



**Universidade de  
Aveiro  
2012**

Departamento de Engenharia Civil

**Andreia Margarida  
Pereira Lourenço**

**Estudo do Transporte Sedimentar por Efeito da  
Ondulação**





**Universidade de  
Aveiro  
2012**

Departamento de Engenharia Civil

**Andreia Margarida  
Pereira Lourenço**

**Estudo do Transporte Sedimentar por Efeito da  
Ondulação**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Carlos Coelho, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e coorientação do Professor Doutor Francisco Sancho, Investigador Auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).



Dedico este trabalho à minha família e amigos.



## **o júri**

presidente

**Prof. Doutor Aníbal Guimarães da Costa**

Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Paulo Manuel Cruz Alves da Silva**

Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Carlos Daniel Borges Coelho**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro (orientador)

**Prof. Doutor Francisco Eduardo da Ponte Sancho**

Investigador Auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC (coorientador)



## **agradecimentos**

Na realização deste trabalho importa enaltecer e agradecer o apoio de todos os que participaram com o seu abnegado contributo

Ao Professor Doutor Carlos Coelho, pela sábia e paciente capacidade de orientação e pela dedicação com que acompanhou e apoiou este trabalho.

Ao Professor Doutor Francisco Sancho, pela valiosa disponibilidade e atenção na avaliação dos pormenores técnicos envolvidos.

A todos os meus professores que ao longo destes anos nunca questionaram os momentos de atenção que me dedicaram.

Aos meus pais e família que sempre acreditaram e nunca desistiram do seu incondicional apoio neste caminho.

Aos meus colegas e amigos, que com a sua amizade e energia sempre demonstraram o seu espírito de partilha e empenhamento lembrando que é preciso sorrir.



**palavras-chave**

Transporte de sedimentos em suspensão, concentração de sedimentos, velocidade, ondas, Praia da Saúde.

**resumo**

As praias do litoral são um ambiente dinâmico, já que os processos que decorrem ao longo do seu perfil transversal e longitudinal promovem alterações topográficas e das características sedimentares.

O presente trabalho apresenta o estudo do transporte sedimentar em suspensão com a interação de ondas e correntes relativamente à informação recolhida na campanha do Projeto BRISA realizada na Costa da Caparica, nos dias 13 e 14 de Maio de 2010.

Nesta praia foram colocados equipamentos que permitiram registar as componentes longitudinal e transversal da velocidade do escoamento, as concentrações de sedimentos em suspensão, as pressões e consequentes níveis de superfície da água ao longo dos dois dias da campanha. Os registos foram divididos em três períodos de preia-mar, durante os quais foram analisados os comportamentos da velocidade e da concentração ao longo do perfil vertical e no decorrer do tempo.

O transporte sedimentar em suspensão foi determinado através do integral em profundidade do fluxo de sedimentos, tendo estabelecido os perfis de velocidade e de concentração ao longo da coluna de água. Os resultados têm como objetivo apresentar um contributo para uma melhor compreensão da relação entre a ondulação e os volumes de sedimentos transportados ao longo do perfil transversal da praia.

O resultado dos valores médios gerais do transporte sedimentar aponta para uma movimentação de sedimentos no sentido Oeste-Este (direção transversal) e no sentido Noroeste-Sudeste (direção longitudinal).



**keywords**

Suspended sediment transport, sediment concentration, velocity, waves, Praia da Saúde.

**abstract**

The coastal beaches are a dynamic environment, since the processes that occur along their transverse and longitudinal profile promote topographic changes and changes of the sedimentary characteristics.

This paper presents the study of the suspension sediment transport with the interaction of waves and currents based on the gathered information in the campaign of the BRISA Project held in Costa da Caparica, on the 13<sup>th</sup> and 14<sup>th</sup> of May, 2010.

In this beach were placed equipments that allowed the registry of the longitudinal and crossshore components of the flow velocity, the concentrations of suspended sediments, pressures and consequent levels of surface water over the two days of campaigning.

The records were divided into three periods of high tide, along which were analyzed the behavior of velocity and the concentration along the vertical profile and over time.

The suspension sediment transport was determined by the full depth of the flow of sediments, setting the profiles of speed and concentration throughout the water column.

The results aim to provide a contribution to a better understanding of the relationship between the waves and the volumes of sediments in transport along the crossshore profile of the beach.

The result of the general average values of the sediment transport, points to a sediment movement in the West-East (crossshore direction) and the Northwest-Southeast (longitudinal direction).



*“Seja como a fonte que transborda e não como  
o tanque que contém sempre a mesma água.”*

Paulo Coelho



## ÍNDICE

ÍNDICE .....	I
ÍNDICE DE FIGURAS .....	III
ÍNDICE DE TABELAS .....	V
1 – INTRODUÇÃO .....	1
1.1 – Enquadramento .....	1
1.2 – Objectivos .....	1
1.3 – Estrutura da Dissertação .....	2
2 – DESCRIÇÃO DO TRABALHO DE CAMPO .....	3
2.1 – Caracterização da área de estudo .....	3
2.2 – Caracterização dos Equipamentos .....	6
2.2.1 – Correntómetro electromagnético (ECM) .....	6
2.2.2 – Sensor de pressão (PT) .....	7
2.2.3 – Sensor de concentração (OBS) .....	8
3 – MEDIÇÕES .....	10
3.1 – Nível de Maré .....	10
3.2 – Velocidade .....	13
3.2.1 – Registos .....	14
3.2.2 – Erros de Medição, Obliquidades das Ondas e Variação Vertical .....	17
3.3 – Concentração de Sedimentos em Suspensão .....	19
3.3.1 – Calibração do OBS .....	22
3.3.2 – Registos .....	24
4 – TRANSPORTE SÓLIDO .....	29
4.1 – Concentrações e Velocidades Constantes em Altura .....	30
4.2 – Concentrações e Velocidades Variáveis em Altura .....	36
4.3 – Formulações Numéricas .....	42
5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	45
5.1 – Conclusões .....	45
5.2 – Desenvolvimentos futuros .....	47
BIBLIOGRAFIA .....	48



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Transporte de sedimentos por efeito da ação das ondas (Little, 2007). .....	2
Figura 2 – Praia da Saúde, Costa da Caparica (Google Earth, 2012). .....	3
Figura 3 – Estrutura em “H” com a instalação dos equipamentos (Bezerra <i>et al</i> , 2010)..	4
Figura 4 – Modelo digital de terreno do levantamento topo-batimétrico realizado no dia 11 de Maio de 2010 (Bezerra <i>et al.</i> , 2010). .....	5
Figura 5 – Esquema da posição dos aparelhos na estrutura metálica “H4”. .....	6
Figura 6 - Correntómetro eletromagnético (ECM). .....	7
Figura 7 – Sensor de Pressão (Inc., 2010). .....	8
Figura 8 – Sensores de concentração (Optical Backscatter Sensor – OBS). .....	9
Figura 9 – Variação de pressão registada, ao longo do tempo, entre as 9:00:00 do dia 13 de Maio de 2010 e as 11:23:59 do dia 14 de Maio de 2010. ....	11
Figura 10 – Variação da altura da coluna de água na Maré 1, entre as 13:10:00 e as 16:30:00 do dia 13 de Maio de 2010. ....	12
Figura 11 – Variação da altura da coluna de água na Maré 2, entre as 02:00:00 e as 04:40:00 do dia 14 de Maio de 2010. ....	12
Figura 12 – Esquema de direções e sentidos dos registos de velocidades obtidos na Praia da Saúde, na Costa da Caparica (modificado de Google Earth, 2012). .....	13
Figura 13 – Valores da velocidade ao longo das três Marés em análise. ....	17
Figura 14 – Dispersão de valores não corrigidos da velocidade transversal e longitudinal (a linha de tendência tem um desvio com a horizontal de cerca de 12°, na Maré 1). ....	19
Figura 15 – Perfil transversal tipo (Fonseca, 2011). .....	20
Figura 16 – Esquema dos fenómenos que ocorrem no transporte de sedimentos (adaptado de Biologia à Geologia, 2012). .....	21
Figura 17 – Esquema dos tipos de percurso que as partículas podem descrever ao longo de uma coluna de água (Nielsen, 1992). .....	22
Figura 18 – Ensaio com OBS para obter as equações de calibração. ....	23
Figura 19 – Sinal do OBS (mV) registado ao longo do processo de calibração, com concentrações de sedimentos variáveis e conhecidas. ....	23
Figura 20 – Concentração de sedimentos em suspensão (g/l) ao longo do tempo (Maré 1). .....	24
Figura 21 – Concentração de sedimentos em suspensão (g/l) ao longo do tempo (Maré 2). .....	25

Figura 22 – Concentração de sedimentos em suspensão (g/l) ao longo do tempo (Maré 3). .....	25
Figura 23 – Concentrações de sedimentos em suspensão ao longo do tempo, em médias de 10 minutos para cada situação de maré. ....	28
Figura 24 – Comportamento da concentração de sedimentos em suspensão e da velocidade de corrente ao longo da coluna de água (Camenem e Larson, 2007).....	29
Figura 25 – Esquema da determinação das alturas de influência. ....	30
Figura 26 – Transporte sedimentar instantâneo a cada 10 minutos, Maré 1. ....	32
Figura 27 – Transporte sedimentar instantâneo a cada 10 minutos, Maré 2. ....	32
Figura 28 – Transporte sedimentar instantâneo a cada 10 minutos, Maré 3. ....	33
Figura 29 – Transporte sedimentar médio em cada 0,1 segundos para cada período de 10 minutos, ao longo da Maré 1. ....	34
Figura 30 – Transporte sedimentar médio em cada 0,1 segundos para cada período de 10 minutos, ao longo da Maré 2. ....	35
Figura 31 – Transporte sedimentar médio em cada 0,1 segundos para cada período de 10 minutos, ao longo da Maré 3. ....	35
Figura 32 – Quadro de parâmetros de entrada do programa <i>Wave –Current Interaction Calculations</i> , USGS (2007).....	38
Figura 33 – Transporte sedimentar médio em cada 0,1 segundos para cada período de 10 minutos, ao longo da Maré 1. ....	40
Figura 34 – Transporte sedimentar médio em cada 0,1 segundos para cada período de 10 minutos, ao longo da Maré 2. ....	41
Figura 35 – Transporte sedimentar médio em cada 0,1 segundos para cada período de 10 minutos, ao longo da Maré 3. ....	41

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Frequência de aquisição de dados (Ribeiro <i>et al.</i> ,2010).....	5
Tabela 2 – Intervalos de tempo que definem cada maré e que foram considerados na análise dos registos. ....	10
Tabela 3 – Valores médios, mínimos e máximos das componentes longitudinal e transversal das velocidades (cm/seg). ....	14
Tabela 4 – Análise da quantidade de valores considerados anómalos, das leituras registadas em cada maré.....	18
Tabela 5 – Concentrações de sedimentos em suspensão (g/l) médias, mínimas e máximas, ao longo das três situações de maré definidas. ....	26
Tabela 6 – Valores de transporte sedimentar instantâneo (kg/m/seg). ....	31
Tabela 7 – Transporte sedimentar na direção transversal (kg/m), durante os ciclos de marés em análise. ....	33
Tabela 8 – Transporte sedimentar na direção longitudinal (kg/m), durante os ciclos de marés em análise. ....	34
Tabela 9 – Parâmetros utilizados no programa <i>Wave –Current Interaction Calculations</i> . ....	38
Tabela 10 – Transporte sedimentar ocorrido na direção longitudinal (kg/m), nas marés em análise. ....	39
Tabela 11 – Transporte sedimentar ocorrido na direção transversal (kg/m), nas marés em análise. ....	40



## **1 – INTRODUÇÃO**

### **1.1 – Enquadramento**

As praias do litoral podem apresentar a mesma disposição geográfica por largos períodos de tempo, onde as variações dos perfis topográficos e das características sedimentares apenas se verificam em relação às marés. O equilíbrio na natureza caracteriza-se pelo seu dinamismo, pois os sedimentos que compõem a praia não se encontram continuamente em repouso. No entanto, uma constante morfologia pode ser mantida através da entrada e saída de quantidades médias iguais de sedimentos no mesmo período de tempo, o que corresponde à noção de equilíbrio dinâmico de uma faixa litoral.

A erosão e a deposição de sedimentos ao longo das zonas costeiras são fenómenos provenientes da alteração deste equilíbrio. Resultando deste facto a necessidade de contabilizar e avaliar os processos de transporte sedimentar.

De acordo com Fortunato *et al.* (2010), os modelos numéricos (que são baseados em processos empíricos) são ferramentas cada vez mais utilizadas na avaliação dos fluxos de sedimentos, tanto para a análise de tendências como para a previsão dos efeitos de intervenções humanas. Contudo, a quantificação destes fluxos de sedimentos envolve normalmente erros da ordem dos 100% para o transporte devido às correntes e erros muito superiores no caso do transporte devido às ondas. A quantificação destes erros e a compreensão das suas fontes é por isso fundamental para a qualidade e credibilidade de muitos estudos de engenharia costeira. Sendo apenas possível esta avaliação com a monitorização de comportamentos reais.

### **1.2 – Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo determinar a concentração e a taxa de transporte de sedimentos em suspensão a partir de dados recolhidos numa campanha de campo, numa praia sob a ação de agitação marítima e correntes. O trabalho baseia-se em elementos recolhidos no Projeto BRISA (BReaking waves Interaction with SAnd transport), analisando os registos de diversos parâmetros que caracterizam a Praia da Saúde, localizada na Costa da Caparica em Portugal. No âmbito deste Projeto BRISA foram efetuadas medições da concentração de sedimentos em suspensão, da pressão e

da velocidade do escoamento, possibilitando a estimativa do transporte sedimentar em suspensão pela corrente marítima e ondulação (Figura 1).

A monitorização de comportamentos reais contribui para a compreensão e precisão dos processos de transporte sedimentar.



Figura 1 – Transporte de sedimentos por efeito da ação das ondas (Little, 2007).

### **1.3 – Estrutura da Dissertação**

A dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos. No capítulo 2 é feita a descrição do local onde foram efetuados os trabalhos da campanha (Praia da Saúde), dos equipamentos utilizados e de quais as instituições envolvidas no Projeto BRISA. No capítulo 3 procede-se à análise dos dados recolhidos através dos equipamentos (sensores de pressão, velocidade e concentração). No capítulo 4 apresenta-se o cálculo, de forma simplificada, do caudal sólido que resulta dos valores medidos, tendo em conta a variação da velocidade e da concentração ao longo da coluna de água. Neste capítulo é também feita uma breve sinopse de algumas fórmulas empíricas para o cálculo da taxa de transporte de sedimentos mais recentes. No capítulo 5 são apresentadas as considerações finais, com as principais conclusões do trabalho desenvolvido e os aspectos que se podem desenvolver no futuro.

## 2 – DESCRIÇÃO DO TRABALHO DE CAMPO

### 2.1 – Caracterização da área de estudo

Este trabalho tem por base a análise da informação recolhida na segunda campanha do Projeto BRISA realizada a cerca de 200m a Sul da Praia da Saúde, nos dias 13 e 14 de Maio de 2010 (Figura 2). O Projeto BRISA resulta de uma parceria entre o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), a Universidade de Aveiro (UA), a Universidade do Algarve (UAlg) e a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL). Tendo esta campanha sido realizada com o objetivo de adquirir dados hidrodinâmicos e morfológicos para testar e validar modelos numéricos, assim como, para o conhecimento da dinâmica da rebentação e sua influência no transporte de sedimentos e na morfodinâmica da praia em estudo (Bezerra *et al.*, 2010).

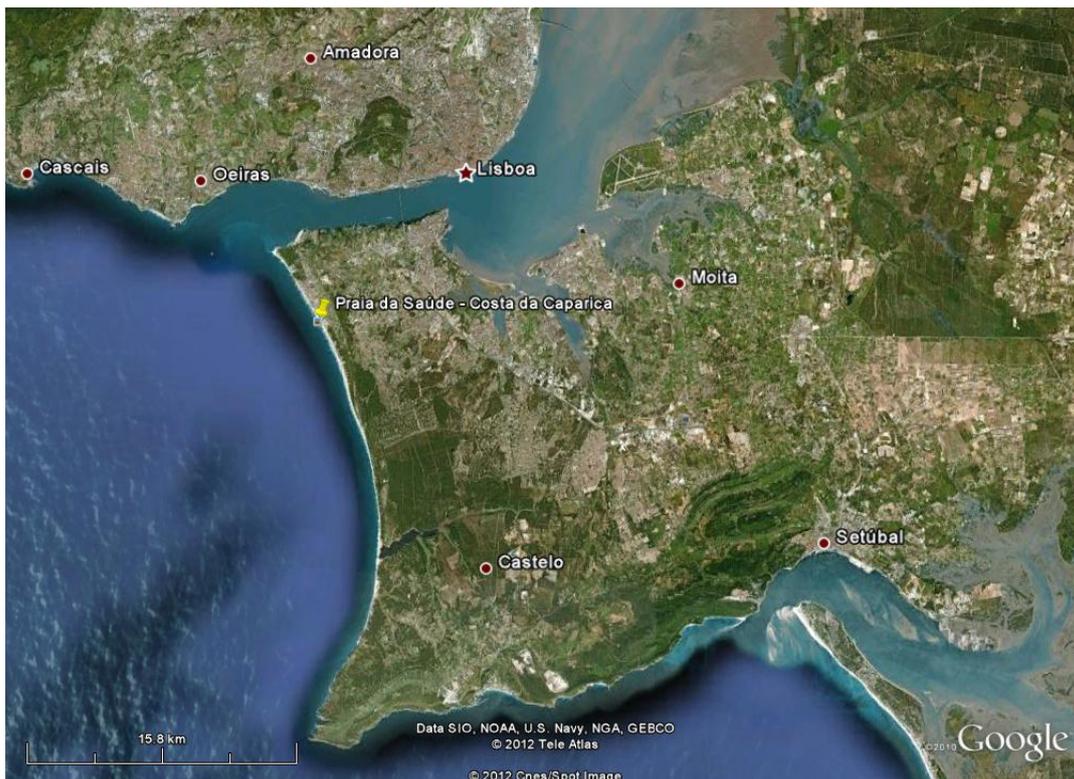


Figura 2 – Praia da Saúde, Costa da Caparica (Google Earth, 2012).

Para tal foram montadas cinco estruturas metálicas em “H” (Figura 3), identificadas de 1 a 5, desde do lado do mar para terra. Na primeira estrutura foram instalados equipamentos do LNEC, na segunda e terceira estruturas equipamentos da

UAlg, na quarta estrutura equipamentos da FCUL e a quinta estrutura equipamentos da UA e do LNEC (Bezerra *et al.*, 2010).



Figura 3 – Estrutura em “H” com a instalação dos equipamentos (Bezerra *et al.*, 2010).

Além das medições registadas pelos equipamentos foram também recolhidas, durante as enchentes diurnas, amostras de sedimentos em transporte na coluna de água, através de uma armadilha de sedimento colocada próximo do local da terceira estrutura “H”, tendo sido recolhidas 12 amostras.

No dia 12 de Maio de 2010 foram recolhidas amostras de sedimentos do fundo, junto aos locais onde foram instalados os equipamentos, para uma posterior análise.

O levantamento batimétrico da zona costeira adjacente à área em estudo foi realizado no dia 11 de Maio de 2010 durante a preia-mar diurna. Este levantamento foi efetuado em dezanove transectos perpendiculares à linha de costa, com espaçamento de 100m entre si (Figura 4) (Bezerra *et al.*, 2010).

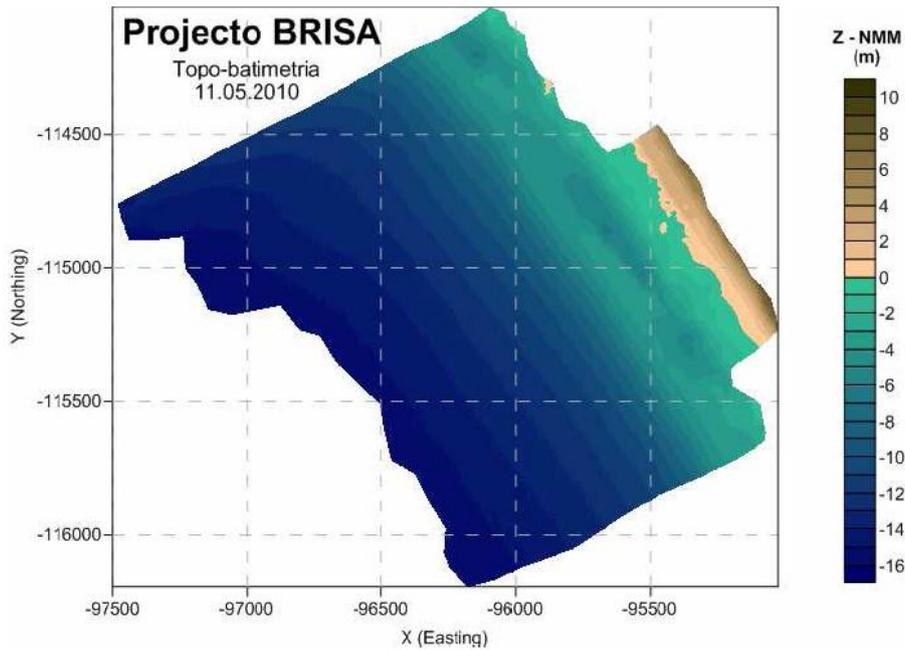


Figura 4 – Modelo digital de terreno do levantamento topo-batimétrico realizado no dia 11 de Maio de 2010 (Bezerra *et al.*, 2010).

Todos os equipamentos foram sincronizados pelo Observatório Astronómico de Lisboa (Bezerra *et al.*, 2010). A frequência de aquisição de dados registados pelos equipamentos foi efetuada de acordo com as capacidades de registo de cada um, Tabela 1.

Tabela 1 – Frequência de aquisição de dados (Ribeiro *et al.*, 2010).

Equipamento	Frequência (Hz)
Correntómetro (ECM)	10
Sensor de concentração (OBS)	10
Sensor de Pressão	2

Os dados analisados neste trabalho foram registados pelos equipamentos acoplados à estrutura “H4”, pertencentes à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL). Nesta estrutura encontravam-se um correntómetro eletromagnético (ECM), dois sensores de medição da concentração de sedimentos em suspensão tipo Optical Backscatter Sensors (OBS) e um transdutor de pressão (PT).

## 2.2 – Caracterização dos Equipamentos

Para avaliar a concentração de sedimentos em suspensão, a altura da coluna de água e a velocidade do escoamento na Praia da Saúde foram utilizados dois sensores de concentração (Optical Backscatter Sensor - OBS), um transdutor de pressão (PT) e um correntômetro (Electromagnetic Current Meter - ECM). A Figura 5 representa as posições dos aparelhos e respectivas cotas em relação ao fundo (Ribeiro *et al.*,2010).

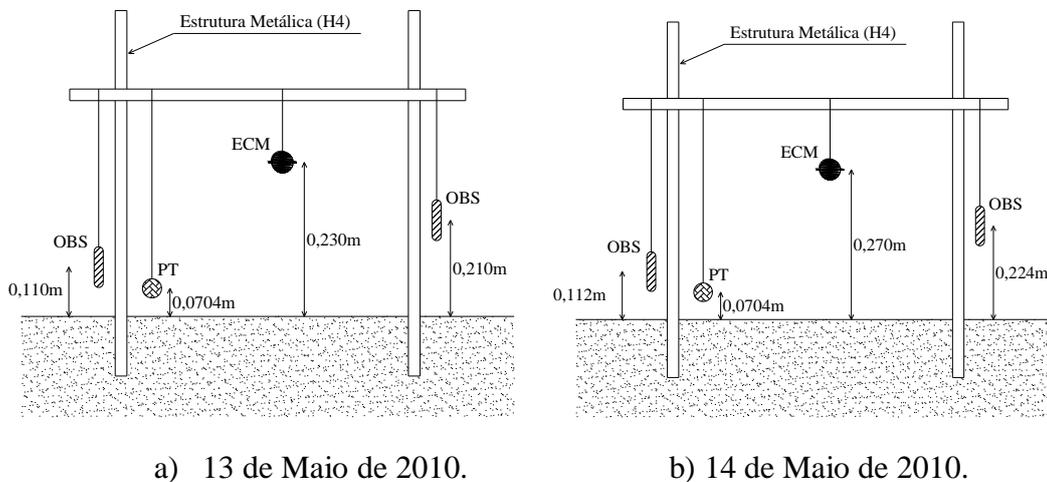


Figura 5 – Esquema da posição dos aparelhos na estrutura metálica “H4”.

### 2.2.1 – Correntômetro eletromagnético (ECM)

Os correntômetros eletromagnéticos (ECM) baseiam-se no princípio de que, um condutor elétrico que se move através de um campo magnético induz uma corrente elétrica. Dado que a água do mar é um bom condutor, quando se move entre os eletrodos, a corrente elétrica induzida é proporcional à velocidade da corrente marítima. Um ECM tem uma bobine para produzir um campo magnético e dois sistemas de eletrodos os quais são colocados perpendicularmente entre si. Combinando a rapidez medida pelos sistemas, o instrumento determina a velocidade e direção da corrente marítima (Centro de Oceanografia, 2010). Na Figura 6 apresenta-se um exemplo deste tipo de instrumento.



Figura 6 - Correntómetro eletromagnético (ECM).

### 2.2.2 – Sensor de pressão (PT)

Um sensor de pressão é um transdutor que converte a pressão num sinal analógico elétrico. A conversão de pressão num sinal elétrico é realizada através da deformação física de extensómetros que são coladas no diafragma do transdutor de pressão. Aplicando uma pressão ao sensor de pressão produz-se uma deflexão do diafragma que transmite a tensão ao instrumento medidor. A tensão vai produzir uma mudança de resistência eléctrica proporcional à pressão (Inc., 2010).



Figura 7 – Sensor de Pressão (Inc., 2010).

O modelo de sensor de pressão utilizado foi o LevelTroll 500 . Este equipamento é passível de margem de erro de medição até 0,1%, o que torna os resultados obtidos fiáveis (Inc., 2010). Na Figura 7 estão apresentados três tipos de sensores de pressão, tendo sido utilizado o que está representado a meio na figura.

### **2.2.3 – Sensor de concentração (OBS)**

O OBS (Figura 8) é um equipamento utilizado para medir a concentração de sedimentos em suspensão e também a turbidez em meio líquido. O sinal do OBS representa mudanças relativas na luz retro difundida pelas amostras de água e o seu significado só será perceptível aquando da realização da calibração do aparelho. A calibração permite relacionar o sinal recebido pelo aparelho expresso em miliVolts (Sousa, 2009).



Figura 8 – Sensores de concentração (Optical Backscatter Sensor – OBS).

### 3 – MEDIÇÕES

Neste capítulo avaliam-se os registos do trabalho de campo realizado nos dias 13 e 14 de Maio de 2010, correspondendo a leituras de velocidades de escoamento, pressão e concentração de sedimentos em suspensão. Os registos estão compreendidos em três intervalos de maré, correspondentes às preias-mar e designados por Maré 1, Maré 2 e Maré 3. Os intervalos de tempo considerados na análise foram truncados de forma a compreender os valores das leituras durante os quais os aparelhos se encontravam submersos e a fornecerem dados lógicos, isto é, que não excedam em duas vezes a aceleração da gravidade e que no intervalo de tempo correspondam ao período de preia-mar, conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 2 – Intervalos de tempo que definem cada maré e que foram considerados na análise dos registos.

	Data	Período de tempo		
		Início	Fim	Duração (horas)
Maré 1	13-05-2010	13:10:00	16:30:00	3:20
Maré 2	14-05-2010	02:00:00	04:40:00	2:40
Maré 3	14-05-2010	14:30:00	17:00:00	2:30

#### 3.1 – Nível de Maré

O nível de maré foi estimado em função da pressão registada pelo sensor de pressão. A pressão foi medida continuamente durante os dois dias de recolha de dados, entre as 9:00:00 do dia 13 e as 11:23:59 do dia 14 de Maio de 2010. A Figura 9 apresenta a avaliação da pressão ao longo do tempo, onde se pode identificar as maiores pressões associadas ao nível da superfície da água nas duas primeiras preias-mar.

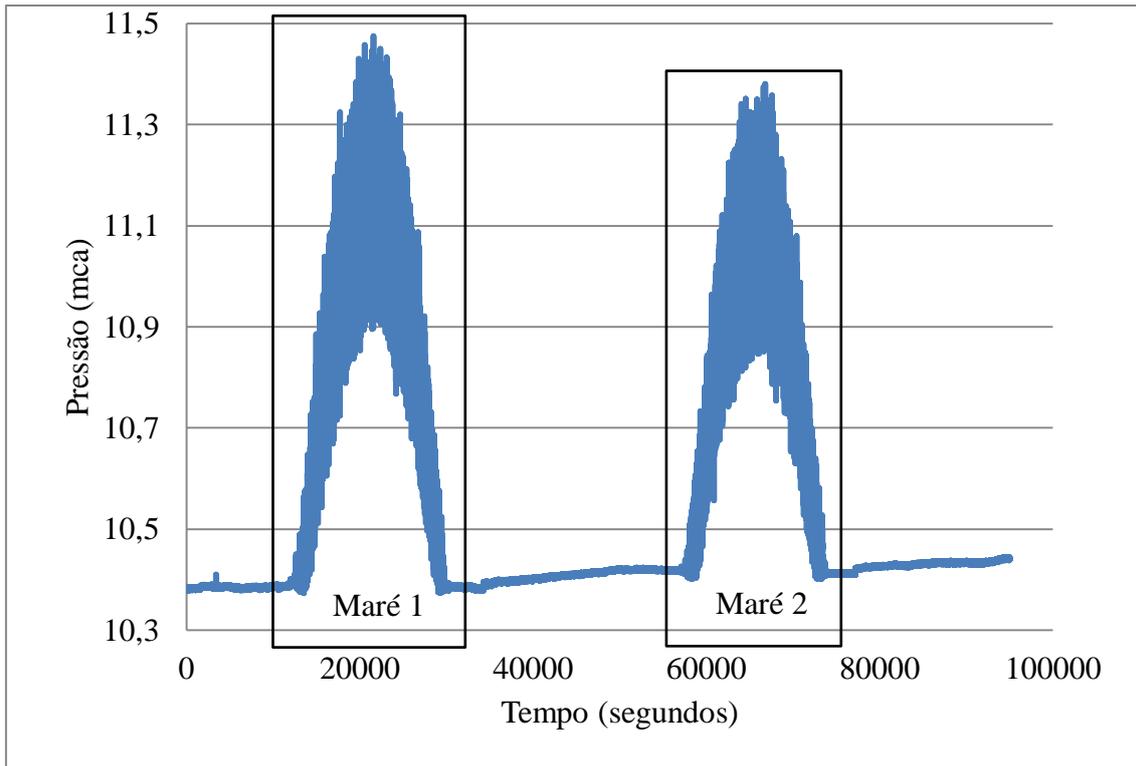


Figura 9 – Variação de pressão registrada, ao longo do tempo, entre as 9:00:00 do dia 13 de Maio de 2010 e as 11:23:59 do dia 14 de Maio de 2010.

Para a Maré 1, a pressão atinge o máximo de 11,47mca, às 14:59:30 e para a Maré 2 o máximo de 11,37mca às 03:33:25 do dia 14 de Maio. Admitindo que a pressão à superfície da água é 10,33mca (1atm) e sabendo que, o sensor de pressão se encontrava a uma distância de 7,04cm do fundo, determinou-se a altura da coluna de água em relação ao fundo em cada instante (Figura 10 e 11).

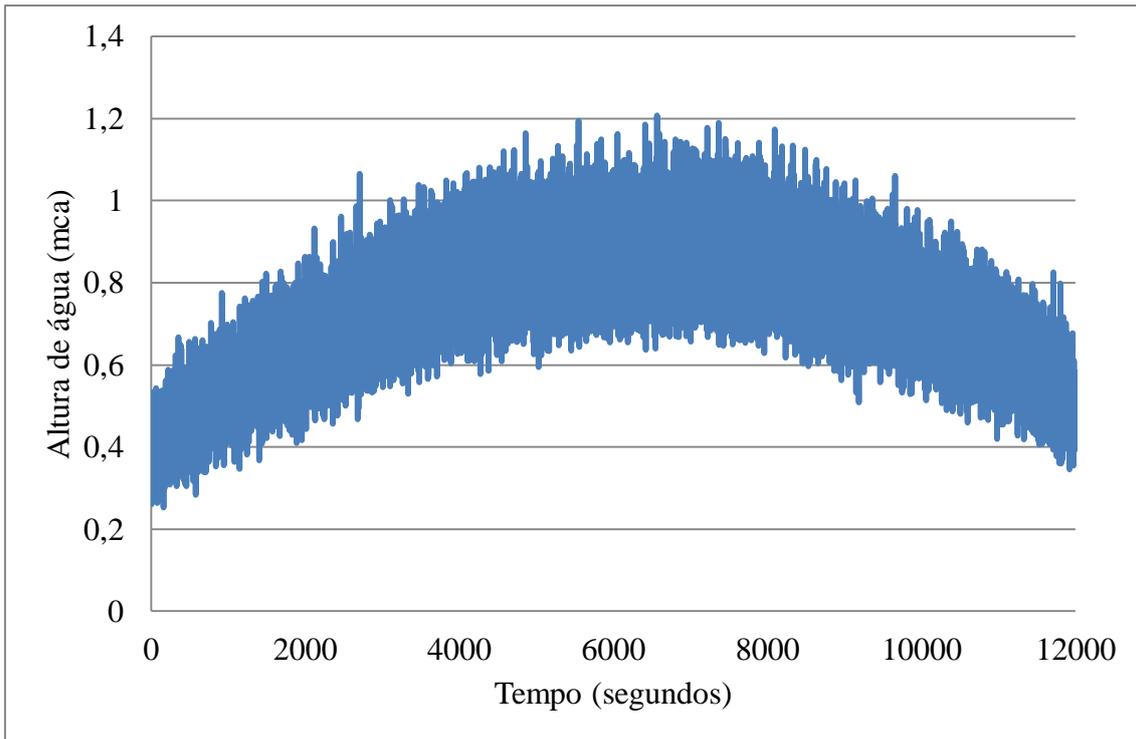


Figura 10 – Variação da altura da coluna de água na Maré 1, entre as 13:10:00 e as 16:30:00 do dia 13 de Maio de 2010.

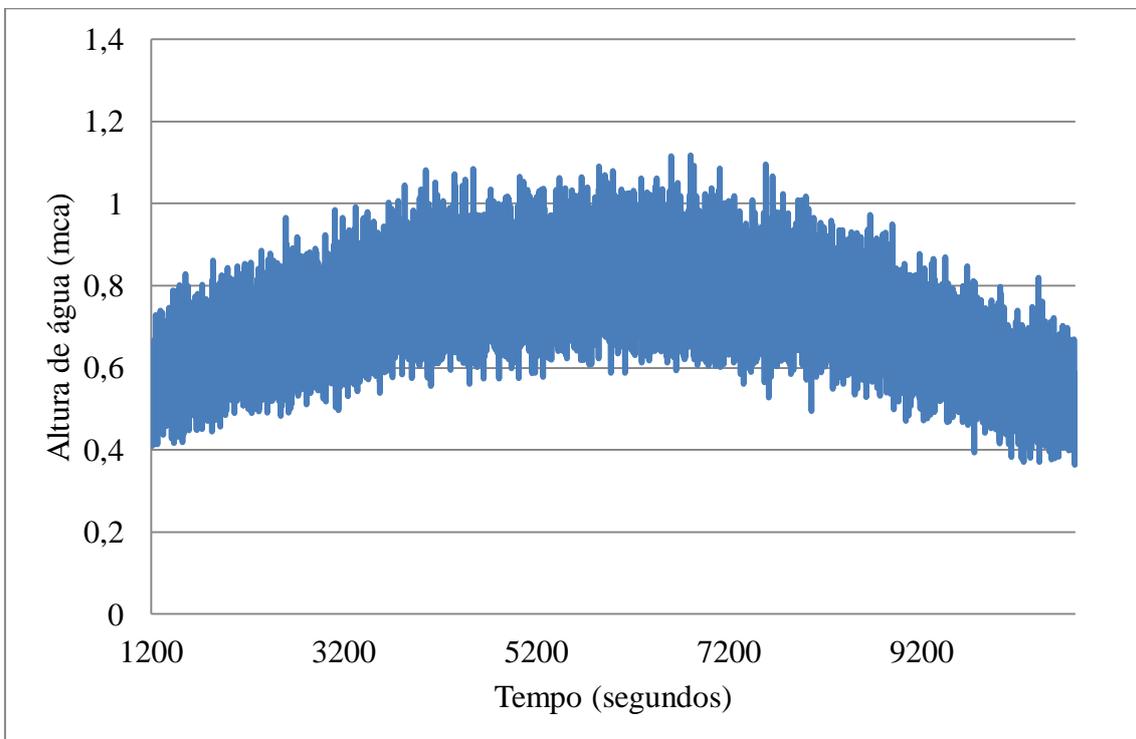


Figura 11 – Variação da altura da coluna de água na Maré 2, entre as 02:00:00 e as 04:40:00 do dia 14 de Maio de 2010.

A altura máxima de coluna de água registada durante a Maré 1 foi de 1,21mca e a altura mínima de 0,25mca. A altura máxima de coluna de água registada durante a Maré 2 foi de 1,12mca e a altura mínima de 0,27mca, verificando-se assim, um pico ligeiramente inferior na Maré 2.

### 3.2 – Velocidade

O sensor de velocidades registou valores em duas direções, uma na perpendicular à praia e outra no sentido longitudinal.

A velocidade longitudinal corresponde à corrente de deriva, com os valores positivos dirigidos para Noroeste. A componente transversal, dominada pelas ondas, tem sentido positivo em direção a terra, como exemplifica a Figura 12.

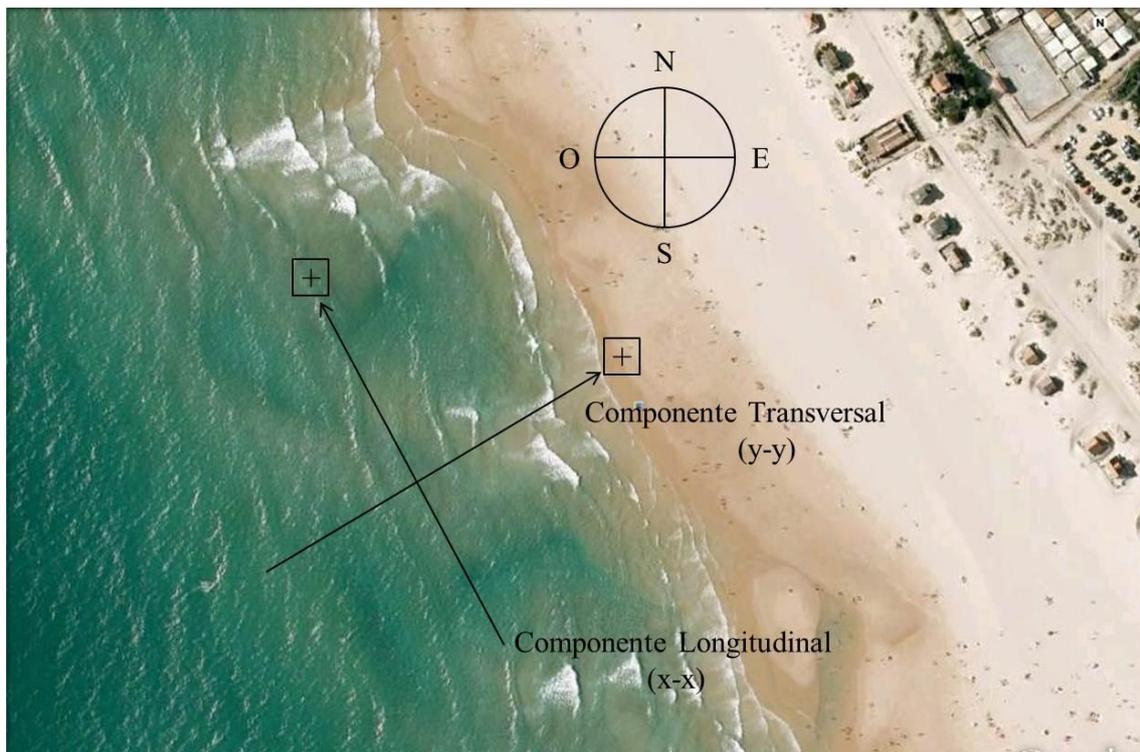


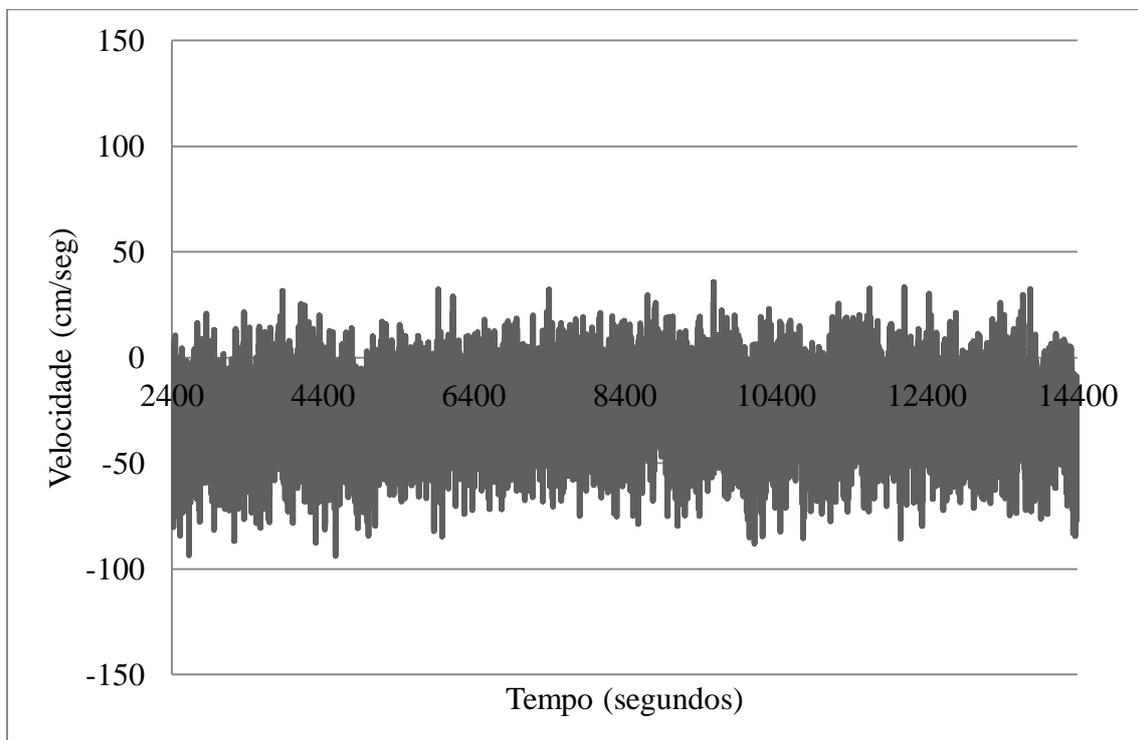
Figura 12 – Esquema de direções e sentidos dos registos de velocidades obtidos na Praia da Saúde, na Costa da Caparica (modificado de Google Earth, 2012).

### 3.2.1 – Registos

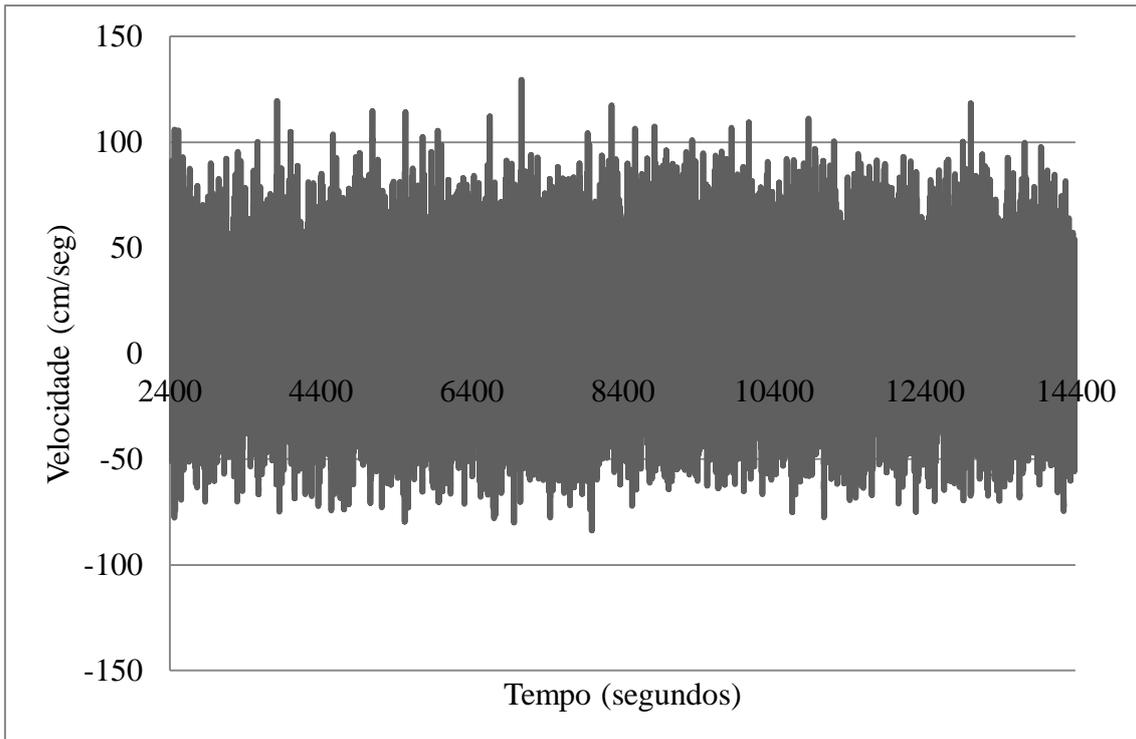
A Figura 13 apresenta os valores das duas componentes da velocidade registada ao longo das três situações de maré em análise. Na direção longitudinal os valores da velocidade apresentam uma amplitude e grandeza menores que os da direção transversal, verifica-se ainda a predominância de valores negativos, correspondentes ao sentido Noroeste-Sudeste em todas as Marés, de acordo com os valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores médios, mínimos e máximos das componentes longitudinal e transversal das velocidades (cm/seg).

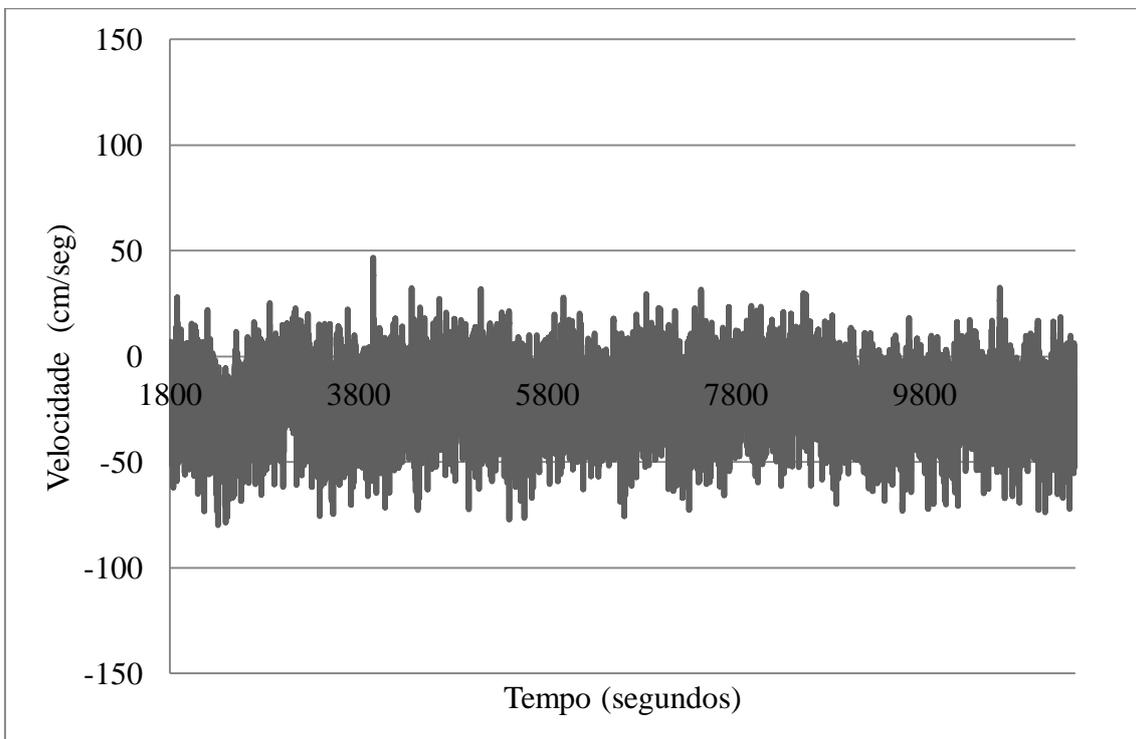
Maré/Direção	Longitudinal			Transversal		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
Maré 1	-23,07	-93,92	35,66	-1,41	-83,75	129,29
Maré 2	-18,07	-79,91	46,59	3,36	-81,82	143,24
Maré 3	-30,11	-98,49	32,02	2,47	-89,02	-25,88



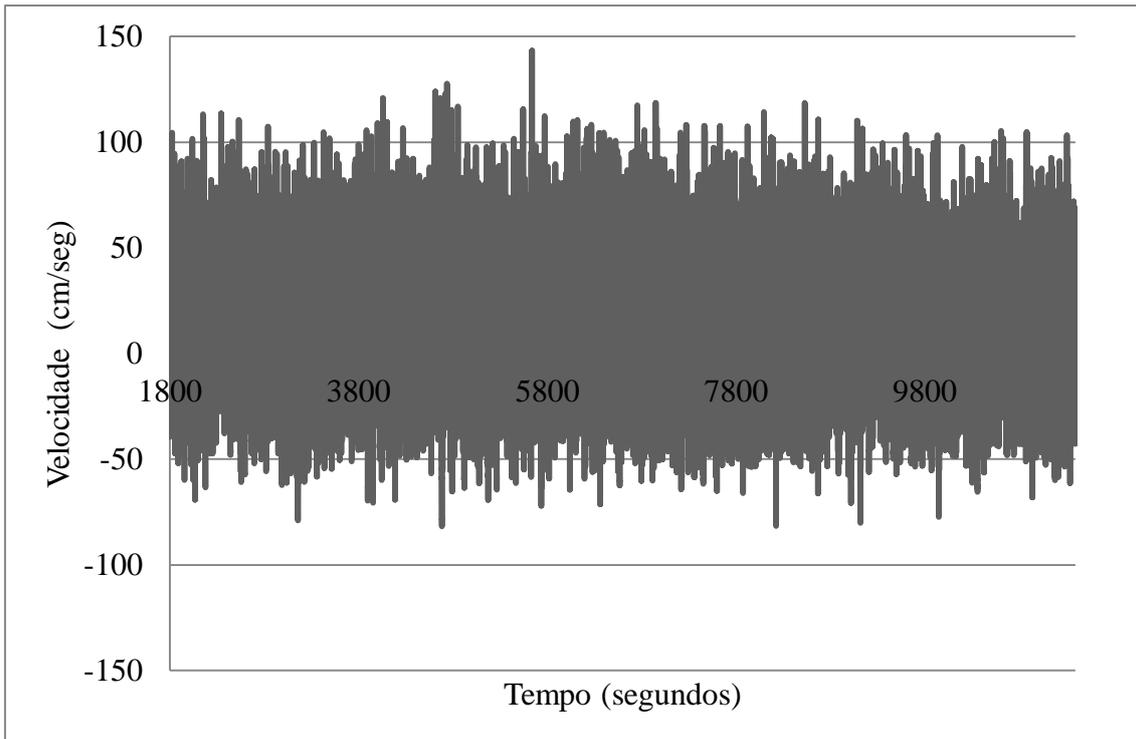
a) Componente longitudinal da velocidade, registada entre as 13:10:00 e as 16:30:00 do dia 13 de Maio de 2010 (Maré 1).



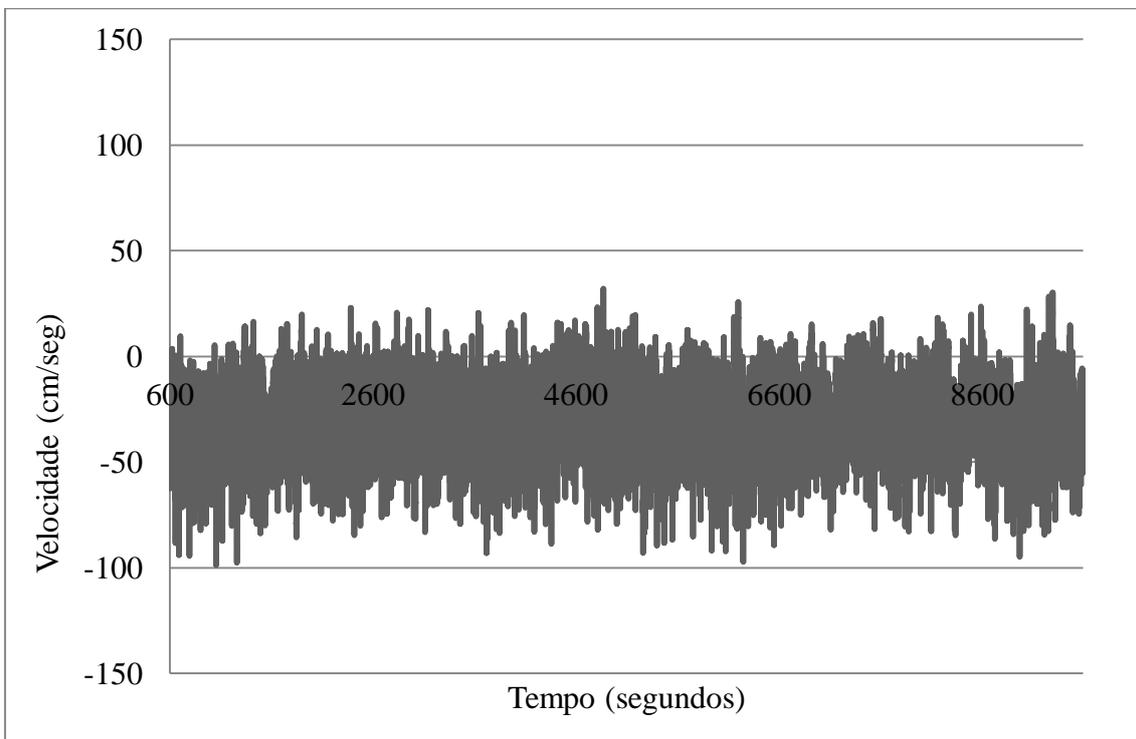
b) Componente transversal da velocidade, registada entre as 13:10:00 e as 16:30:00 do dia 13 de Maio de 2010 (Maré 1).



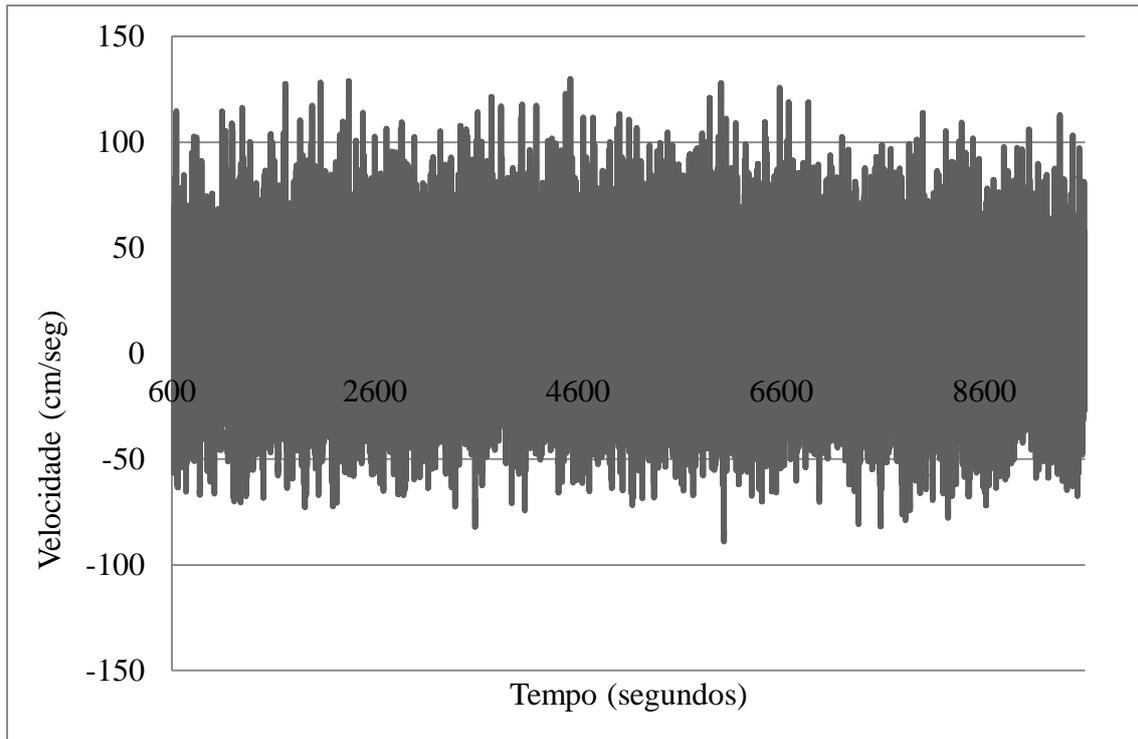
c) Componente longitudinal da velocidade, registada entre as 02:00:00 e as 04:40:00 do dia 14 de Maio de 2010 (Maré 2).



d) Componente transversal da velocidade, registada entre as 02:00:00 e as 04:40:00 do dia 14 de Maio de 2010 (Maré 2).



e) Componente longitudinal da velocidade, registada entre as 14:30:00 e as 17:00:00 do dia 14 de Maio de 2010 (Maré 3).



- f) Componente transversal da velocidade, registada entre as 14:30:00 e as 17:00:00 do dia 14 de Maio de 2010 (Maré 3).

Figura 13 – Valores da velocidade ao longo das três Marés em análise.

### 3.2.2 – Erros de Medição, Obliquidades das Ondas e Variação Vertical

Os sensores de velocidades, ECM, são muito utilizados e de fácil manuseio, mas os dados que recolhem podem ser afetados por falhas do próprio equipamento, turbulências, picos de ruído e outros efeitos, pelo que é necessário fazer uma validação dos dados registados. Quando os picos de ruído são similares às turbulências registadas nas componentes da velocidade verifica-se uma maior dificuldade na validação dos dados registados, recorrendo à criação de vários algoritmos para fazer um despiste dos valores com interferências registados pelos ECM. Sendo a aceleração um parâmetro utilizado para diferenciar os valores. A aceleração associada às velocidades registadas não pode ser superior a duas vezes a aceleração da gravidade ( $9,81\text{m/s}^2$ ). Baseados no pressuposto anterior, Goring e Nikora (2002) propuseram um algoritmo que não necessita de coeficientes empíricos, o 3D Phase Space, sendo considerado o algoritmo mais eficiente na avaliação dos valores registados por sensores de velocidade (Mori *et al.*, 2007).

A Tabela 4 indica o resultado da remoção dos valores anómalos das leituras para as séries temporais das três marés com o auxílio do algoritmo 3D Phase Space executado em linguagem MATLAB.

Tabela 4 – Análise da quantidade de valores considerados anómalos, das leituras registadas em cada maré.

Designação		Número de registos	Registos anómalos	Percentagem de registos anómalos
Maré 1	Transversal	120000	777	0,65
	Longitudinal		513	0,43
Maré 2	Transversal	99000	1143	1,15
	Longitudinal		598	0,60
Maré 3	Transversal	90000	588	0,65
	Longitudinal		266	0,30

A percentagem de valores anómalos é baixa em relação à amostragem, o que não influenciaria em muito os cálculos, contudo para a presente análise foram utilizados os valores corrigidos pelo algoritmo 3D Phase Space.

Uma vez que, as ondas não chegam perfeitamente perpendiculares à praia, mas sim com relativa obliquidade, pelo que as velocidades longitudinal e transversal registadas poderão não corresponder à realidade, pois poderia haver um desvio da orientação do sensor face à verdadeira orientação longitudinal e transversal. Ao comparar a velocidade transversal com a velocidade longitudinal (Figura 14), a linha de tendência de valores está desalinhada com o eixo horizontal. Verifica-se ainda que quanto maior a dispersão na vertical (componente longitudinal), maior a dispersão angular da propagação das ondas, ou seja, tanto vinham ondas perpendiculares à costa, como com desvios significativos a essa perpendicular.

Para corrigir esta situação e simplificar a análise realizou-se uma rotação da linha de tendência dos valores, de forma a alinhar a direção da propagação da onda com o eixo horizontal. A rotação dos valores foi feita com recurso a rotinas construídas no programa MATLAB.

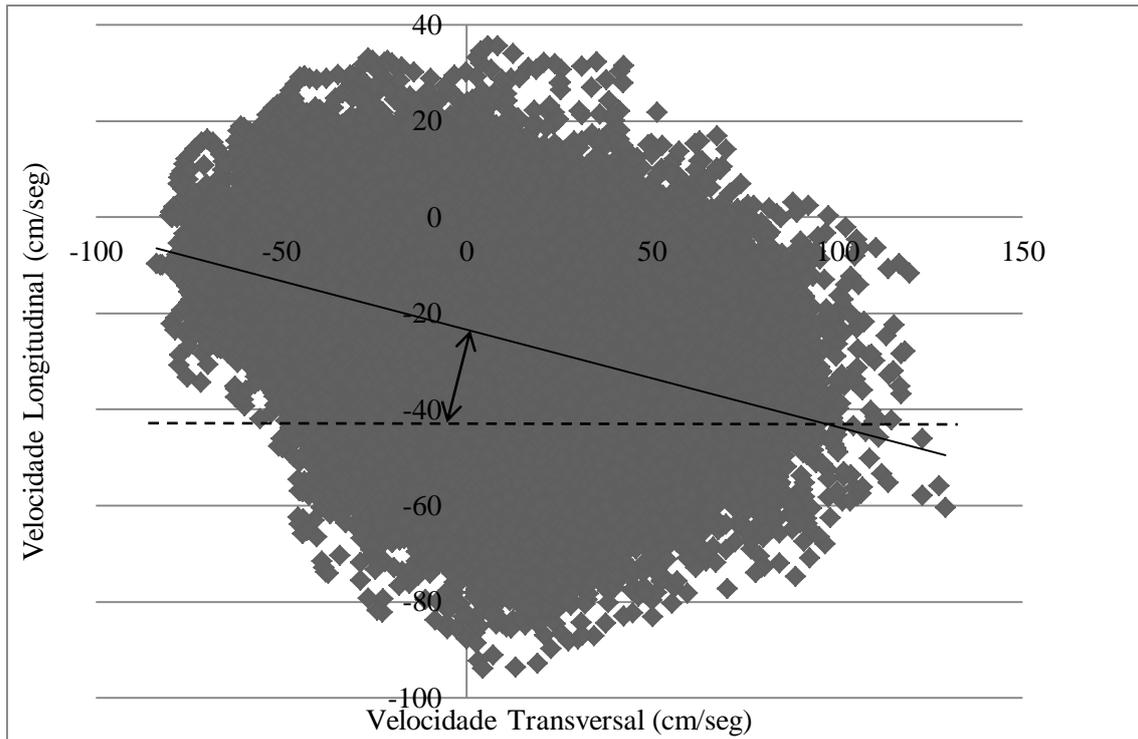


Figura 14 – Dispersão de valores não corrigidos da velocidade transversal e longitudinal (a linha de tendência tem um desvio com a horizontal de cerca de  $12^\circ$ , na Maré 1).

A mesma análise foi feita para as outras duas situações de maré onde se verificou que a linha de tendência apresenta um desvio com a horizontal de  $8^\circ$  para a Maré 2 e de  $10^\circ$  para a Maré 3, perfazendo uma média total de  $10^\circ$  considerando as três marés. Este procedimento é importante quando se utilizam formulações para o transporte sedimentar transversal e longitudinal com interação entre ondas e correntes, nas quais se consideram os respectivos ângulos. Através da análise realizada considera-se que o alinhamento do equipamento era suficientemente próximo das direções pretendidas, pelo que não se efetuou nenhuma correção aos registos.

### 3.3 – Concentração de Sedimentos em Suspensão

Os sedimentos podem ser mobilizados por ação das ondas e correntes. A sua dimensão varia com a profundidade ao longo do perfil transversal da praia, perfil este que varia dentro da própria praia, de praia para praia e com os períodos de Inverno e Verão.

O perfil transversal é um sistema que pode ser dividido em várias zonas específicas. Os autores Komar (1976) e Short (1999) sugerem uma divisão em três zonas principais da costa para o largo:

- Zona de espraiamento: zona de interação entre as ondas e a face da praia, que poderá variar com o nível da água e que está alternadamente coberta por água no espraiamento da onda e exposta no refluxo.
- Zona de rebentação: zona que se estende entre as zonas de espraiamento e de empolamento. A zona de rebentação é a mais variável das três zonas (espraiamento, rebentação e empolamento) e é influenciada pelas marés.
- Zona de empolamento: definida entre a zona limite a maior profundidade, onde as ondas começam a interagir com o fundo alterando as suas características e passa a existir um nível de transporte sedimentar significativo e a zona de rebentação, a menor profundidade.

A Figura 15 esquematiza o perfil transversal de um sistema de praia tipo.

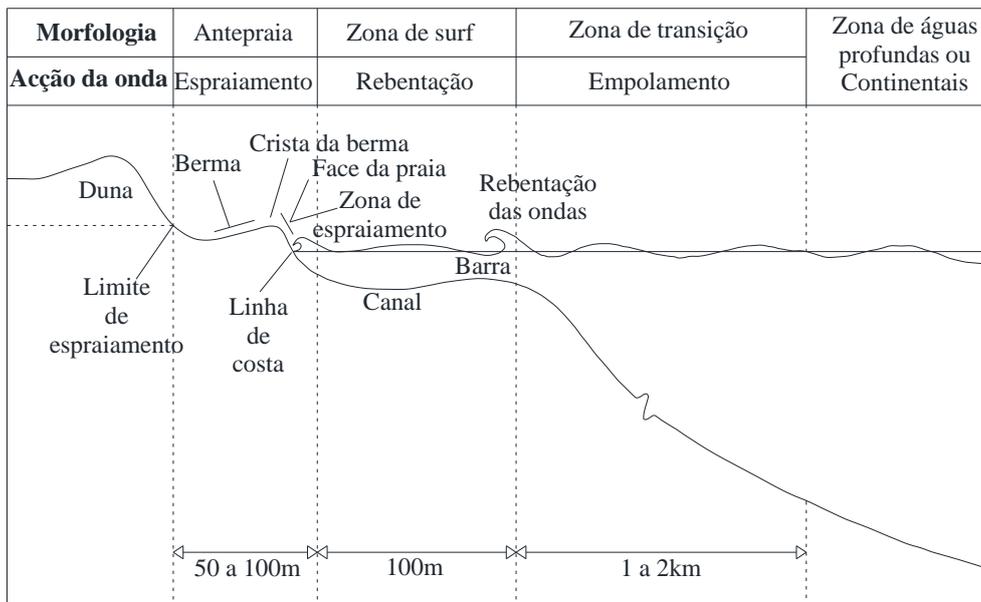


Figura 15 – Perfil transversal tipo (Fonseca, 2011).

De acordo com Dean e Dalrymple (2002) é na zona de rebentação das ondas onde existe a maior turbulência e que a areia atinge o seu diâmetro máximo. A Figura 16 esquematiza os tipos de fenômenos associados ao transporte de sedimentos, que podem ocorrer, simultaneamente ou em separado.

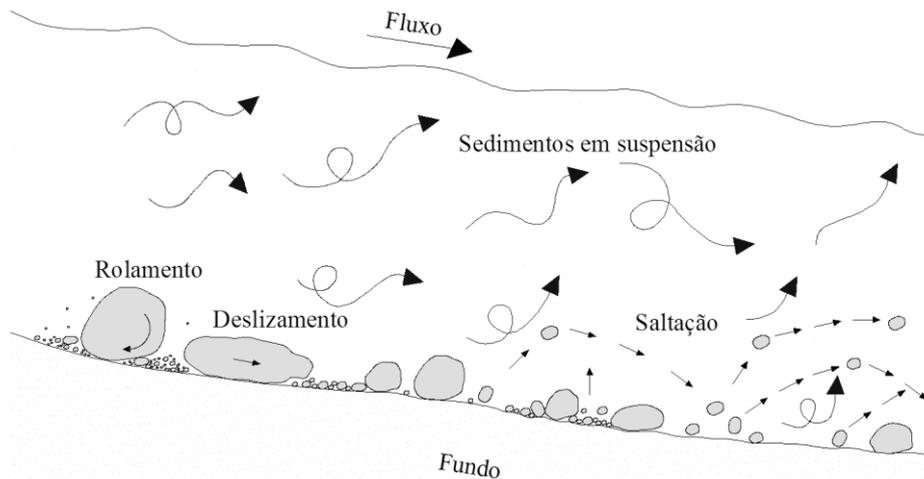


Figura 16 – Esquema dos fenômenos que ocorrem no transporte de sedimentos (adaptado de Biologia à Geologia, 2012).

Os sedimentos são distribuídos na coluna de água em função da espessura da camada limite de fundo e da dimensão dos vórtices turbulentos gerados pelas correntes e ondas. O percurso destes pode ocorrer de uma forma organizada, chamado processo convectivo, ou desorganizada, designado por processo difusivo, abaixo detalhados, sendo mais comum uma combinação dos dois.

De acordo com Nielsen (1992) quando os vórtices são relativamente pequenos, o processo de mistura dos sedimentos na coluna de água é difusivo. A difusão sedimentar corresponde ao movimento das partículas sedimentares de uma região de alta concentração para outra de baixa concentração. No caso dos sedimentos, significa que existe uma tendência para as partículas se deslocarem através de movimentos aleatórios dos níveis mais próximos do fundo, onde as concentrações são maiores, para níveis mais superficiais da coluna de água. Por outro lado, se os vórtices apresentam grandes dimensões, a mistura dos sedimentos pode ser descrita como um processo coerente e organizado onde as partículas são transportadas pelos movimentos de grande escala que

ocorrem no fluido. Este processo é denominado convecção. A Figura 17 esquematiza os dois tipos de processos do percurso das partículas.



Figura 17 – Esquema dos tipos de percurso que as partículas podem descrever ao longo de uma coluna de água (Nielsen, 1992).

### 3.3.1 – Calibração do OBS

O OBS é um equipamento prático para estimar a concentração de sedimentos em suspensão no meio líquido. Contudo, o processo de calibração torna-se problemático devido às variáveis de saída do aparelho, índice de refração e tamanho das partículas. Para realizar a calibração de uma forma mais simples podem ser recolhidas amostras do local de leitura e realizar medições em laboratório, onde as variáveis podem ser mais controladas (Hatcher *et al.*, 2000).

Neste projeto foram recolhidas amostras da areia que caracterizam o local em estudo. Com estas amostras foram realizados testes no laboratório do Departamento de Hidráulica e Ambiente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, com o objectivo de determinar as equações de calibração dos OBS utilizados. O procedimento de calibração foi seguido para os dois sensores utilizados no projeto e as amostras de areia da praia. A areia foi sendo introduzida em pequenas quantidades no recipiente com água, enquanto a misturadora aplicava movimento à água e aos sedimentos e os OBS registavam as concentrações de sedimentos (Figura 18).



Figura 18 – Ensaio com OBS para obter as equações de calibração.

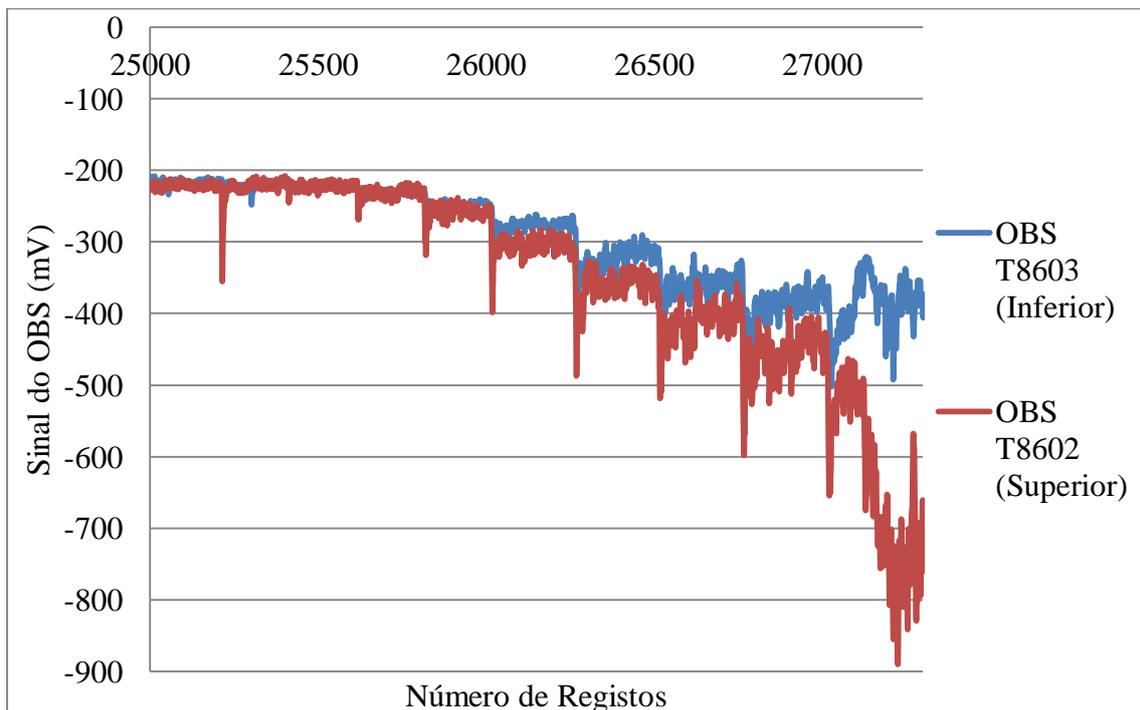


Figura 19 – Sinal do OBS (mV) registado ao longo do processo de calibração, com concentrações de sedimentos variáveis e conhecidas.

Na Figura 19 apresentam-se os valores que foram sendo registados no OBS, à medida que se foi adicionando areia e controlando a quantidade de sedimentos em

suspensão. Após uma análise cuidadosa da relação entre os valores medidos e as concentrações esperadas, resultaram as expressões 1 e 2, as quais traduzem a transformação do sinal de cada um dos OBS em concentração de sedimentos em suspensão.

$$c\left(\frac{g}{l}\right) = -0,1347 \times (C(mV) - 210) - 28,0787 \rightarrow OBS\ T8603\ (Inferior) \quad (1)$$

$$c\left(\frac{g}{l}\right) = -0,1029 \times (C(mV) - 210) - 21,7785 \rightarrow OBS\ T8602\ (Superior) \quad (2)$$

### 3.3.2 – Registos

Os sensores de concentração transmitem valores em milivolts (mV) que são convertidos em gramas por litro (g/l), através das equações de calibração dos aparelhos (secção 3.3.1). Nas Figuras 20, 21 e 22 apresentam-se os resultados das medições da concentração dos sedimentos em suspensão.

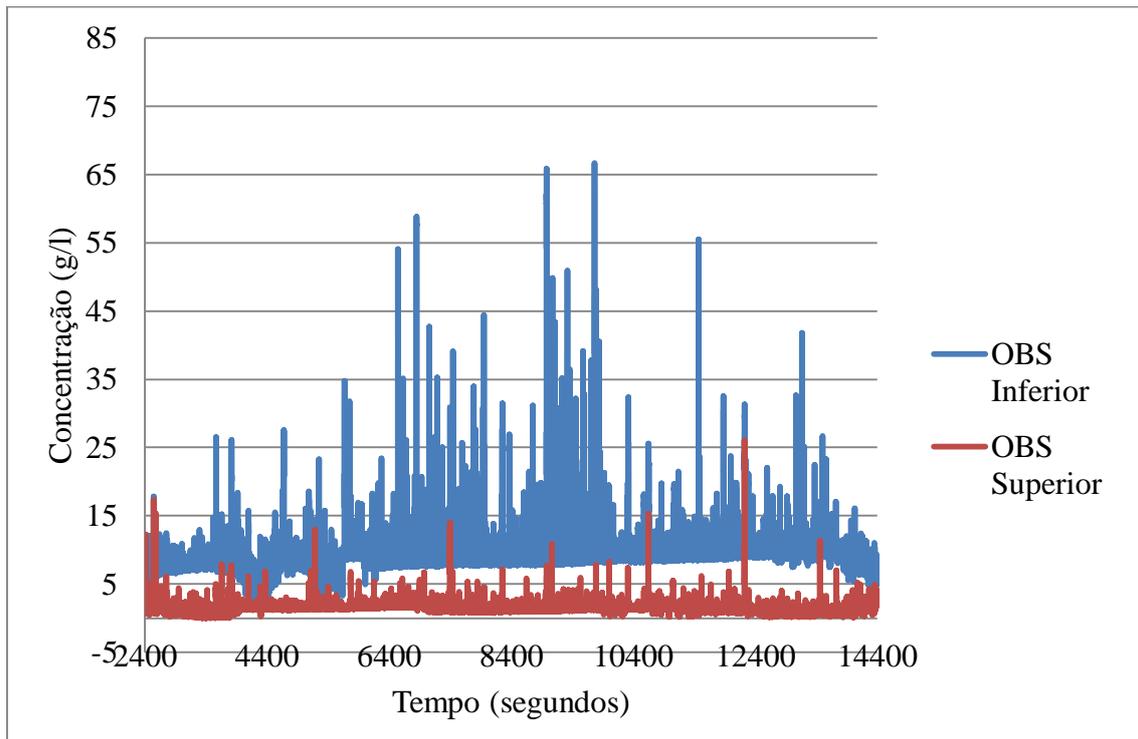


Figura 20 – Concentração de sedimentos em suspensão (g/l) ao longo do tempo (Maré 1).

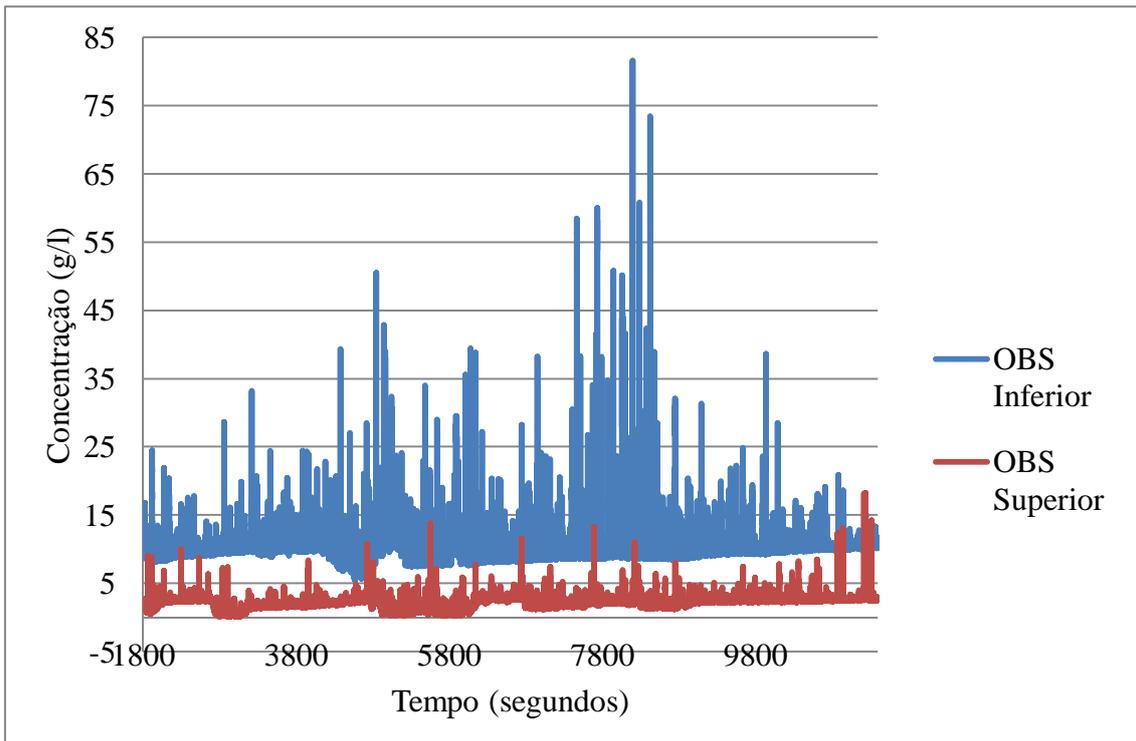


Figura 21 – Concentração de sedimentos em suspensão (g/l) ao longo do tempo (Maré 2).

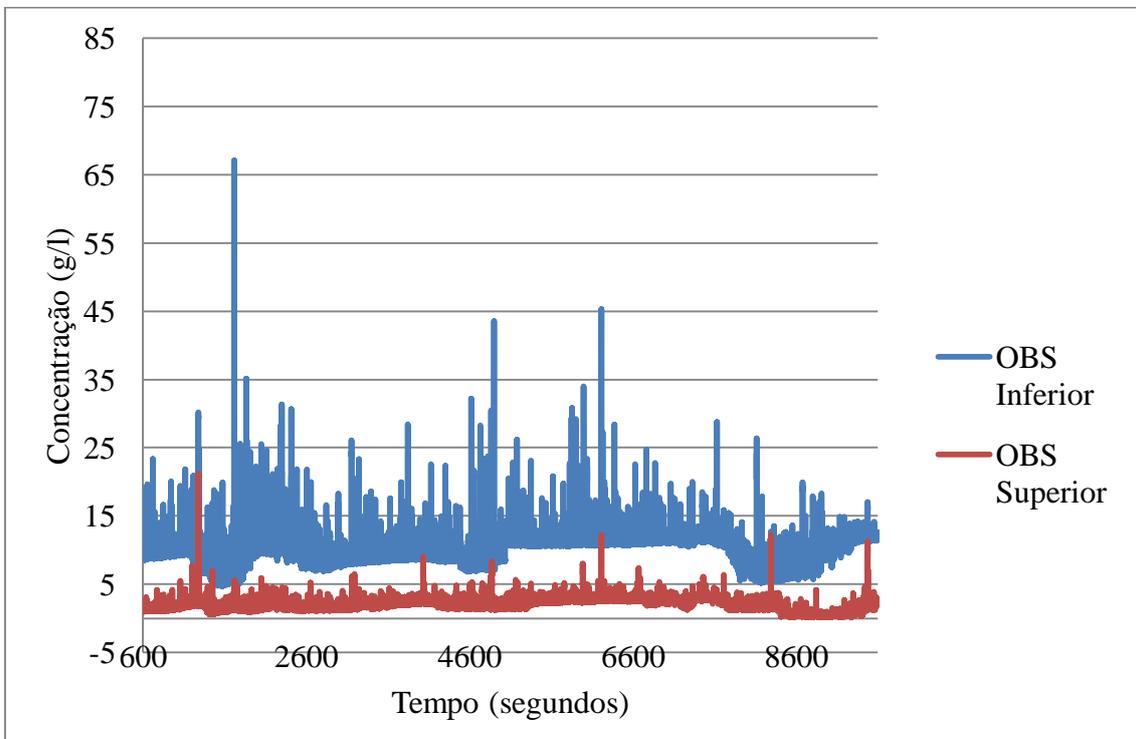


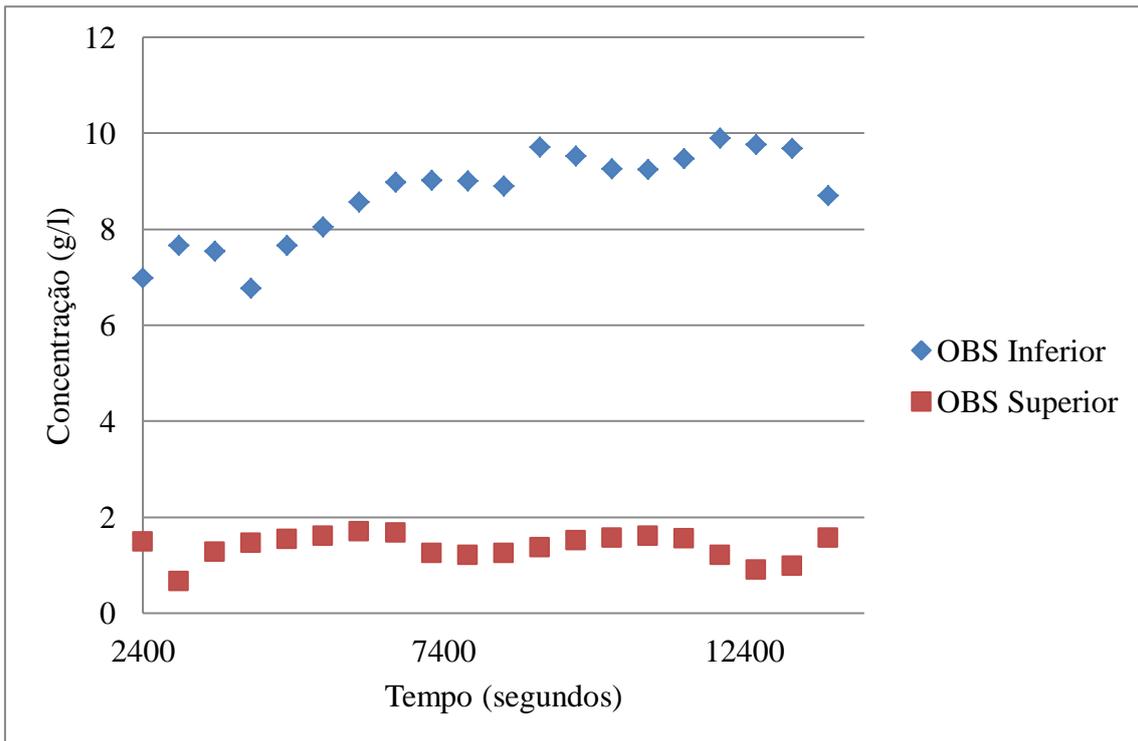
Figura 22 – Concentração de sedimentos em suspensão (g/l) ao longo do tempo (Maré 3).

Ao analisar as Figuras 20, 21 e 22 verifica-se que para todas as situações de maré existe um comportamento análogo em termos de medições, a concentração de sedimentos é superior no OBS Inferior (localizado mais perto do fundo) do que no OBS Superior.

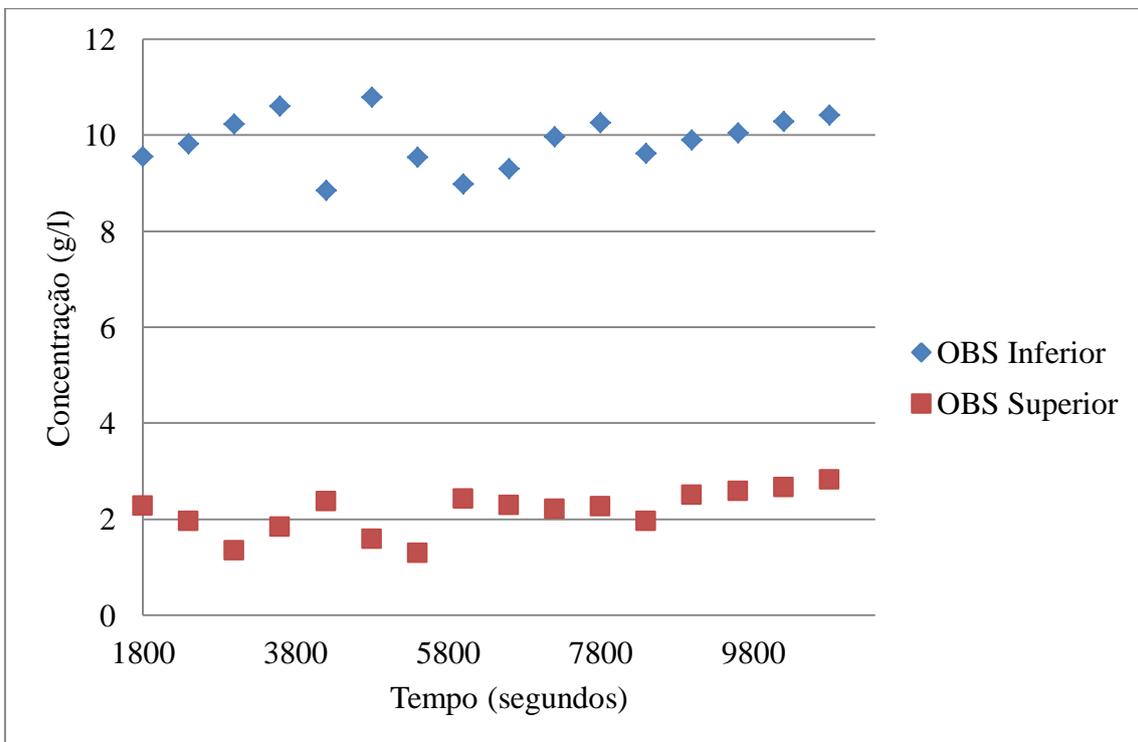
Tabela 5 – Concentrações de sedimentos em suspensão (g/l) médias, mínimas e máximas, ao longo das três situações de maré definidas.

Maré/OBS	OBS Inferior			OBS Superior		
	Médias	Mínimas	Maxima	Médias	Mínimas	Máximas
Maré 1	8,47	2,63	66,68	1,89	0,00	66,16
Maré 2	9,74	4,37	81,60	2,12	0,14	18,25
Maré 3	9,92	4,66	67,08	2,03	0,17	21,11

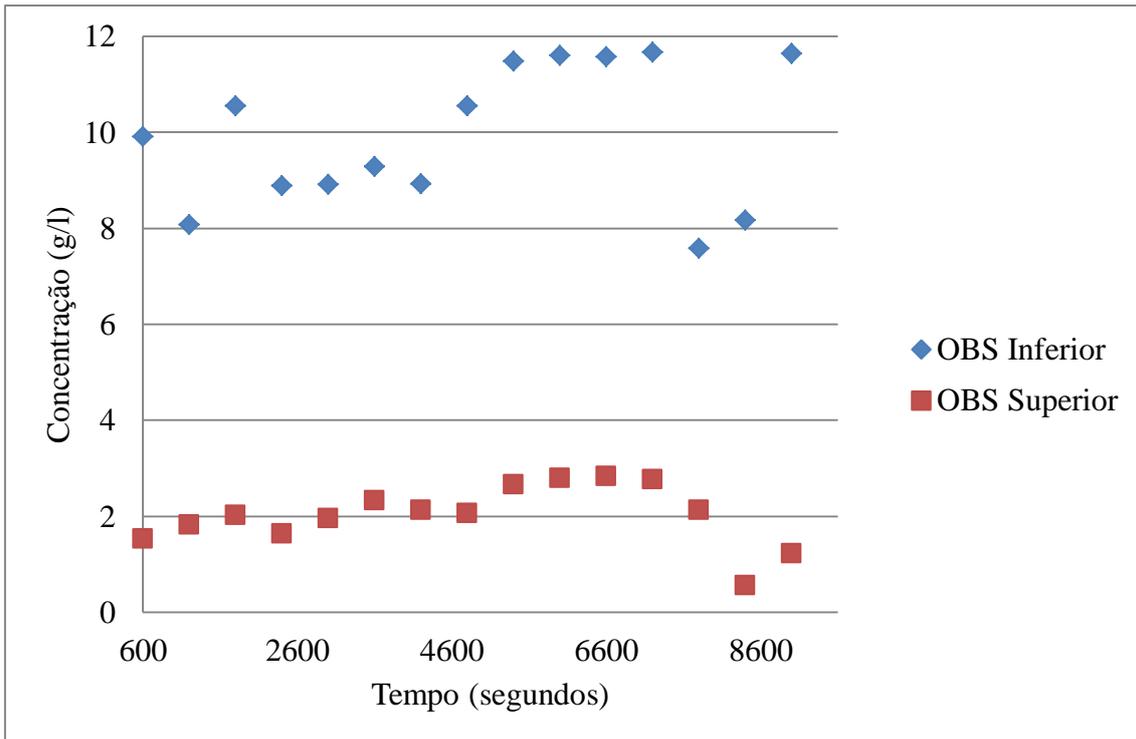
De acordo com Masselink e Puleo (2006), a concentração de sedimentos em suspensão é superior na zona de espraiamento do que na zona de rebentação das ondas. Estes autores referem que na zona de espraiamento existem concentrações de sedimentos em suspensão superiores a 100 g/l, junto ao fundo. No caso em estudo os valores máximos para a concentração são próximos daquela ordem de grandeza (100 g/l), Tabela 5. Beach e Sternberg (1996) verificaram que a concentração de sedimentos em suspensão aumenta com a aproximação do fundo, mas que ao aproximar-se da costa esse efeito não é tão patente.



a) Maré 1.



b) Maré 2.



c) Maré 3.

Figura 23 – Concentrações de sedimentos em suspensão ao longo do tempo, em médias de 10 minutos para cada situação de maré.

De acordo com a Figura 23, as concentrações médias têm uma pequena amplitude de valores, tanto no OBS Inferior como no Superior e mantém um comportamento regular ao longo do tempo.

No trabalho realizado por Taborda *et al.* (1998) na Praia da Culatra em Faro, as concentrações de sedimentos em suspensão fora da zona de rebentação eram aproximadamente 0,5g/l, num segundo conjunto de dados registados o valor da concentração atingiu picos de 14,0g/l. Verifica-se assim que os valores máximos registados no trabalho da Praia da Saúde são de uma ordem de grandeza superior aos registados por Taborda *et al.* (1998) na Praia da Culatra.

#### 4 – TRANSPORTE SÓLIDO

Muitos autores consideram que o processo de rebentação das ondas é o fator mais importante na inclusão de sedimentos no meio líquido. Ao quebrar, a onda provoca uma região de intenso movimento rotacional da água, gerando vórtices que atuam sobre o fundo, lançando partículas para a coluna de água (suspensão). Por isso existem concentrações muito maiores de sedimentos em suspensão nas regiões próximas do ponto de rebentação das ondas.

A concentração de sedimentos em suspensão e a velocidade da corrente não apresentam comportamentos constantes ao longo do perfil vertical, como esquematiza a Figura 24. A concentração de partículas de sedimentos decresce com o afastamento do fundo e as taxas dessa diminuição estão relacionadas com a velocidade de queda das partículas e com a velocidade transversal do escoamento junto ao fundo. Nas zonas de elevada concentração de sedimentos próximas do fundo, o valor da velocidade de queda também é afetado pelo fluxo de retorno do fluido deslocado pelas ondas e correntes.

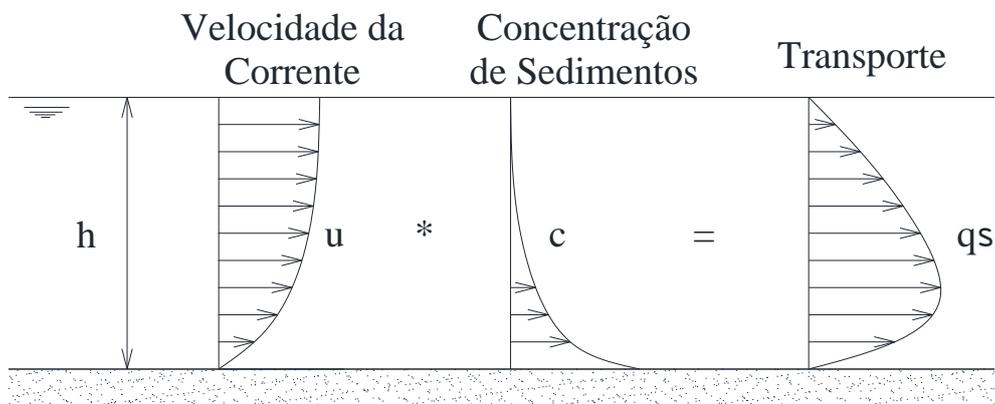


Figura 24 – Comportamento da concentração de sedimentos em suspensão e da velocidade de corrente ao longo da coluna de água (Camenem e Larson, 2007).

Para calcular o transporte sedimentar com base nos resultados obtidos através dos equipamentos instalados seguiram-se duas abordagens matemáticas diferentes, sendo uma mais simplista e teoricamente mais inconsistente, a qual considera a concentração e a velocidade constantes ao longo da altura da coluna de água (secção 4.1) e a outra, de acordo com os pressupostos físicos acima descritos, implementando a sua variação ao longo da altura da coluna de água (secção 4.2).

#### 4.1 – Concentrações e Velocidades Constantes em Altura

O método matemático mais simples para o cálculo do transporte sedimentar, implica a adoção da suposição de que a velocidade e a concentração de sedimentos em suspensão são constantes ao longo da altura de influência do equipamento de medição na coluna de água, quando na realidade e como apresenta a Figura 24, os seus comportamentos são variáveis.

$$q_s = U \times C \times a \times t \quad (\text{kg/m}) \quad (3)$$

O transporte sedimentar é dado por (3), onde  $q_s$  representa o transporte sólido, ou seja, o peso de sedimentos que passaram aquela área,  $U$  a componente horizontal da velocidade,  $C$  a concentração de sedimentos em suspensão,  $a$  a área de influência do ponto de medição e  $t$  o tempo de integração (0,1 segundos).

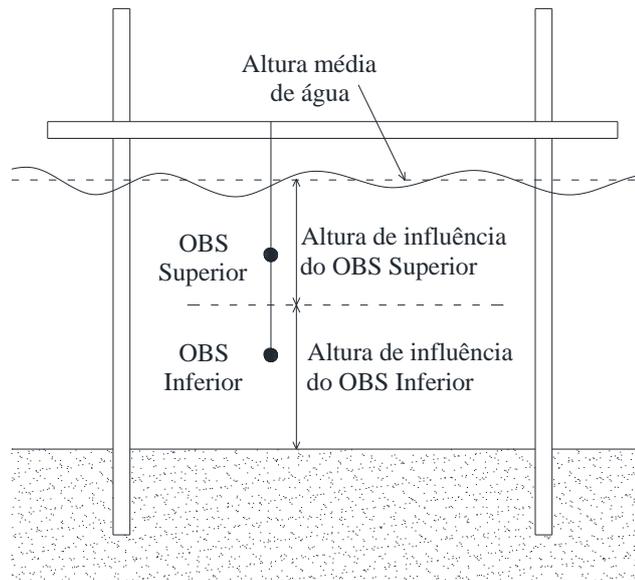


Figura 25 – Esquema da determinação das alturas de influência.

A altura de influência para o cálculo do transporte sedimentar foi determinada a partir da altura média de água para cada situação de maré, calculada através dos registos do sensor de pressão e das posições dos OBS em relação ao fundo (Figura 25). Para a Maré 3 e atendendo que o sensor de pressão não fez registos e não foi possível obter uma de sincronização dos registos das várias marés para a obtenção de um valor exato, foi calculada a média entre os valores da Maré 1 e da Maré 2.

Para a altura média de água, o OBS Inferior tem uma influência de 24% e o OBS Superior 76%, valores médios das três marés.

A Tabela 6 apresenta o resumo do transporte sedimentar instantâneo (caudal sólido) para as três situações de maré, ao longo do tempo. Verificam-se resultados mais elevados para a posição inferior do OBS, tanto na direção transversal como na longitudinal.

Na direção longitudinal os valores máximos variam entre 0,58 e 1,60kg/m/seg, na direção transversal variam entre 4,69 e 7,97kg/m/seg. Tanto os valores médios longitudinais como transversais apresentam resultados muito próximos de zero, sendo que, na direção transversal os valores são positivos, indicando o sentido Oeste-Este e os valores longitudinais negativos indicando o sentido Noroeste-Sudeste (ver Figura 12).

Na direção transversal da Maré 1 a média de transporte sedimentar instantâneo apresenta um valor negativo, o que aponta para uma movimentação de sedimentos na direção Este-Oeste, ao contrário dos valores das restantes marés.

Tabela 6 – Valores de transporte sedimentar instantâneo (kg/m/seg).

Maré/OBS		Direção Longitudinal			Direção Transversal		
		Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
Maré 1	Inferior	-0,32	-3,13	1,60	-0,02	-2,57	4,69
	Superior	-0,17	-3,47	1,46	0,00	-4,28	5,81
Maré 2	Inferior	-0,29	-3,44	1,43	0,06	-1,78	4,79
	Superior	-0,21	-2,40	1,20	0,05	-5,32	6,35
Maré 3	Inferior	-0,51	-4,55	0,58	0,05	-1,95	7,97
	Superior	-0,32	-4,13	0,93	0,03	-2,67	6,21

Nas Figuras 26, 27 e 28 apresenta-se o comportamento médio do transporte sedimentar instantâneo a cada 10 minutos.

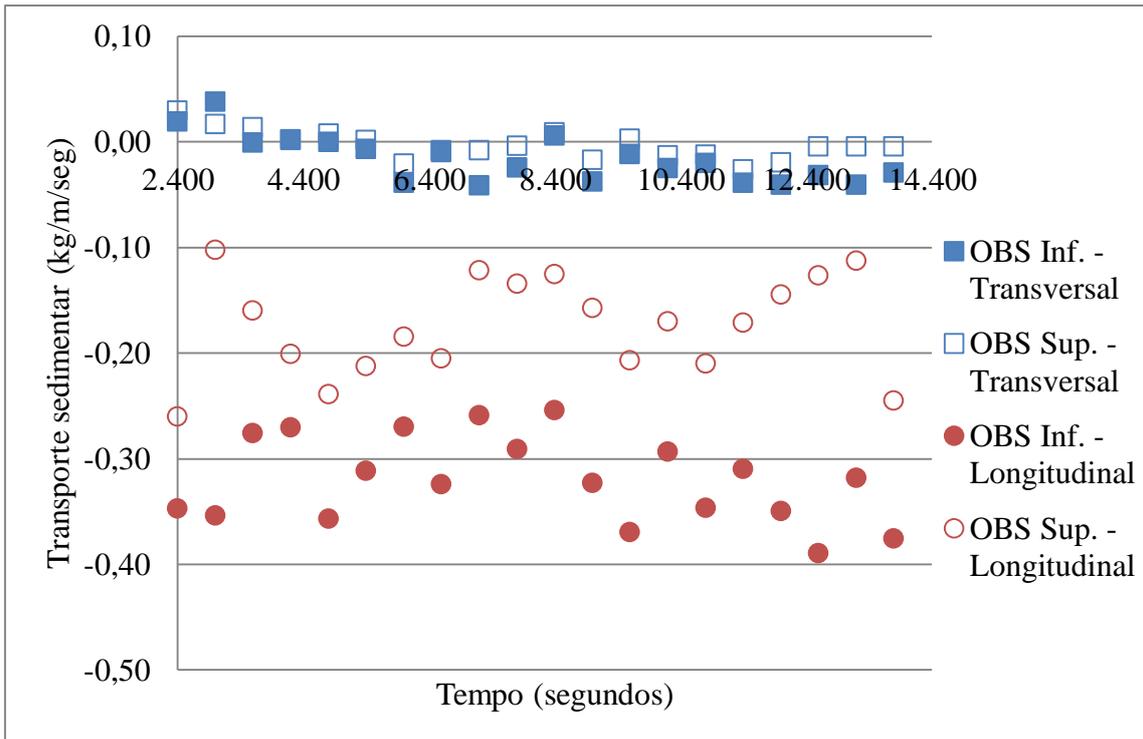


Figura 26 – Transporte sedimentar instantâneo a cada 10 minutos, Maré 1.

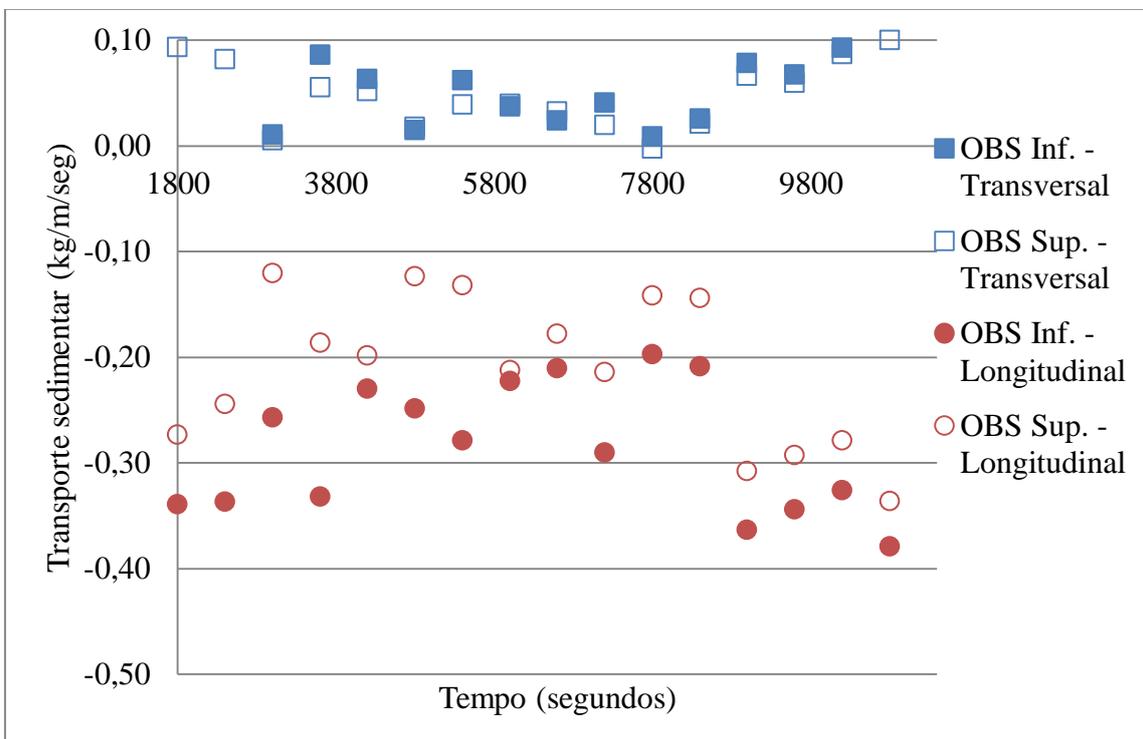


Figura 27 – Transporte sedimentar instantâneo a cada 10 minutos, Maré 2.

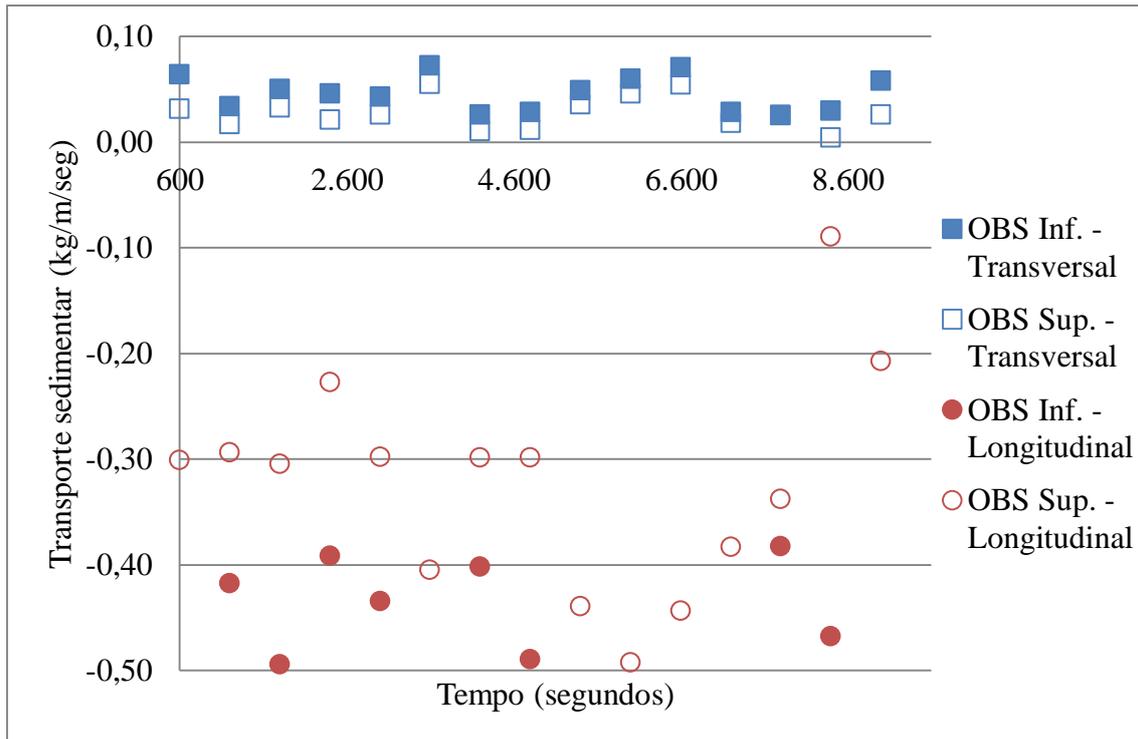


Figura 28 – Transporte sedimentar instantâneo a cada 10 minutos, Maré 3.

Tanto na direção longitudinal como na transversal, o OBS Inferior apresenta valores muito superiores aos registados pelo OBS Superior. Nas Tabelas 7 e 8 apresenta-se o transporte sedimentar nas duas direções em termos de valores totais, ou seja, o volume sólido que passou por aquele metro de largura em toda a altura de coluna de água dado pela equação (3).

Tabela 7 – Transporte sedimentar na direção transversal (kg/m), durante os ciclos de marés em análise.

Maré/Direção	Transversal				
	Este-Oeste	Oeste-Este	Bruto	Líquido	Transporte médio
Maré 1	3212,19	2964,18	6176,37	-248,02	-0,0021
Maré 2	2648,17	3679,71	6327,89	1031,54	0,0107
Maré 3	2618,48	3256,80	5875,27	638,34	0,0071

Tabela 8 – Transporte sedimentar na direção longitudinal (kg/m), durante os ciclos de marés em análise.

Maré/Direção	Longitudinal				
	Sudeste-Noroeste	Noroeste-Sudeste	Bruto	Líquido	Transporte médio
Maré 1	101,72	6195,17	6296,89	-6093,45	-0,0508
Maré 2	142,46	5028,48	5170,94	-4886,02	-0,0509
Maré 3	34,04	7302,45	7336,49	-7268,40	-0,0808

Na direção transversal, pelo valor líquido apresentado, pode-se observar que o volume de sedimentos transportados no sentido Oeste-Este é superior ao volume movimentado no sentido contrário (Este-Oeste). Na direção longitudinal o sentido predominante de volume de sedimentos transportados é o Noroeste-Sudeste. As Figuras 29, 30 e 31 apresentam o transporte sedimentar médio em cada 0,1 segundos para cada período de 10 minutos, em cada maré.

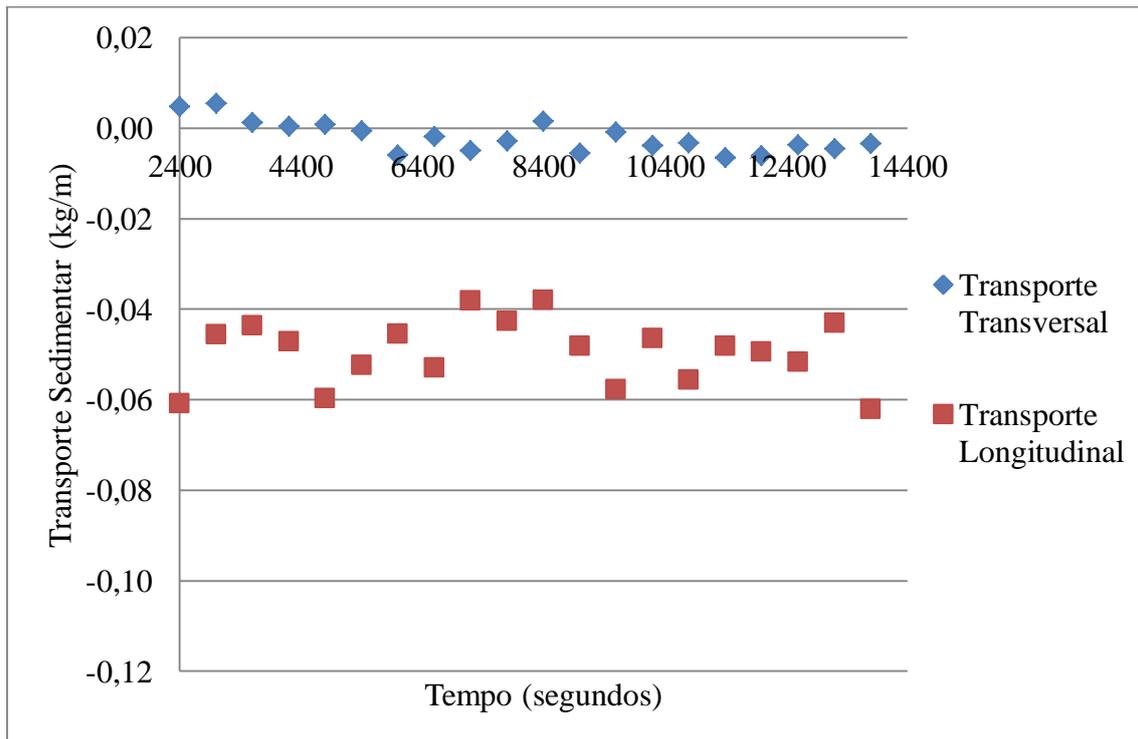


Figura 29 – Transporte sedimentar médio em cada 0,1 segundos para cada período de 10 minutos, ao longo da Maré 1.

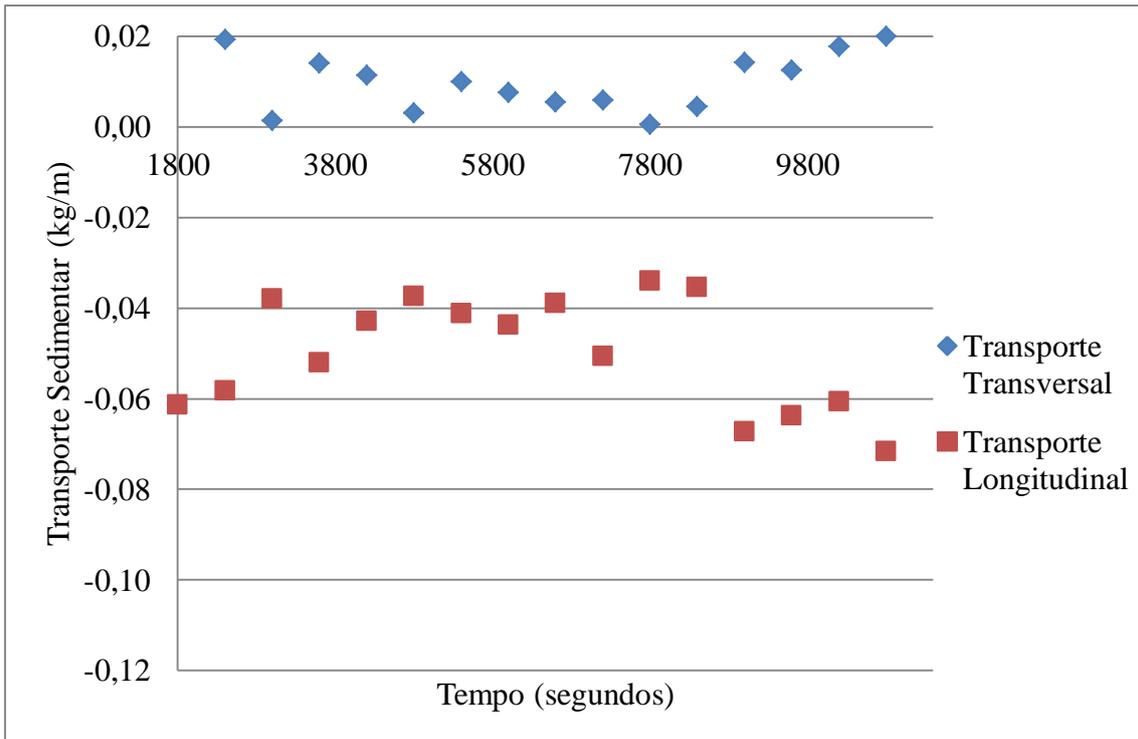


Figura 30 – Transporte sedimentar médio em cada 0,1 segundos para cada período de 10 minutos, ao longo da Maré 2.

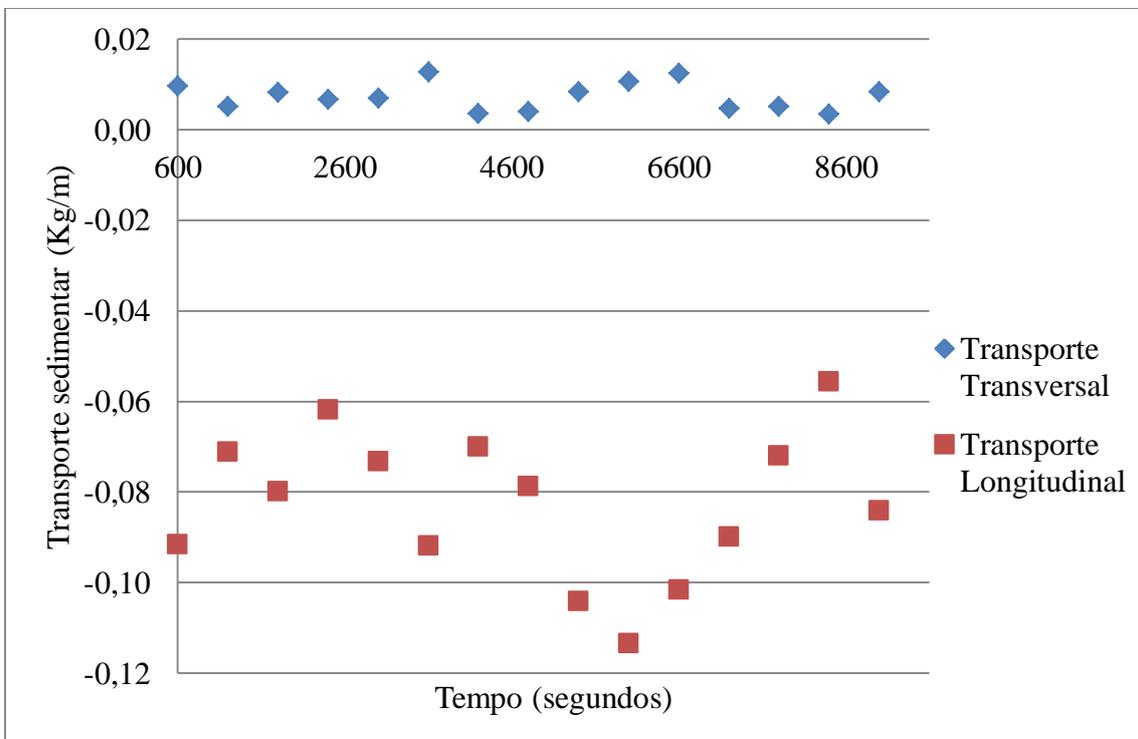


Figura 31 – Transporte sedimentar médio em cada 0,1 segundos para cada período de 10 minutos, ao longo da Maré 3.

O transporte sedimentar médio em cada 0,1 segundos para cada período de 10 minutos, em cada maré, apresenta uma regularidade nos valores ao longo do tempo.

#### 4.2 – Concentrações e Velocidades Variáveis em Altura

O princípio geral para o cálculo do transporte de sedimentos em suspensão ( $q_s$ ) é um integral em profundidade do fluxo de sedimentos,  $U(z)C(z)$ , a uma cota (altura de água) conhecida ( $z$ ) tendo estabelecido os perfis de velocidade e da concentração ao longo da coluna de água (Figura 24).

$$q_s = \int_{z_a}^h U(z)C(z)dz \quad (4)$$

Sendo  $q_s$  é a taxa de transporte sedimentar total ao longo de um perfil vertical,  $U(z)$  a componente horizontal da velocidade e  $C(z)$  a concentração de sedimentos em função de  $z$  (altura) e  $h$  é a altura da coluna de água (Soulsby, 1997).

De acordo com Soulsby (1997) o perfil de concentrações típico da situação de equilíbrio, é dado por uma função de potência, tipo exponencial (5).

$$C(z) = C(z_w) \left(\frac{z}{z_w}\right)^{-b_m} \text{ para } z_w \leq z \leq h \quad (5)$$

Esta função tem dois parâmetros livres, a concentração de referência junto ao fundo e o coeficiente  $b_m$ , ou seja, pode-se estimar a concentração vertical em cada instante admitindo um perfil com forma constante, a partir da variação temporal,  $C_{zOBSinferior}$ , concentração do OBS Inferior à altura  $z$ , onde se encontram as concentrações mais elevadas .

Nas três situações de maré o OBS Inferior foi colocado a duas profundidades diferentes, o que leva ao cálculo de duas expressões da concentração,  $C(z)$ . O parâmetro  $z_w$  adquire os valores de 0,112 e 0,110m e  $b_m = -3$ , ao aplicar em (5) obtém-se as expressões para as duas posições dos sensores.

$$C(z) = C_{z11,2} \left(\frac{z}{0,112}\right)^{-3} \quad (6)$$

$$C(z) = C_{z11} \left( \frac{z}{0,11} \right)^{-3} \quad (7)$$

Sendo  $C_{z11}$  é a concentração para o OBS Inferior a 0,110m do fundo e  $C_{z11,2}$  a concentração para o OBS Inferior a 0,112m do fundo. O valor  $b_m = -3$  resulta do ajustamento a um perfil de potência, conforme definido em (5), dos valores médios das concentrações registadas nos dois OBS.

De acordo com Camenem e Larson (2007) o perfil vertical da velocidade de corrente longitudinal é equivalente ao de uma corrente estável, pelo que a velocidade da corrente pode ser expressa por (8):

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \quad (8)$$

onde  $u_*$  é a velocidade de corte da corrente,  $k$  a constante de Von Kármán ( $k = 0,4$ ) e  $z_0$  o parâmetro de rugosidade de fundo sugerido por Soulsby (1997) para situações de escoamento oscilatório ou com combinação de ondas e correntes, como neste caso, a rebentação.

$$z_0 = \frac{d_{50}}{12} \quad (9)$$

A velocidade de corte da corrente,  $u_*$ , foi calculada através do programa *Wave – Current Interaction Calculations* da USGS (2007), disponível em [http://woodshole.er.usgs.gov/staffpages/csherwood/sedx\\_equations/RunWCCalcs.html](http://woodshole.er.usgs.gov/staffpages/csherwood/sedx_equations/RunWCCalcs.html). Este programa tem como parâmetros de entrada a velocidade de corrente ( $u$ ), o ângulo entre as ondas e a corrente ( $\alpha$ ), a altura da coluna de água ( $h$ ), o período de onda ( $T$ ), a altura ( $H_{rms}$ ) e o parâmetro de rugosidade do fundo ( $z_0$ ), na Figura 32 encontra-se o quadro de parâmetros que são pedidos pelo programa. Para o cálculo foram utilizados parâmetros sugeridos por alguns autores, Tabela 9.

Tabela 9 – Parâmetros utilizados no programa *Wave –Current Interaction Calculations*.

Parâmetro	Valor
$T$	5,5seg
$z_0$	$2,9 \times 10^{-5}m$
$h$	0,6m
$\alpha$	80°
$u$	Média da velocidade da maré
$H_{rms}$	0,3m

Input Parameters		
Current velocity :	0.2	[m s-1]
Current reference elevation :	1.0	[m]
Angle between waves/currents :	0.0	[deg]
Wave height :	2.0	[m]
Wave period :	12.0	[s]
Wave-orbital velocity ampl. :	0.5680356013	[m s-1]
Angular wave frequency :	0.5235987758	[rad s-1]
Water depth :	20.0	[m]
Bed roughness $z_0$ :	2.5E-5	[m]
Bottom drag coefficient :	0.0029940688	[ ]
Calcuated Values		
Current friction velocity $u^*$ :	0.0148389476	[m s-1]
Wave friction velocity $u^*w$ :	0.0390027463	[m s-1]
Combined friction velocity $u^*cw$ :	0.0417301782	[m s-1]
Apparent roughness $z_{oa}$ :	0.0039818914	[m]
Enhanced drag coefficient $C_{de}$ :	0.0110097183	[ ]
Wave friction factor $f_w$ :	0.0094290787	[ ]

Figura 32 – Quadro de parâmetros de entrada do programa *Wave –Current Interaction Calculations*, USGS (2007).

Ao resolver a expressão (8) em função da velocidade chega-se à expressão (10) para a velocidade ao longo do perfil vertical.

$$V(z) = V(z_{OBS}) \times \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{OBS}}{z_0}\right)} \quad (10)$$

Resolvendo (10) tem-se para a posição do correntómetro a 0,23m a equação (10) e para a posição a 0,27m a equação (11).

$$V(z) = 0,1114 \times V_{z23} \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (11)$$

$$V(z) = 0,1094 \times V_{z27} \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (12)$$

Para o cálculo do transporte longitudinal e transversal substitui-se em (4) as expressões que resultaram para cada situação de maré e tem-se as expressões para o transporte longitudinal e transversal.

- Transporte Longitudinal

$$\text{Maré 1 e 2} \rightarrow T_L = 1,3017 \times C_{z11} \times V_{z23} \quad (13)$$

$$\text{Maré 3} \rightarrow T_L = 0,8599 \times C_{z11,2} \times V_{z27} \quad (14)$$

- Transporte Transversal

$$\text{Maré 1 e 2} \rightarrow T_T = 1,6619 \times C_{z11} \times V_{z23} \quad (15)$$

$$\text{Maré 3} \rightarrow T_T = 1,7531 \times C_{z11,2} \times V_{z27} \quad (16)$$

Onde  $C_{z11,2}$  e  $C_{z11}$  são as concentrações medidas pelo OBS Inferior a 0,112 e 0,110m de profundidade respectivamente,  $V_{z23}$  é o registo de velocidades pelo ECM a 0,230m de profundidade e  $V_{z27}$  pelo ECM a 0,270m de profundidade. Note-se que para o transporte transversal se admitiu, acima da camada limite, uma velocidade constante da vertical, correspondente a uma corrente de fundo uniforme.

As Tabelas 10 e 11 apresentam os volumes totais de transporte sedimentar em ambas as direções e sentidos, para cada uma das marés analisadas. Na direção longitudinal verifica-se um transporte sedimentar superior no sentido Noroeste-Sudeste. Na direção transversal a diferença entre os sentidos não é tão acentuada, mas existe um maior transporte no sentido Oeste-Este.

Tabela 10 – Transporte sedimentar ocorrido na direção longitudinal (kg/m), nas marés em análise.

Maré/Direção	Longitudinal				
	Sudeste-Noroeste	Noroeste-Sudeste	Bruto	Líquido	Transporte médio
Maré 1	345,05	20960,71	21305,76	-20615,67	-0,1718
Maré 2	446,23	15192,91	15639,13	-14746,68	-0,1536
Maré 3	160,36	35399,95	35560,31	-35239,60	-0,3916

Tabela 11 – Transporte sedimentar ocorrido na direção transversal (kg/m), nas marés em análise.

Maré/Direção	Transversal				
	Este-Oeste	Oeste-Este	Bruto	Líquido	Transporte médio
Maré 1	22341,69	20136,19	42477,87	-2205,50	-0,0184
Maré 2	16571,80	22672,23	39244,03	6100,43	0,0635
Maré 3	15944,53	19972,53	35917,05	4028,00	0,0448

As Figuras 33, 34 e 35 apresentam o transporte sedimentar médio em cada 0,1 segundos para cada período de 10 minutos, em cada maré.

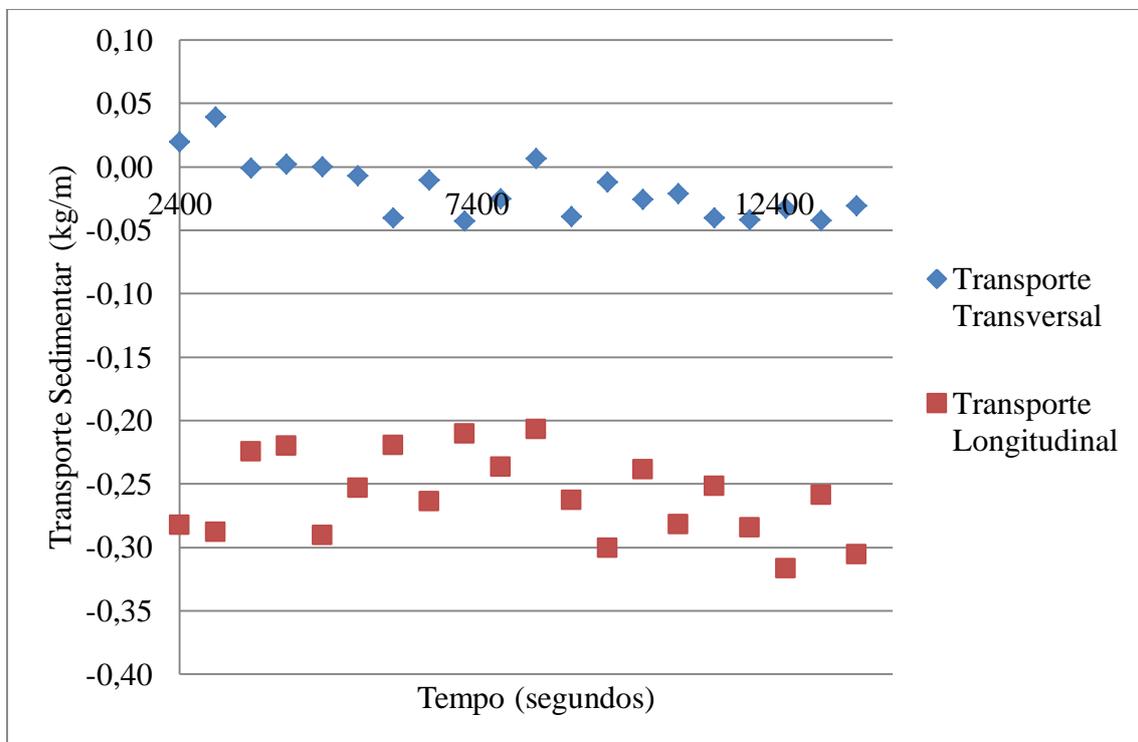


Figura 33 – Transporte sedimentar médio em cada 0,1 segundos para cada período de 10 minutos, ao longo da Maré 1.

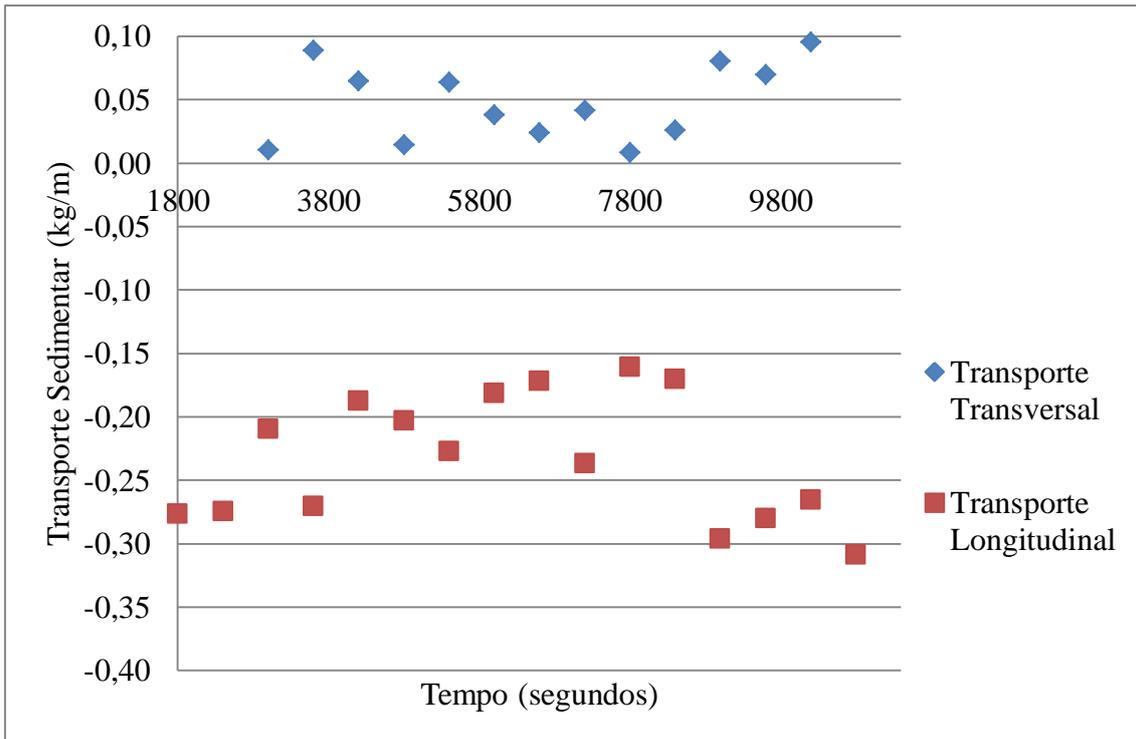


Figura 34 – Transporte sedimentar médio em cada 0,1 segundos para cada período de 10 minutos, ao longo da Maré 2.

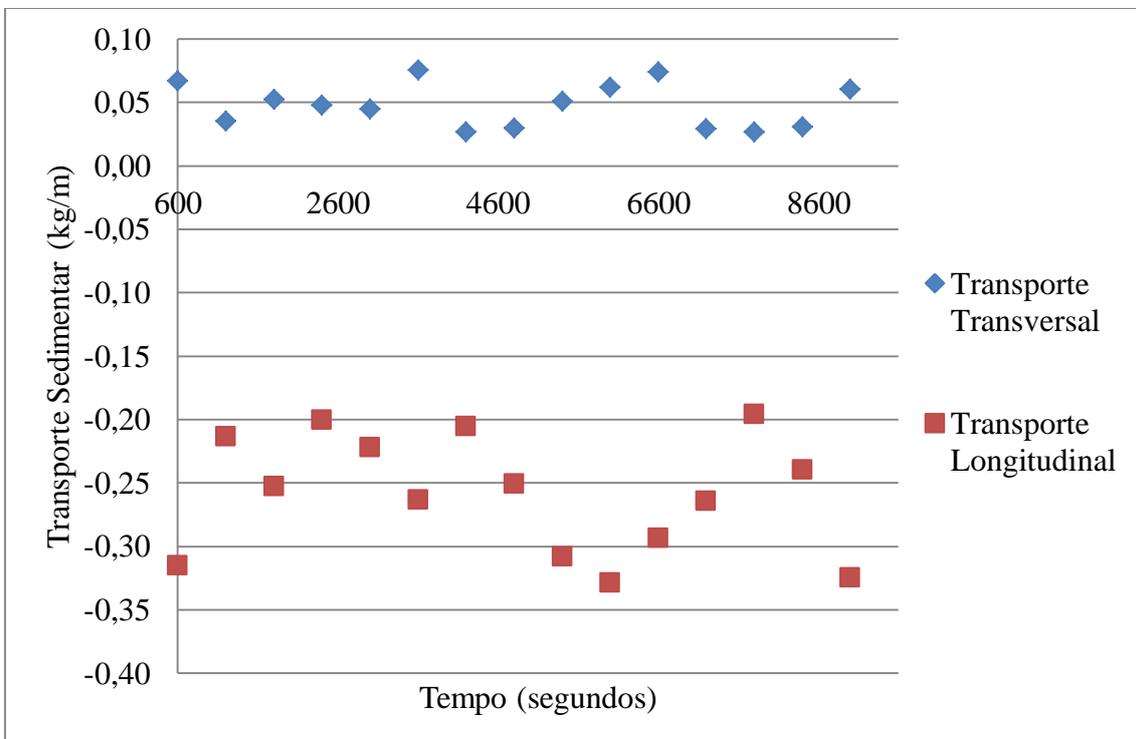


Figura 35 – Transporte sedimentar médio em cada 0,1 segundos para cada período de 10 minutos, ao longo da Maré 3.

### 4.3 – Formulações Numéricas

Muitas fórmulas para o cálculo do transporte sedimentar têm sido desenvolvidas ao longo dos anos para a aplicação em zonas costeiras. Por exemplo, Grass (1981) e Soulsby e van Rijn (em Soulsby, 1997) propuseram as equações 17 e 18, respetivamente. A complexidade fica muito maior considerando que os processos de transporte sedimentar estão sempre associados e não são lineares, dificultando delimitações e também generalizações (Soulsby, 1997).

$$q_t = A_G \bar{U} \left( \bar{U}^2 + \frac{0,08}{C_D} U_{Rms}^2 \right)^{\left(\frac{n-1}{2}\right)} \quad (17)$$

$$q_t = A_s \bar{U} \left[ \left( \bar{U}^2 + \frac{0,08}{C_D} U_{Rms}^2 \right)^{1/2} - \bar{U}_{CR} \right]^{2,4} (1 - 1,6 \tan \beta) \quad (18)$$

Outros modelos descrevem o efeito da aceleração do escoamento no transporte sedimentar de diferentes modos. Recentemente foi reconhecido que a assimetria da aceleração desempenha um papel importante no transporte sedimentar. Colocando-se assim, a hipótese que se devido a esse efeito não haverá uma maior quantidade de sedimento a ser transportado na direção da propagação da onda (Silva *et al.*, 2007).

Fleming *et al.* (2004) consideram que as ondas podem causar uma rede de transporte sedimentar devido à sua assimetria e assim, gerarem correntes, daí considerarem que a formula de Bailard (1981) a mais adequada, por ser baseada nas aproximações energéticas de Bagnold (1963).

Drake e Calantoni (2001) modificaram a formulação de Bailard (1981) de modo a integrar o efeito da assimetria da aceleração, inserindo o valor crítico da aceleração a partir do qual existe transporte (Silva *et al.*, 2008).

$$q_b = k\bar{u}^3 + q_{ba} \quad (19)$$

$$q_{ba} = \begin{cases} k_a (a_{spike} - a_{CR}) & , a_{spike} > a_{CR} \\ 0 & , a_{spike} < a_{CR} \end{cases} \quad (20)$$

Já Nielsen (2006) considera na sua fórmula, (20), duas componentes da velocidade: uma relativa à força do gradiente de pressão do escoamento, que é função da aceleração do escoamento, e outra relativa à força de atrito que o escoamento exerce sobre o fundo.

Silva *et al.* (2007) desenvolveram um modelo semi não estacionário para calcular a taxa de transporte de sedimentos. A taxa média de transporte num ciclo da oscilação com um determinado período é calculada integrando o transporte em cada meio ciclo da oscilação, tomando posteriormente a diferença entre as quantidades calculadas.

Silva *et al.* (2008) sugere a equação (21) para o cálculo do transporte de sedimentos transversal.

$$\phi = \frac{q_s}{\sqrt{\frac{\rho_s}{\rho-1} g d_{50}^3}} \quad (21)$$

Onde  $q_s$  é o transporte sedimentar e  $\phi$  um coeficiente para o qual muitos autores sugerem fórmulas para o seu cálculo, Nielsen (2006) sugere que  $\phi$  seja dado por (22).

$$\phi(t) = 12[\theta(t) - \theta_{cr}]\theta(t)^{1/2} \frac{\theta(t)}{|\theta(t)|}, \quad \theta(t) > 0,05 \quad (22)$$

De acordo com Nielsen (1992), pode-se adotar o valor de  $\theta_{cr} \approx 0,05$  para o parâmetro de Shields crítico ( $\theta_{cr}$ ) em condições típicas de uma praia, em média. Nielsen (1992) sugere como parâmetro de Shields para condições de movimento de ondas a fórmula (23).

$$\theta = \frac{\hat{\tau}}{\rho(s-1)gd} = \frac{\frac{1}{2}f_w(A\omega)^2}{(s-1)gd} = \frac{1}{2}f_w\psi \quad (23)$$

onde  $\hat{\tau}$  é a tensão de pico.

Camem e Larson (2007) apresentam uma fórmula, (24), para o cálculo do transporte sedimentar em suspensão, baseada na expressão de Meyer-Peter e Müller (1948), que inclui a interação entre ondas e correntes e que se baseia no pressuposto de

que o transporte de sedimentos ( $q_{sb}$ ) é proporcional ao parâmetro de Shields total na proporção 3/2.

$$\begin{cases} \frac{q_{sbw}}{\sqrt{(s-1)gd_{50}^3}} = a_w \frac{\theta_{cw,net}}{\sqrt{|\theta_{cw,net}|}} \theta_{cw,m} \exp\left(-b \frac{\theta_{cr}}{\theta_{cw}}\right) \\ \frac{q_{sbn}}{\sqrt{(s-1)gd_{50}^3}} = a_n \frac{\theta_{cn}}{\sqrt{|\theta_{cn}|}} \theta_{cw,m} \exp\left(-b \frac{\theta_{cr}}{\theta_{cw}}\right) \end{cases} \quad (24)$$

Onde os índices  $n$  e  $w$  correspondem, respectivamente à direcção perpendicular às ondas e à direcção das ondas.

## 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 – Conclusões

Este trabalho teve como objetivo analisar a concentração de sedimentos em suspensão e determinar o transporte de sedimentos em suspensão que ocorre na Praia da Saúde, Costa da Caparica, no âmbito do Projeto BRISA.

Foram colocados equipamentos nesta praia, para registar as componentes longitudinal e transversal da velocidade do escoamento, as concentrações de sedimentos em suspensão e as pressões ao longo de dois dias, que foram posteriormente divididos em três períodos de maré. Com estes dados, foi possível fazer uma estimativa do transporte sedimentar em suspensão que ocorreu durante aquele tempo.

Dos diversos equipamentos instalados na praia foram utilizados os registos efetuados pelos instalados na estrutura “H4”, nomeadamente, dois OBS, um ECM e um sensor de pressão. O clima de agitação marítima registado durante o tempo de campanha foi de baixa intensidade, o que se revelou benéfico para o funcionamento dos equipamentos. Foram também consideradas amostras de areia para avaliar as características granulométricas dos sedimentos locais e um levantamento batimétrico, realizado no dia 11 de Maio de 2010.

Os dados registados pelos OBS demonstraram que a concentração de sedimentos decresce com a aproximação da superfície, indicando um maior volume de sedimentos em movimento junto ao fundo. As concentrações registadas pelo OBS Inferior têm uma grande amplitude de valores ao longo do tempo nas três situações de maré. Apesar de existir uma grande dispersão de valores, as concentrações médias das três marés são muito próximas, com uma média de 9,40g/l entre si.

No OBS Inferior, na Maré 1 a média das concentrações registadas é de 8,47g/l, com um máximo de 66,68g/l, na Maré 2 a média das concentrações registadas é de 9,74g/l, com máximo de 81,60g/l e a Maré 3 a média das concentrações registadas é de 9,92g/l, com máximo de 67,08g/l. Masselink e Puleo (2006), num trabalho de campo, registaram concentrações de 100g/l junto ao fundo, no caso em estudo os valores máximos de concentração aproximam-se dessa ordem de grandeza.

No OBS Superior os valores de concentração registados apresentam uma dispersão muito menor do que os registados pelo OBS Inferior. As concentrações nas três marés têm uma média de 2,01g/l, sendo que na Maré 1 a média das concentrações

registadas é de 1,89g/l, com um máximo de 66,16g/l, na Maré 2 a média das concentrações registadas é de 2,12g/l, com máximo de 18,25g/l e a Maré 3 a média das concentrações registadas é de 2,03g/l, com máximo de 21,11g/l.

A velocidade longitudinal, que corresponde à corrente de deriva, apresentou uma pequena amplitude de valores ao longo dos ciclos de maré analisados, com uma média de 23,75cm/seg, no sentido Noroeste-Sudeste.

Na velocidade transversal o movimento oscilatório das ondas (o avanço e recuo) é notório que, apesar da larga amplitude de valores, a média é próxima de zero, 2,41 cm/seg no sentido Oeste-Este.

O cálculo do transporte sedimentar foi efetuado seguindo-se duas abordagens matemáticas diferentes, sendo uma mais simplista e teoricamente mais inconsistente, a qual considera a concentração e a velocidade constantes ao longo da altura da coluna de água (secção 4.1) e a outra, de acordo com os pressupostos físicos acima descritos, implementando a sua variação ao longo da altura da coluna de água (secção 4.2). Em ambos os processos de cálculo, o transporte sedimentar transversal e longitudinal apresentou uma regularidade de valores, não havendo uma grande amplitude de valores, com resultados muito próximos das suas médias.

De acordo com o processo de cálculo da secção 4.1, o transporte transversal de sedimentos para as três marés em análise apresentou um valor líquido médio de 473,95kg/m no sentido Oeste-Este, sendo que para cada 0,1 segundos, a Maré 1 apresentou um transporte sedimentar médio de 0,0021kg/m no sentido Este-Oeste, a Maré 2 um transporte sedimentar médio de 0,0107kg/m no sentido Oeste-Este e a Maré 3 um transporte sedimentar médio de 0,0071kg/m no sentido Oeste-Este.

O transporte longitudinal durante os ciclos de maré analisados foi dominante no sentido Noroeste-Sudeste, com um valor líquido médio de 6082,63kg/m. Para valores a cada 0,1 segundos, a Maré 1 apresentou um transporte sedimentar médio de 0,0508kg/m, a Maré 2 um transporte sedimentar médio de 0,0509kg/m e a Maré 3 um transporte sedimentar médio de 0,0808kg/m, no sentido Noroeste-Sudeste.

O transporte transversal calculado na secção 4.2 apresentou um valor líquido médio de 2640,98kg/m no sentido Oeste-Este, sendo que a Maré 1 apresentou um transporte sedimentar médio de 0,0184kg/m no sentido Este-Oeste, a Maré 2 um transporte sedimentar médio de 0,0635kg/m no sentido Oeste-Este e a Maré 3 um transporte sedimentar médio de 0,0448kg/m no sentido Oeste-Este.

O transporte longitudinal, calculado na secção 4.2, durante os ciclos de maré analisados foi dominante no sentido Noroeste-Sudeste, com um valor líquido médio de 23533,98kg/m. A Maré 1 apresentou um transporte sedimentar médio de 0,1718kg/m, a Maré 2 um transporte sedimentar médio de 0,1536kg/m e a Maré 3 um transporte sedimentar médio de 0,3916kg/m, no sentido Noroeste-Sudeste.

Os resultados do transporte sedimentar determinado pelo processo descrito na secção 4.2 são de grandeza superior, mas os sentidos de movimentação não se alteraram. Para a direção transversal, os valores calculados na secção 4.2 são, em média, seis vezes superiores aos calculados na secção 4.1, para a direção longitudinal os valores calculados na secção 4.2 são, em média, quatro vezes superiores aos calculados na secção 4.1.

Os valores médios gerais do transporte sedimentar apontam para uma movimentação de sedimentos maioritária no sentido Oeste-Este, para a direção transversal, e Noroeste-Sudeste na direção longitudinal.

## **5.2 – Desenvolvimentos futuros**

Como desenvolvimento futuro seria de interesse fazer o cálculo do transporte sedimentar aplicando as formulações numéricas propostas por autores, para comparar com a metodologia de cálculo adotada neste trabalho, permitindo uma verificação da adequabilidade de formulações numéricas às condições encontradas no campo.

Seria de interesse fazer um trabalho de campo para uma avaliação do comportamento da praia em condições de agitação marítima distinta, o que permitiria aumentar o conhecimento sobre o transporte sedimentar. Também a análise ao longo de um ciclo completo de maré, não apenas em situação de preia-mar como neste trabalho, em situação de marés-vivas e de marés mortas, apesar das dificuldades de realizar um trabalho de campo nessas condições, poderia contribuir para uma maior compreensão da relação entre a agitação e o transporte sedimentar.

Ao mesmo tempo seria importante realizar monitorizações em outros locais para fazer uma comparação de comportamentos entre vários locais.

Com os resultados das monitorizações e determinação do transporte sedimentar seria possível realizar um mapa do comportamento sedimentar na costa portuguesa e assim, conhecer melhor a dinâmica sedimentar. Esse conhecimento seria uma mais-valia na realização de obras costeiras ou de prevenção/contenção da erosão costeira.

## BIBLIOGRAFIA

- Bagnold, R. A. (1963). “*Mechanics of marine sedimentation*”. The Sea: Ideas and Observations, M. N. Hill ed, Interscience, Vol. 3 (507-528). Citado por Fleming *et al.*, 2004.
- Bailard, J. A. (1981). “An energetics total load sediment transport model for a plane sloping beach”. Journal of Geophysical Research, vol. 86. Citado por Fleming *et al.*, 2004.
- Beach, R. A., Sternberg, R. W. (1996). “*Suspended-sediment transport in the surf zone: response to breaking waves*”. Continental Shelf Research, Elsevier Science Publishers, vol. 16 (1989-2003).
- Bezerra, M., Carrasco, R., Nunes, M., Ferreira, Ó., Matias, A., Gabriel, S., Barroso, P. (2010). “*Projeto BRISA: Campanha Costa da Caparica (Praia da Saúde)*”. Relatório de Campo – Universidade do Algarve.
- Biologia e Geologia (2012). Última consulta a 17/11/2010: <https://sites.google.com/site/geologiaebiologia/rochas-sedimentares/transporte-e-sedimentao>.
- Camenem, B., Larson, M. (2007). “*A unified sediment transport formulation for coastal inlet application*”. Coastal Inlets Research Program, Contract Report ERDC/CHL CR-07-1, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, Mississippi, 231 páginas.
- Centro de Oceanografia (2010). Última consulta a 15/09/2011: [http://co.fc.ul.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=53%3Aobservacao-in-situ-e-deteccao-remota&catid=61%3Ainstrumentacao&lang=pt](http://co.fc.ul.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=53%3Aobservacao-in-situ-e-deteccao-remota&catid=61%3Ainstrumentacao&lang=pt).
- Dean, R. G., Dalrymple, R. A. (2002). “*Coastal processes with engineering applications*”. Cambridge University Press, 475 páginas.
- Drake, T. G., Calantoni, J. (2001). “*Discrete particle model for sheet flow sediment transport in the nearshore*”. Journal of Geophysical Research – Oceans, vol. 106. Citado por Silva *et al.*, 2008.
- Fleming, C., Reeve, D., Chadwick, Andrew, (2004). “*Coastal Engineering – processes, theory and design practice*”. Spon Press, Londres e Nova Iorque, 461 páginas.

- Fonseca, J. (2011). “*A dimensão dos sedimentos na caracterização das praias*”. Tese de mestrado. Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil, 187 páginas.
- Fortunato, A., Pinto, L., Freire, P., Oliveira, A. (2010). “*SATUrN - Transporte de areias em zonas costeiras: uma análise de incerteza*”. Última consulta a 06/11/2010: [http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nec/estudos\\_id/saturn](http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nec/estudos_id/saturn).
- Google Earth, (2012). Praia da Saúde, Costa da Caparica, Portugal.
- Goring, D. G., Nikora, V. I. (2002). “*Despiking acoustic Doppler velocimeter data*”. J. Hydraul. Eng., 128 (1), 117-126. Citado por Mori *et al.*, 2007.
- Grass, A. J. (1981). “*Sediment transport by waves and currents*”. Rep. FL29, SERC London Cent. Mar. Technol., London, UK. Citado por Soulsby, 1997.
- Hatcher, A., Hill, P., Grant, J., Macpherson, P. (2000). “*Spectral optical backscatter of sand in suspension: effects of particle size, composition and colour*”. International Journal of Marine Geology, Geochemistry and Geophysics, Elsevier Science Publishers, n. °168.
- Inc., I.-S. (2010). Última consulta a 17/11/2010: <http://www.in-situ.com/products/Water-Level/Level-TROLL-Family/Level-TROLL-500-Instrument/specs>.
- Komar, P. D. (1976). “*Beach Processes and Sedimentation*”. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 429 páginas. Citado por Fonseca, 2011.
- Little, C. (2007). “*Ondas*”. Última consulta a 11/11/2010: <http://palavrastodaspalavras.wordpress.com/2009/08/10/ondas-as-incriveis-fotos-de-clark-little-hawai-usa/ondas-fotoarte-clark-little-att00001/>.
- Masselink, G., Puleo, Jack A. (2006). “*Swash-zone morphodynamics*”. Continental Shelf Research, n. °26 (661-680), Elsevier Science Publishers.
- Meyer-Peter, E., Müller, R. (1948). “*Formulas for bed-load transport*”. 2<sup>nd</sup> Meeting of the International Association of Hydraulic Structures Research, Stockholm, Sweden. Citado por Camenen e Larson, 2007.
- Mori, N., Suzuki, T., Kakuno, S. (2007). “*Noise of acoustic Doppler velocimeter data in bubbly flows*”. Journal of Engineering Mechanics, n.°122, ASCE.
- Nielsen, P. (1992). “*Coastal bottom boundary layers and sediment transport*”. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 324 páginas.

- Nielsen, P. (2006). “*Sheet flow sediment transport under waves with acceleration skewness and boundary layer streaming*”. Coastal Engineering, vol. 53. Citado por Silva *et al.*, 2008.
- Ribeiro, M.; Bosnic, I.; Taborda, R.; Cascalho, J.; (2010). “*Beach Sand Code: Relatório Técnico n.º5 – Campanha CODECA I (Costa da Caparica)*”. FCUL ([http://sandcode.fc.ul.pt/Fieldwork/Caparica/Rel\\_5\\_CODECA-I.pdf](http://sandcode.fc.ul.pt/Fieldwork/Caparica/Rel_5_CODECA-I.pdf)).
- Short, A. D. (1999). “*Wave-Dominated Beaches*”. Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics. Edited by Andrew D. Short, University of Sydney, Australia. Citado por Fonseca, 2011.
- Silva, P. A., Abreu, T., Sancho, F. (2007). “*Comparação de diferentes fórmulas para o cálculo do transporte sedimentar em ondas assimétricas*”. 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Lisboa.
- Silva, P. A., Abreu, T., Sancho, F. (2008). “*Comparisson of sediment transport formulae regarding accelerated skewed waves*”. 31<sup>st</sup> International Conference on Coastal Engineering, Hamburg.
- Soulsby, R. (1997). “*Dynamic of marine sands*”. Thomas Telford Publications, 249 páginas.
- Sousa, G. (2009). “*Avaliação da concentração de sedimentos na zona de rebentação*.” Tese de mestrado. Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil, 66 páginas.
- Taborda, R., Ciavola, P., Ferreira, Ó., Alveirinho-Dias, J. M. (1998). “*Measurements of suspended sediment transport on a reflective mesotidal beach in Southern Portugal*”. Boletín, Instituto Español de Oceanografía, Espanha.
- USGS (2007). Wave-Current Interaction Calculations. Última consulta a 28/06/2012:  
[http://woodshole.er.usgs.gov/staffpages/csherwood/sedx\\_equations/RunWCCalcs.html](http://woodshole.er.usgs.gov/staffpages/csherwood/sedx_equations/RunWCCalcs.html).