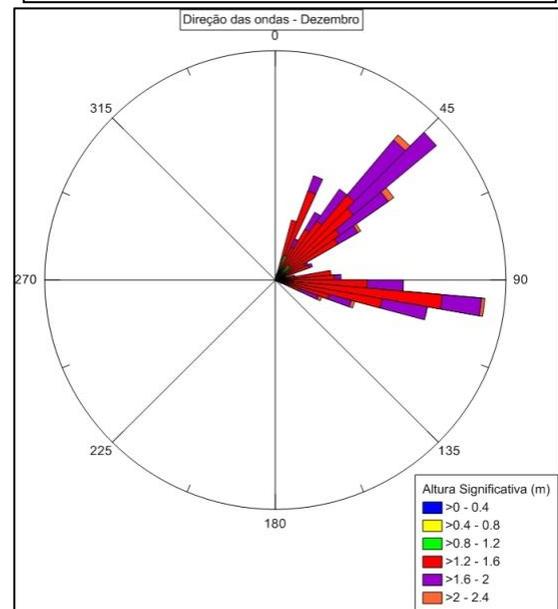
Fonte: o autor

Figura 14. Direção das ondas em Novembro medida por uma boia waverider.



Fonte: o autor

Figura 15. Direção das ondas em dezembro medida por uma boia waverider.



Fonte: o autor

Pitombeira (1976) levantou dados sobre a distribuição das direções de ataque das ondas na costa de Fortaleza. Ele determinou-se que as maiores taxas de ondas vêm de Sudeste, com grande percentual para ondas de Leste também.

Maia (1998) ao estudar dados entre 1993 e 1994, observou ondas com altura significativa com moda de 1,14 m, média de 1,15 m, com desvio padrão de 0,21 m. Já em relação ao período, observou valor mais frequente de 5,7 s, uma média de 5,89 s, e um desvio padrão de 0,85. Foi Caracterizado que 94.2% das ondas são do tipo sea, e o restante são ondas do tipo swell.

Carvalho, Maia e Dominguez (2007) estudaram a deriva e o transporte de sedimentos no trecho entre Cumbuco e Matões, no litoral do Ceará, encontrando principalmente ondas do tipo sea, e direções de corrente predominantes de noroeste. Em seu estudo, foram aplicadas técnicas clássicas de confecção de diagramas de refração de ondas, sendo que os autores destacam que a refração das ondas é responsável pela maior parte dos processos erosivos e transporte de sedimentos verificados ao longo da linha de costa do Ceará.

Fortaleza possui um regime de mesomaré, com maré semidiurna, e um ciclo de maré (uma preamar e uma baixamar) de aproximadamente 12 horas e 25 minutos, e a amplitude da maré na região tem variações de até 3,1 metros (Maia, 1998).

Maia (1998), utilizando derivadores no porto do Mucuripe, descreveu que o valor da velocidade das correntes superficiais variou no período de estiagem entre 0.22 e 0.68 m/s,

com um valor médio de 0.34 m/s, e no período de chuvas a velocidade média foi ligeiramente inferior (0.25 m/s) e apresenta uma maior taxa de variação (0.08 a 0.58 m/s).

Enquanto que Vieira, Pitombeira e Souza (2007), estudando as alterações da linha de costa e o transporte de sedimentos no litoral do Pecém, concluíram que o regime de ondas apresenta-se de dois tipos: ondas do tipo sea sob influência do vento na área de geração (aparecem próximas à linha de costa do Pecém com direções de 75° a 120°); e ondas do tipo swell, ondas fora da área de geração e não mais sob a influência do vento (originam-se no Hemisfério Norte e chegam ao local do porto do Pecém vindo de N-NE, com uma direção média das ondas, para períodos entre 10 a 16 segundos, de cerca de 20° a 45°).

2. OBJETIVOS

Geral

O presente trabalho visa quantificar o transporte longitudinal dos sedimentos que ocorre no litoral de Fortaleza e conseqüentemente, estimar e interpretar as variações no balanço sedimentar da região.

Específicos

Comparar uma metodologia teórica utilizando o software ACES (Automated Coastal Engineering System) com uma nova metodologia de medição de correntes longitudinais utilizando um perfilador acústico ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler).

3. JUSTIFICATIVA

O transporte sedimentar pode indicar supostas alterações de origem antrópica ou natural na dinâmica do ambiente. É possível determinar a dispersão de poluentes que ficam adsorvidos nas partículas dos grãos finos (metais, minerais pesados, substâncias orgânicas), além de ser uma ferramenta de auxílio à engenharia costeira, determinando se construções no mar (pontes, tuneis, portos, píers, quebra-mares, entre outros), dragagens de canais, ou até o fluxo de embarcações poderão alterar significativamente o ambiente. O entendimento dos processos responsáveis pela morfodinâmica dos ambientes costeiros, e pela formação e migração dos bancos arenosos, é necessário tendo em vista que tais processos assumem um importante papel na conformação, estabilização do ambiente praias e identificação de riscos costeiros. A capacidade de previsão da dinâmica sedimentar é elemento fundamental para gestão adequada das zonas costeiras, também sujeita às intempéries capazes de causar o avanço do mar sobre o litoral, resultando em ressaca do mar, causada pelos fortes ventos e fortes marés, a exemplo do que já ocorreu por diversas vezes em Fortaleza, Ceará, na praia de Iracema.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho, a fim de se estimar quantitativamente e qualitativamente o volume de sedimento transportado por deriva litorânea no litoral de Fortaleza, utilizou-se duas metodologias distintas, para em seguida serem comparadas. No primeiro estudo foi feita uma análise utilizando dados de ondas no software ACES (Automated Coastal Engineering System) para uma estimativa teórica da deriva litorânea anualmente nas praias do Futuro, Meireles e Leste-Oeste. No segundo estudo, utilizou-se de um perfilador acústico ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) para cálculo da vazão em perfis realizados na praia do Futuro e praia da Leste-Oeste para chegar a um valor do volume de sedimento transportado anualmente nestes dois setores da cidade.

4.1 Estudo teórico

A primeira parte do trabalho compreendeu coletar dados de Direção e Altura Significativa de um ondógrafo do tipo boia “*waverider*”, instalado nas coordenadas 03°29’31’’S – 38°59’03’’W, em uma área com 18 metros de profundidade, pelo INPH (Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias) no porto do Pecém, situado 70 km de Fortaleza.

O ondógrafo determina a altura das ondas a partir dos movimentos gerados pela boia, que são registrados continuamente por períodos de 20 minutos, e transmitidos por rádio para uma base. Posteriormente os dados são reduzidos através de análise espectral para descritores como altura máxima, altura significativa, período e direção de ondas. Altura Significativa é definida como a altura média do terço superior. O período utilizado no presente estudo consiste de 27 meses de dados coletados de março de 1997 a maio de 1999.

A principal fonte de energia para a movimentação do sedimento é proveniente das ondas, que por sua vez se originam devido à ação de ventos sobre a superfície do mar. Há forte correlação entre a altura média das ondas, a direção da onda, o ângulo de inclinação da praia e a granulometria (tamanho do grão do sedimento). Quando as ondas são grandes, removem os grãos menores deixando somente os maiores e mais difíceis de carregar.

Para se estudar a deriva litorânea, é necessário entendermos que o transporte de sedimento depende do tamanho do grão. Quanto menor o grão do sedimento, maior será o transporte. No cálculo de transporte de sedimento, é necessário obter uma constante empírica K , que nos indica a relação entre o diâmetro médio do grão de sedimento (D_{50}), em mm, e seu potencial de transporte. Essa constante, segundo Del Valle, Medina e Losada (1993), pode ser calculada da seguinte forma:

$$K = 1,4 * \exp^{(-2,5 * D_{50})} \quad (01)$$

onde D_{50} é o diâmetro médio do grão de sedimento, em mm, numa localidade que se quer estudar.

Maia (1998), através de simulações, obteve uma constante K calibrada para um valor de 0,17, mostrando que a partir das análises de diversos resultados, esse valor facilitou o entendimento do transporte de sedimento proveniente da deriva para o litoral de Fortaleza.

De posse dos valores de direção de ondas, Altura Significativa e da constante K, utilizou-se o programa ACES para o cálculo de transporte longitudinal (figura 16). O Sistema automatizado de Engenharia Costeira (ACES) é um software projetado para rodar em microcomputadores que contenham o sistema operacional Windows e apresenta soluções para vários problemas de engenharia costeira. Os métodos no ACES podem ser clássicos movimentos de onda, as expressões resultantes de testes com estruturas em canais de onda, e recentes modelos numéricos descrevendo a troca de energia entre a atmosfera e a superfície do mar.

Figura 16. Interface do software ACES

The screenshot shows the ACES software interface running in a DOSBox window. The window title is 'DOSBox 0.74, Cpu speed: 3000 cycles, Frameskip 0, Program: ACES'. The interface displays the following information:

- Mode: Single Case
- Functional Area: Littoral Processes
- Application: Longshore Sediment Transport

The main data is presented in a table titled 'Deepwater Wave Conditions':

Item	Units	Value
Deepwater Wave Height	m	1.000
Deepwater Angle of Wavecrest	deg	22.500
Coefficient K		0.170
Transport Rate	cu m/yr	617370.

Below the table, the following options are listed:

OPTIONS:
 F1: New Case
 F3: Print Screen
 F10: Exit Application

Fonte: Manual ACES

Neste trabalho foi usado o aplicativo de Transporte de Sedimentos Litorâneo para águas profundas. O método utilizado é baseado na relação empírica entre o componente de

fluxo de energia da onda próxima a costa que entram na zona de surf e do peso submerso de areia movida.

Com os dados de Direção da onda e Altura Significativa, foram criadas tabelas de dispersão conjunta para cada mês do ano, ou seja, uma relação entre a Direção da onda e a Altura Significativa (tabela 1). Criaram-se intervalos das Direções de 15 em 15 graus e da Altura Significativa de 0,1 em 0,1 metros. Em seguida gerou-se uma segunda tabela para cada mês do ano com o referencial percentual de cada par de dados da tabela anterior (tabela 2). Os valores percentuais foram multiplicados pelos valores de transporte calculados no programa ACES, para dessa forma encontrar o valor real de transporte para cada par de dados do mês especificado.

Tabela 1. Exemplo de tabela de dispersão conjunta entre Direção (D) e Altura Significativa (Hs) das ondas.

D / Hs	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0	1,0 - 1,1	1,1 - 1,2	1,2 - 1,3	1,3 - 1,4	1,4 - 1,5	1,5 - 1,6	1,6 - 1,7	1,7 - 1,8	1,8 - 1,9
0-15												
15-30			1									
30-45	2	2	3	5	3	3						
45-60	7	3	1	5	14	6	3	2				
60-75				1	2		2					
75-90												
90-105		1	4	1	1	2	1	1	1	1	2	
105-120			6	7	3	4	2	1	5	3	2	2

Fonte: o autor

Tabela 2. Exemplo de tabela com as porcentagens correspondentes de cada par de Direção (D) pela Altura Significativa (Hs).

D / Hs	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1,0	1,0 - 1,1	1,1 - 1,2	1,2 - 1,3	1,3 - 1,4	1,4 - 1,5	1,5 - 1,6	1,6 - 1,7	1,7 - 1,8	1,8 - 1,9
0-15												
15-30			0,01									
30-45	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03						
45-60	0,06	0,03	0,01	0,04	0,12	0,05	0,03	0,02				
60-75				0,01	0,02		0,02					
75-90												
90-105		0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	
105-120			0,05	0,06	0,03	0,03	0,02	0,01	0,04	0,03	0,02	0,02

Fonte: o autor

Para que possa calcular a taxa de transporte de sedimentos, o programa ACES necessita de um ajuste. O ondógrafo mede a direção da onda de acordo com o norte verdadeiro. Mas ao se fazer os cálculos de deriva, precisa-se saber o ângulo com que a onda chega à linha de costa. A praia do Futuro possui um ângulo de 330°, a praia do Meireles possui um ângulo de 270° e a praia da Leste-Oeste possui um ângulo de 300°. Então, Tirou-se uma média de cada intervalo das classes das direções da tabela, e calculou-se o ângulo formado entre a reta normal da linha de costa e a direção da onda incidente (tabela 3). Na praia do Futuro, devido sua inclinação, ondas com direções entre 0° e 60° tem a direção do seu transporte contrário ao

seu fluxo dominante de sudeste para noroeste. A praia da Leste-Oeste também apresenta uma direção do seu transporte contrário ao fluxo dominante, de leste para oeste, para ondas com direções entre 0° e 30°. Já a praia do Meireles não apresenta variações devido ao ângulo de sua costa ser praticamente paralelo ao eixo leste-oeste.

Tabela 3. Ângulos que as ondas fazem com a costa nas praias do Futuro (PF), praia do Meireles (PM) e praia da Leste-Oeste (PLO). A cor rosa representa transporte negativo, ou seja, contrário à direção predominante da deriva. A cor azul representa transporte positivo da deriva. E a cor amarela indica que não existe transporte para esses ângulos nas praias em destaque.

Variação (graus)	Média (graus)	ang. costa PF (graus)	ang. costa PM (graus)	ang. costa PLO (graus)
0 – 15	7.5	52.5	7.5	22.5
15 – 30	22.5	37.5	22.5	7.5
30 – 45	37.5	22.5	37.5	7.5
45 – 60	52.5	7.5	52.5	22.5
60 – 75	67.5	7.5	67.5	37.5
75 – 90	82.5	22.5	82.5	52.5
90 – 105	97.5	37.5	97.5	67.5
105 – 120	112.5	52.5	112.5	82.5
120 – 135	127.5	67.5	127.5	97.5

Fonte: o autor

Após calcular o transporte para cada par de dados, os valores foram divididos por 12, porque o programa ACES calcula o transporte em m³/ano, e se deseja saber o transporte mensal. Em seguida, foi multiplicado o valor encontrado com a porcentagem correspondente a ele, encontrado o percentual da deriva para cada par de dados. Numa última etapa, somou-se todos os valores encontrados em cada par, para ter o total de transporte por mês. Também, para análises posteriores, somou-se o total de transporte para todos os meses de cada praia estudada, a fim de obter a deriva total anual.

4.2 Estudo experimental

Para o estudo experimental da deriva litorânea em Fortaleza foram realizadas 4 campanhas oceanográficas em embarcação local: duas na praia do Futuro, nos dias 29/07/2011 e 27/10/2011, e as outras duas na praia da Leste-Oeste, nos dias 04 e 11/10/2011.

O experimento consistia em navegar com um ADCP instalado, submerso 50 cm, e firmemente preso a uma embarcação local (figura 17). Este equipamento transmite ondas sonoras através da água, com frequências pré-determinadas (neste caso, 300, 600 e 1200 kHz). O som induzido pelo instrumento consegue captar material particulado em suspensão, ao longo da coluna d'água, os quais refletem o som ecoando de volta ao sensor. Medindo-se a

frequência dos ecos que retornam do material em suspensão e comparando-a com a frequência do som emitido, o ADCP determina a velocidade da partícula que é a mesma da corrente da água, podendo também medir a vazão instantânea em m^3/s . Para melhor obtenção de qualidade dos dados, faz-se necessária a calibração ao norte magnético e o nivelamento da sonda no costado da embarcação, evitando desvios, já que os eixos x, y e z devem formar planos o mais próximo possível dos ângulos Zênite e Nadir (0° na horizontal e vertical). A navegação é feita à velocidade mínima de governo, ou seja, velocidade pouco maior que a das correntes para que a embarcação não seja dominada pelas forças dos fluxos marinhos nem pelo vento, e não desvie a direção da embarcação sobre o perfil nem interfira nas medidas de velocidade. Depois de ligado o equipamento, foi definido um sistema de captura de dados a cada 5 segundos os quais são transmitidos a um laptop onde são armazenados os dados em forma de perfis (figura 18).

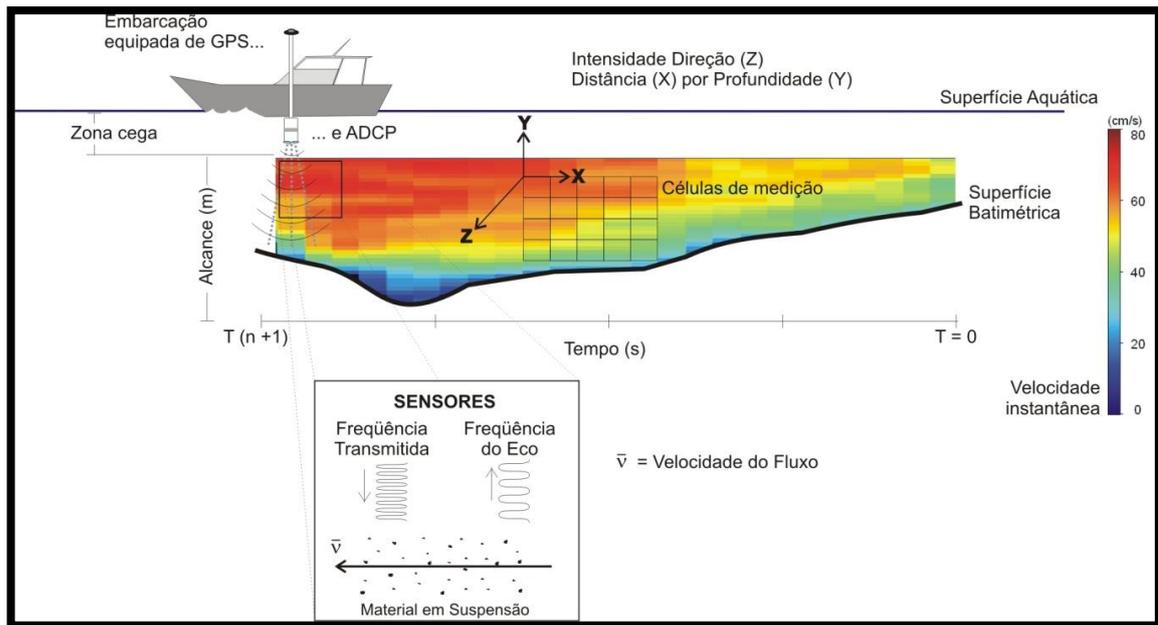
Durante as campanhas, foram feitas coletas de água a cada hora na superfície, meio e fundo da camada d'água, para analisar o material em suspensão, necessário a futuros cálculos de deriva litorânea. Para a coleta de águas foi utilizada uma garrafa de Van Dorn de 10 litros (figura 19).

Figura 17. Modelo ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) utilizado no trabalho.



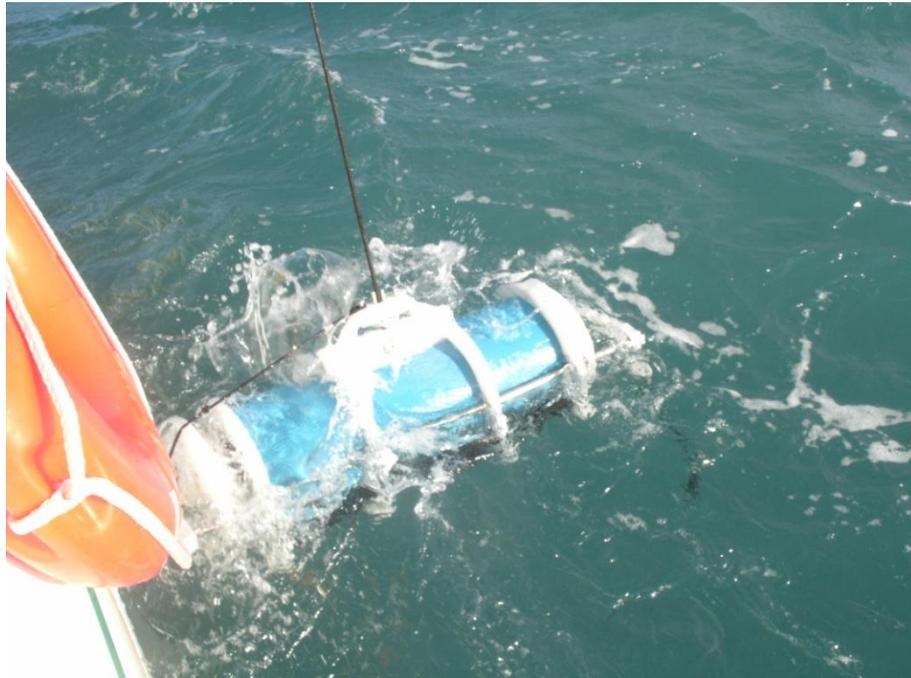
Fonte: Alliance for Coastal Technologies

Figura 18. Ilustração do funcionamento do perfilador de correntes ADCP.



Fonte: o autor

Figura 19. Coleta de água para análise de material em suspensão realizada durante as campanhas com uma garrafa de Van Dorn.



Fonte: o autor

Dessa forma, em coordenadas pré-estabelecidas, foram feitos quatro perfis em quadrado de 1x1 quilômetro tanto nas campanhas da praia do Futuro como na praia da Leste-Oeste (tabela 4). Cada campanha teve uma duração de 13 horas, correspondendo a um período de maré (uma prea-mar e uma baixa-mar), sendo que na cidade de Fortaleza esse período corresponde a aproximadamente 12h25min. As campanhas da praia do Futuro foram

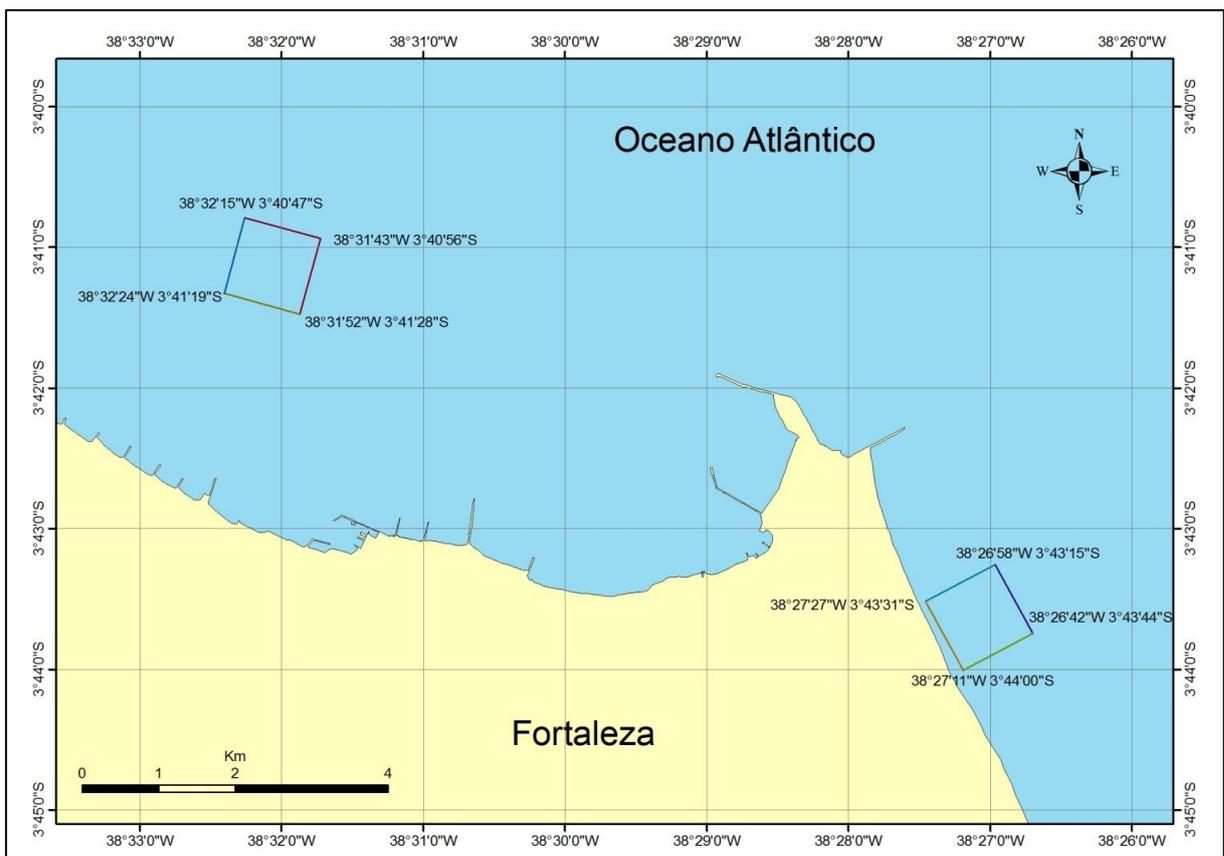
realizadas próximo à costa, em frente à barraca “Croco Beach”. Já as campanhas da praia da Leste-Oeste foram realizadas mais distantes da costa, próximo à desembocadura do emissário submarino da cidade (figura 20). Todos os perfis foram feitos para determinar a direção predominante das correntes e a vazão instantânea, para depois, junto com o valor do material em suspensão coletado na água, poder estimar uma taxa anual de transporte.

Tabela 4. Coordenadas das campanhas realizadas em quadrado na praia do Futuro e na praia da Leste-Oeste.

Ponto	Futuro	Leste-Oeste
1	38°27'27"W 3°43'31"S	38°31'52"W 3°41'28"S
2	38°27'11"W 3°44'00"S	38°32'24"W 3°41'19"S
3	38°26'42"W 3°43'44"S	38°32'15"W 3°40'47"S
4	38°26'58"W 3°43'15"S	38°31'43"W 3°40'56"S

Fonte: o autor

Figura 20. Imagem com a localização dos quadrados feitos nas praias do Futuro e da Leste-Oeste para medição de vazão.



Fonte: o autor

Após a coleta dos dados, em laboratório, as vazões em cada campanha foram agrupadas em planilhas, de acordo com cada perfil, analisando o sentido da direção da embarcação em relação à direção da corrente. Em cada campanha, tirou-se uma vazão média representativa de cada dia. Em seguida, as amostras de água foram analisadas para se tirar uma média da quantidade de material em suspensão presente em cada campanha.

Com os valores da vazão e do material em suspensão, é possível encontrar a massa de sedimento transportado. Para se encontrar o volume de material transportado, dividiu-se a massa pela densidade do material. Como o sedimento é composto basicamente de quartzo, utilizou-se a densidade do granito (2450 kg/m^3) para se obter um transporte em m^3/ano . Entretanto, sabe-se que apenas 60% da densidade do granito, ou seja, 1450 kg/m^3 são representativos do peso do sedimento, pois os outros 40% correspondem a ar e água que fica entre as partículas do sedimento. Logo, dividiu-se o valor da massa calculada em kg/ano pelo valor representativo da densidade do granito, em kg/m^3 . Dessa forma, o objetivo foi encontrar o volume de sedimento transportado anualmente.

Também foi feita uma análise do comportamento da vazão em relação à variação do nível da maré no dia da campanha. E geradas imagens com os vetores direção da corrente por velocidade.

5. RESULTADOS

5.1 Resultado Teórico

A seguir serão apresentadas para cada mês do ano as tabelas de transporte de sedimento para cada par de dados entre o ângulo que onda incide na linha de costa e sua altura significativa. As direções predominantes são referentes ao trem de onda que chega a praia. Também será mostrado o somatório de todos os meses para uma estimativa do valor anual de transporte.

5.1.1 Janeiro

A praia do Futuro apresentou um transporte de sedimentos contrário à direção predominante (de sudeste para noroeste). A direção predominante de transporte foi entre 45° e 60°, sendo que $Q = -57686 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 5).

A praia do Meireles apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60°, sendo $Q = 190486 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 6).

A praia da Leste-Oeste apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60°, sendo $Q = 143160 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 7).

Tabela 5. Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de janeiro.

D/H	âng.	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	Total
7,5	52,5															
22,5	37,5	-128		-202	-246	-1186	-352									
37,5	22,5	-97	-1111	-2455	-4872	-4962	-5092	-1260	-3298	-2537	-4355	-4401	-4351	-2095		
52,5	7,5	-254	-552	-1486	-2304	-2689	-2596	-2112	-1775	-3150	-5589	-6559	-5094	-1821	-581	
67,5	7,5	145	46	514	489	672	399	117	273	315	1082	1640	695	520		
82,5	22,5	97		920	375	1128	536	315	366			550	1865			
97,5	37,5			202	986	297	1410	1656	482		1273	723	817		1026	
112,5	52,5							388							960	-57686

Fonte: o autor

Tabela 6. Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de janeiro.

D/H	âng.	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	Total
7,5	7,5															
22,5	22,5	97		153	187	902	268									
37,5	37,5	128	1461	3228	6407	6525	6696	1656	4337	3336	5727	5788	5721	2754		
52,5	52,5	838	1823	4909	7611	8883	8576	6977	5863	10406	18464	21667	16829	6015	1921	
67,5	67,5	312	99	1108	1052	1448	860	253	588	678	2329	3531	1496	1120		
82,5	82,5	22		207	84	253	120	71	82			123	418			
97,5	N.E.															
112,5	N.E.															190486

Fonte: o autor

Tabela 7. Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de janeiro.

D/H	âng.	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	Total
7,5	22,5															
22,5	7,5	-36		-57	-70	-336	-100									
37,5	7,5	36	414	914	1815	1849	1897	469	1229	945	1623	1640	1621	780		
52,5	22,5	681	1481	3989	6184	7217	6968	5669	4764	8455	15002	17605	13673	4887	1560	
67,5	37,5	512	162	1816	1725	2373	1410	414	964	1112	3818	5788	2452	1836		
82,5	52,5	120		1133	461	1388	660	388	451			677	2295			
97,5	N.E.															
112,5	N.E.															143160

Fonte: o autor

Observa-se que a maior taxa de transporte de sedimentos se dá na praia do Meireles, sendo 3,3 vezes maior do que na praia do Futuro e 1,3 vezes maior do que na praia da Leste-Oeste.

5.1.2 Fevereiro

A praia do Futuro apresentou uma direção predominante de transporte entre 90° e 105°, sendo que $Q = 12242 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 8).

A praia do Meireles apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 15° e 30°, sendo $Q = 70534 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 9).

A praia da Leste-Oeste apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60°, sendo $Q = 31213 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 10).

Tabela 8. Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de fevereiro.

D/H	âng.	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	Total
7,5	52,5		-83	-105	-522	-638	-576	-684	-536				
22,5	37,5	-136	-531	-1122	-4046	-4090	-2666	-4387	-2005	-666			
37,5	22,5		-269	-1280	-3501	-4147	-6083	-5004	-1742	-1014			
52,5	7,5		-150	-827	-1067	-1159	-1394	-690	-243		-109		
67,5	7,5		50	127	237	579	116	207	487	94			
82,5	22,5		67	427	955	1814	936	1297	653	507	585		
97,5	37,5	68		786	3627	5623	9229	8042	5155	3999	1153		
112,5	52,5		83	315	914	3987	2495	3193	2412	2183		412	
127,5	67,5		54	205	85	104	125	149	175				12242

Fonte: o autor

Tabela 9. Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de fevereiro.

D/H	âng.	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	Total
7,5	7,5		25	32	158	193	174	207	162				
22,5	22,5	103	404	853	3076	3110	2028	3336	1524	507			
37,5	37,5		354	1683	4604	5453	7999	6580	2291	1333			
52,5	52,5		497	2731	3525	3828	4607	2281	804		360		
67,5	67,5		108	274	511	1248	250	446	1048	203			
82,5	82,5		15	96	214	407	210	291	147	114	131		
97,5	N.E.												
112,5	N.E.												
127,5	N.E.												70534

Fonte: o autor

Tabela 10. Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de fevereiro.

D/H	âng.	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	Total
7,5	22,5		-67	-85	-424	-518	-468	-556	-436				
22,5	7,5	-39	-150	-318	-1146	-1159	-755	-1243	-568	-189			
37,5	7,5		100	477	1304	1545	2266	1864	649	378			
52,5	22,5		404	2219	2864	3110	3743	1853	653		292		
67,5	37,5		177	449	837	2045	410	731	1718	333			
82,5	52,5		83	525	1175	2233	1152	1597	804	624	720		
97,5	N.E.												
112,5	N.E.												
127,5	N.E.												31213

Fonte: o autor

Observa-se que a maior taxa de transporte de sedimentos se dá na praia do Meireles, sendo 5,8 vezes maior do que na praia do Futuro e 2,3 vezes maior do que na praia da Leste-Oeste.

5.1.3 Março

A praia do Futuro apresentou um transporte de sedimentos contrário à direção predominante (de sudeste para noroeste), com uma direção predominante de transporte entre 30° e 45°, sendo que $Q = -25784 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 11).

A praia do Meireles apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60°, sendo $Q = 95288 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 12).

A praia da Leste-Oeste apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60°, sendo $Q = 54575 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 13).

Tabela 11. Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de março.

D/H	âng.	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	Total
7,5	52,5		-79	-101		-458	-184	-655		-597		-394				
22,5	37,5	-130	-169	-1182	-3339	-3263	-1767	-2100	-548	-319	-1472	-421	-479			
37,5	22,5	-148	-1159	-3432	-6501	-5831	-4032	-1420	-1043	-1213	-840					
52,5	7,5	-55	-576	-1309	-2535	-2635	-2559	-1388	-699	-362	-521	-358				
67,5	7,5	74	240	213	189	462	445	264	466							
82,5	22,5		129	82	508	620	896	1420	417	243	560	1282			462	
97,5	37,5		169	860	1069	2610	2749	3733	3564		1104	421	958			
112,5	52,5		79	402	375	611	184	655		597	1378					-25784

Fonte: o autor

Tabela 12. Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de março.

D/H	âng.	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	Total
7,5	52,5		24	30		139	56	198		181		119				
22,5	37,5	99	129	899	2539	2481	1344	1597	417	243	1120	320	364			
37,5	22,5	195	1524	4513	8548	7668	5302	1867	1371	1595	1104					
52,5	7,5	183	1902	4324	8376	8704	8454	4586	2310	1194	1722	1183				
67,5	7,5	159	517	459	407	995	958	569	1004							
82,5	22,5		37	23	139	168	239	374	109	63	144					
97,5	N.E.															
112,5	N.E.															95288

Fonte: o autor

Tabela 13. Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de março.

D/H	âng.	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	Total
7,5	52,5		-64	-82	0	-372	-149	-532		-485		-320				
22,5	37,5	-37	-48	-335	-946	-924	-501	-595	-155	-90	-417	-119	-136			
37,5	22,5	55	432	1279	2422	2172	1502	529	388	452	313					
52,5	7,5	148	1545	3514	6805	7072	6869	3726	1877	971	1399	961				
67,5	7,5	260	847	752	668	1632	1571	933	1645							
82,5	22,5		158	101	625	764	1103	1747	513	299	689	1577			569	
97,5	N.E.															
112,5	N.E.															54575

Fonte: o autor

Observa-se que a maior taxa de transporte de sedimentos se dá na praia do Meireles, sendo 3,7 vezes maior do que na praia do Futuro e 1,7 vezes maior do que na praia da Leste-Oeste.

5.1.4 Abril

A praia do Futuro apresentou um transporte de sedimentos com uma direção predominante de transporte entre 90° e 105°, sendo que $Q = 28081 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 14).

A praia do Meireles apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60°, sendo $Q = 66154 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 15).

A praia da Leste-Oeste apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60°, sendo $Q = 46504 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 16).

Tabela 14. Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de abril.

D/H	âng.	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	Total
7,5	52,5						-341									
22,5	37,5	-216	-290	-472	-1799	-2236	-1274	-1096	-781							
37,5	22,5	-82	-883	-2227	-3192	-2607	-2492	-2500	-1782	-1163	-542					
52,5	7,5	-46	-329	-803	-1257	-1267	-1496	-1055	-1106	-780	-403	-233	-133			
67,5	7,5	15	21	348	306	422	567	435	369	87	101					
82,5	22,5			72	182	1020	1246	1833	396	698	1083	625	358			
97,5	37,5		73	283	959	2236	3095	4602	3385	3672	5341	4929	3761	1604		
112,5	52,5			354	673	837	852	3897	2193	2291	1999	1922	1760	1501	565	28081

Fonte: o autor

Tabela 15. Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de abril.

D/H	âng.	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	Total
7,5	7,5						103									
22,5	22,5	165	221	359	1368	1700	969	833	594							
37,5	37,5	108	1162	2929	4197	3428	3277	3287	2343	1530	712					
52,5	52,5	152	1087	2653	4152	4185	4942	3486	3655	2577	1333	769	440			
67,5	67,5	33	44	749	658	909	1222	936	794	187	217					
82,5	82,5			16	41	229	280	411	89	157	243	140	80			
97,5	N.E.															
112,5	N.E.															66154

Fonte: o autor

Tabela 16. Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de abril.

D/H	âng.	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	Total
7,5	22,5						-277									
22,5	7,5	-61	-82	-134	-510	-633	-361	-310	-221							
37,5	7,5	31	329	830	1189	971	928	931	664	433	202					
52,5	22,5	123	883	2156	3374	3400	4015	2833	2970	2094	1083	625	358			
67,5	37,5	54	73	1228	1079	1490	2003	1534	1302	306	356					
82,5	52,5			88	224	1255	1534	2256	487	859	1333	769	440			
97,5	N.E.															
112,5	N.E.															46504

Fonte: o autor

Observa-se que a maior taxa de transporte de sedimentos se dá na praia do Meireles, sendo 2,4 vezes maior do que na praia do Futuro e 1,4 vezes maior do que na praia da Leste-Oeste.

5.1.5 Maio

A praia do Futuro apresentou um transporte de sedimentos com uma direção predominante de transporte entre 90° e 120°, sendo que $Q = 101857 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 17).

A praia do Meireles apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60°, sendo $Q = 24458 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 18).

A praia da Leste-Oeste apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 75°, sendo $Q = 22928 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 19).

Tabela 17. Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de maio.

D/H	âng.	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	Total
7,5	52,5					-113												
22,5	37,5	-39	-163	-219	-759	-602	-599											
37,5	22,5	-118	-248	-277	-577	-916	-797	-834										
52,5	7,5	-55	-185	-165	-242	-751	-848	-622	-499	-148								
67,5	7,5	22	62	145	215	580	424	622	312	74								
82,5	22,5		41		433	275	341	417	837	597	467							
97,5	37,5		54	73	1518	2770	4341	5485	5281	6537	4302	6078	8662	8027	1610		681	
112,5	52,5			136	1510	2930	4203	5134	6178	4894	5751	6693	5018	5303	2009			
127,5	67,5					73	183	335										101857

Fonte: o autor

Tabela 18. Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de maio.

D/H	âng.	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	Total
7,5	7,5					34												
22,5	22,5	30	124	166	577	458	455											
37,5	37,5	156	326	365	759	1204	1048	1097										
52,5	52,5	182	610	546	799	2479	2802	2053	1648	489								
67,5	67,5	47	133	311	463	1249	913	1339	671	160								
82,5	82,5		9		97	62	77	94	188	134	105							
97,5	N.E.																	
112,5	N.E.																	
127,5	N.E.																	24458

Fonte: o autor

Tabela 19. Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de maio.

D/H	âng.	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	Total
7,5	22,5					-92												
22,5	7,5	-11	-46	-62	-215	-171	-170											
37,5	7,5	44	92	103	215	341	297	311										
52,5	22,5	148	496	444	649	2015	2276	1668	1339	398								
67,5	37,5	78	217	510	759	2047	1497	2194	1100	261								
82,5	52,5		51		533	338	420	513	1030	734	575							
97,5	N.E.																	
112,5	N.E.																	
127,5	N.E.																	22928

Fonte: o autor

Observa-se que a maior taxa de transporte de sedimentos se dá na praia do Futuro, sendo 4,2 vezes maior do que na praia do Meireles e 4,4 vezes maior do que na praia da Leste-Oeste.

5.1.6 Junho

A praia do Futuro apresentou um transporte de sedimentos com uma direção predominante de transporte entre 90° e 105° , sendo que $Q = 156481 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 20).

A praia do Meireles apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60° , sendo $Q = 4682 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 21).

A praia da Leste-Oeste apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 75° e 90° , sendo $Q = 9097 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 22).

Tabela 20. Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de junho.

D/H	âng.	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	Total
7,5	52,5																		
22,5	37,5																		
37,5	22,5			-294	-560														
52,5	7,5			-27	-174	-43	-53	-63	-75										
67,5	7,5		21	55	174	130	106												
82,5	22,5	42	621	147	466	927	283	852	203	238	277	319		416					
97,5	37,5	55	446	1063	2576	3659	7822	10534	9588	8137	9833	11763	4328	2734	4323	3469	775	862	
112,5	52,5		139	1176	3214	5279	9238	10699	10968		6476	7864	6302	4605	2890	649	726		
127,5	67,5			59	150	93													156481

Fonte: o autor

Tabela 21. Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de junho.

D/H	âng.	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	Total
7,5	7,5																		
22,5	22,5																		
37,5	37,5			387	736														
52,5	52,5			90	574	143	174	210	249										
67,5	67,5		45	118	374	279	227												
82,5	82,5	9	139	33	105	208	64	191	45	53	62	72		93					
97,5	N.E.																		
112,5	N.E.																		
127,5	N.E.																		4682

Fonte: o autor

Tabela 22. Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de junho.

D/H	âng.	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	Total
7,5	22,5																		
22,5	7,5																		
37,5	7,5			110	208														
52,5	22,5			73	466	116	142	170	203										
67,5	37,5		74	193	613	457	372												
82,5	52,5	52	765	181	574	1142	349	1049	249	293	341	393		512					
97,5	N.E.																		
112,5	N.E.																		
127,5	N.E.																		9097

Fonte: o autor

Observa-se que a maior taxa de transporte de sedimentos se dá na praia do Futuro, sendo 33,4 vezes maior do que na praia do Meireles e 17,2 vezes maior do que na praia da Leste-Oeste.

5.1.7 Julho

A praia do Futuro apresentou um transporte de sedimentos com direção predominante de transporte entre 105° e 120°, sendo que $Q = 219618 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 23).

A praia do Meireles apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 60° e 75°, sendo $Q = 1507 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 24).

A praia da Leste-Oeste apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 60° e 75°, sendo $Q = 2211 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 25).

Tabela 23. Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de julho.

D/H	âng.	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	Total
7,5	52,5																
22,5	37,5																
37,5	22,5			-123													
52,5	7,5	-116															
67,5	7,5	174	147	92													
82,5	22,5		198	123													
97,5	37,5	205	911	2264	3555	8082	8757	9958	14291	11139	9181	8698	3930	1472	4112	915	
112,5	52,5		365	3935	6285	13127	11897	14601	17352	22520	17186	11939	6131	4132		1712	
127,5	67,5								471								219618

Fonte: o autor

Tabela 24. Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de julho.

D/H	âng.	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	Total
7,5	7,5																
22,5	22,5																
37,5	37,5			162													
52,5	52,5	384															
67,5	67,5	375	317	197													
82,5	82,5		44	28													
97,5	N.E.																
112,5	N.E.																
127,5	N.E.																1507

Fonte: o autor

Tabela 25. Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de julho.

D/H	âng.	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	Total
7,5	22,5																
22,5	7,5																
37,5	7,5			46													
52,5	22,5	312															
67,5	37,5	615	520	323													
82,5	52,5		244	151													
97,5	N.E.																
112,5	N.E.																
127,5	N.E.																2211

Fonte: o autor

Observa-se que a maior taxa de transporte de sedimentos se dá na praia do Futuro, sendo 145,7 vezes maior do que na praia do Meireles e 99,3 vezes maior do que na praia da Leste-Oeste.

5.1.8 Agosto

A praia do Futuro apresentou um transporte de sedimentos com direção predominante de transporte entre 105° e 120° , sendo que $Q = 271000 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 26).

A praia do Meireles apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 15° e 30° , sendo $Q = 28 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 27).

A praia da Leste-Oeste apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 75° e 90° , sendo $Q = 152 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 28).

Tabela 26. Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de agosto.

D/H	âng.	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	Total
7,5	52,5															
22,5	37,5															
37,5	22,5															
52,5	7,5															
67,5	7,5															
82,5	22,5			123												
97,5	37,5	747	1460	1459	4293	9043	8992	11097	19020	16748	14280	9142	7853	6076		
112,5	52,5	100	1615	1214	4383	9983	12496	23444	31153	30175	21384	12079	5088	2527	2811	
127,5	67,5							387	223	1022	581					271000

Fonte: o autor

Tabela 27. Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de agosto.

D/H	âng.	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	Total
7,5	7,5															
22,5	22,5															
37,5	37,5															
52,5	52,5															
67,5	67,5															
82,5	82,5			28												
97,5	N.E.															
112,5	N.E.															
127,5	N.E.															28

Fonte: o autor

Tabela 28. Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de agosto.

D/H	âng.	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	Total
7,5	22,5															
22,5	7,5															
37,5	7,5															
52,5	22,5															
67,5	37,5															
82,5	52,5			152												
97,5	N.E.															
112,5	N.E.															
127,5	N.E.															152

Fonte: o autor

Observa-se que a maior taxa de transporte de sedimentos se dá na praia do Futuro, sendo 9678,6 vezes maior do que na praia do Meireles e 1782,9 vezes maior do que na praia da Leste-Oeste.

5.1.9 Setembro

A praia do Futuro apresentou um transporte de sedimentos com direção predominante de transporte entre 105° e 120°, sendo que $Q = 238118 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 29).

A praia do Meireles apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 30° e 45°, sendo $Q = 3820 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 30).

A praia da Leste-Oeste apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60°, sendo $Q = 1759 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 31).

Tabela 29. Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de setembro.

D/H	âng.	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	Total
7,5	52,5					-109													
22,5	37,5			-74	-94	-117		-514	-204										
37,5	22,5		-43	-169	-214	-177	-108		-155	-182		-244							
52,5	7,5		-16			-33		-49	-58			-182							
67,5	7,5							49											
82,5	22,5	32			143		108			182									
97,5	37,5	169	114	813	751	1749	3134	5830	5909	6464	11423	14142	14349	6692	3308	531			
112,5	52,5				439	1419	2000	4975	9725	13221	26336	37000	32368	15267	13267	4968	2221	618	
127,5	67,5									292	340		224		288				238118

Fonte: o autor

Tabela 30. Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de setembro.

D/H	âng.	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	Total
7,5	7,5					33													
22,5	22,5			56	71	89		391	155										
37,5	37,5		57	222	281	233	142		204	239		321							
52,5	52,5		53			109		160	191			602							
67,5	67,5							105											
82,5	82,5	7			32		24			41									
97,5	N.E.																		
112,5	N.E.																		
127,5	N.E.																		3820

Fonte: o autor

Tabela 31. Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de setembro.

D/H	âng.	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	Total
7,5	22,5					-89													
22,5	7,5			-21	-27	-33		-146	-58										
37,5	7,5		16	63	80	66	40		58	68		91							
52,5	22,5		43			89		130	155			489							
67,5	37,5							171											
82,5	52,5	40			176		133			224									
97,5	N.E.																		
112,5	N.E.																		
127,5	N.E.																		1759

Fonte: o autor

Observa-se que a maior taxa de transporte de sedimentos se dá na praia do Futuro, sendo 62,3 vezes maior do que na praia do Meireles e 135,4 vezes maior do que na praia da Leste-Oeste.

5.1.10 Outubro

A praia do Futuro apresentou um transporte de sedimentos com direção predominante de transporte entre 105° e 120°, sendo que $Q = 210514 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 32).

A praia do Meireles apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60°, sendo $Q = 5876 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 33).

A praia da Leste-Oeste apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60°, sendo $Q = 4563 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 34).

Tabela 32. Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de outubro.

D/H	âng.	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	Total	
7,5	52,5																		
22,5	37,5				-102		-161		-710				-384						
37,5	22,5	-32		-60		-197	-245	-449	-180	-214									
52,5	7,5			-22	-87		-228	-167	-134				-109						
67,5	7,5					37	46												
82,5	22,5			417	155		245	449	180				292						
97,5	37,5			314	510	1036	2093	3736	5916	6749	10904	12304	17742	15740	10967	3913	733		
112,5	52,5	39	109	147	573	970	3164	4969	6423	7632	9896	16914	25324	19009	15127	5493	1371		
127,5	67,5									172	202	469	812		704				210514

Fonte: o autor

Tabela 33. Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de outubro.

D/H	âng.	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	Total	
7,5	7,5																		
22,5	22,5				78		122		540			292							
37,5	37,5	42		78		259	322	590	237	281									
52,5	52,5			73	287		753	552	443			360							
67,5	67,5					79	98												
82,5	82,5			94	35		55	101	40			66							
97,5	N.E.																		
112,5	N.E.																		
127,5	N.E.																		5876

Fonte: o autor

Tabela 34. Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de outubro.

D/H	âng.	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	Total	
7,5	22,5																		
22,5	7,5				-29		-46		-201				-109						
37,5	7,5	12		22		73	91	167	67	80									
52,5	22,5			60	233		612	449	360				292						
67,5	37,5					129	161												
82,5	52,5			514	191		301	552	221				360						
97,5	N.E.																		
112,5	N.E.																		
127,5	N.E.																		4563

Fonte: o autor

Observa-se que a maior taxa de transporte de sedimentos se dá na praia do Futuro, sendo 35,8 vezes maior do que na praia do Meireles e 46,1 vezes maior do que na praia da Leste-Oeste.

5.1.11 Novembro

A praia do Futuro apresentou um transporte de sedimentos com direção predominante de transporte entre 90° e 105°, sendo que $Q = 108682 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 35).

A praia do Meireles apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60°, sendo $Q = 24451 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 36).

A praia da Leste-Oeste apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60°, sendo $Q = 19627 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 37).

Tabela 35. Transporte de sedimento na praia do Futuro no mês de novembro.

D/H	âng.	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	Total
7,5	52,5					-203												
22,5	37,5		-106				-265											
37,5	22,5	-60	-242	-210	-266	-1818	-404	-1215	-866									-841
52,5	7,5	-45	-300	-312	-495	-185	-602	-634	-108	-379	-883	-339						
67,5	7,5		30	117			150	181	215									
82,5	22,5		81	210	133	1488	606	243	289									
97,5	37,5		635	1240	4721	11954	12213	12462	12530	7139	4154	4792	686		1761			
112,5	52,5		99	645	1637	1831	6212	3888	7107	4593	4373	5606	1925	729	824	926	1035	108682

Fonte: o autor

Tabela 36. Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de novembro.

D/H	âng.	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	Total
7,5	7,5					62												
22,5	22,5		81				202											
37,5	37,5	79	318	276	350	2391	531	1598	1139									1105
52,5	52,5	148	991	1032	1637	610	1988	2093	355	1253	2916	1121						
67,5	67,5		65	252			324	390	463									
82,5	82,5		18	47	30	334	136	55	65									
97,5	N.E.																	
112,5	N.E.																	24451

Fonte: o autor

Tabela 37. Transporte de sedimento na praia da Leste-Oeste no mês de novembro.

D/H	âng.	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	Total
7,5	22,5					-165												
22,5	7,5		-30				-75											
37,5	7,5	22	90	78	99	677	150	453	323									313
52,5	22,5	120	805	838	1330	496	1615	1701	289	1018	2369	911						
67,5	37,5		106	413			531	639	759									
82,5	52,5		99	258	164	1831	745	299	355									
97,5	N.E.																	
112,5	N.E.																	19627

Fonte: o autor

Observa-se que a maior taxa de transporte de sedimentos se dá na praia do Futuro, sendo 4,4 vezes maior do que na praia do Meireles e 5,5 vezes maior do que na praia da Leste-Oeste.

5.1.12 Dezembro

A praia do Futuro apresentou um transporte de sedimentos contrário à direção predominante (de sudeste para noroeste), sendo a direção das ondas nesse mês predominante entre 90° e 105°, sendo que $Q = 7800 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 38).

A praia do Meireles apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60°, sendo $Q = 107447 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 39).

A praia da Leste-Oeste apresentou um transporte de sedimentos predominante entre 45° e 60°, sendo $Q = 61776 \text{ m}^3/\text{mês}$ (tabela 40).

Tabela 38. Transporte de sedimentos na praia do Futuro no mês de dezembro.

D/H	âng.	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	Total
7,5	52,5					-209	-502								
22,5	37,5	-89	-578	-440	-1824	-4457	-1609	-3187	-2621	-872	-1508				
37,5	22,5		-264	-446	-1249	-2881	-4079	-4362	-2278	-2320	-3441	-7439	-995	-562	
52,5	7,5	-50	-66	-208	-827	-1136	-1140	-1625	-212	-1111	-2706	-4076	-1483		
67,5	7,5	25		83	258	253	684	271				163	185		
82,5	22,5			335	1110	1864	3059	969		663					
97,5	37,5		116	440	2372	7131	8046	7330	7115	8280	2011	1726	1963		
112,5	52,5				1024	209	1506	2684	3505	816		3232	1225		7800

Fonte: o autor

Tabela 39. Transporte de sedimentos na praia do Meireles no mês de dezembro.

D/H	âng.	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	Total
7,5	7,5					63	152								
22,5	22,5	68	440	335	1387	3389	1224	2423	1993	663	1147				
37,5	37,5		347	587	1642	3788	5364	5736	2996	3050	4524	9783	1308	739	
52,5	52,5	166	216	687	2732	3754	3765	5369	701	3671	8939	13465	4898		
67,5	67,5	54		179	556	544	1473	583				351	399		
82,5	82,5			75	249	418	687	218		149					
97,5	N.E.														
112,5	N.E.														107447

Fonte: o autor

Tabela 40. Transporte de sedimentos na praia da Leste-Oeste no mês de dezembro.

D/H	âng.	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	Total
7,5	22,5					-169	-408								
22,5	7,5	-25	-164	-125	-517	-1263	-456	-903	-743	-247	-427				
37,5	7,5		98	166	465	1073	1520	1625	849	864	1282	2772	371	209	
52,5	22,5	135	176	558	2220	3050	3059	4362	570	2982	7263	10940	3980		
67,5	37,5	89		294	912	891	2414	956				575	654		
82,5	52,5			412	1366	2294	3765	1193		816					
97,5	N.E.														
112,5	N.E.														61776

Fonte: o autor

Observa-se que a maior taxa de transporte de sedimentos se dá na praia do Meireles, sendo 13,8 vezes maior do que na praia do Futuro e 1,7 vezes maior do que na praia da Leste-Oeste.

5.1.13 Dados anuais

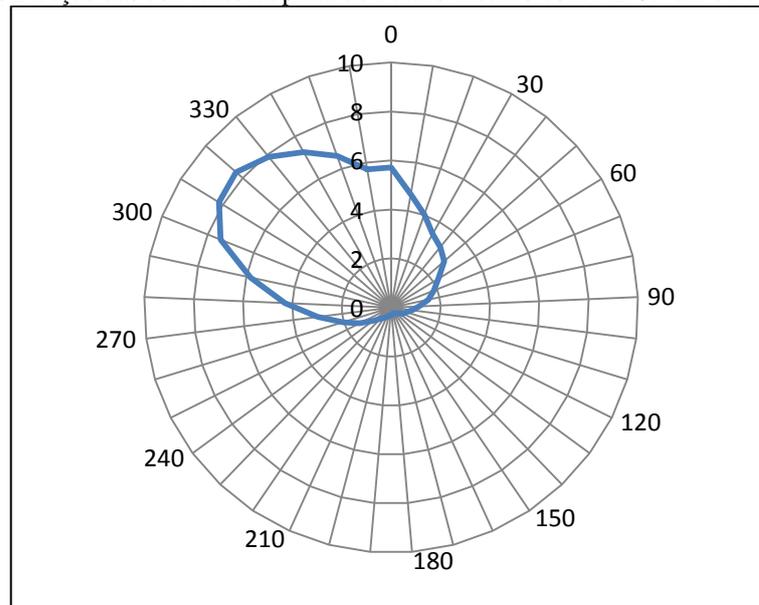
Somando todos os meses, teríamos para a praia do Futuro um transporte de sedimentos com valor $Q = 1.270.923 \text{ m}^3/\text{ano}$. Para a praia do Meireles temos um valor $Q = 594.731 \text{ m}^3/\text{ano}$. E para a praia da Leste-Oeste temos um valor $Q = 397.565 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Dessa forma, anualmente temos um maior transporte por parte da praia do Futuro, sendo 2,1 vezes maior do que na praia do Meireles e 3,2 vezes maior do que na praia da Leste-Oeste.

5.2 Resultado experimental

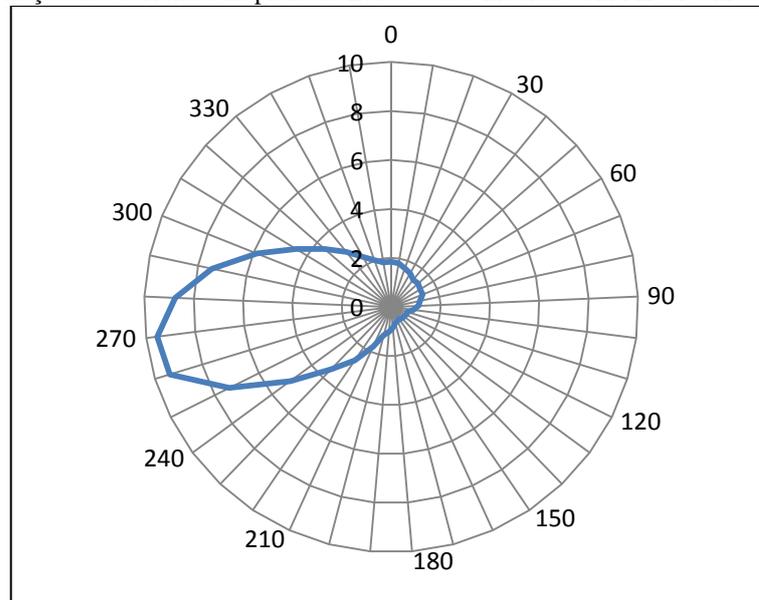
Os dados de vazão instantânea coletados pelo ADCP indicaram uma direção predominante das correntes no sentido noroeste para a praia do Futuro, e no sentido Leste-Sudoeste para a praia da Leste-Oeste (figuras 21 e 22).

Figura 21. Direção das correntes na praia do Futuro medido com ADCP em outubro de 2011.



Fonte: o autor

Figura 22. Direção das correntes na praia da Leste-Oeste medido com ADCP em outubro de 2011.



Fonte: o autor

As amostras de material em suspensão indicaram a presença de 49 g/L na praia do Futuro e 81 g/L na praia da Leste-Oeste. Esses dados foram utilizados para calcular a taxa de transporte anual conforme estabelecido na metodologia (tabela 41).

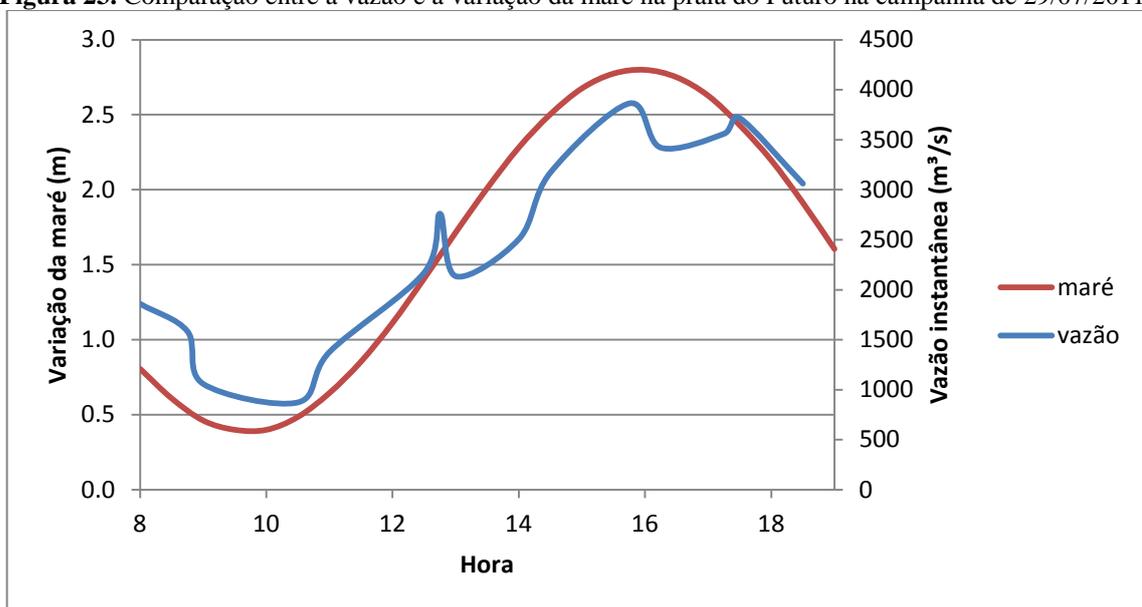
Tabela 41. Comparação das campanhas entre a vazão média, em m^3/s , e o transporte anual estimado, em m^3 , de acordo com a data e o local da campanha.

Campanha	Local	Vazão média (m^3/s)	Transporte anual (m^3)
29/07/2011	Futuro	2491,8	2619338
04/10/2011	Leste-Oeste	2699,8	4691437
11/10/2011	Leste-Oeste	2125,5	3693477
27/10/2011	Futuro	1886,2	1982773

Fonte: o autor

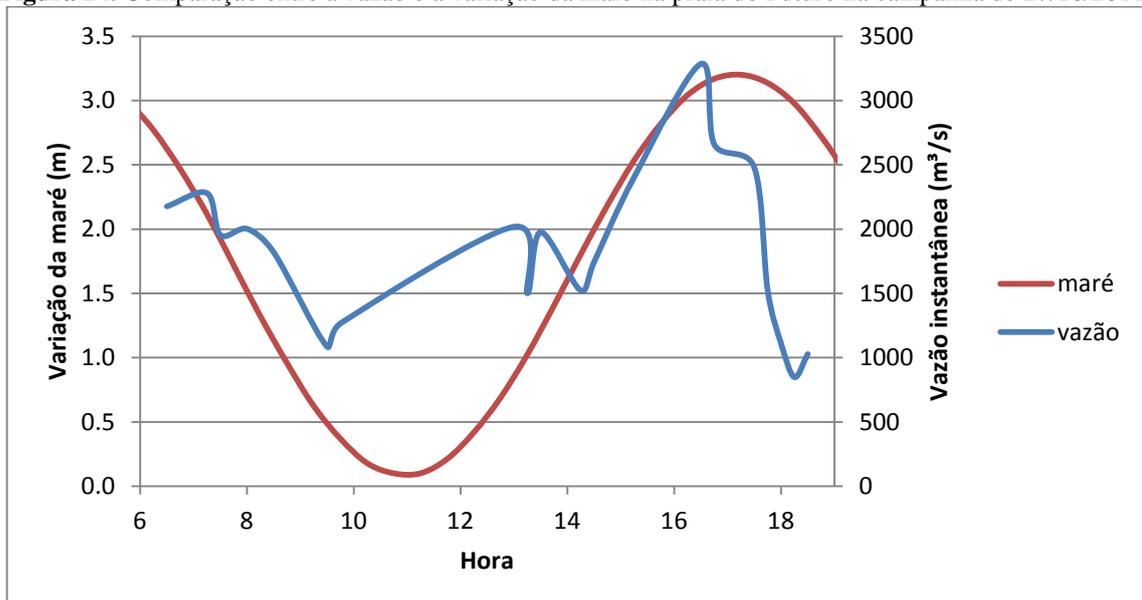
Além disso, um comparativo entre a variação do nível da maré e a vazão da secção estudada foi feita e relacionada nos gráficos abaixo (figuras 23 a 26).

Figura 23. Comparação entre a vazão e a variação da maré na praia do Futuro na campanha de 29/07/2011.



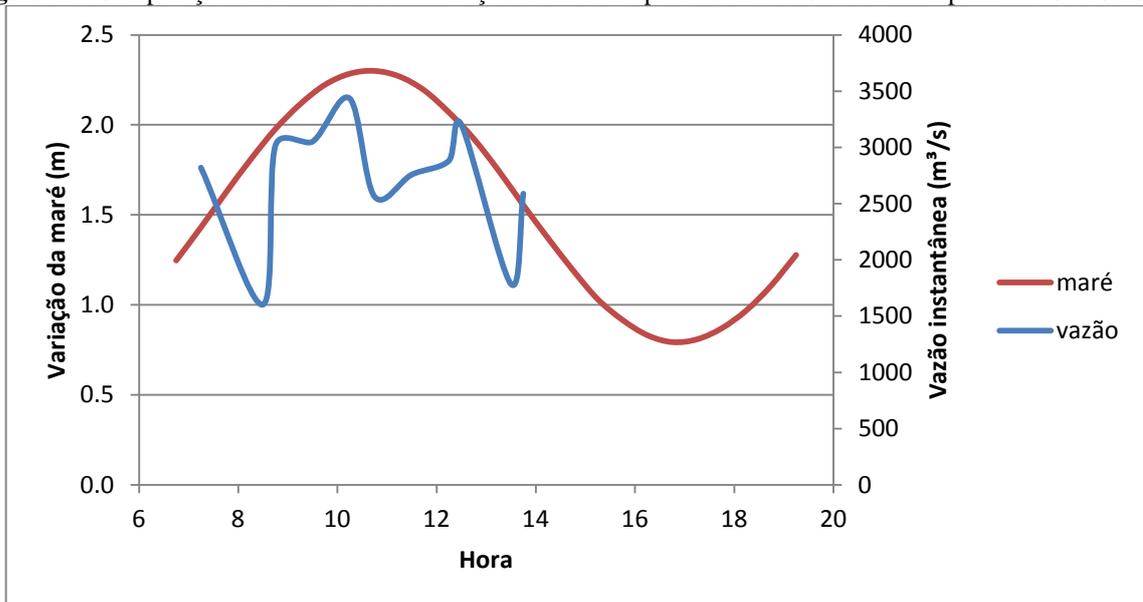
Fonte: o autor

Figura 24. Comparação entre a vazão e a variação da maré na praia do Futuro na campanha de 27/10/2011.



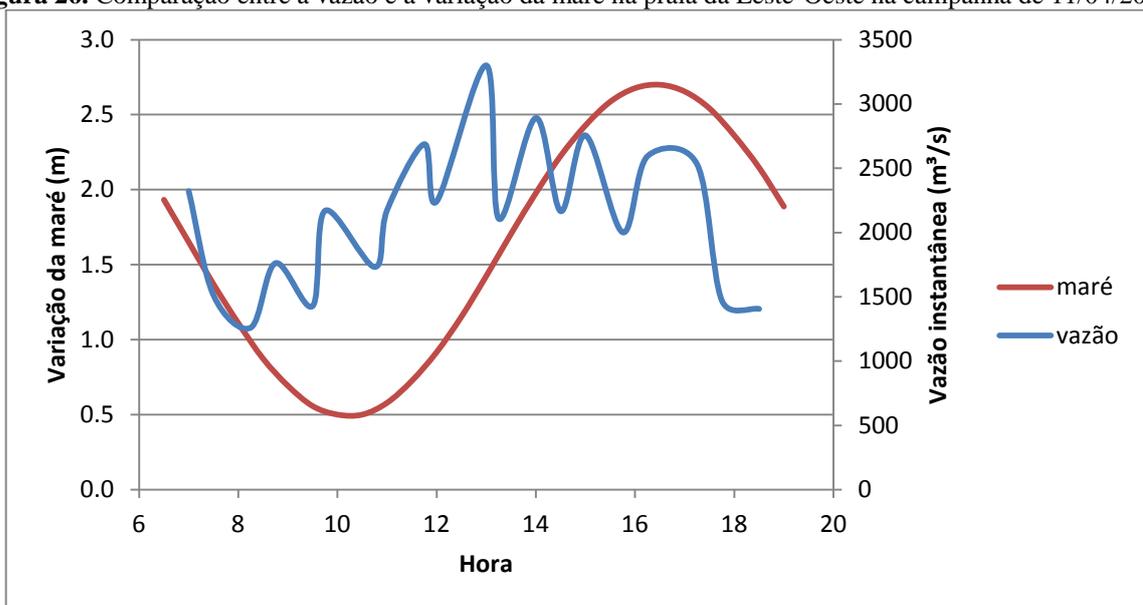
Fonte: o autor

Figura 25. Comparação entre a vazão e a variação da maré na praia da Leste-Oeste na campanha de 04/10/2011.



Fonte: o autor

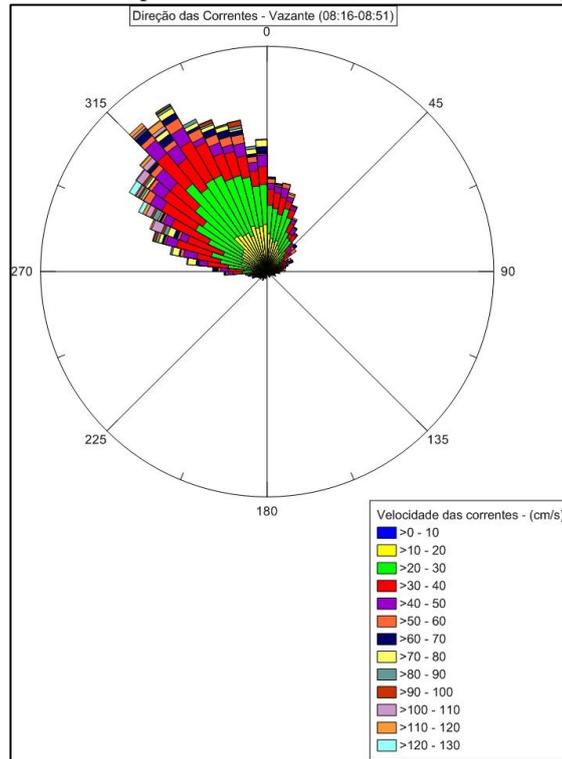
Figura 26. Comparação entre a vazão e a variação da maré na praia da Leste-Oeste na campanha de 11/04/2011.



Fonte: o autor

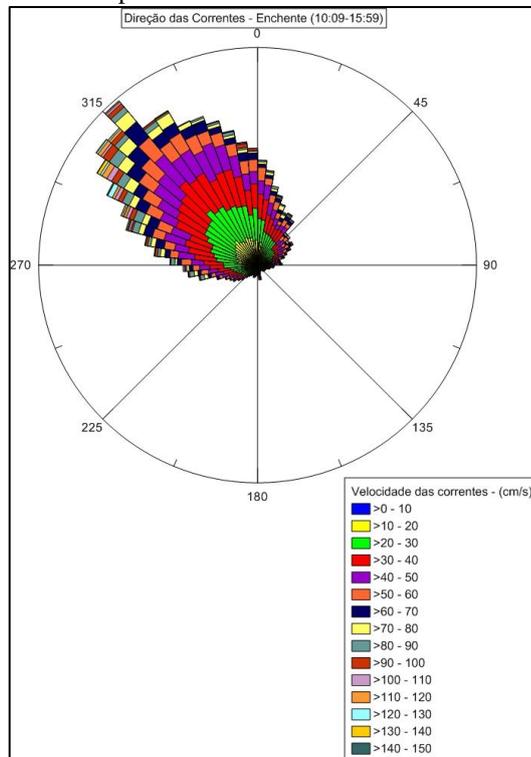
Por fim, com os dados de direção e intensidade das correntes, gerou-se imagens que descrevem o comportamento das correntes pela velocidade nos períodos de enchente e vazante (figuras 27 a 37).

Figura 27. Direção das correntes pela velocidade na 1º vazante – 1º campanha praia do Futuro.



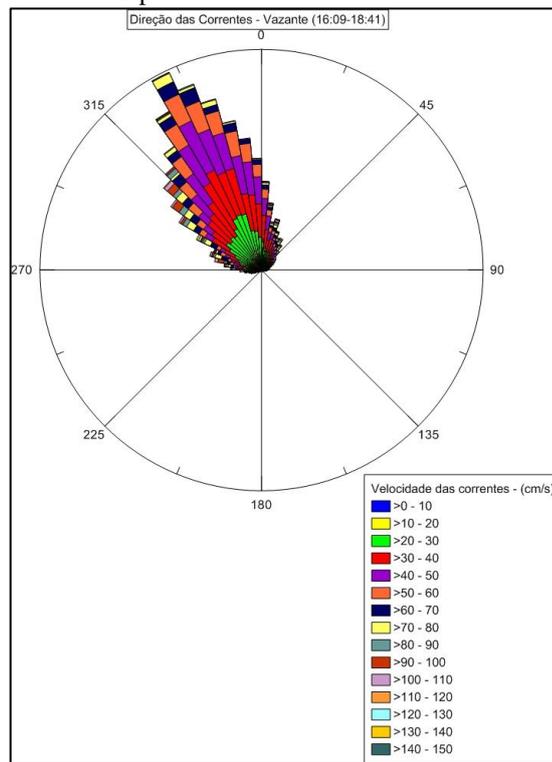
Fonte: o autor

Figura 28. Direção das correntes pela velocidade na 1º enchente – 1º campanha praia do Futuro.



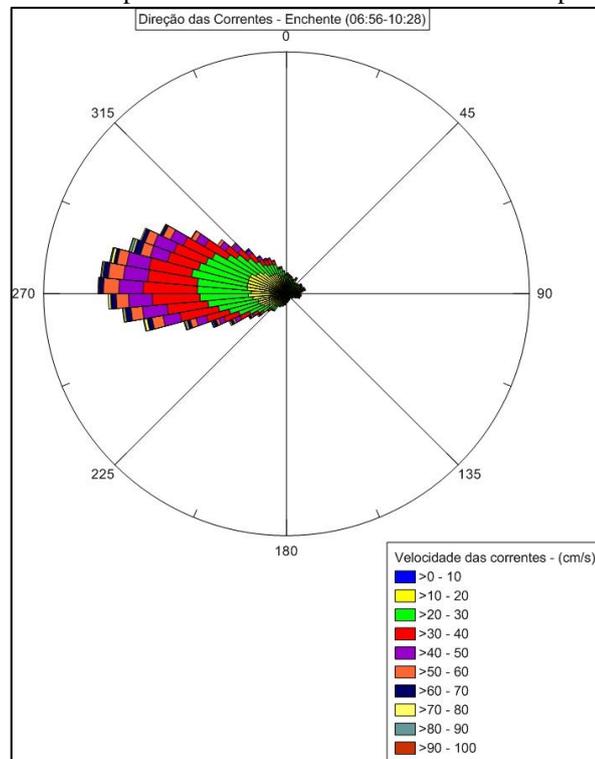
Fonte: o autor

Figura 29. Direção das correntes pela velocidade na 2ª vazante – 1ª campanha praia do futuro.



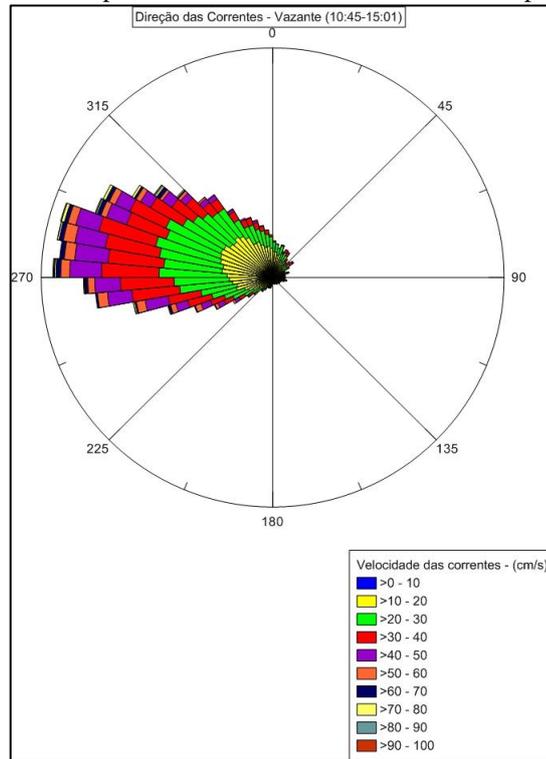
Fonte: o autor

Figura 30. Direção das correntes pela velocidade na 1ª enchente – 1ª campanha praia da Leste-Oeste.



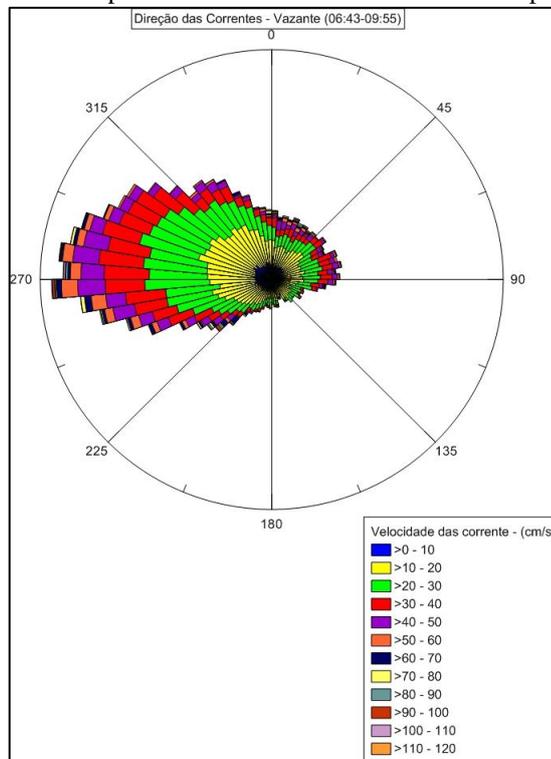
Fonte: o autor

Figura 31. Direção das correntes pela velocidade na 1º vazante – 1º campanha praia da Leste-Oeste.



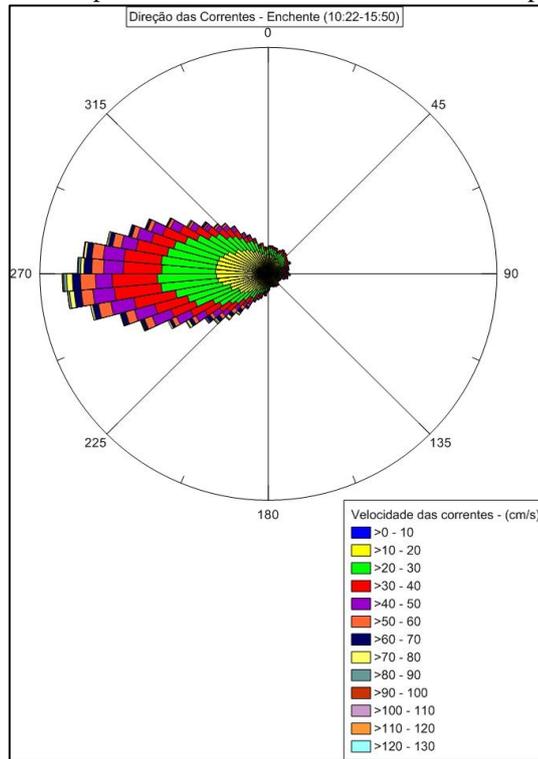
Fonte: o autor

Figura 32. Direção das correntes pela velocidade na 1º vazante – 2º campanha praia da Leste-Oeste.



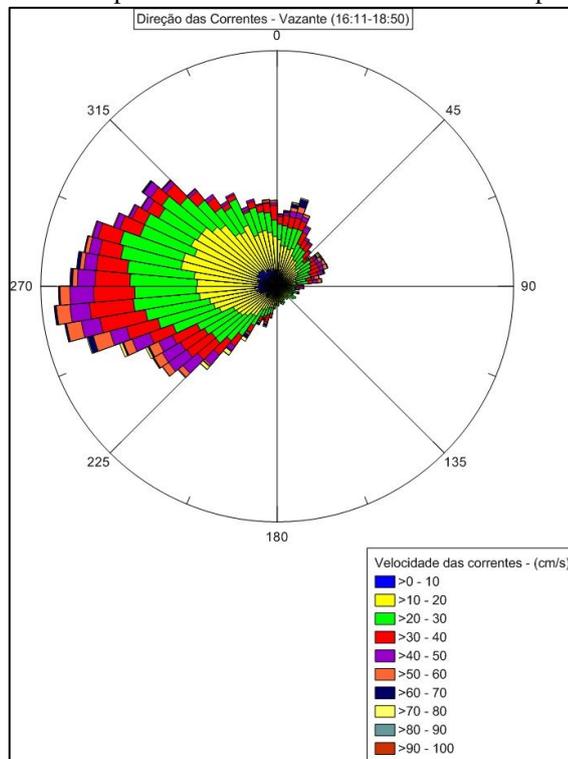
Fonte: o autor

Figura 33. Direção das correntes pela velocidade na 1° enchente – 2° campanha praia da Leste-Oeste.



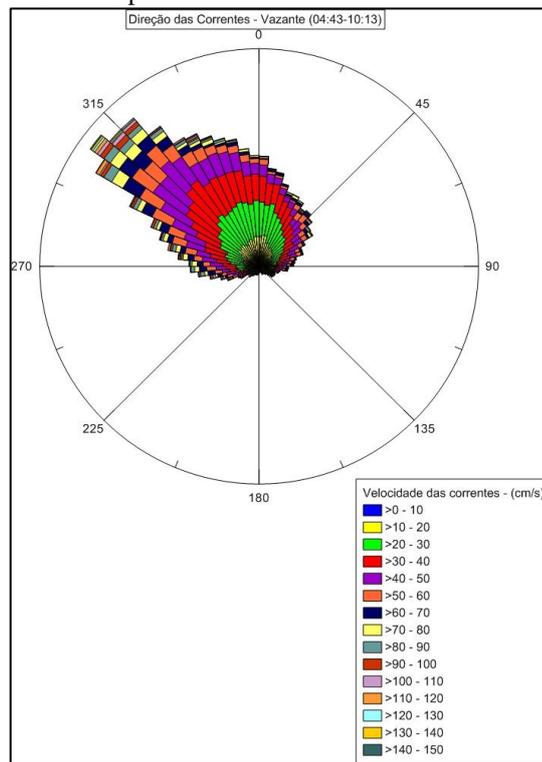
Fonte: o autor

Figura 34. Direção das correntes pela velocidade na 2° vazante – 2° campanha praia da Leste-Oeste.



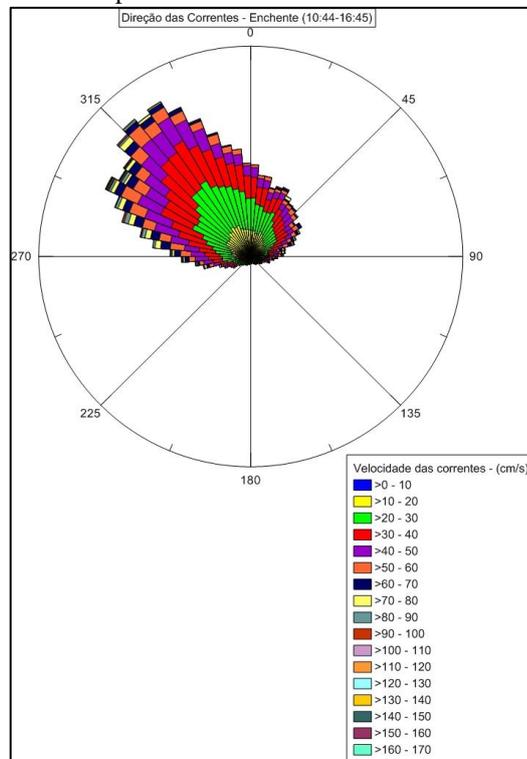
Fonte: o autor

Figura 35. Direção das correntes pela velocidade na 1^o vazante – 2^o campanha praia do Futuro.



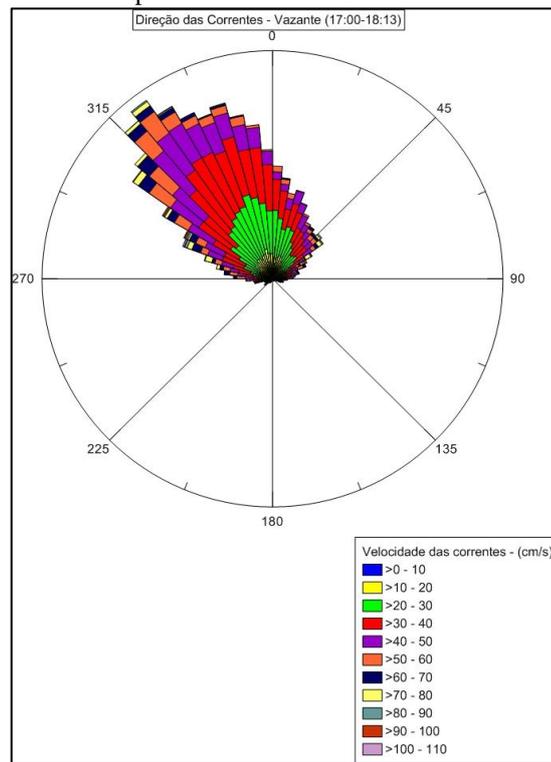
Fonte: o autor

Figura 36. Direção das correntes pela velocidade na 1^o enchente – 2^o campanha praia do Futuro.



Fonte: o autor

Figura 37. Direção das correntes pela velocidade na 2ª vazante – 2ª campanha praia do Futuro.

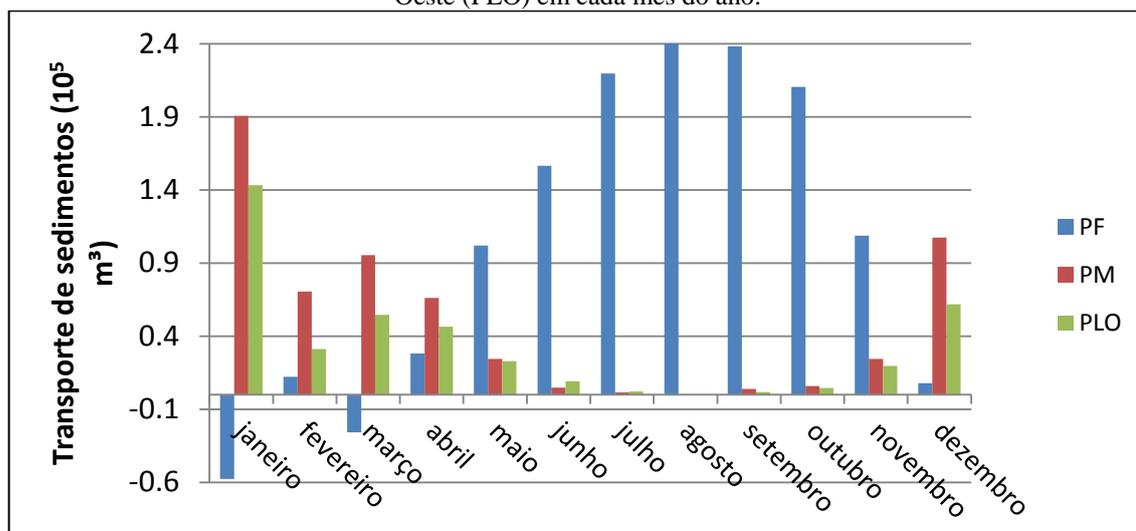


Fonte: o autor

6. DISCUSSÃO

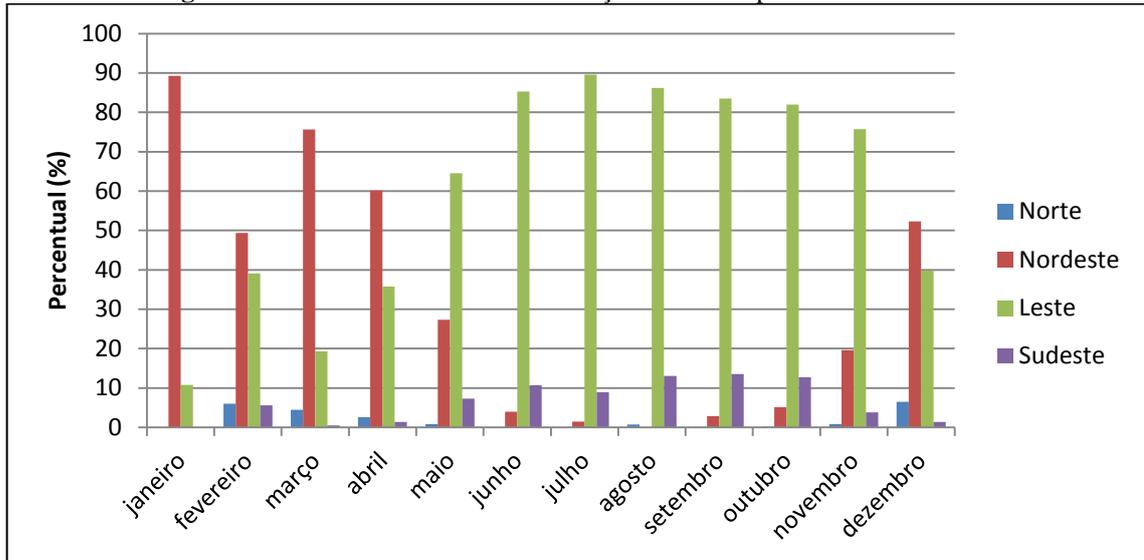
Quando analisamos o estudo teórico, utilizando os dados do ondógrafo, percebe-se dois períodos distintos, onde a deriva na praia do Meireles é maior de dezembro a abril. E outro período, de maio a novembro, onde a deriva da praia do Futuro predomina sobre as demais praias (figura 38). Isto ocorre devido à direção de propagação das ondas (figura 39), que estão associadas ao regime anual de ventos da região. Os ventos alísios de Nordeste são mais intensos de dezembro a abril, gerando ondas de maior período, que influenciam um transporte de sedimentos na direção contrária na praia do Futuro (para direções de ondas menores que 60°), devido à inclinação da linha de costa de 330° , que contrapõe o transporte preferencial de sudeste para noroeste. Enquanto que a oeste do porto, ocorre um ataque mais intenso das ondas de Norte-Nordeste, por causa do ângulo da linha de costa que essas praias possuem (270° na praia do Meireles e 300° na praia da Leste-Oeste), não havendo uma renovação natural do sedimento, que deveriam vir da praia do Futuro, devido aos molhes de proteção do porto, que bloqueiam a ação das ondas com direções acima de 90° e do transporte longitudinal de sedimentos. De maio a novembro, com a maior influência dos ventos alísios de sudeste e dos ventos locais de leste, o transporte na praia do Futuro se intensifica e nas praias a oeste do porto o transporte cai drasticamente, pois nesse período é predominante ondas e direção de correntes vindas de Leste-Sudeste.

Figura 38. Gráfico com o transporte de sedimentos para as praias do Futuro (PF), do Meireles (PM) e da Leste-Oeste (PLO) em cada mês do ano.



Fonte: o autor

Figura 39. Gráfico com o sentido da direção das ondas para cada mês do ano.



Fonte: o autor

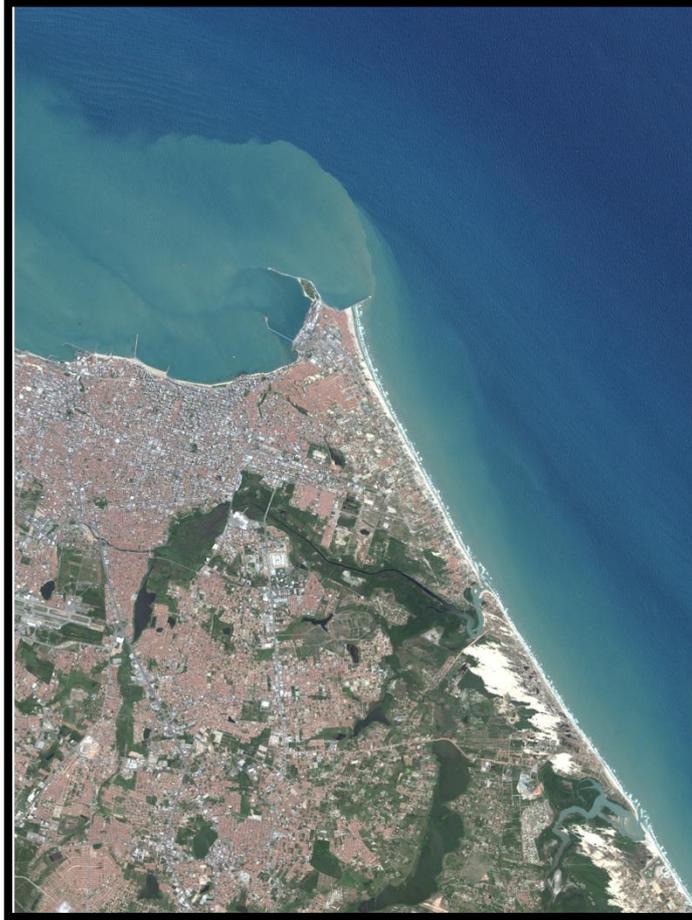
A influência do porto do Mucuripe é bastante significativa, tanto na renovação de sedimentos que deveria vir da praia do Futuro para as demais praias a oeste, como no barramento das ondas com direções maiores do que 90° (figuras 40 e 41). Por conta disso, as praias a oeste do porto sofrem erosão durante o primeiro semestre do ano, devido a maior ação das ondas de Norte-Nordeste, sendo que no segundo semestre, a deriva litorânea é muito baixa. Outro fator preponderante é a grande quantidade de píers e espigões nas praias a oeste do porto, que retém o sedimento do lado direito, jogando os problemas de erosão para a praia seguinte (figura 42).

Figura 40. Imagem QUICKBIRD do litoral de Fortaleza – maio de 2010.



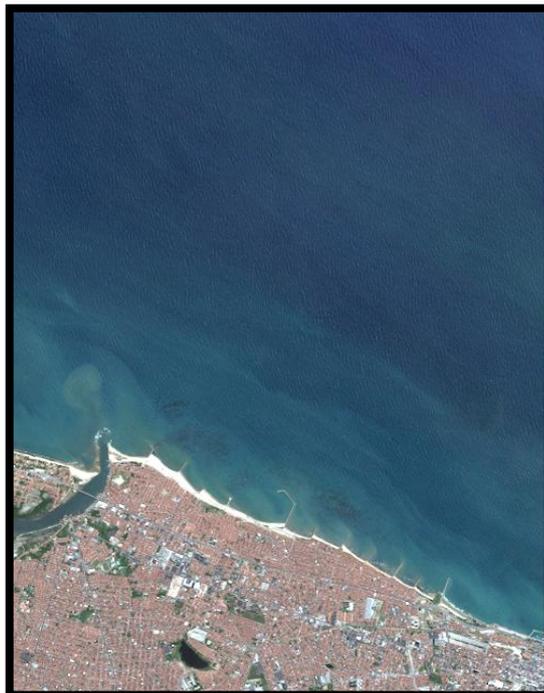
Fonte: Digital Globe

Figura 41. Imagem QUICKBIRD do transporte sedimentar na praia do Futuro – agosto de 2011.



Fonte: Digital Globe

Figura 42. Imagem QUICKBIRD da retenção de sedimentos pelos píers e quebra-mares a oeste do porto – julho de 2011.



Fonte: Digital Globe.

Nos resultados, obteve-se uma taxa de transporte na praia do Futuro com valores teóricos de 1,3 milhões de m³/ano e uma média de 2,3 milhões de m³/ano no estudo experimental. Já na praia da Leste-Oeste calculou-se um transporte teórico em torno de 0,4 milhões de m³/ano e na praia do Meireles de 0,6 milhões de m³/ano, enquanto que experimentalmente calculou-se 4,2 milhões de m³/ano para a praia da Leste-Oeste. Maia (1998), estudado o balanço sedimentar da praia do Futuro, encontrou um transporte na faixa de 860 mil m³/ano.

As fórmulas de CERC utilizadas no estudo teórico com programa ACES, imaginam um modelo teórico de praia ideal, com linha de costa reta, inclinação da praia constante, atacada por ondas que estão na mesma profundidade e sem variação de período, o que não ocorre na realidade. Além disso, as ondas perdem parte de sua energia antes de chegar à linha de costa por fricção. Já o trabalho experimental calculou o transporte sedimentar para dois meses específicos (julho e outubro) e a partir destes dados estimou o transporte anual.

No estudo experimental, se ao invés de considerar o transporte anual, calcular o transporte mensal característico para cada campanha, temos (Tabela 42):

Tabela 42. Comparação das campanhas entre a vazão média, em m³/s, e o transporte mensal, em m³, de acordo com o mês e o local da campanha.

Campanha	Local	Vazão média (m³/s)	Transporte mensal (m³)
Julho	Futuro	2491.8	218278
Outubro	Leste-Oeste	2699.8	390953
Outubro	Leste-Oeste	2125.5	307790
Outubro	Futuro	1886.2	165231

Fonte: o autor

Dessa forma, vemos uma excelente aproximação de valores para a praia do Futuro entre a análise teórica mensal do mês de julho, 0,22 milhões de m³, e o transporte experimental mensal do mesmo mês, para a primeira campanha, também da ordem de 0,22 milhões de m³. Para as outras campanhas, não foi observado uma relação próxima entre estudo teórico e experimental.

Como os valores de vazão das campanhas estão muito próximos, com exceção da campanha de outubro da praia do Futuro, acredita-se que as grandes diferenças no transporte sejam devido ao valor dos materiais em suspensão coletados nas respectivas campanhas.

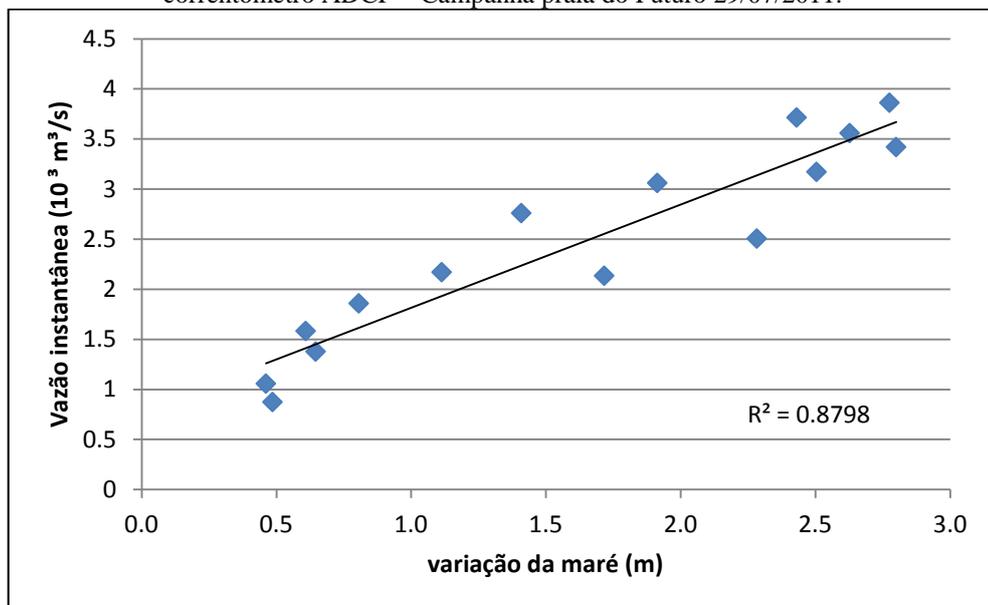
Observa-se, então, que experimentalmente ao se utilizar dados de um único mês para se estimar o transporte anual, os valores de transporte ficam superestimados e não condizentes com os resultados teóricos. Além disso, os valores encontrados tanto experimentalmente quando teoricamente são maiores do que aqueles calculados por Maia

(1998). Essas diferenças podem ter ocorrido devido a alguns fatores como: (1) a análise teórica utilizou dados de Direção e Altura Significativa de ondas no programa ACES, que considera uma praia ideal, enquanto a análise experimental utilizou dados de vazão instantânea de ADCP, para dois meses de medição, estimando um transporte anual; (2) o estudo teórico utilizou 27 meses dados, de março de 1997 a maio de 1999, com um intervalo de mais de 10 anos em relação às quatro campanhas realizadas no estudo experimental, uma no mês de julho e três no mês de outubro de 2011; (3) as campanhas com ADCP foram realizadas todas no segundo semestre, caracterizado pelo período de estiagem da região, com maior influência dos ventos alísios de Sudeste e correntes de Sudeste. Dessa forma, faltou introduzir a influência dos outros meses do ano, ou, no mínimo, dados do primeiro semestre, caracterizado pelo período chuvoso e de maior influência das ondas e ventos de Norte-Nordeste; (4) houve uma diferença significativa na distância dos perfis para a costa realizados com o ADCP. Na praia do Futuro estes perfis foram feitos muito próximo à zona de rebentação das ondas, gerando vazões mais precisas do transporte sedimentar, enquanto que os perfis realizados na praia da Leste-Oeste ocorreram a mais de 3 km da costa, próximo à desembocadura do emissário submarino da cidade, onde se perdeu substancialmente a influência da zona de rebentação das ondas; (5) as coletas de água para material em suspensão na praia da Leste-Oeste foram realizadas próximas à desembocadura do emissário submarino da cidade, fato que gerou em um material em suspensão muito alto e por isso superestimou os cálculos do transporte de sedimento; (6) a ação antrópica do porto, de esgotos clandestinos em galerias pluviais e do runoff urbano são passíveis de influenciar o percentual de material em suspensão na coluna d'água. Entretanto, mais estudos precisam ser feitos para se ter uma real noção da influência desses fatores no aporte sedimentar antrópico; e (7) a diferença de valores entre os cálculos de Maia (1998) e do presente estudo deve-se ao fato de Maia ter utilizado dados de um ondógrafo fundeado na ponta do espigão do porto, com profundidades mais baixas do que o ondógrafo utilizado neste trabalho, que foi fundeado no porto do Pecém a 18 metros de profundidade. Dessa forma, a energia das ondas registradas por Maia (1998) são menores do que as calculadas pelo trabalho.

Jung (2010) fez um estudo sobre a propagação de correntes longitudinais na praia de Tramandaí/RS, utilizando dados de PUVs e derivadores para medir direção e intensidade das correntes. Ela atestou que os aparelhos PUV, que utilizam um método Euleriano, e os derivadores, que utilizam um método Lagrangeano, mostraram diferenças nos dados coletados, mas ainda assim, apresentaram forte correlação.

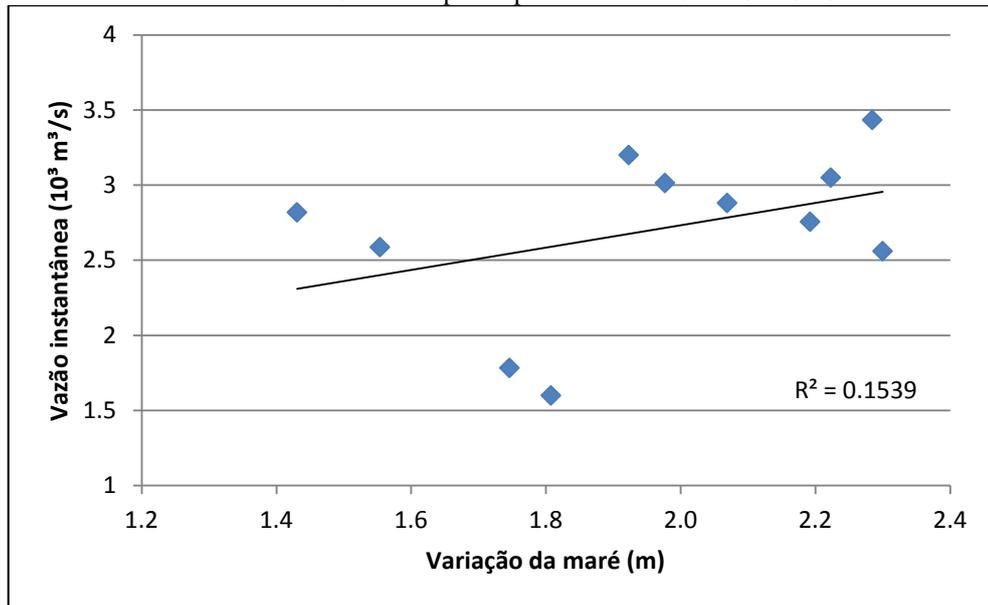
Ao se analisar a relação entre a variação da vazão com a mudança do nível da maré (figuras 43 a 46), percebe-se claramente uma correlação entre esses dois parâmetros na primeira campanha da praia do Futuro, tendo uma correlação R maior que 90%. Quando a maré está subindo, a vazão aumenta. Para as outras campanhas, não se encontrou uma correlação alta. Nas campanhas da praia da Leste-Oeste, em alguns trechos do gráfico, quando a vazão aumenta, a maré está diminuindo, e em outros trechos, quando a vazão diminui, a maré está subindo. Entretanto, isto não é conclusivo para se afirmar que na praia da Leste-Oeste o comportamento é inversamente proporcional, precisando mais estudos serem realizados, pois, como já exposto, as campanhas da praia Leste-Oeste tiveram fatores físicos e antrópicos que podem prejudicar a interpretação dos dados.

Figura 43. Gráfico correlacionando a variação da maré durante o dia com a vazão instantânea medida com correntômetro ADCP – Campanha praia do Futuro 29/07/2011.



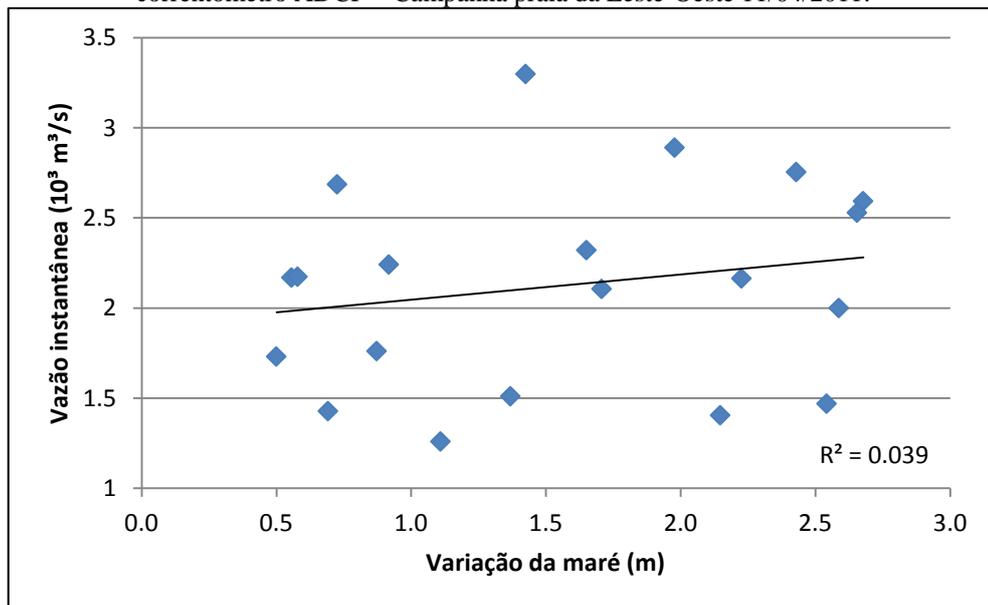
Fonte: o autor

Figura 44. Gráfico correlacionando a variação da maré durante o dia com a vazão instantânea medida com correntômetro ADCP – Campanha praia da Leste-Oeste 04/10/2011.



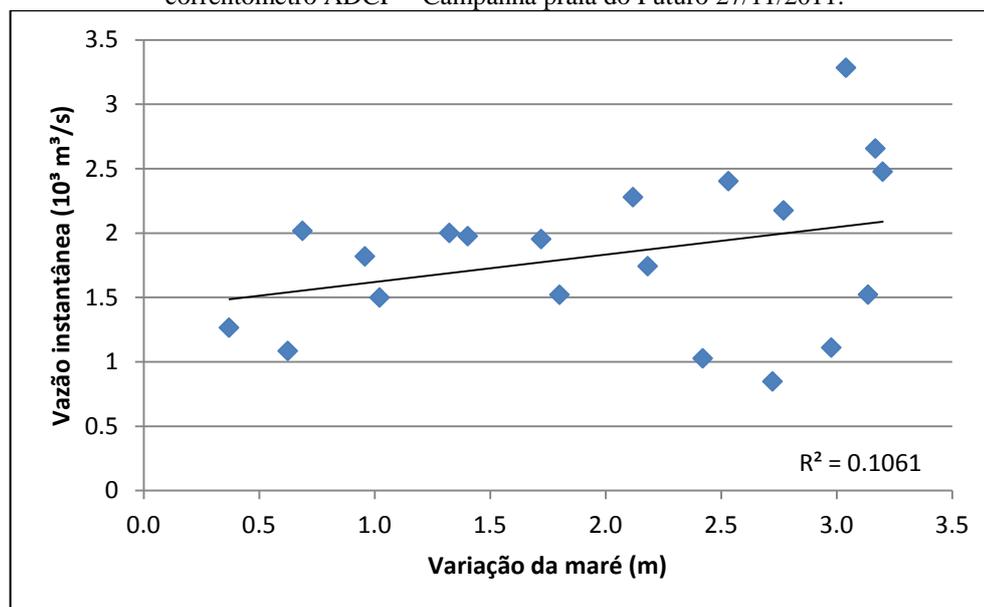
Fonte: o autor

Figura 45. Gráfico correlacionando a variação da maré durante o dia com a vazão instantânea medida com correntômetro ADCP – Campanha praia da Leste-Oeste 11/04/2011.



Fonte: o autor

Figura 46. Gráfico correlacionando a variação da maré durante o dia com a vazão instantânea medida com correntômetro ADCP – Campanha praia do Futuro 27/11/2011.



Fonte: o autor

Por fim, analisando a direção predominante das correntes e sua influência na vazão, temos que durante a enchente as correntes são mais fortes do que na vazante. A praia do Futuro sofre maior influência dos ventos alísios de sudeste e dos ventos locais na maior parte do ano, por isso possui correntes mais fortes em relação às praias a oeste do porto, já que o molhe de proteção do Mucuripe barra essa ação dos ventos vindos de Leste-Sudeste, tornando as praias a oeste do porto mais calmas, dessa forma, sofrendo maior influência dos ventos de Norte-Nordeste, que atuam predominantemente no primeiro semestre, de dezembro a abril. A direção predominante das correntes na praia do Futuro é noroeste, enquanto que na praia da Leste-Oeste tem um sentido leste. Em relação à velocidade das correntes, observa-se valores que podem chegar a 1,2 m/s para a praia da Leste-Oeste e 1,7 m/s para a praia do Futuro.

Silva (2010), estudando correntes no entorno do Sistema de Disposição Oceânica de Esgoto de Fortaleza (SDOES) em abril de 2007, constatou que a velocidade média das correntes era 0,16 m/s, com valores máximos na superfície de 0,38 m/s e no fundo de 0,23 m/s. Também avaliou uma direção do fluxo entre 270° e 330°, ou seja, uma direção Leste-Noroeste. Já Silva *et al.* (2009), estudou os efeitos das galerias pluviais do litoral de Fortaleza na poluição dos mares costeiros cearenses em abril de 2007 e junho de 2008. Ele utilizou um ADCP para medição de correntes no litoral oeste, encontrando direções para Leste, com velocidade média de 38 cm/s, máxima de 50 cm/s e mínima de 18 cm/s, e a direção variando entre 190° e 280°.

Para esses autores, as direções predominantes correspondem às calculas neste estudo. Sobre as diferenças de velocidade, vale ressaltar que as campanhas realizadas neste trabalho na praia da Leste-Oeste foram mais distantes da costa (cerca de 3 km), onde as velocidades são bem maiores e mais dispersas do que as estudadas por Silva (2010) e Silva *et al.* (2009) que fizeram seus estudos mais próximos da costa, com velocidades mais baixas e em regiões protegidas por espigões hidráulicos.

7. CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou utilizar uma nova metodologia para calcular o transporte longitudinal de sedimentos a partir de um ADCP no litoral de Fortaleza, para as praias do Futuro e da Leste-Oeste. Comparou-se os resultados com um modelo teórico de transporte longitudinal, através do programa ACES. Ambos os experimentos encontraram para o mês de julho na praia do Futuro valores de transporte sedimentar da ordem de 0,22 milhões de m³, mas não houve relação significativa para a praia da Leste-Oeste e entre os transportes anuais, devido, principalmente, ao estudo experimental estimar o transporte anual a partir de 2 meses de dados, e das altas concentrações de sedimentos presentes na praia da Leste-Oeste. Além disso, deveria haver uma renovação natural de sedimento da praia do Futuro para as praias a oeste do porto da cidade, mas que é barrado pelos seus molhes de proteção. Por conta disso, as praias a oeste do porto apresentam baixo transporte sedimentar durante a maior parte do ano. Também se verificou que: (1) de dezembro a abril, há uma maior incidência de ondas de Norte-Nordeste, de maior período e energia, fazendo com que ocorra transporte na direção contrária a predominante na praia do Futuro, enquanto que nas praias a oeste ocorre intenso transporte, devido à inclinação da linha de costa que estas praias possuem; e (2) de maio a novembro, ocorre uma maior incidência de ondas de Leste-Sudeste, de menor período e energia, mas com maior frequência, fazendo a praia do Futuro apresentar alto transporte sedimentar, enquanto as praias a oeste do porto apresentam um transporte muito baixo. Estes dados podem ser de grande importância para a gestão da zona costeira e portuária de Fortaleza, no que diz respeito a trabalhos de construção adequada de obras de proteção contra erosão, engordas artificiais de praias, dragagens portuárias, estudos de impacto ambiental na zona costeira, dentre outros. Entretanto, mais estudos precisam ser feitos na área, para se corrigir as divergências encontradas na praia da Leste-Oeste, sendo também necessária uma maior quantidade de campanhas com ADCP durante o ano, para uma melhor quantificação do transporte longitudinal de sedimentos anualmente.

REFERÊNCIAS

- Albuquerque, M. G.; Calliari, L. J.; Corrêa, I. C. S.; Pinheiro, L. S. **Morfodinâmica da praia do Futuro, Fortaleza – Ce: uma síntese de dois anos de estudo**. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 1, n. 2, p. 49-57, 2009.
- Bezerra, M. O.; Pinheiro, L.; Morais, J. O. **shoreline change of the Mucuripe harbour zones (Fortaleza – Ceará, Northeast of Brazil) 1972 – 2003**. *Journal of Coastal Research*, Australia, v.50, p. 1163-1167, 2007.
- Carvalho, A. M.; Maia, L. P.; Dominguez, J. M. L. **A deriva e o transporte litorâneo de sedimentos no trecho entre Cumbuco e Matões – costa Noroeste do Estado do Ceará**. *Arquivo de Ciências do Mar*, Fortaleza, v.40, n. 1, p. 43-51, 2007.
- Del Valle, R.; Medina, R.; Losada, M. A. **Dependence of coefficient K on grain size**. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, v. 119, n. 5, p. 568-574, Setembro. 1993.
- Farias, E. G. G.; Lorenzetti, J. A.; Chapron, B. **Use of fuzzy logic to identify swell generation regions from SAR data**. *In: Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite*, 9., 2011, Rio de Janeiro.
- Feddersen, F. **Vertical Structure of Dissipation in the Nearshore**. *Journal of Physical Oceanography*, v. 37, p. 1764-1777, 2007.
- Ferreira, O.; Fachin, S.; Coli, A. B.; Taborna, R.; Dias, J. A.; Lontra, G. **Study of harbour infilling using sand tracers experiments**. *Journal of Coastal Research*, Northern Ireland, v. 36, p. 283-289, 2002.
- Jung, G. B. **Estrutura e propagação de correntes longitudinais na praia de Tramandaí – RS**. 2010. 54p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- Longuet-Higgins, M. S. **Longshore currents generated by obliquely incident sea waves**. *Journal of Geophysical Research*, v. 75, n. 33, p. 6790-6801, novembro. 1970.
- Maia, Luis Parente. **Procesos y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): implicaciones para una gestión adecuada de La zona litoral**. 1998. 281p. Tese (Doutorado em ciências Del mar) – Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Barcelona, 1998.
- Maia, L. P.; Jimenez, J. A.; Serra, J.; Morais, J. O. **The coastline of Fortaleza city. A product of environmental impacts caused by the Mucuripe harbour**. *Arquivo de Ciências do Mar*, Fortaleza, v. 31, p. 93-100, 1998.

Morais, J. O. **Aspectos do transporte de sedimentos no litoral do município de Fortaleza, Estado do Ceará, Brasil.** Arquivo de Ciências do Mar, Fortaleza, v. 20, n. 1, p. 71-100, Dezembro. 1980.

Morais, J. O. **Evolução sedimentológica da enseada de Mucuripe (Fortaleza – Ceará – Brasil).** Arquivo de Ciências do Mar, Fortaleza, v. 21, n. 1, p. 19-46, Dezembro. 1981.

Pitombeira, Erasmo da Silva. **Deformação das ondas por difração no molhe do porto do Mucuripe (Fortaleza – Ceará – Brasil).** Arquivo de Ciências do Mar, Fortaleza, v. 16, n. 1, p. 55-58, junho. 1976.

Silva A. C.; Pinheiro, L. S.; Maia, L. P. **Estudos hidrodinâmico, climático e bacteriológico associado às fontes pontuais de poluição ao longo do litoral de Fortaleza.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 14, n. 2, p. 83-90, abril/junho. 2009.

Silva, P. R. F. G.; Meireles, A. J. A.; Farias, E. G. G. **caracterização de correntes na área de influência do sistema de disposição oceânica dos esgotos sanitários de Fortaleza, Ceará, Brasil.** Arquivo de Ciências do Mar, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 103-109, 2010.

Vieira, L. A. A.; Pitombeira, E. S.; Souza, R. O. **Comprovação das alterações da linha de costa e de transporte de sedimentos da área costeira do porto do Pecém.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17., 2007, São Paulo. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br>>. Acessado em: 27 abril. 2012.