



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Paula Eduarda Matos Neto

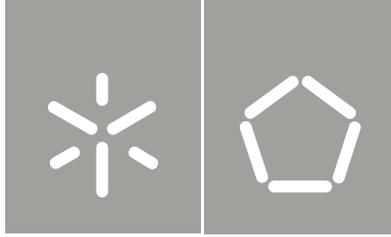
Morfodinâmica de Cordões Dunares  
Intervencionados com Paliçadas

Morfodinâmica de Cordões Dunares  
Intervencionados com Paliçadas

Paula Eduarda Matos Neto

UMinho | 2013

Julho de 2013



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Paula Eduarda Matos Neto

Morfodinâmica de Cordões Dunares  
Intervencionados com Paliçadas

Tese de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Civil/ Hidráulica e Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação de  
Professor Doutor José Luís Silva Pinho  
Professora Doutora Helena Maria Leite Pato  
Granja Wahnnon Araújo

Julho de 2013

"Ninguém pode esperar para ser realmente um artista na prática da engenharia, sem um fundo rico de experiências pessoais, ou sem um adequado conhecimento da experiência de seus contemporâneos e antecessores."

*Rudolph Peck*



## AGRADECIMENTOS

Este estudo não é apenas resultado de um empenho individual, mas sim de um conjunto de esforços que o tornaram possível e sem os quais teria sido muito mais difícil chegar ao fim desta etapa, que representa um importante marco na minha vida pessoal e profissional.

Desta forma, manifesto a minha gratidão a todos os que estiveram presentes nos momentos de angústia, de ansiedade, de insegurança, de exaustão e de satisfação.

Ao meu orientador Professor Doutor José Luís Pinho, pela forma como me orientou, pelo entusiasmo e motivação. É de igual modo, importante referir, ainda, a disponibilidade sempre manifestada, apesar do seu horário demasiado preenchido, o seu apoio, confiança e de certa forma a sua amizade.

Agradeço à minha Coorientadora Professora Doutora Helena Granja a disponibilidade demonstrada.

Às minhas doces amigas que me acompanharam durante todo o curso e que só por existirem tornaram a minha vida mais valiosa. À Margarida que com o seu jeito meigo me conquistou e sempre caminhou lado a lado comigo tornando a nossa amizade escorada e resistente. Á Vanessa que nunca faltou com uma palavra conselheira e acertada, mesmo quando por vezes dura, criou em mim novas e importantes convicções. Á Inês e a toda a sua energia de viver que fizeram dos nossos dias, dias mais coloridos. Á Véronique com quem partilhei grandes momentos de humor tornando assim o nosso dia-a-dia mais fácil de levar. À Elisabete que só tive oportunidade de conhecer no último ano, mas de quem aprendi rapidamente a gostar e respeitar.

A todos os meus amigos do Irão, em particular ao Ha Ssan e ao Mohsen que com os seus vastos conhecimentos informáticos me auxiliaram em alguns dos impasses.

Ao Engenheiro Lúcio Alves que se tornou num grande camarada mas que sobretudo foi alguém que me mostrou um lado da vida que eu desconhecia.

Ao meu querido amigo Miguel Souto a quem devo muitas explicações de Betão e muitas gargalhadas.

Á minha doce Cátia que sempre me deu força e muito me protegeu.

Á minha amiga de longa data Engenheira Juliana Pereira que apesar de um forçado afastamento provou mais uma vez que sempre estivemos juntas e que estará do meu lado em todas as dificuldades.

Por ultimo às quatro pessoas mais importantes da minha vida, ao meu adorado Pai Manuel que independentemente do estado da meteorologia sempre foi á luta e nunca deixou que nada me faltasse, facilitando assim todo este caminho por mim percorrido. Á minha querida Mãe Carlinda que nunca deixou de acreditar na minha capacidade de chegar á meta. Á mulher mais importante da minha vida, a minha irmã Doutora Fernanda Neto, a quem me faltam as palavras para agradecer tanto e continuo apoio. Um agradecimento especial ao meu cunhado Pedro Barros que sempre se certificou que eu estaria a usar as tecnologias da vanguarda.

Finalmente um ultimo obrigado a ti, Isabel Cardoso, minha amiga da vida toda, para que continues a cuidar de mim aí em cima...



## RESUMO

A erosão costeira é um processo que afeta grande parte das praias a nível mundial, acontecendo quando a taxa de remoção dos sedimentos é maior que a taxa de deposição. Os principais fatores causadores deste desequilíbrio são: o vento, as tempestades, a elevação do nível do mar, o esgotamento das fontes sedimentares, entre outros.

São diversos os estudos realizados por todo o mundo procurando soluções que mitiguem os efeitos negativos da erosão costeira. Desde 2009 que a costa de Vila Nova de Gaia tem sido objeto de um estudo relacionado com a morfodinâmica costeira e que recentemente se tem focado na componente de transporte eólico dos cordões dunares litorais sob a influência de estruturas de madeira, denominadas usualmente de paliçadas.

As intervenções de defesa dos cordões dunares foram promovidas pelo Parque Biológico de Gaia.

O objetivo desta dissertação consiste na caracterização da morfodinâmica em dunas onde foram instaladas paliçadas, tendo por base de estudo um programa de monitorização em locais selecionados para o efeito. As campanhas tiveram início em 9 de Março de 2011 e terminaram em 25 de Dezembro de 2012, tendo então uma duração de 10 meses.

A velocidade do vento apresenta um papel essencial na quantidade de sedimentos movidos, sendo o transporte de sedimentos nas paliçadas mais significativo para velocidades acima dos 11 km/h.

Os resultados obtidos nesta dissertação evidenciam também o papel desempenhado pela orientação do vento que, para além da velocidade, é determinante para o transporte dos sedimentos no interior das paliçadas, constatando-se que este transporte é mais ativo se o vento atuar do quarto quadrante.

### **Palavras-chave:**

Erosão costeira, Vento, Sedimentos, Paliçadas, Morfodinâmica, Dunas.



## **ABSTRACT**

The coastal erosion is a process largely affects the global beaches, occurring when the rate of removal of sediments is greater than the deposition rate. The main factors causing this imbalance are: wind, storms, rising sea level, the depletion of sedimentary, among others. There are several studies around the world looking for solutions that mitigate the negative effects of coastal erosion.

Since 2009, the coast of Vila Nova de Gaia has been the subject of a study related to the morphodynamics and recently has focused on the transport component of the wind cords coastal dunes under the influence of wooden structures, usually called the palisades. Interventions defense of dune cordons were promoted by the Gaia Biological Park. The objective of this thesis is to characterize the morphodynamic on dunes where fences were installed, based on the study of a monitoring program in selected locations for this purpose. The campaign began on March 9, 2011 and ended on December 25, 2012, then having duration of 10 months.

The wind speed has a role in the amount of sediment moved, and sediment transport in palisades most significant speeds over 11 km / h.

The results obtained in this work also show the role played by the orientation of the wind, in addition to speed, is critical for the transport of sediments within the palisades, noting that this transport is more active if the wind acting in the fourth quadrant.

### **Keywords:**

Coastal Erosion, Wind, Sediments, Palisades, Morphodynamics, Dunes.



**Índice**

<b>ÍNDICE.....</b>	<b>XII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos e metodologia.....	1
1.3 Conteúdo dos capítulos .....	2
<b>2 MORFODINAMICA DE PRAIAS.....</b>	<b>3</b>
2.1 Caracterização geral .....	3
2.1.1 Agentes dinâmicos .....	3
2.1.1.1 Ondas .....	3
2.1.1.2 Correntes .....	4
2.1.1.3 Marés .....	4
2.1.1.4 Águas meteóricas.....	5
2.1.1.5 Vento .....	5
2.1.2 Processos de acumulação e erosivos .....	7
2.1.3 Morfologia de praias .....	8
2.1.4 Dunas.....	10
2.2 Estudos sobre erosão induzida por tempestades .....	12
<b>3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>14</b>
3.1 Caracterização do local de estudo.....	14
3.1.1 Localização das paliçadas estudadas.....	16
3.2 Metodologia de trabalho .....	18
3.2.1 Material utilizado .....	18
3.3 Metodologia de medição .....	19
3.3.1 Medições de alturas em paliçadas de grande dimensão .....	20
3.3.2 Medição em paliçadas de dimensão intermédia.....	21
3.3.3 Medição agregada de conjuntos de paliçadas .....	22
3.4 Período de monitorização.....	23
3.5 Cálculo das variações volumétricas das areias nas paliçadas .....	24
3.5.1 Cálculo de volumes das areias nas paliçadas A e B .....	24
3.5.2 Cálculo de volumes das areias na paliçada C .....	26
3.5.3 Cálculo de volumes das areias nas paliçadas E, F e G.....	27
3.5.3.1 Paliçada E .....	27
3.5.3.2 Paliçada F .....	29
3.5.3.3 Paliçada G .....	30

3.5.4	Cálculo de volumes nas paliçadas H, I e J .....	31
<b>3.6</b>	<b>Orientação das paliçadas .....</b>	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Evolução da vegetação em cada paliçada .....</b>	<b>34</b>
4.1.1	Paliçada A .....	37
4.1.2	Paliçada B .....	38
4.1.3	Paliçada C .....	39
4.1.4	Paliçada E.....	40
4.1.5	Paliçada F.....	41
4.1.6	Paliçada G.....	42
4.1.7	Paliçadas H, I e J.....	43
<b>4.2</b>	<b>Vento.....</b>	<b>44</b>
4.2.1	Direção do vento .....	44
4.2.2	Velocidade do vento.....	46
<b>4.3</b>	<b>Volumes de sedimentos no interior das paliçadas .....</b>	<b>48</b>
4.3.1	Variações das alturas de sedimentos. ....	48
4.3.1.1	Paliçada A.....	49
4.3.1.2	Paliçada B.....	50
4.3.1.3	Paliçada C.....	51
4.3.1.4	Paliçada E .....	52
4.3.1.5	Paliçada F .....	53
4.3.1.6	Paliçada G .....	54
4.3.1.7	Paliçada H, I e J.....	55
4.3.2	Evolução dos volumes de sedimentos nas paliçadas .....	56
<b>4.4</b>	<b>Discussão de resultados.....</b>	<b>60</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>65</b>
<b>6.1</b>	<b>Lista de sites consultados .....</b>	<b>66</b>

## Índice de Figuras

FIGURA 1: INFLUÊNCIA DA LUA NAS MARÉS (REIS, 2002).	5
FIGURA 2: EROÇÃO/ ACUMULAÇÃO DE SEDIMENTOS (ALMEIDA, 2009).	6
FIGURA 3: IMPLANTAÇÃO DAS ARMADILHAS NA ZONA C.(RHEW, ET AL., MARCH 2001).	7
FIGURA 4: DIFERENTES MORFOLOGIAS DE PRAIAS (GRANJA, 2011).	8
FIGURA 5: MORFOLOGIA DE UMA PRAIA (SANCHO, ET AL.).	9
FIGURA 6: DIFERENTES TIPOS DE DUNAS (REIS).	11
FIGURA 7: ESPOSENDE COM O MONTE DE S. LOURENÇO POR FUNDO (CARVALHO, 2001).	11
FIGURA 8: FORMAS COSTEIRAS NA COSTA DE GAIA (MACIEL, ET AL., 2000).	15
FIGURA 9: EXTENSÃO DA COSTA DE GAIA (MACIEL, ET AL., 2000).	16
FIGURA 10: LOCALIZAÇÃO DAS PRAIAS EM ESTUDO. (GOOGLE MAPS)	16
FIGURA 11: PALIÇADAS EM ESTUDO (ALMEIDA, 2012).	17
FIGURA 12: MATERIAL UTILIZADO DURANTE AS CAMPANHAS DE MONITORIZAÇÃO.	19
FIGURA 13: GRELHA DE MEDIÇÃO DAS PALIÇADAS A E B.	20
FIGURA 14: USO DA CANA EXTENSÍVEL PARA MEDIÇÃO DE ALTURAS NO INTERIOR DAS PALIÇADAS.	21
FIGURA 15: PALIÇADA G.	22
FIGURA 16: PALIÇADAS C, H, I E J.	22
FIGURA 17: DIVISÃO DAS PALIÇADAS A E B, E AS RESPETIVAS DIMENSÕES.	24
FIGURA 18: DIVISÃO DA PALIÇADA C E RESPETIVAS DIMENSÕES (EM METROS).	26
FIGURA 19: DIVISÃO DA PALIÇADA E E RESPETIVAS DIMENSÕES (EM METROS).	28
FIGURA 20: DIVISÃO DA PALIÇADA F E RESPETIVAS DIMENSÕES (EM METROS).	29
FIGURA 21: DIVISÃO DA PALIÇADA G E RESPETIVAS DIMENSÕES (EM METROS).	30
FIGURA 22: DIVISÃO DAS PALIÇADAS H, I E J E RESPETIVAS DIMENSÕES (EM METROS).	31
FIGURA 23: DESENVOLVIMENTO DA VEGETAÇÃO NA PALIÇADA A.	37
FIGURA 24: DESENVOLVIMENTO DA VEGETAÇÃO NA PALIÇADA B.	38
FIGURA 25: DESENVOLVIMENTO DA VEGETAÇÃO NA PALIÇADA C.	39
FIGURA 26: DESENVOLVIMENTO DA VEGETAÇÃO NA PALIÇADA E.	40
FIGURA 27: DESENVOLVIMENTO DA VEGETAÇÃO NA PALIÇADA F.	41
FIGURA 28: DESENVOLVIMENTO DA VEGETAÇÃO NA PALIÇADA G.	42
FIGURA 29: DESENVOLVIMENTO DA VEGETAÇÃO NAS PALIÇADAS H, I E J.	43
FIGURA 30: REPETIÇÕES DA DIREÇÃO DO VENTO.	45
FIGURA 31: ROSA DOS VENTOS COM AS REPETIÇÕES DA ORIENTAÇÃO DO VENTO.	45
FIGURA 32: ALTURAS DOS SEDIMENTOS NA PALIÇADA.	49
FIGURA 33: ALTURAS DOS SEDIMENTOS NA PALIÇADA B	50
FIGURA 34: ALTURAS DOS SEDIMENTOS NA PALIÇADA C.	51
FIGURA 35: ALTURAS DOS SEDIMENTOS NA PALIÇADA E.	52
FIGURA 36: ALTURAS DOS SEDIMENTOS NA PALIÇADA F.	53
FIGURA 37: ALTURAS DOS SEDIMENTOS NA PALIÇADA G.	54
FIGURA 38: ALTURAS DOS SEDIMENTOS NAS PALIÇADAS H, I E J.	55
FIGURA 39: ILUSTRAÇÃO DO ENCHIMENTO CENTRAL DAS PALIÇADAS H, I E J.	56
FIGURA 40: DESENVOLVIMENTO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DE TODAS AS PALIÇADAS.	59
FIGURA 41: SÍNTESE DOS RESULTADOS.	61

## Índice de Tabelas

TABELA 1: DATAS DAS CAMPANHAS.	23
TABELA 2: ESTIMATIVA DE VOLUMES DE SEDIMENTOS NAS PALIÇADAS A E B PARA A CAMPANHA DE 9 DE MARÇO DE 2012.	25
TABELA 3: ESTIMATIVA DE VOLUME DE SEDIMENTOS NA PALIÇADA C PARA A CAMPANHA DE 9 DE MARÇO DE 2012.	27

TABELA 4: ESTIMATIVA DE VOLUME DE SEDIMENTOS NA PALIÇADA E. ....	28
TABELA 5: ESTIMATIVA DE VOLUME DE SEDIMENTOS NA PALIÇADA F .....	30
TABELA 6: ESTIMATIVA DE VOLUME DE SEDIMENTOS NA PALIÇADA G.....	31
TABELA 7: ESTIMATIVA DE VOLUME DE SEDIMENTOS NAS PALIÇADAS H, I E J.....	32
TABELA 8: ORIENTAÇÃO DAS PALIÇADAS A PARTIR DO NORTE. (VIEIRA, JULHO DE 2012).....	33
TABELA 9: DESIGNAÇÃO DAS PLANTAS ENCONTRADAS NAS PALIÇADAS EM ESTUDO. (TEIXEIRA, 2012) .....	35
TABELA 10: VELOCIDADES E NÚMERO DE OCORRÊNCIAS DO VENTO. ....	47
TABELA 11: VOLUMES ESTIMADOS DE SEDIMENTOS NO INTERIOR DAS PALIÇADAS EM ESTUDO. ....	57
TABELA 12: DIREÇÃO DO VENTO PREDOMINANTE PARA OS PERÍODOS ENTRE CAMPANHAS. ....	62



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

As praias têm uma relevante importância estratégica no nosso planeta, tanto a nível ambiental como económico, social e cultural. Neste sentido é importante conhecer a sua dinâmica, gerir a zona costeira de modo a potenciar a sua preservação e se necessário criar soluções eficientes que atenuem ou permitam evitar o seu desaparecimento devido a eventuais processos erosivos. A maioria das costas arenosas tem dunas. No nosso país os sistemas dunares ocupam cerca de 450 quilómetros da linha da costa (Gabriel, et al.).

Sendo os sistemas dunares o elemento de defesa natural relativamente à ocorrência de tempestades para as populações instaladas junto da costa e atendendo à sua elevada concentração, o conhecimento dos processos que condicionam a sua morfologia é essencial. Só com este conhecimento se poderá realizar uma gestão eficiente da zona costeira.

Transportados pelo vento, os sedimentos, acumulam-se em locais diferentes dando origem a estruturas móveis como as dunas. No seu processo de formação a vegetação desempenha um papel importante.

Com intuito de diminuir a velocidade dos sedimentos transportados pelo vento, foram instaladas na Costa de Vila Nova de Gaia paliçadas de madeira, favorecendo a acumulação sedimentar nos cordões dunares. A evolução temporal destes depósitos é objeto do presente trabalho.

## 1.2 Objetivos e metodologia

O principal objetivo deste trabalho consiste na caracterização da morfodinâmica em dunas intervencionadas com paliçadas, tendo por base de estudo um programa de monitorização em locais selecionados para o efeito onde foi registada, ao longo de um período de dez meses, a deposição sedimentar no interior das paliçadas. As campanhas tiveram início a 9 de Março de 2011 e terminaram em 25 de Dezembro de 2012, tendo sido realizadas 14 campanhas.

Foram realizadas medições das alturas de sedimentos no interior de um conjunto de paliçadas. Para além das medições foram obtidas imagens fotográficas que permitiram acompanhar a evolução da vegetação no seu interior. Procedeu-se a uma análise das características de atuação do vento no período monitorizado e da sua relação com a evolução verificada na deposição sedimentar no interior das paliçadas. A análise meteorológica foi elaborada com base em informação disponível para a região do estudo.

### **1.3 Conteúdo dos capítulos**

Esta dissertação organiza-se em cinco capítulos fundamentais cujo conteúdo passa a ser descrito.

No capítulo primeiro, faz-se uma introdução ao trabalho em estudo e definem-se os objetivos desta dissertação.

No segundo capítulo, apresenta-se uma caracterização geral das praias, fazendo referência aos agentes modeladores da sua forma, (as ondas, as correntes, as marés, as águas meteóricas e o vento), aos seus processos de formação, à sua morfologia e às dunas. Referem-se também os planos de gestão costeira em Portugal, diferentes estudos de erosão eólica e metodologias de monitorização de processos morfodinâmicos costeiros.

No capítulo terceiro, é apresentado o procedimento experimental definido neste trabalho, incluindo a descrição do local de estudo, a metodologia de execução e finalizando com os métodos de medição utilizados.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos para as acumulações/erosões no interior das paliçadas (alturas medidas), a evolução do coberto vegetal no seu interior, as características de atuação do vento (direção e velocidade) e as variações de volume de sedimentos estimadas para os diferentes períodos entre campanhas.

No último e quinto capítulo são apresentadas as conclusões deste estudo e discutida a possibilidade de previsão de erosão/ acumulação no interior das paliçadas considerando as características de atuação do vento.

## 2 MORFODINAMICA DE PRAIAS

### 2.1 Caracterização geral

#### 2.1.1 Agentes dinâmicos

Os agentes dinâmicos que mais influenciam a morfologia costeira são: as ondas, as marés, as correntes, o vento e a precipitação. Esta última, como provoca escorrência e infiltração, torna-se um agente com carácter muito importante na evolução costeira sobretudo quando estamos na presença de arribas (Granja, et al., 2011).

##### 2.1.1.1 Ondas

O agente com maior capacidade de modelação das praias é a agitação marinha. As ondas formam-se por ação do vento, mas ao aproximarem-se da costa vão-se modificando, devido principalmente à diminuição da profundidade da água.

Verificam-se quatro fenómenos principais que modificam as características das ondas quando estas se propagam desde o oceano aberto: a *refração* acontece quando uma onda passa de um meio para o outro e a sua direção é desviada, a *difração* ocorre quando a onda contorna obstáculos, o *empolamento* consiste no aumento da altura da onda devido à redução da profundidade, sendo que é ligeiramente antes do rebentamento que ela atinge a sua altura máxima, e por fim, a *reflexão* que consiste na inversão da direção da onda quando a onda incide num outro meio. É durante a ocorrência de tempestades que a ação da agitação marinha adquire um papel fundamental na transformação da morfologia das praias (Granja, et al., 2011).

Num estudo realizado no golfo de Leon em França foi analisado o efeito das tempestades na zona costeira. Da avaliação das características das tempestades com base em dados históricos conclui-se poder haver alguma evolução morfológica quando as ondas apresentam alturas superiores a 2,7 metros. A principal alteração morfológica verificada nesta situação é a migração da areia para a parte superior da praia. No entanto, quando as ondas são

significativamente altas, com alturas superiores a 5 metros, os impactos são mais graves como o galgamento de barreiras costeiras naturais, severa erosão dunar e grande perigo para praias urbanizadas (Gervais, et al., September 2011).

Na Bélgica ao longo da fronteira com a França foi realizado um estudo semelhante com intuito de analisar a mudança morfológica ao longo da costa belga tendo como fatores de análise a topografia, a hidrodinâmica e as tempestades mais severas ocorridas no período de 1983 a 2007. Num total de 42 tempestades e para cada uma analisou-se o nível da água do mar, a duração da tempestade, a energia das ondas e a direção do vento. Embora a metodologia apresente algumas limitações concluiu-se que para causar danos morfológicos na costa é necessário que as ondas sejam superiores a 4 metros de altura, o nível da água do mar seja superior a 5m, a duração da tempestade seja superior a 12 horas, a energia da onda seja acima de  $6.5E+05 \text{ J/m}^2$  e a direção do vento seja NW (Haerens, et al., September 2011).

### 2.1.1.2 Correntes

As correntes marinhas transportam sedimentos quer em suspensão quer rolando sobre o fundo. Estes sedimentos são continuamente removidos ou depositados de acordo com o padrão de correntes locais induzidas por diferentes ações, como vento, agitação e gradientes de massa volúmica.

As ondas estão na origem das correntes costeiras de maior magnitude, principais responsáveis pela movimentação de sedimentos nas praias. Poder-se-ão distinguir correntes *de fluxo e refluxo* (*zig-zag*), *correntes de retorno* e a *corrente de deriva litoral*, resultante da incidência oblíqua das ondas em relação à praia e que transportam grandes quantidades de sedimentos.

As *correntes de maré* são movimentos horizontais da água impulsionada pela maré, no seu movimento vertical ascendente e descendente (Granja, et al., 2011).

### 2.1.1.3 Marés

As marés resultam principalmente de fenómenos de atração que a lua e o sol exercem sobre a Terra, sendo também condicionadas pela configuração das bacias oceânicas.

O período (tempo necessário para a repetição das características da onda), e a amplitude (distância entre o ponto mais baixo e o ponto mais alto atingidos pelo nível da água) das

marés diferem conforme a localização e a configuração da costa. Analisando-se o mesmo local, verifica-se que quer ao longo do ano e quer ao longo de cada mês há uma variação das marés, resultante sobretudo do movimento da Lua.

As marés resultam da conjugação das forças exercidas pela lua e pelo sol na superfície das águas do mar, pelo que o seu comportamento depende do posicionamento dos três astros (lua, sol e terra). Ou seja, tal como se observa na Figura 1 quando estes se encontram alinhados há um período de marés vivas, mas quando os mesmos se encontram em quadratura, há um período de marés mortas (Granja, et al., 2011).

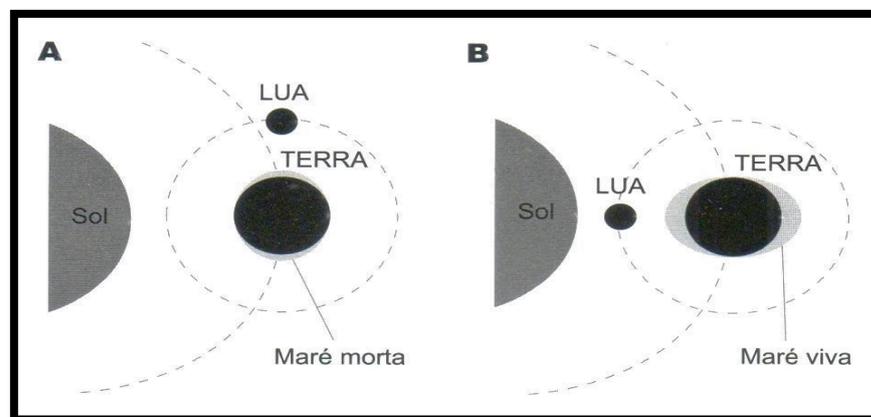


Figura 1: Influência da Lua nas Marés (REIS, 2002).

#### 2.1.1.4 Águas meteóricas

Estas águas como têm origem nas chuvadas, são mais sentidas por efeitos de escorrência e de infiltração. Neste sentido, e sobretudo nas arribas é que são notórias as formas de erosão, que podem destruir e recuar as arribas (Granja, et al., 2011).

#### 2.1.1.5 Vento

O vento é o agente mais importante no transporte de sedimentos secos, sendo responsável pela acumulação/erosão de sedimentos nas praias. Quando se acumulam sedimentos podem

resultar dunas, quando se perde, obtemos então os *blowouts* (rutura) como se verifica na figura 2 (Granja, et al., 2011).

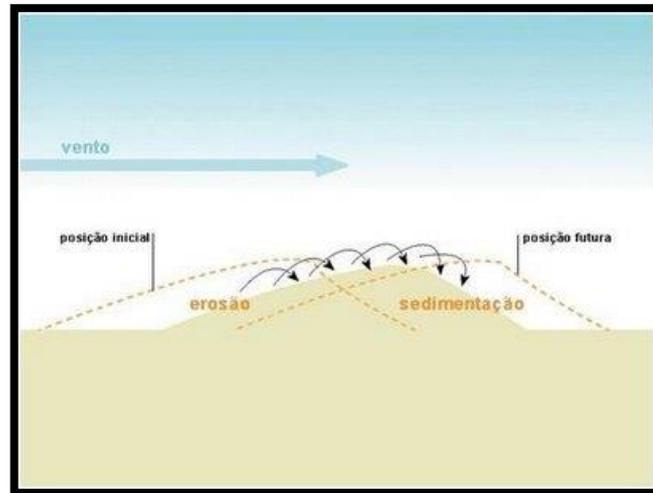


Figura 2: Erosão/ Acumulação de sedimentos (Almeida, 2009).

O transporte eólico de areia nas praias e nas dunas apresenta uma grande variabilidade espacial e temporal o que tem implicações na monitorização de sistemas costeiros. A variabilidade do transporte diferencia-se tendo em conta o tamanho dos grãos, a humidade superficial, a microtopografia, eventos de varredura e vórtices em determinado espaço. Na Califórnia, numa duna costeira próxima de Guadalupe, fez-se uma experiência para medir o transporte numa escala espacial de 0,1 a 4,0 m e numa escala temporal de 1 a 120 segundos. Nesta experiência foram usadas torres de anemómetros e com vento predominante de Oeste. Os resultados mostram que num determinado espaço a variabilidade aumenta com a escala espacial e diminui com a escala temporal. Ou seja quanto mais elevada for a variação da velocidade menor vai ser a variabilidade nos padrões de transporte sedimentar (Baas, et al., September 2006).

Na Coreia do Sul num campo de dunas em Shindu, foram colocados pinos de erosão e armadilhas de areia tal como se ilustra na figura 3, em três zonas, e monitorizadas uma vez por semana durante aproximadamente três meses. Esta experiência permitiu obter três conclusões, o transporte eólico perpendicular ao vento era diferente do transporte paralelo nas diferentes zonas de controlo, a atividade eólica na base da duna era mais ativa do que na crista

isto deveu-se à vegetação e por último, o tamanho dos grãos de areia variavam ao longo das diferentes zonas (Rhew, et al., March 2001).

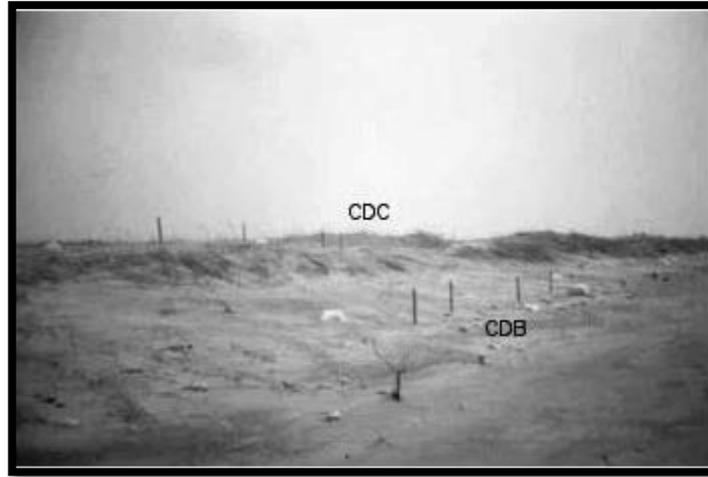


Figura 3: Implantação das armadilhas na zona C.(Rhew, et al., March 2001).

### 2.1.2 Processos de acumulação e erosivos

As praias vão acumulando sedimentos trazidos pelas ondas, correntes e ventos e diferem na sua morfologia, dinâmica e composição sedimentar. Como se pode observar na figura 4, devido à ação das ondas podemos distinguir três tipos de praias: *refletivas* que têm um perfil acentuado e baixa energia, *dissipativas* com um perfil mais suave e alta energia, e *intermédias* com características das duas anteriores. Os sedimentos das praias têm uma variada composição mineralógica mas também diferentes tamanhos, podem ir desde 0.125 mm até aos 2048 mm (Granja, et al., 2011).

Ao longo do ano e até mesmo ao longo da estação decorrente a morfologia da praia vai-se alterando, sobretudo devido a dois processos de movimento das areias, um, onde se acumulam os sedimentos e se constroem as dunas, *processo de acumulação*, e outro com um intuito mais destrutivo e responsável pela perda de sedimentos da praia, o *processo de erosão*.

Ainda assim pode existir um equilíbrio entre estes dois processos, e quando acontece esta estabilidade então estamos perante um balanço sedimentar nulo.

Estas variações morfológicas decorrem não só de fatores naturais, como subida do nível do mar, aumento do número e intensidade das tempestades, limitação de fontes sedimentares, mas também resultam das intervenções humanas, tais como barragens, extração de sedimentos obras de defesa, intervenções nos rios, e tudo isto provoca uma tendência erosiva predominante ou seja um balanço sedimentar negativo (Granja, et al., 2011).

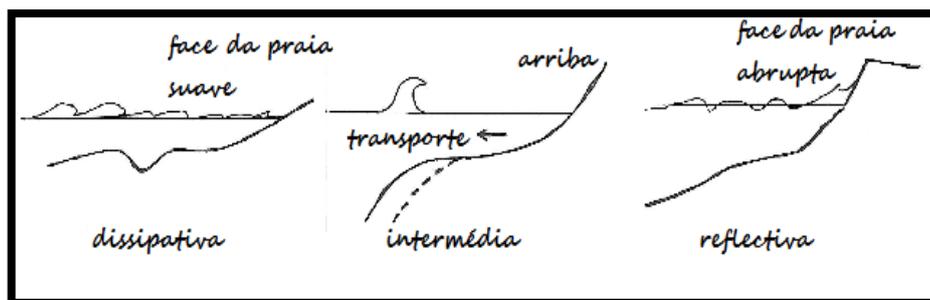


Figura 4: Diferentes morfologias de praias (Granja, 2011).

### 2.1.3 Morfologia de praias

Podem distinguir-se vários tipos de praias de acordo com a sua configuração: tómbolos (quando uma ilha é unida ao continente por uma faixa estreita de areia), restinga (é um terreno arenoso próximo da foz dos rios), cabedelos (é um monte de areia próximo da foz dos rios), ilha-barreira (é uma faixa arenosa, estreita e comprida paralela à linha da costa), entre outras como, praias em ponta, praias em bolso, e praias abertas (Granja, et al., 2011).

A constituição da praia, do mar para terra, como ilustra a figura 5, pode observar-se: a pré-praia, sempre imersa, podendo apresentar bancos arenosos, zona onde se dá a quebra da onda e se produz a ressaca; a face da praia, área que é coberta e descoberta pelas marés e onde se verifica o espraio da onda; a berma da praia, área plana ou ligeiramente inclinada para terra, apenas atingida pelas ondas em situação de marés vivas excepcionais e de tempestade; a ante praia e as dunas costeiras ou, nas costas altas, as arribas rochosas (Granja, et al., 2011).

As praias podem apresentar microformas tais como cúspides, lobos, cristas, micra arribas, canais e leques de galgamento, marcas de escorrência, etc (Granja, et al., 2011).

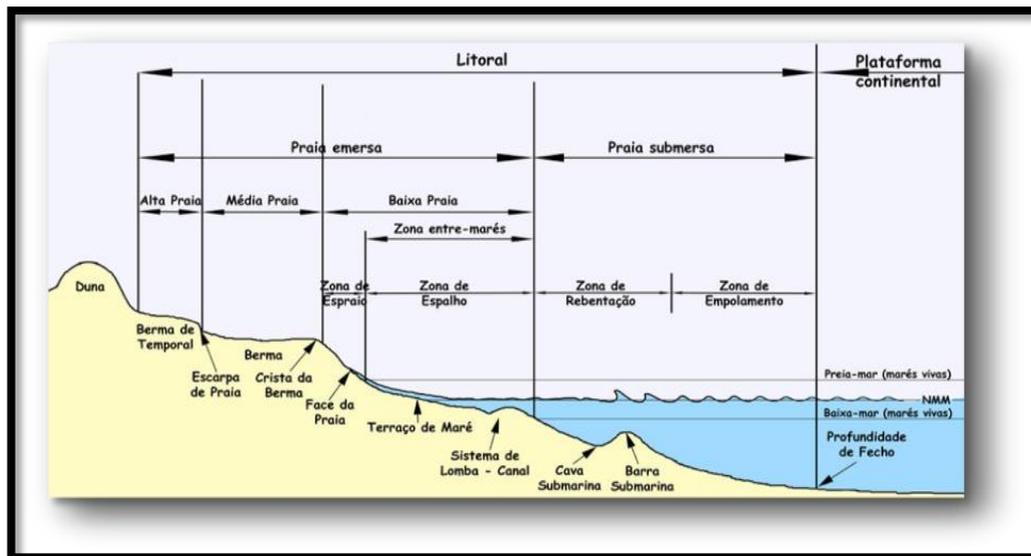


Figura 5: Morfologia de uma praia (Sancho, et al.).

A ocupação do litoral tem aumentado significativamente nas últimas décadas principalmente devido a uma maior procura destas regiões resultante das atividades de recreio e turismo. Hoje em dia a erosão ameaça muitas estruturas e atividades humanas exigindo uma melhor abordagem e alternativas aos problemas associados à erosão. Num estudo de investigação a uma unidade fisiográfica <sup>1</sup> realizado em Itália (Toscana), ao longo de 64 km no litoral, com base em fotografias aéreas verticais e levantamentos de campo, em dois intervalos de tempo distintos (de 1938 a 1977 e de 1997 a 2005), conclui-se que no primeiro período de tempo houve um acréscimo significativo das praias numas zonas e erosão noutras e no segundo período houve tendências muito semelhantes. Os resultados permitiram ajudar a compreender os processos costeiros e a gerir de uma forma sustentável o transporte de sedimentos, no sentido de reduzir as intervenções estruturais tais como os quebra-mares (G. Anfuso a, February 2011).

A morfodinâmica costeira investiga o aparecimento e desenvolvimento das características morfológicas observadas na plataforma continental a partir da sua borda marítima até à face da praia. O movimento da água geralmente é determinado de acordo com a sua dinâmica e não é afetado pela presença da fase sólida, no entanto esta suposição falha quando a concentração de partículas é elevada. Modelos de grande escala têm sido desenvolvidos e

<sup>1</sup>**UNIDADE FISIAGRÁFICA**

Região caracterizada por elementos da estrutura e natureza das rochas, acrescidos das indicações da rede hidrográfica, do clima, do aspeto topográfico e da idade das rochas. A extensão de uma unidade fisiográfica depende da escala adotada como base.

tentam descrever toda a física envolvida nos processos de interação fluido-sedimentos (Blondeaux, 2001).

Um estudo baseado num conjunto de dados sobre a evolução morfológica da costa Oeste da Península Ibérica, desde o Último Máximo Glaciar analisou vários processos tais como a erosão da costa, a alimentação local de sedimentos, mudanças climáticas, impactos antrópicos e subida do nível do mar foram identificados e combinados com os efeitos a ser avaliados. Desde do séc. XV que o desmatamento e cultivo de terras tem contribuído positivamente para o balanço sedimentar na costa portuguesa, mas a partir do séc. XX o represamento dos principais rios e a extração de areia e cascalho nos leitos dos rios tem levado à depleção de sedimentos na zona costeira (Dias, et al., December 1999).

Na China, foi analisada a influência de distintas ações antrópicas como a construção de três grandes obras de engenharia a serem executadas durante a década seguinte, obras tais como, uma barragem, um desvio da água do sul para o norte e um canal de navegação em águas profundas. Estas obras poderiam reduzir significativamente o fornecimento de sedimentos para a costa. Consequentemente essas mudanças vão reduzir os recursos e ameaçar a defesa costeira (Chen, et al., 1997).

#### 2.1.4 Dunas

As dunas ocupam cerca de 6% da superfície terrestre do planeta. Assim, a compreensão dos processos que determinam as suas características e dos processos eólicos associados são de extrema importância. Só assim podemos ter indicações sobre as condições climáticas do passado e do presente, e definir a informação de base para simulações que possam ajudar a prever o futuro (Kwarteng, et al., 1996).

As dunas costeiras podem ser agrupadas em vários tipos de acordo com a sua génese ou morfologia: *embrionárias*, *nebkas*, *frontais* (são as que formam um cordão paralelo à praia), *parabólicas*, e podem também ser *livres* onde se deslocam ou migram, e podem ser *fixas* devido à vegetação, sendo que quando as dunas se associam em sistemas formam campos dunares, devidamente ilustrado na figura 6.

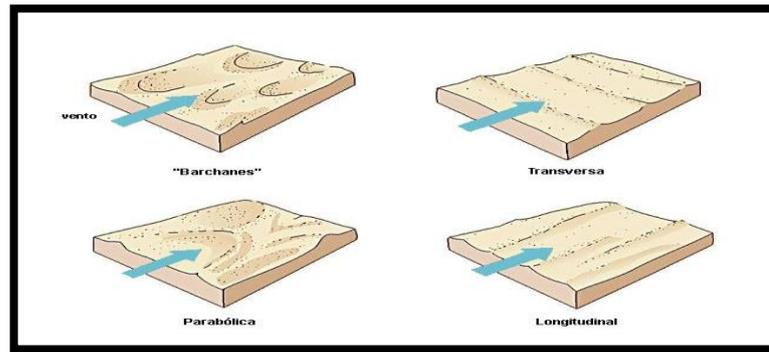


Figura 6: Diferentes tipos de dunas (Reis).

Alguns dos sistemas dunares do Noroeste Português foram gerados durante a Pequena Idade do Gelo, que ocorreu entre os séculos XV-XVI e os meados do século XIX (Carvalho, 2001), de acordo com estudos realizados no litoral de Esposende. O mar estaria, nesta zona, mais afastado da área (*regressão*), o que permitiu a instalação de uma povoação em Fão, cujo cemitério, posteriormente, foi coberto pelas areias das dunas (necrópole medieval de Fão). O sistema dunar constitui uma duna frontal, que é bem notória entre Cepães (norte), Praia do Belinho e Foz do Neiva. Esta duna está presentemente a ser degradada pela ação do mar, que nela talhou uma arribas que recua aceleradamente. Os efeitos da ação do mar são particularmente evidentes nos locais em que o cordão dunar frontal se encontra fragilizado pela passagem de linhas de água, ocorrendo frequentes galgamentos do mar. Figura 7.

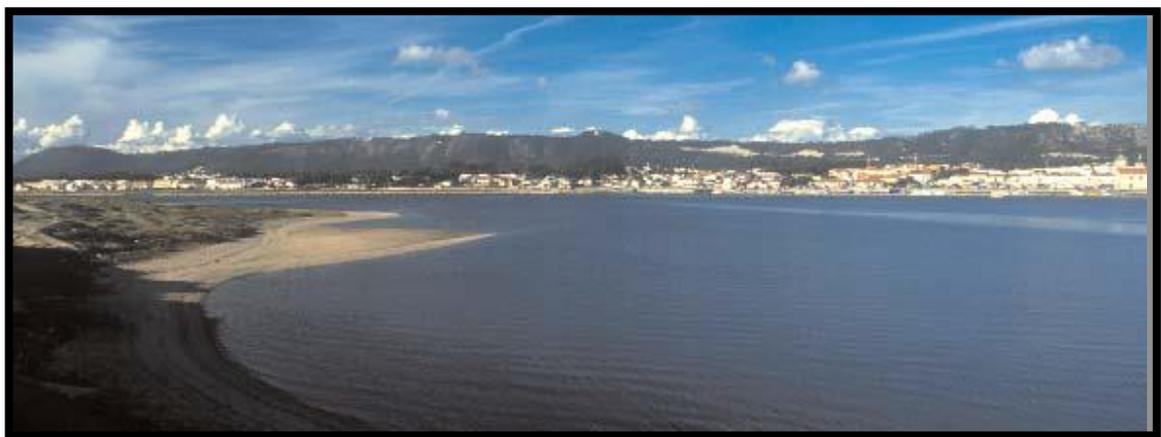


Figura 7: Esposende com o Monte de S. Lourenço por fundo (Carvalho, 2001).

Uma maior atividade eólica pode ser responsável pela formação de grandes campos de dunas. A atividade eólica no noroeste da Europa coincide com um resfriamento global e coincide com ventos de oeste e tempestades. No entanto continua em aberto se estes episódios climáticos tiveram alguma influência na dinâmica das dunas do sudoeste da Europa. Para estudo baseado na utilização de radar de penetração no solo (GPR) os resultados comprovam que grandes fases de atividade eólica no sudoeste da Europa, estão associados ao aparecimento de clima frio na distribuição global e à acumulação eólica no noroeste da Europa (Costas, et al., 2012).

Somente nos últimos 30 anos é que as dunas têm sido estudadas objetivamente e os resultados integrados em práticas de gestão da zona costeira. As dunas de areia são desenvolvidas onde a ação do vento é importante. Em dunas costeiras esta situação normalmente aparece com a interação do vento com a vegetação superficial.

O desenvolvimento de dunas depende do tipo de sedimento, da natureza do fornecimento sedimentar, da presença de ventos acima da velocidade crítica de movimento da areia preferencialmente com uma resultante em direção à praia (Francisco, 1998).

## **2.2 Estudos sobre erosão induzida por tempestades**

As tempestades são um dos fenómenos mais importantes e responsáveis pela erosão na costa. O seu poder destrutivo apresenta grandes desafios para a gestão costeira e conhecimento das suas características assim como das consequências que lhes estão associadas. Avaliou-se as tempestades e as respetivas intensidades com impactos significativos na costa arenosa no Sul de Portugal (praia de Faro, Ria Formosa) utilizando duas abordagens diferentes: condições hidrodinâmicas associados aos impactos de tempestades; a altura de onda máxima com a morfologia da praia resultante (Almeida, et al., 28 June 2010).

Os níveis dos danos são definidos como o limite acima do qual a ação de uma tempestade ultrapassa a capacidade de resposta da praia e começa a atuar diretamente nas infraestruturas antrópicas. Os resultados foram validados por meio de observações de campo dos impactos das tempestades. Este estudo apresenta uma estratégia metodológica para calcular limites realistas para efeitos de tempestades ao longo da praia de Faro com base em conjuntos de dados históricos da hidrodinâmica e efeitos dos impactos das tempestades.

Com base neste estudo, conclui-se que tempestades historicamente documentadas e que tenham causado danos às infraestruturas, são as que apresentam ondas com uma altura de 4,7m e duração de 2 dias para tempestades vindas de SW, ou com 6m de altura e duração também de 2 dias mas orientadas de SE. Esta análise permitiu também observar que a praia de Faro é bastante vulnerável a tempestades (Almeida, et al., 28 June 2010).

Na Figueira da Foz em 1995, a construção de um emissário submarino danificou o sistema de dunas de Leirosa. A erosão nesta área foi agravada pela existência de um quebra-mar a 1 km de distância, contribuindo para a degradação da duna. (Reis, et al., November 2008)

Na primeira vez em que se realizou uma reabilitação, reconstruiu-se a duna e seguidamente fez-se uma re-vegetação com *Ammophila arenaria*. O sucesso deste trabalho foi colocado em causa pelo intenso Inverso vivido no ano 2000-2001, e a duna ficou bastante danificada. Em 2005 depois de se equacionar varias alternativas, as dunas de Leirosa foram reconstruidas com camadas de geotêxtis preenchido com areia, transformando aquela área num sistema de dunas muito eficiente. Em 2006 alguns problemas ocorreram, provavelmente causados pela má vedação das camadas de geotêxtis. Neste momento as dunas de Leirosa estão numa situação estável, sendo objeto de estudo e acompanhamento continuado (Reis, et al., November 2008).

### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

#### 3.1 Caracterização do local de estudo

O trabalho experimental foi desenvolvido no litoral do concelho de Vila Nova de Gaia. Este trecho costeiro é caracterizado por um perfil com numerosas saliências e reentrâncias que resultam de tómbolos ancorados, afloramentos rochosos e praias em bolso entre eles. Trata-se de praias estreitas e com *dunas pouco desenvolvidas*. De forma a reforçar o cordão dunar frontal colocou-se um conjunto de paliçadas por forma a evitar a erosão das dunas e por sua vez acumular sedimentos. Nas praias da zona norte/centro do país tem-se verificado um processo erosivo dominante, cujas causas estarão ligadas à construção de barragens, dragagens portuárias, extrações de inertes, construção de obras de defesa, eventual aumento das intensidades e frequências de tempestades e da subida do nível da água do mar.

O local de estudo foi objeto de um *plano de monitorização* realizado entre 2008 e 2010 em que se acompanhou a evolução morfológica e a dinâmica da faixa costeira desde do estuário do Douro até ao rio Mocho, com os seguintes objetivos específicos: caracterizar a dinâmica sedimentar longitudinal e transversal à costa, caracterizar as mudanças morfológicas do sistema praia-duna, detetar processos erosivos, apresentar possíveis evoluções na morfologia e dinâmica da costa, elaborar a carta de vulnerabilidade do sistema praia-duna, e finalmente elaborar a carta de risco de erosão da zona costeira do concelho (Maciel, et al., 2000).

Na figura 8 podemos observar algumas das formações existentes ao longo da costa de Vila Nova de Gaia (Maciel, et al., 2000).

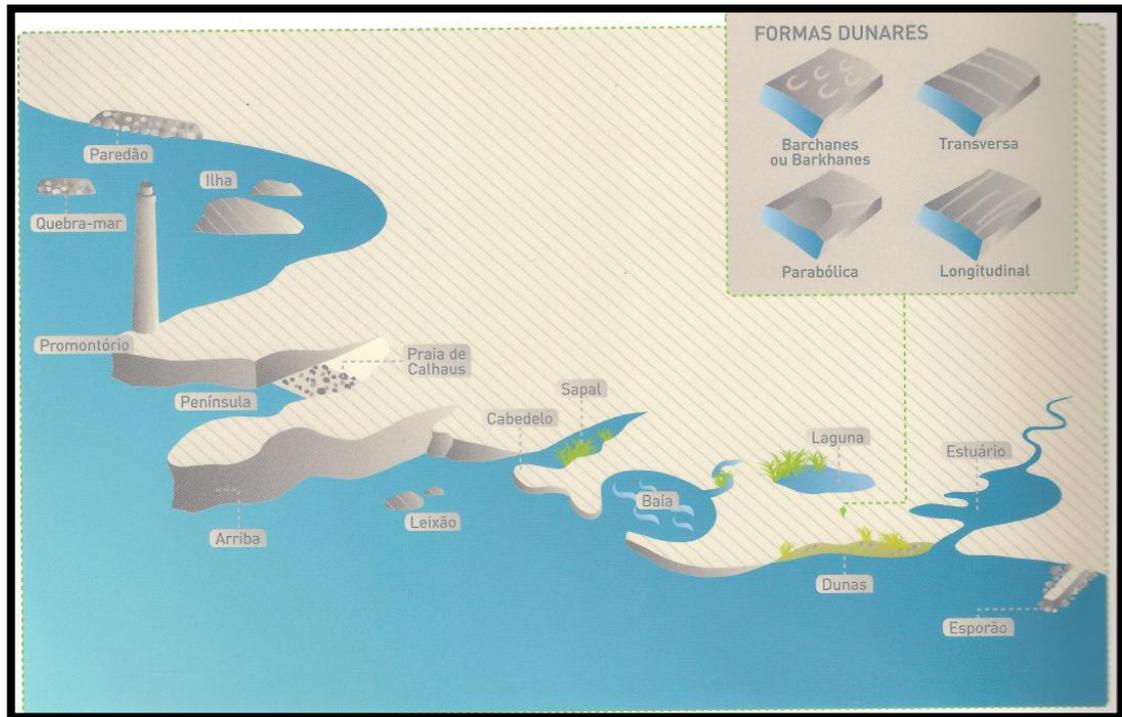


Figura 8: Formas costeiras na costa de Gaia (Maciel, et al., 2000).

Uma das características deste trecho costeiro e que esteve na base para seleção como caso de estudo neste trabalho é o facto de o cordão dunar frontal ter sido alvo de intervenção com a colocação de paliçadas recentemente. Figura9.



Figura 9: Extensão da Costa de Gaia (Maciel, et al., 2000).

### 3.1.1 Localização das paliçadas estudadas

As paliçadas seleccionadas para estudo detalhado situam-se nas praias de Francelos e de Francemar (figura 10).

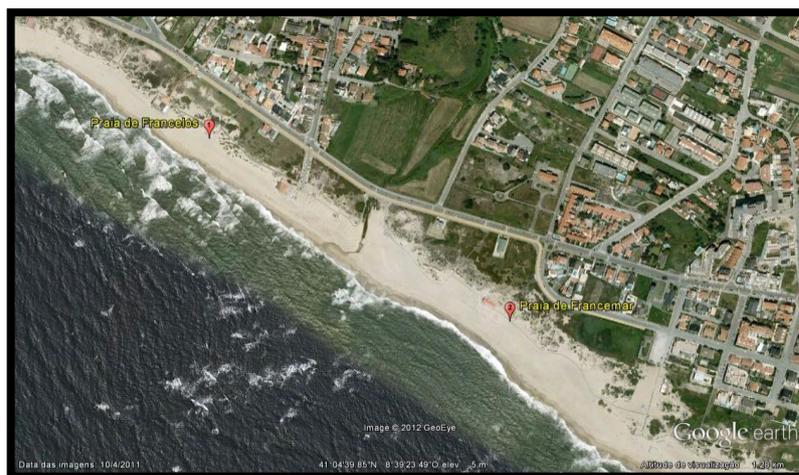


Figura 10: Localização das praias em estudo. (Google Maps)

As três primeiras paliçadas (A, B e C) situadas na praia de Francelos, estão esquematizadas na imagem 1 da figura 11 e as restantes seis (E, F, G, H, I e J) que se encontram na praia de Francemar são apresentadas nas imagens 2 e 3 da figura 11.

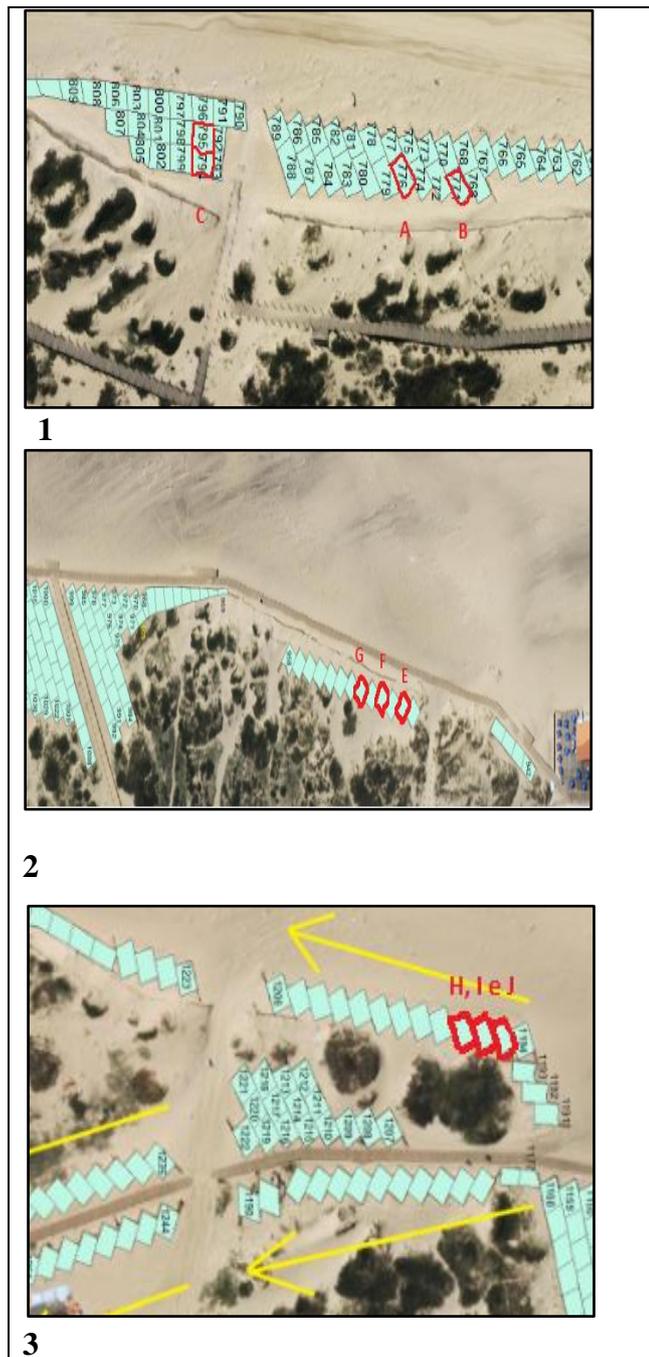


Figura 11: Paliçadas em estudo (Almeida, 2012).

## 3.2 Metodologia de trabalho

A monitorização das paliçadas foi realizada entre 09 de Março e 25 de Dezembro, nas praias de Francelos e Francemar em Vila Nova de Gaia. O trabalho foi realizado por uma equipa em que colaboraram alunos das Escolas de Ciências e Engenharia da Universidade do Minho.

### 3.2.1 Material utilizado

O material utilizado no programa de monitorização das paliçadas foi o seguinte:

- Máquina fotográfica CASIO EX-Z2
- Caderno de apontamentos
- Lápis, canetas e marcadores
- Pioneses, fita-cola e martelo
- Cana de pesca extensível
- Pêndulo
- Fitas métricas

Na figura 12 apresentam imagens do material usado para efetuar as campanhas de monitorização: na imagem 1 temos o caderno usado para anotar as informações recolhidas, na imagem 2 temos a fita-cola usada para colar o pendulo à cana, na imagem 3 temos o material de escrita necessário para anotar as informações recolhidas, na imagem 4 temos a maquina fotográfica que foi usada para obter os registos fotográficos, na imagem 5 temos o equipamento de medição usado para medir as alturas entre a cana e a superfície de areia, na imagem 6 o pêndulo que foi usado para se conseguir medir as alturas na zona central das paliçadas A e B e finalmente na imagem 8 temos a cana de pesca extensível que foi necessária para se medir alturas no interior das paliçadas de maior dimensão.

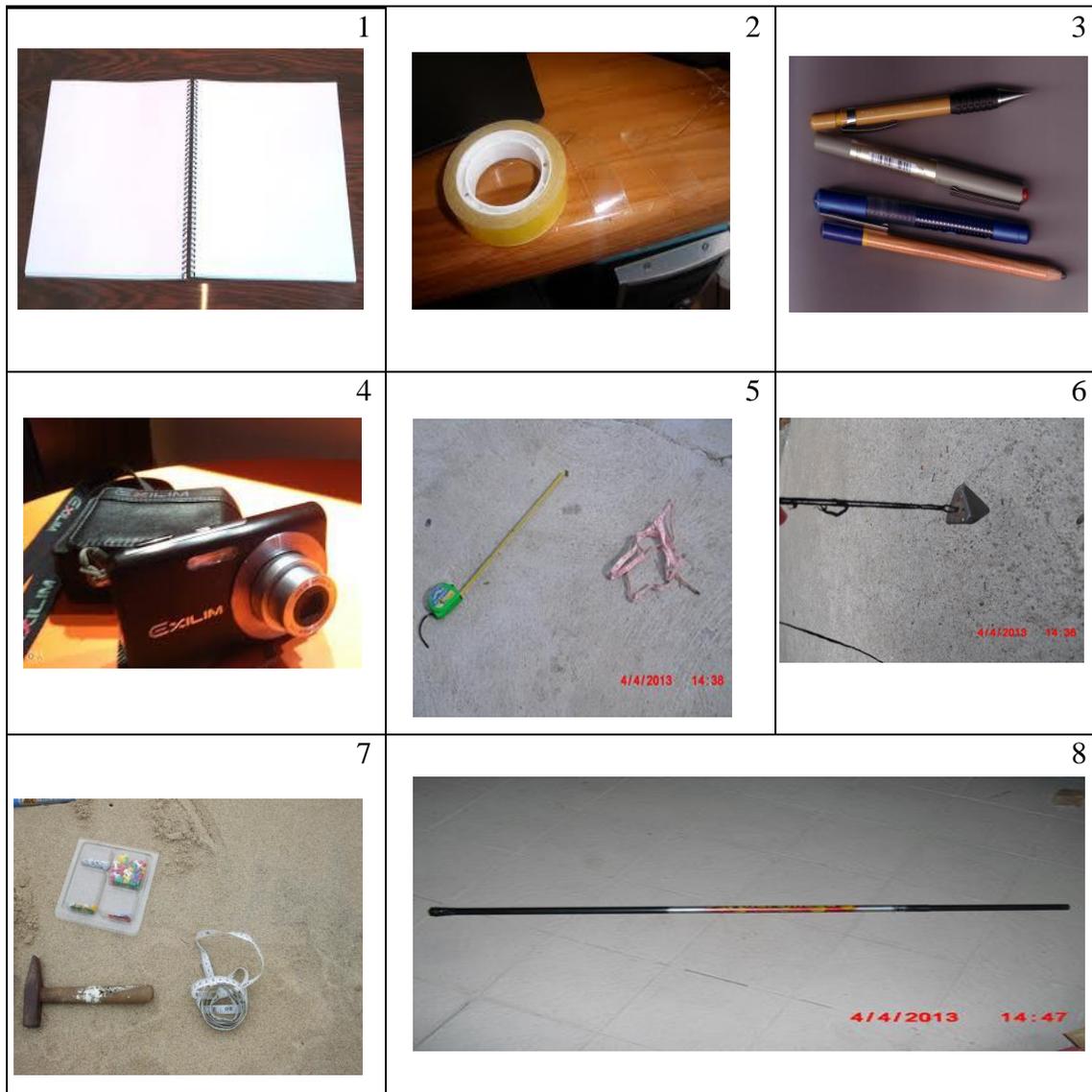


Figura 12: Material utilizado durante as campanhas de monitorização.

### 3.3 Metodologia de medição

Foram utilizadas três metodologias de medição distintas. As medições realizadas tiveram como objetivo o acompanhamento da evolução dos volumes de sedimentos no interior das paliçadas ao longo do período de estudo.

O primeiro método foi aplicado em paliçadas com as maiores dimensões de todas as analisadas. Neste caso, para além de medições em torno do perímetro da paliçada foram realizadas medições de pontos no seu interior.

Nas paliçadas de dimensão intermédia tendo em conta as nove avaliadas, foram medidas alturas livres em pontos localizados no perímetro da paliçada.

E por último foi considerada a análise de grupos de paliçadas

### 3.3.1 Medições de alturas em paliçadas de grande dimensão

Nas paliçadas A e B, consideradas de grandes dimensões, foi considerada uma grelha de quinze pontos onde se mediram alturas livres em cada uma das campanhas realizadas. Doze desses pontos localizam-se no perímetro da paliçada e três no seu interior, como se pode constatar na figura 13. Na mesma figura são numeradas as áreas que servirão de base à estimativa de volume de sedimentos no interior da paliçada.

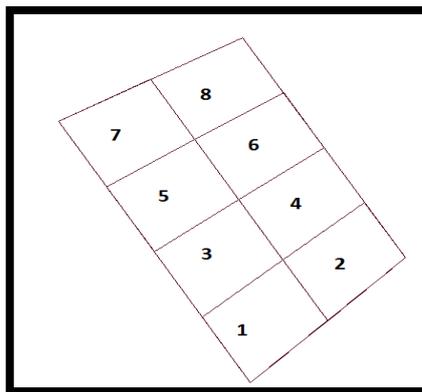


Figura 13: Grelha de medição das paliçadas A e B.

Nestas paliçadas, numa fase inicial, surgiram dificuldades com as medições dos pontos interiores. Como não era possível invadir o interior da paliçada, teve-se que procurar alternativas, para se conseguir a medição naquelas posições. Na campanha de 11 de Maio de 2012, esse obstáculo foi ultrapassado com a utilização da cana de pesca extensível.

Foi identificado um ponto de apoio da cana na paliçada e um outro ponto no qual se suspendeu um pêndulo através de um fio. Rodando a cana, o fio previamente enrolado, ia sendo desenrolando até contactar com a superfície de areia. Assim que o pêndulo tocava na

areia o fio era fixado temporariamente à cana. Retirava-se então a cana e media-se a extensão do fio. Este processo está ilustrado na figura 14.



Figura 14: Uso da cana extensível para medição de alturas no interior das paliçadas.

### 3.3.2 Medição em paliçadas de dimensão intermédia

Neste caso as medições foram realizadas com auxílio das fitas métricas. A altura livre entre o topo das barras de madeira e a superfície de areia foi registado em diferentes pontos selecionados localizados ao longo do perímetro da paliçada. Os pontos de medição foram selecionados pela sua localização e acessibilidade e foram assinalados com uma marca. A figura 15 ilustra uma dessas paliçadas.

Cada uma das paliçadas foi designada através de uma letra e cada um dos pontos de medição assinalado foi numerado.



Figura 15: Paliçada G.

### 3.3.3 Medição agregada de conjuntos de paliçadas

No caso da paliçada C, e das paliçadas H, I e J, optou-se por uma análise agregada das variações volumétricas.

Assim, foram obtidas medições de alturas livres em pontos previamente definidos neste conjunto de paliçadas seguindo-se uma metodologia análoga à indicada no ponto anterior. As paliçadas estão representadas na figura 16, nas imagens 1 e 2.



Figura 16: Paliçadas C, H, I e J.

### 3.4 Período de monitorização

A primeira campanha realizou-se no dia 9 de Março de 2012 e a última no dia 25 de Dezembro de 2012 tal como se sintetiza na tabela 1.

Tabela 1: Datas das campanhas.

Meses	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Dias das campanhas	9,16,23 e 30	27	11,18 e 25				14 e 28	15 e 30	21	25

Num trabalho realizado no campo é expectável que surjam diversas dificuldades associadas aos métodos planeados e às condições ambientais para a sua realização.

Logo na segunda campanha do dia 16 de Março de 2012, só foi possível efetuar medições na paliçada A uma vez que as condições meteorológicas não permitiram realizar as medições nas restantes paliçadas.

Uma outra dificuldade já comentada no ponto 3.2.2.1, relacionou-se com a medição nos pontos interiores das paliçadas. Até à campanha de 27 de Abril teve-se bastante dificuldade em registar alturas naquelas localizações. Após várias tentativas, utilizando-se técnicas e materiais alternativos, optou-se pela utilização de uma cana de pesca extensível, que tinha dimensão suficiente para ser apoiada entre ambos os lados da paliçada.

Em Abril de 2012 só foi possível efetuar uma campanha no final do mês devido à precipitação que se fez sentir nesse mês em particular nos dias em que estavam programadas campanhas.

Uma outra dificuldade apareceu durante a época balnear. Durante estes meses não foi possível efetuar a monitorização, pois as praias e algumas paliçadas foram invadidas por veraneantes.

Nas paliçadas H, I e J não foi possível efetuar medições no dia 15 de Outubro, devido à ocorrência de precipitação.

### 3.5 Cálculo das variações volumétricas das areias nas paliçadas

Neste ponto apresenta-se a metodologia utilizada na estimativa das variações volumétricas das paliçadas. Estas variações foram calculadas utilizando-se estimativas dos volumes de sedimentos no interior de cada uma das paliçadas realizadas para cada campanha.

É apresentado um exemplo de cálculo para uma campanha, sendo os restantes resultados obtidos apresentados mais adiante.

#### 3.5.1 Cálculo de volumes das areias nas paliçadas A e B

Na tabela 2 é apresentado um exemplo de cálculo do volume de sedimentos no interior da paliçada para uma das campanhas realizadas (campanha de 9 de Março de 2012). Na figura 20 é apresentada a divisão da paliçada em pequenas áreas e as respetivas dimensões obtidas no terreno. Estas dimensões foram processadas com o programa AutoCad 2013.

As alturas de sedimentos foram obtidas por diferença entre os valores medidos para alturas de vazio e a altura total das paliçadas aquando da sua instalação. Este valor foi medido na primeira campanha realizada em cada uma das paliçadas e considerando constante ao longo do período de monitorização.

É importante referir que os pontos centrais destas duas paliçadas só apresentam valores medidos com auxílio da cana extensível a partir da campanha do dia 11 Maio de 2012. Para as campanhas anteriores o valor intermédio foi estimado com base nas alturas medidas em pontos adjacentes, considerando-se uma média simples.

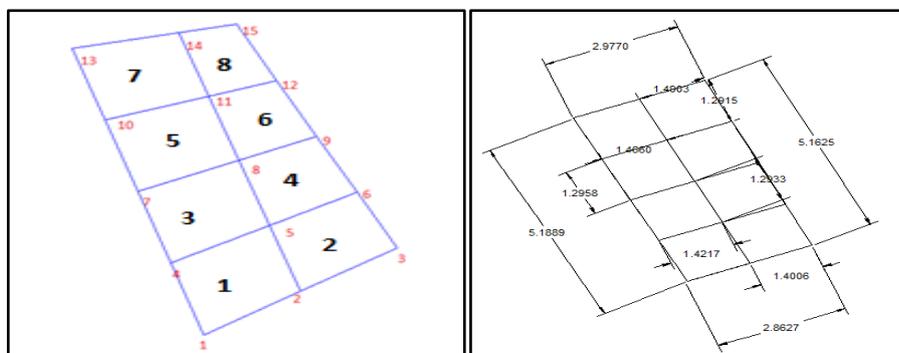


Figura 17: Divisão das paliçadas A e B, e as respetivas dimensões.

A tabela 2 evidencia o procedimento de cálculo adotado nas paliçadas A e B, tendo em conta os esquemas apresentados na figura 17.

Tabela 2: Cálculo de volumes de sedimentos nas paliçadas A e B para a campanha de 9 de Março de 2012.

Parte	Área da fig. total [ $m^2$ ]	Altura da areia [cm]				H (média) [m]	Volume [ $m^3$ ]
		h1	h2	h4	h5		
<b>Parte 1</b>		h1	h2	h4	h5		
	1,87	31,7	30,3	30,8	37,9	0,327	0,611
<b>Parte 2</b>		h2	h3	h5	h6		
	1,9	30,3	33	37,9	45	0,366	0,694
<b>Parte 3</b>		h4	h5	h8	h7		
	1,85	30,8	37,9	51,6	31,7	0,380	0,703
<b>Parte 4</b>		h5	h6	h8	h9		
	1,81	37,9	45	51,6	71,5	0,515	0,932
<b>Parte 5</b>		h7	h8	h11	h10		
	1,87	31,7	51,6	73,3	74,7	0,578	1,081
<b>Parte 6</b>		h8	h9	h11	h12		
	1,83	51,6	81,5	73,3	71,9	0,696	1,273
<b>Parte 7</b>		h10	h11	h13	h14		
	1,89	74,7	73,3	91	94,8	0,835	1,577
<b>Parte 8</b>		h11	h12	h14	h15		
	1,86	73,3	71,9	94,8	66	0,765	1,423

Com base nos valores de volume parcelares estimados, calculou-se o volume total através do seu somatório.

Este procedimento foi repetido para as duas paliçadas e para todas as campanhas realizadas.

### 3.5.2 Cálculo de volumes das areias na paliçada C

A paliçada C é constituída por três células. Na figura 18 apresentam-se as divisões e respectivas dimensões (em metros).

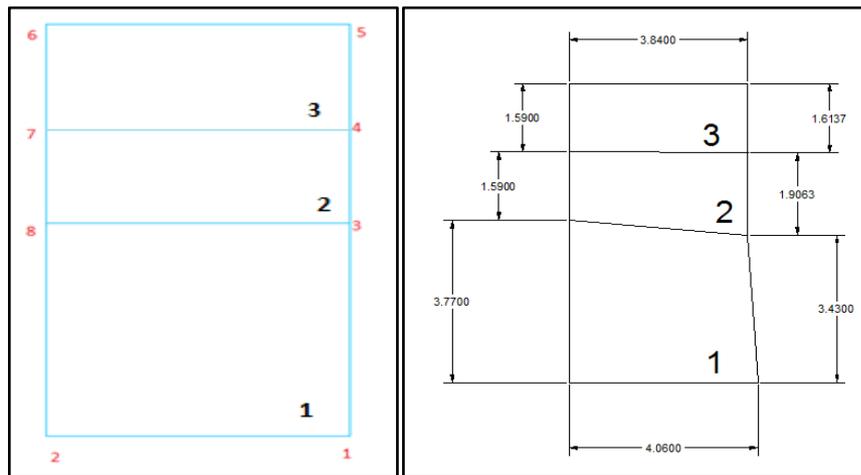


Figura 18: Divisão da paliçada C e respectivas dimensões (em metros).

Na tabela 3 feito é apresentado um exemplo cálculo dos volumes de sedimentos nesta paliçada. Obteve-se a área de cada quadrícula com auxílio do programa AutoCad, e seguidamente com a média das alturas das areias, estimou-se o valor do volume de sedimentos.

Tabela 3: Cálculo de volume de sedimentos na paliçada C para a campanha de 9 de Março de 2012.

Área da fig. parcial [ $m^2$ ]	Altura da areia [m]				H (média) [m]	Volume [ $m^3$ ]
	h1	h2	h3	h8		
<b>Parte 1</b>						
14,20	0,249	0,324	0,297	0,28	0,29	4,08
<b>Parte 2</b>						
6,71	0,28	0,30	0,46	0,60	0,41	2,74
<b>Parte 3</b>						
6,16	1,176	1,168	0,46	0,595	0,85	5,23

### 3.5.3 Cálculo de volumes das areias nas paliçadas E, F e G

Nestas três paliçadas, a medição foi elaborada de uma forma muito simples. Como as paliçadas se encontram quase num plano horizontal, bastou retirar a média das alturas e multiplicar pela área da paliçada e assim se obteve o volume de areia dentro da paliçada.

#### 3.5.3.1 Paliçada E

A área desta paliçada foi obtida medindo cada um dos lados e adquirindo o valor com auxílio da ferramenta informática AutoCad 2013. Na figura 19 tem-se a representação esquemática das medidas obtidas em terreno e o esquema através do qual se retirou as alturas das areias. No caso das paliçadas E e F, a medida da areia foi retirada nos dois lados de cada canto (*pilar*).

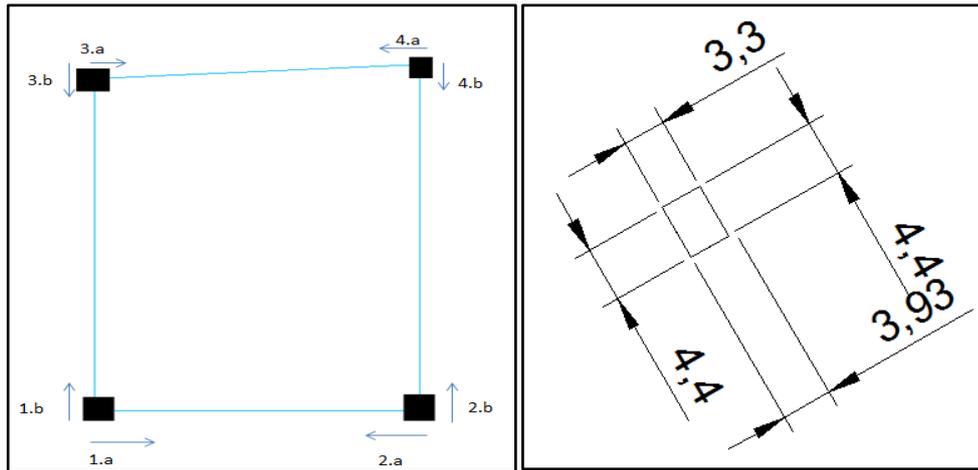


Figura 19: Divisão da paliçada E e respetivas dimensões (em metros).

Na tabela 4 representou-se um exemplo de cálculo de como se obteve o volume da areia nesta paliçada no caso em concreto, referente á primeira campanha dia 9 de março. Neste caso não se fez nenhuma divisão da paliçada, considerou-se que a paliçada era toda uma quadrícula.

Tabela 4: Cálculo de volume de sedimentos na paliçada E.

Pontos			9 de Março		
1,a			0,25		
1,b			0,22		
2,a			0,33		
2,b			0,34		
3,a			0,36		
3,b			0,36		
4,a			0,30		
4,b			0,38		
Área total da paliçada (m <sup>2</sup> )	14,52	Média das alturas de areia (m)	0,3198	Volume da areia (m <sup>3</sup> )	4,6445

### 3.5.3.2 Paliçada F

A área desta paliçada (F) foi obtida á semelhança da anterior, todo o processo é idêntico, sendo as únicas alterações as medidas da areia, da paliçada e respetivos volumes. Ainda assim na figura 20 é feito um esquema das medidas e uma representação de como se obteve as alturas da areia.

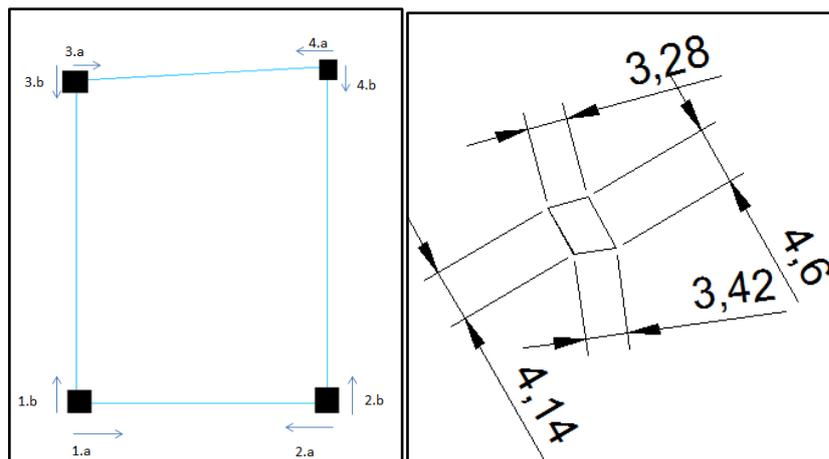


Figura 20: Divisão da paliçada F e respetivas dimensões (em metros).

Na tabela 5 representou-se um exemplo de cálculo de como se obteve o volume da areia nesta paliçada no caso em concreto, referente á primeira campanha dia 9 de março. Neste caso não se fez nenhuma divisão da paliçada, considerou-se que a paliçada era toda uma quadrícula.

Tabela 5: Cálculo de volume de sedimentos na paliçada F

Pontos			9 de Março		
1,a			0,54		
1,b			0,52		
2,a			0,6		
2,b			0,57		
3,a			0,36		
3,b			0,36		
4,a			0,30		
4,b			0,38		
Área total da paliçada ( $m^2$ )	13,8769	Altura média da areia (m)	0,455625	Volume De areia na paliçada ( $m^3$ )	6,322663

### 3.5.3.3 Paliçada G

Esta paliçada teve ligeiras diferenças em comparação com as outras duas, neste caso nos pilares 1 e 3 só feita a medição de um dos lados, mais concretamente na aresta do pilar, visto a altura da areia ser bastante uniforme dos dois lados de cada um destes pilares.

Na figura 21 pode-se verificar esta diferença, tal como as medidas da paliçada obtidas no terreno.

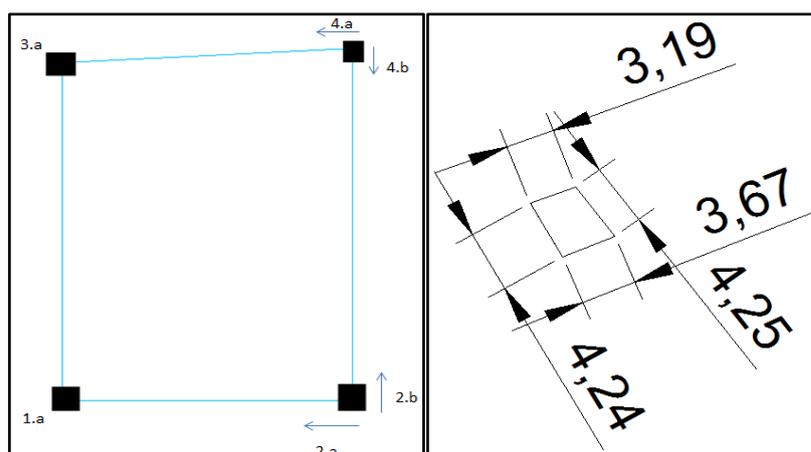


Figura 21: Divisão da paliçada G e respetivas dimensões (em metros).

Na tabela 6 representou-se um exemplo de cálculo de como se obteve o volume da areia nesta paliçada no caso em concreto, referente á primeira campanha dia 9 de março. Neste caso não se fez nenhuma divisão da paliçada, considerou-se que a paliçada era toda uma quadrícula.

Tabela 6: Cálculo de volume de sedimentos na paliçada G

Pontos		9 de Março	
1,a		0,56	
2,a		0,66	
2,b		0,65	
3,a		0,34	
4,a		0,42	
4,b		0,47	
Área total da paliçada (m <sup>2</sup> )	14,24	Média das alturas da areia (m)	0,52
		Volume da areia (m <sup>3</sup> )	7,345

### 3.5.4 Cálculo de volumes nas paliçadas H, I e J

Á semelhanças do que se fez na paliçada C, estas três paliçadas também foram medidas agrupada mente. O intuito deste tipo de medição, é obter outro tipo de informação. Neste caso o cálculo do volume é feito em conjunto, ou seja retirou-se a média das alturas de todos os pontos e multiplicou-se pela área total das três paliçadas.

A figura 22 representa os pontos, as áreas e medidas das paliçadas em análise.

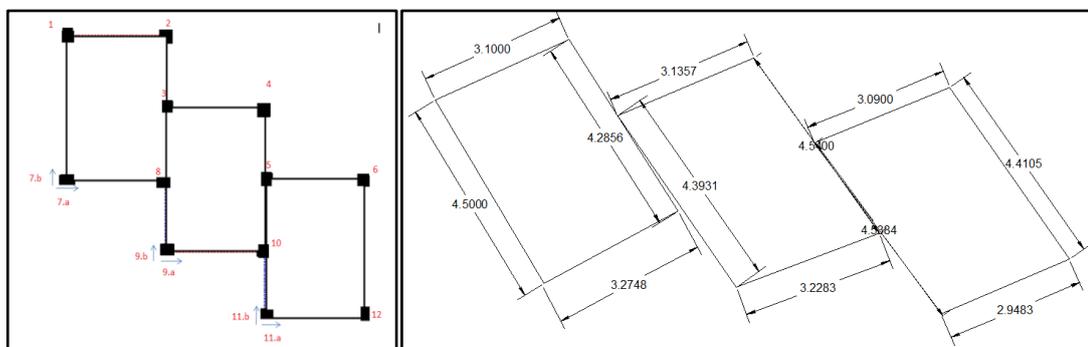


Figura 22: Divisão das paliçadas H,I e J e respetivas dimensões (em metros).

Na tabela 7 estão representados os cálculos de um exemplo para se determinar o volume deste grupo de paliçadas.

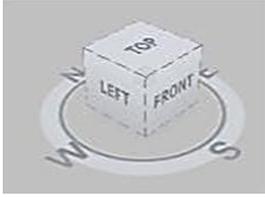
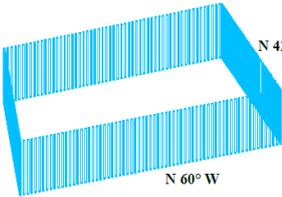
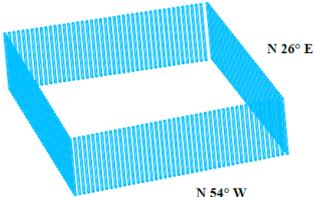
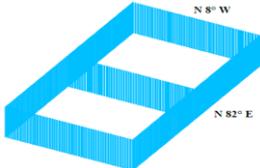
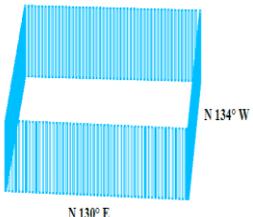
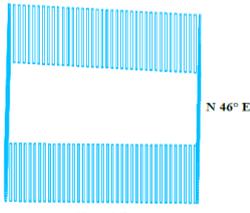
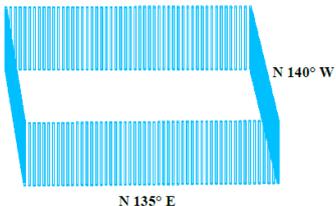
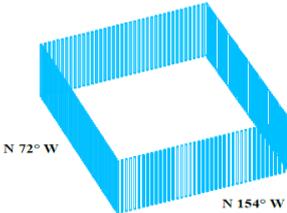
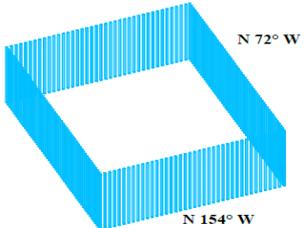
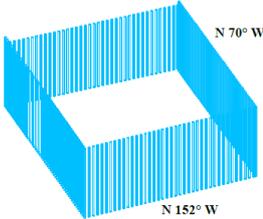
Tabela 7: Cálculo de volume de sedimentos nas paliçadas H, I e J.

Pontos			9 de Março		
1			0,90		
2			0,42		
3			1,04		
4			0,46		
5			1,01		
6			0,59		
7,a			0,41		
7,b			0,36		
8			0,93		
9,a			0,42		
9,b			0,43		
10			0,96		
11,a			0,56		
11,b			0,53		
12			0,98		
Área total das paliçadas ( $m^2$ )	40.699	Média das alturas da areia (m)	0,6693	Volume da areia na paliçada ( $m^3$ )	27,244

### 3.6 Orientação das paliçadas

Durante as primeiras campanhas foi obtida no terreno, com auxílio de uma bússola, (a orientação de cada uma das paliçadas. Estas orientações foram representadas em AutoCad e representadas na tabela 8 (Vieira, 2012).

Tabela 8: Orientação das Paliçadas a partir do Norte. (Vieira, Julho de 2012)

<p>1- Orientação a partir do Norte</p> 	<p>2- Paliçada A</p> 
<p>3- Paliçada B</p> 	<p>4- Paliçada C</p> 
<p>5- Paliçada E</p> 	<p>6- Paliçada F</p> 
<p>7- Paliçada G</p> 	<p>8- Paliçada H</p> 
<p>9- Paliçada I</p> 	<p>10- Paliçada J</p> 

## **4 RESULTADOS**

### **4.1 Evolução da vegetação em cada paliçada**

A vegetação desempenha um papel importante na fixação das dunas.

Encontraram-se espécies de vegetação típicas das praias Portuguesas. Na tabela 9 apresentam-se exemplos de plantas encontradas nas paliçadas monitorizadas. A análise morfológica de cada planta, tal como o seu nome foi obtido com base em pesquisa bibliográfica referida na legenda da tabela.

Tabela 9: Designação das plantas encontradas nas paliçadas em estudo. (Teixeira, 2012)

<p><b>1</b> Estorno- <i>Ammophila arenaria</i></p>  <p>Paliçadas B, H, I e J.</p>	<p><b>2</b> Madorneira- <i>Artemisia crithmifolia</i></p>  <p>Paliçadas B, C e E.</p>	<p><b>3</b> Carqueja mansa- <i>Cakile marítima</i></p>  <p>Paliçadas C e F.</p>
<p><b>4</b> Chorão- <i>Carpobrotus edulis</i></p>  <p>Paliçadas C, H, I e J.</p>	<p><b>5</b> Feno das areias- <i>Elymus farctus</i></p>  <p>Paliçadas A, B, C, E, F, G, H, I e J.</p>	<p><b>6</b> Cardo marítimo- <i>Eryngium maritimum</i></p>  <p>Paliçadas A, B e C.</p>
<p><b>7</b> Luzerna da praia- <i>Medicago marina</i></p>  <p>Paliçada A.</p>	<p><b>8</b> Cordeiro da praia- <i>Otanthus maritimus</i></p>  <p>Paliçadas A e G.</p>	

Apresenta-se a seguir a evolução da cobertura vegetal em cada uma das paliçadas registada durante o período de monitorização.

### 4.1.1 Paliçada A

Verificou-se que o Cordeiro da praia teve um bom crescimento no lado Oeste da paliçada. No seu lado oposto também se verifica um elevado crescimento de Carqueja mansa (figura 23).

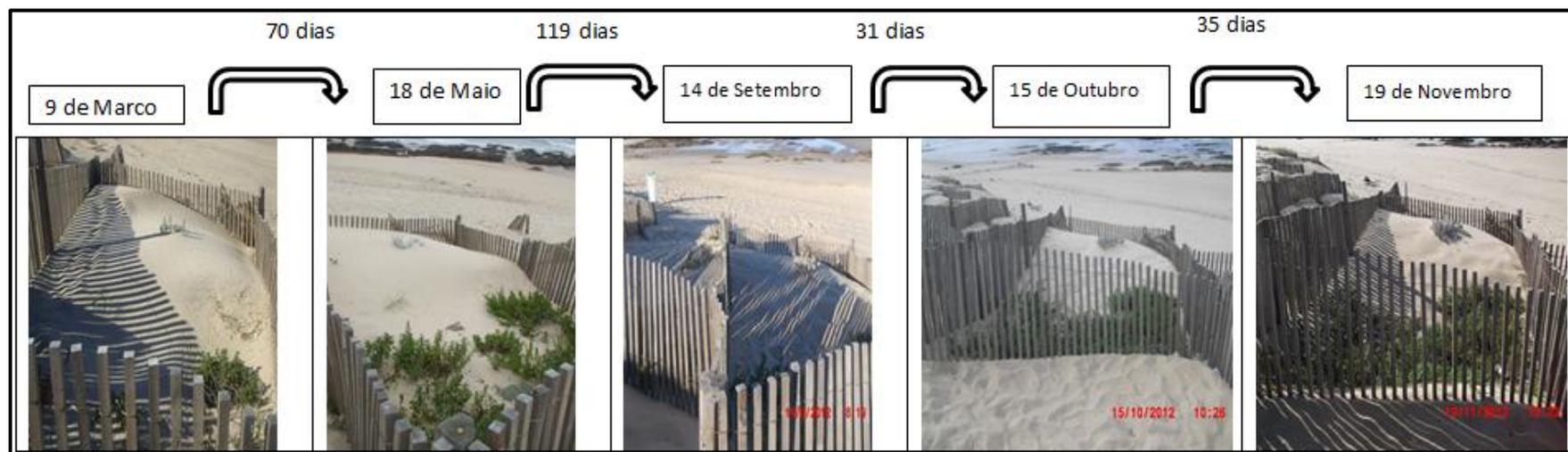


Figura 23: Desenvolvimento da vegetação na paliçada A.

#### 4.1.2 Paliçada B

Nesta paliçada e tal como se pode verificar na figura 24, é notório o desenvolvimento do Estorno, é imponente referir, que a partir de uma certa altura foi impossível tirar medições no pilar onde se localiza esta planta devido ao seu acentuado crescimento



Figura 24: Desenvolvimento da vegetação na paliçada B.

### 4.1.3 Paliçada C

A paliçada C não sofreu grandes alterações nem a nível do crescimento das plantas, nem a nível de erosão da areia. Reconhece-se através da figura 25, que o chorão existente nesta paliçada permanece durante o período de monitorização.

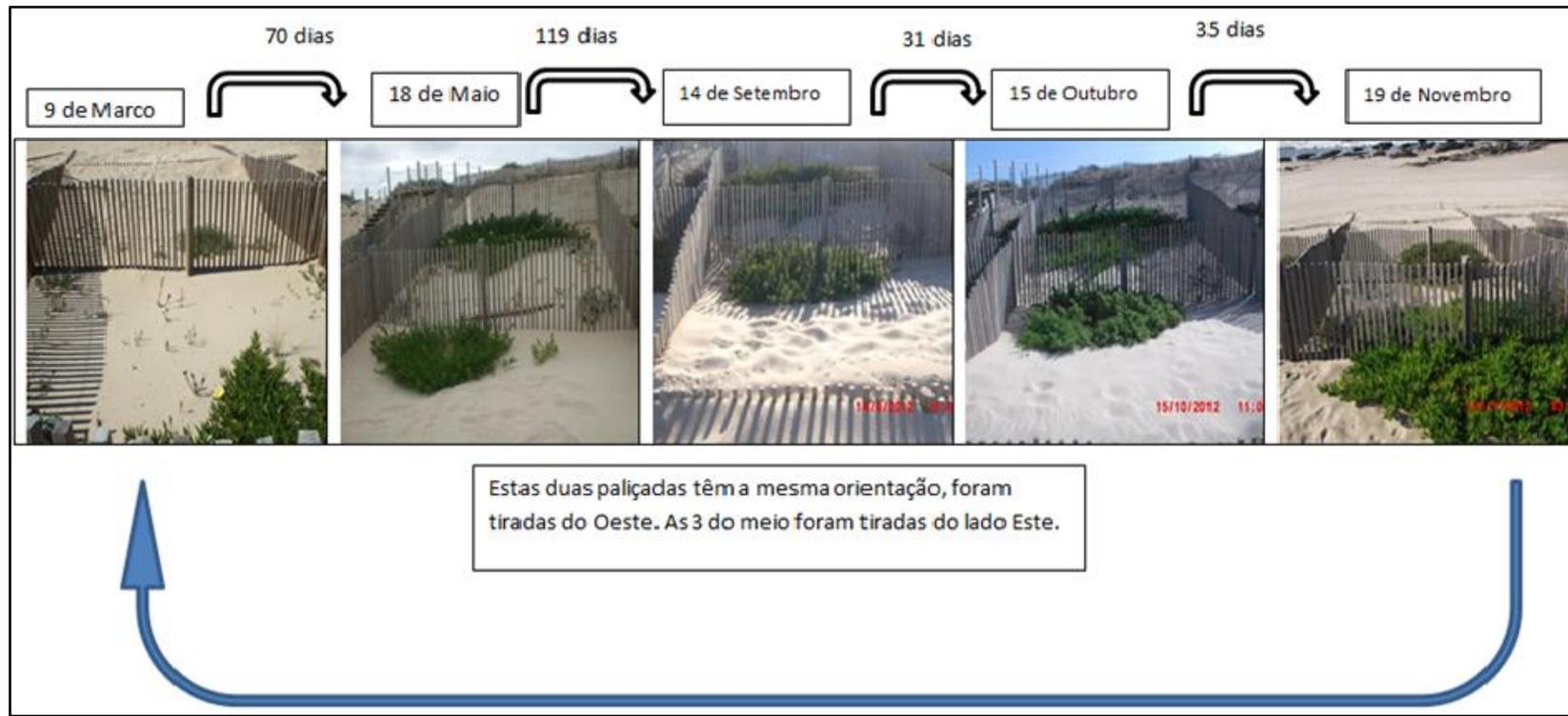


Figura 25: Desenvolvimento da vegetação na paliçada C.

#### 4.1.4 Paliçada E

Nesta paliçada pode-se observar através da figura 26, do lado esquerdo um desenvolvimento da Madorneira ao longo das campanhas.



Figura 26: Desenvolvimento da vegetação na paliçada E.

#### 4.1.5 Paliçada F

A maior predominância nesta paliçada é o Feno das areias, é claramente visível na figura 27, que não só cresceu nos sítios onde existia no início do estudo, como também se desenvolveu noutras locais da paliçada.

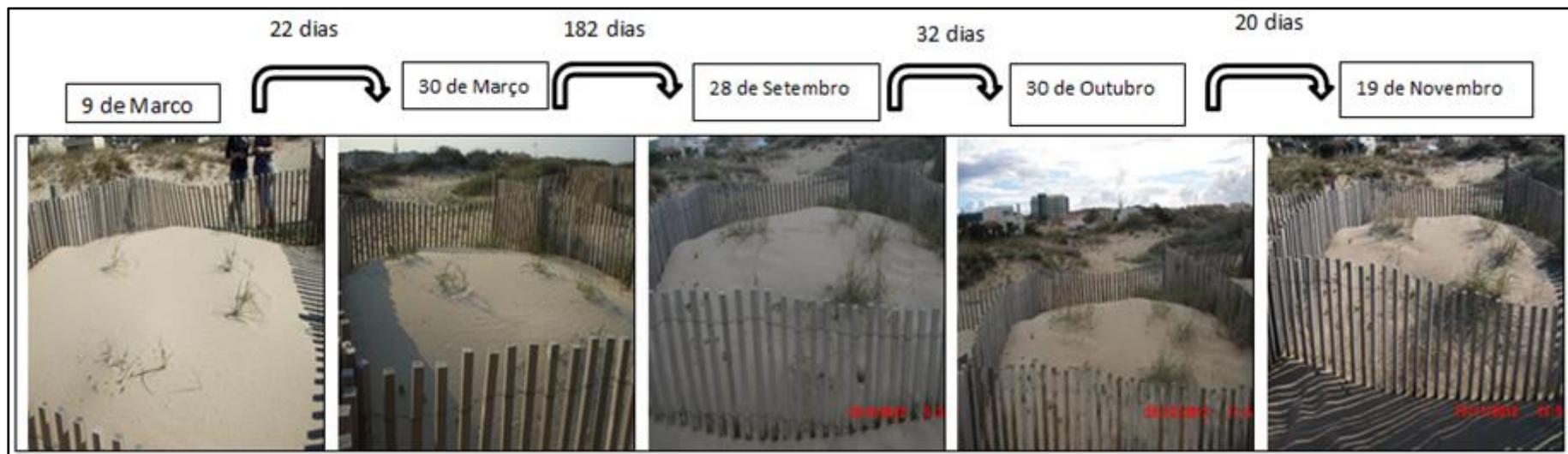


Figura 27: Desenvolvimento da vegetação na paliçada F.

#### 4.1.6 Paliçada G

Na figura 28 é aludido que esta paliçada é a única em que o desenvolvimento vegetal foi o menos significativo. Ainda assim, pode-se verificar que houve algum crescimento do Feno das areias, na campanha do dia 19 de Novembro, quase no fim do estudo em causa.



Figura 28: Desenvolvimento da vegetação na paliçada G.

#### 4.1.7 Paliçadas H, I e J

Como se poderá observar na figura 29 foi notório o crescimento sobretudo do Chorão e do Estorno junto das cercas.



Figura 29: Desenvolvimento da vegetação nas paliçadas H, I e J.

## **4.2 Vento**

O principal agente responsável pela mobilização de sedimentos é o vento, sendo esse o fator considerado na análise realizada da evolução morfodinâmica das dunas intervencionadas.

As características de atuação do vento são muito variáveis quer em termos espaciais quer temporais. Na impossibilidade de registar as características de vento no local de estudo, optou-se por analisar dados de vento numa estação meteorológica próxima. Esta opção obriga, naturalmente, a uma interpretação cuidadosa dos resultados obtidos.

Para este estudo recorreu-se a dados históricos disponíveis na base de dados do sítio Wunderground. (Steremberg, et al., 2012)

### **4.2.1 Direção do vento**

Foi selecionada a estação meteorológica de Leça da Plameira foram considerados os dados horários de vento que incluem médias em intervalos de 30 minutos da direção de atuação e da velocidade.

Nas figuras 30 e 31 constam os números de registos por direção de atuação do vento ao longo das campanhas.

Foram contabilizados o número de registos segundo cada direção de onde o vento atua. Concluiu-se que o vento ao longo das campanhas atuou predominantemente de Sul.

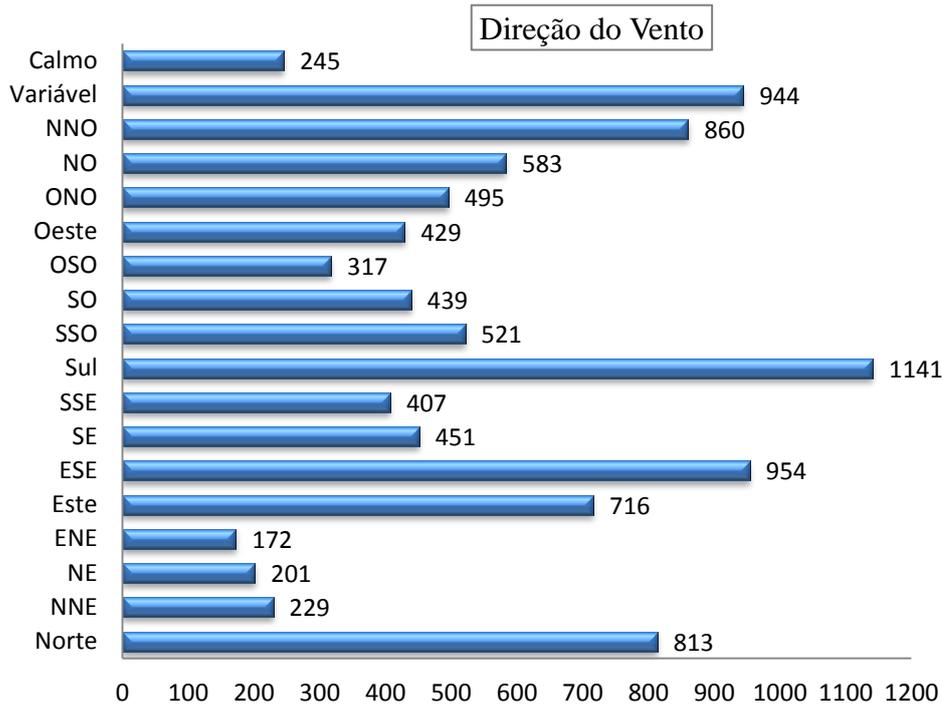


Figura 30: Repetições da direção do vento.

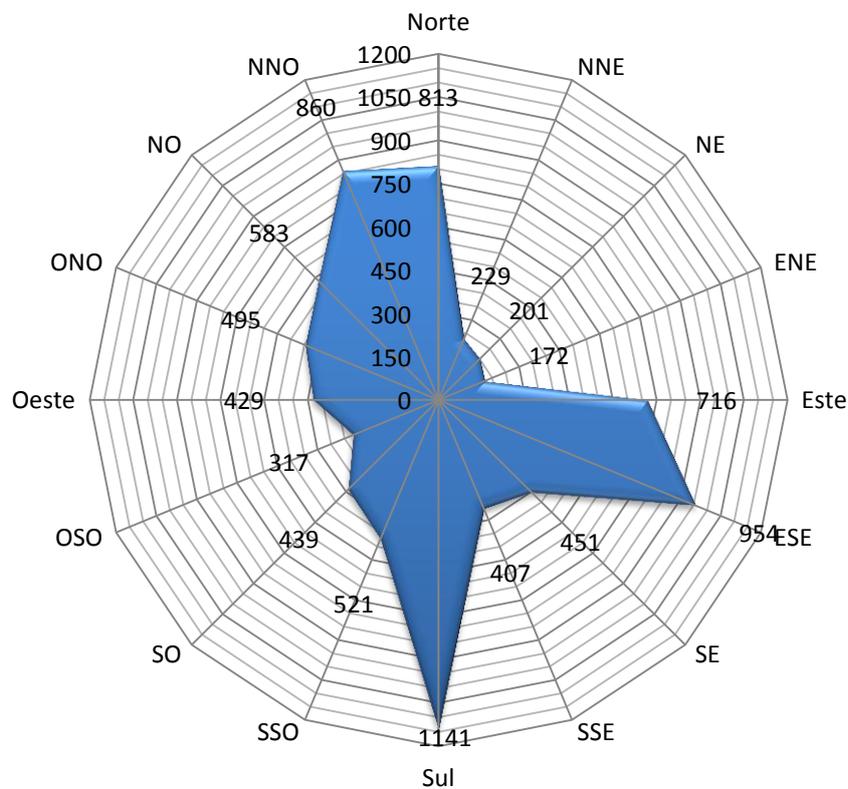


Figura 31: Rosa dos Ventos com as repetições da orientação do vento.

#### 4.2.2 Velocidade do vento

A velocidade do vento analogamente à direção, foi obtida tendo em conta os períodos entre as campanhas.

Os dados t de velocidades foram retirados do site Weather Underground (<http://portuguese.wunderground.com>).

Na tabela 10 apresentam-se sintetizados os resultados de vento. Estes resultados foram organizados tendo em conta os seguintes parâmetros: a velocidade predominante, a 2ª velocidade predominante, a velocidade média e a velocidade máxima para cada um dos períodos entre as campanhas.

Tabela 10: Velocidades e número de ocorrências do vento.

Períodos	Velocidade Predominante (km/h)	Número de Ocorrências	2ª Velocidade Predominante (km/h)	Número de Ocorrências	Velocidade Média (km/h)	Velocidade Máxima (km/h)	Total de Ocorrências	Total de Dias
1º (9-16 Março)	11,1	53	13	36	10,4	21,6	384	8
2º (17-23 Março)	13	54	11,1	41	12,8	32,4	336	7
3º (24-30 Março)	11,1	42	13	41	11,2	24,1	336	7
4º (31 Março a 27 Abril)	11,1	168	9,3	156	12,8	42,6	1344	28
5º (28 Abril a 11 Maio)	13	49	7,4	46	16,4	40,7	672	13
6º (12 a 18 Maio)	3,7	52	7,4	47	7,9	27,8	336	7
7º (19 a 25 Maio)	5,6	48	9,3	36	9,2	32,4	336	7
8º (14 a 28 Setembro)	3,7	87	7,4	86	10,3	38,9	720	15
9º (29 Setembro a 15 Outubro)	7,4	100	5,6	95	8,6	25,9	816	16
10º (16 a 30 Outubro)	14,8	99	13	77	13,9	38,9	720	15
11º (31 Outubro a 21 Novembro)	13	122	9,3	112	11,4	36	1056	22
12º (22 Novembro a 25 Dezembro)	9,3	149	11,1	146	13,6	50	1632	33

### **4.3 Volumes de sedimentos no interior das paliçadas**

O transporte de sedimentos por ação eólica induz alterações de volume no interior das paliçadas.

As variações volumétricas são estimadas com base em valores de volume calculados a partir das alturas de sedimentos medidas.

Assim, procede-se numa primeira fase, à análise das diferenças entre alturas de sedimentos ao longo das campanhas, e posteriormente à evolução dos volumes para todas as paliçadas.

#### **4.3.1 Variações das alturas de sedimentos.**

As alturas de sedimentos foram registadas numa grelha de pontos situados ao longo do perímetro da paliçada e no seu interior conforme detalhado anteriormente.

### 4.3.1.1 Paliçada A

Na figura 32 apresenta-se a evolução das alturas registadas ao longo das campanhas na paliçada A. Verifica-se que no dia 27 de Abril de 2012 na zona mais próxima do mar (pontos 4, 5, 6, 10 e 13) da paliçada, registaram-se os valores mais elevados durante o período de monitorização.

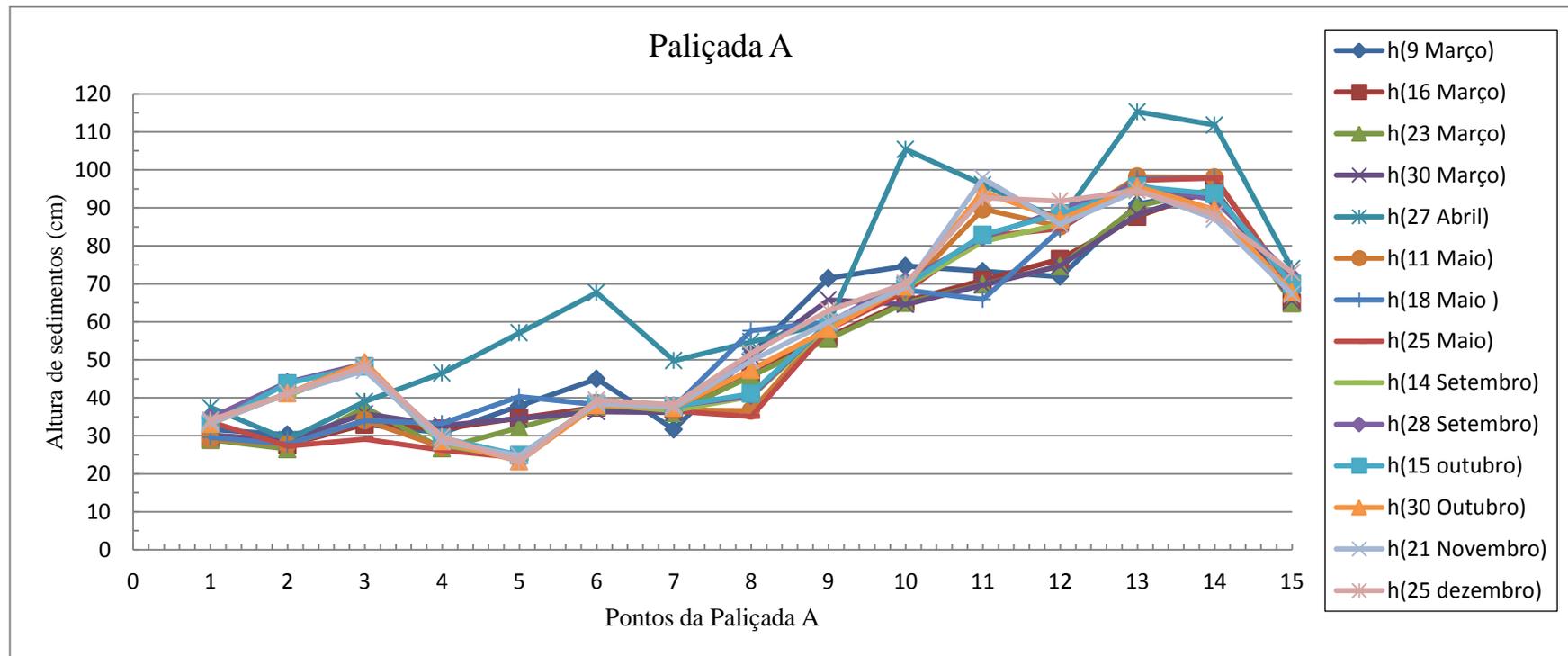


Figura 32: Alturas dos sedimentos na Paliçada.

### 4.3.1.2 Paliçada B

Na figura 33 temos a evolução das alturas de sedimentos ao longo das campanhas na paliçada B. Tal como na paliçada A, também nesta, o maior acréscimo deu-se nos pontos mais próximos do mar (pontos, 12,13 e 14). A data em que se verificou um aumento significativo da altura foi novamente 27 de Abril de 2012, no entanto nos meses de Outubro e Novembro existe uma diminuição, sendo mais evidente nos pontos 13 e 14. Podemos ainda observar que as maiores variações ocorrem a partir do ponto 9.

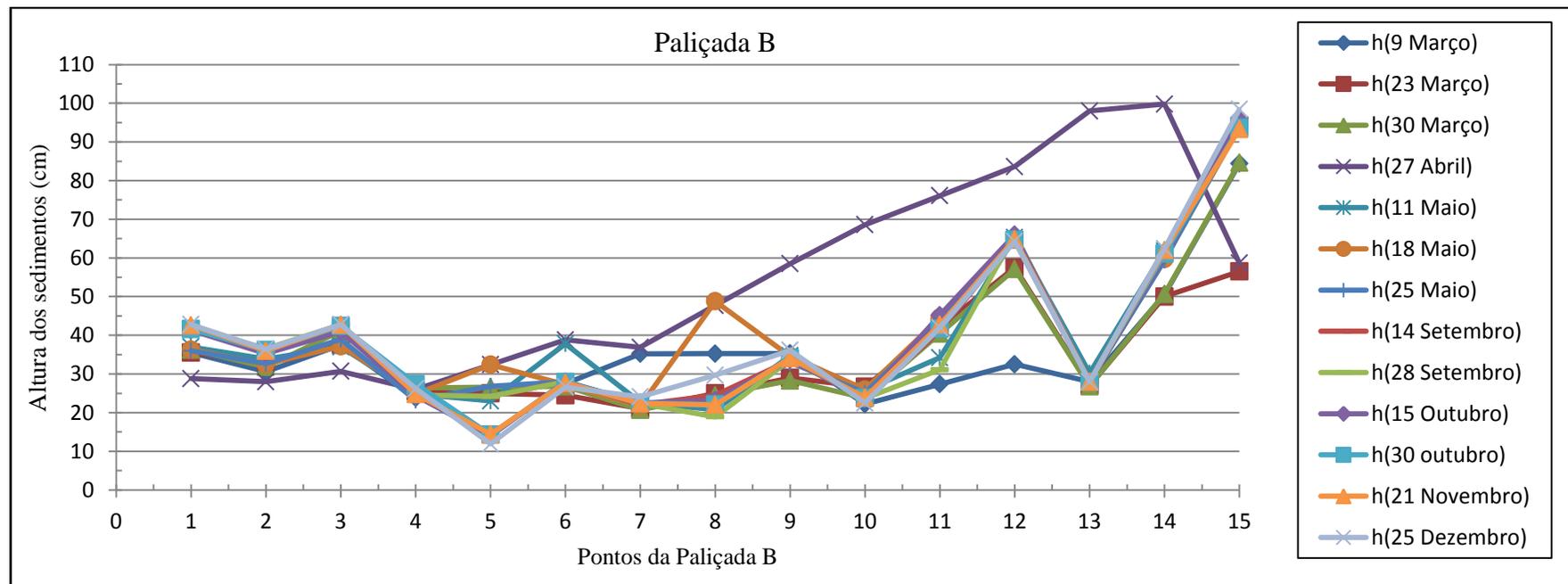


Figura 33: Alturas dos sedimentos na paliçada B

### 4.3.1.3 Paliçada C

Na figura 34 temos a evolução das alturas registadas ao longo das campanhas da paliçada C.

Com análise do gráfico verifica-se que todos os pontos terminaram a campanha de Dezembro com uma subida, os pontos 5 e 6 estavam quase na totalidade da sua capacidade já os pontos 1 e 2 mantiveram uma altura próxima dos 20 cm.

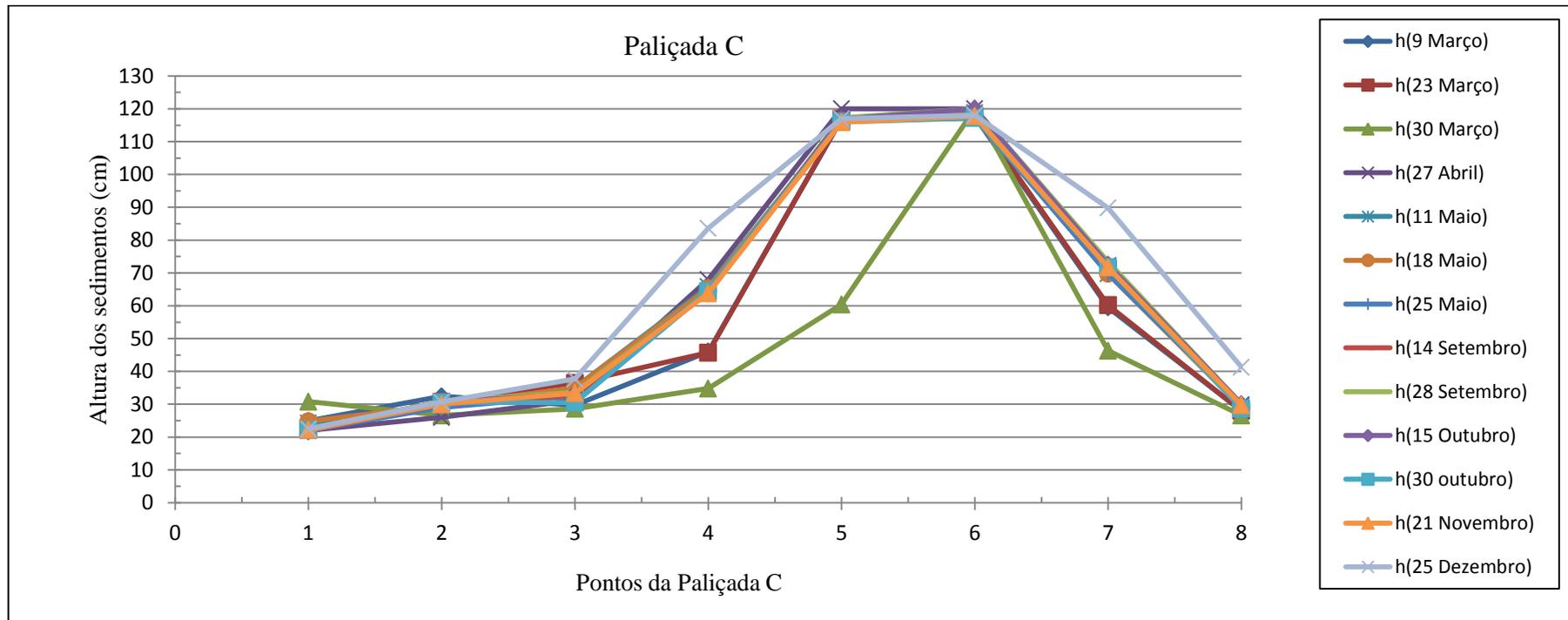


Figura 34: Alturas dos sedimentos na paliçada C.

#### 4.3.1.4 Paliçada E

Na figura 35 apresenta-se a evolução das alturas registadas ao longo das campanhas da paliçada E. Tendo especial atenção nos pontos 5 e 7, pode-se reparar que da campanha do dia 30 de Abril para a campanha do dia 11 de Maio houve um acentuado acréscimo, estes pontos situam-se no lado Este da paliçada. Somente o ponto 6 é que terminou a campanha de Dezembro com uma descida.

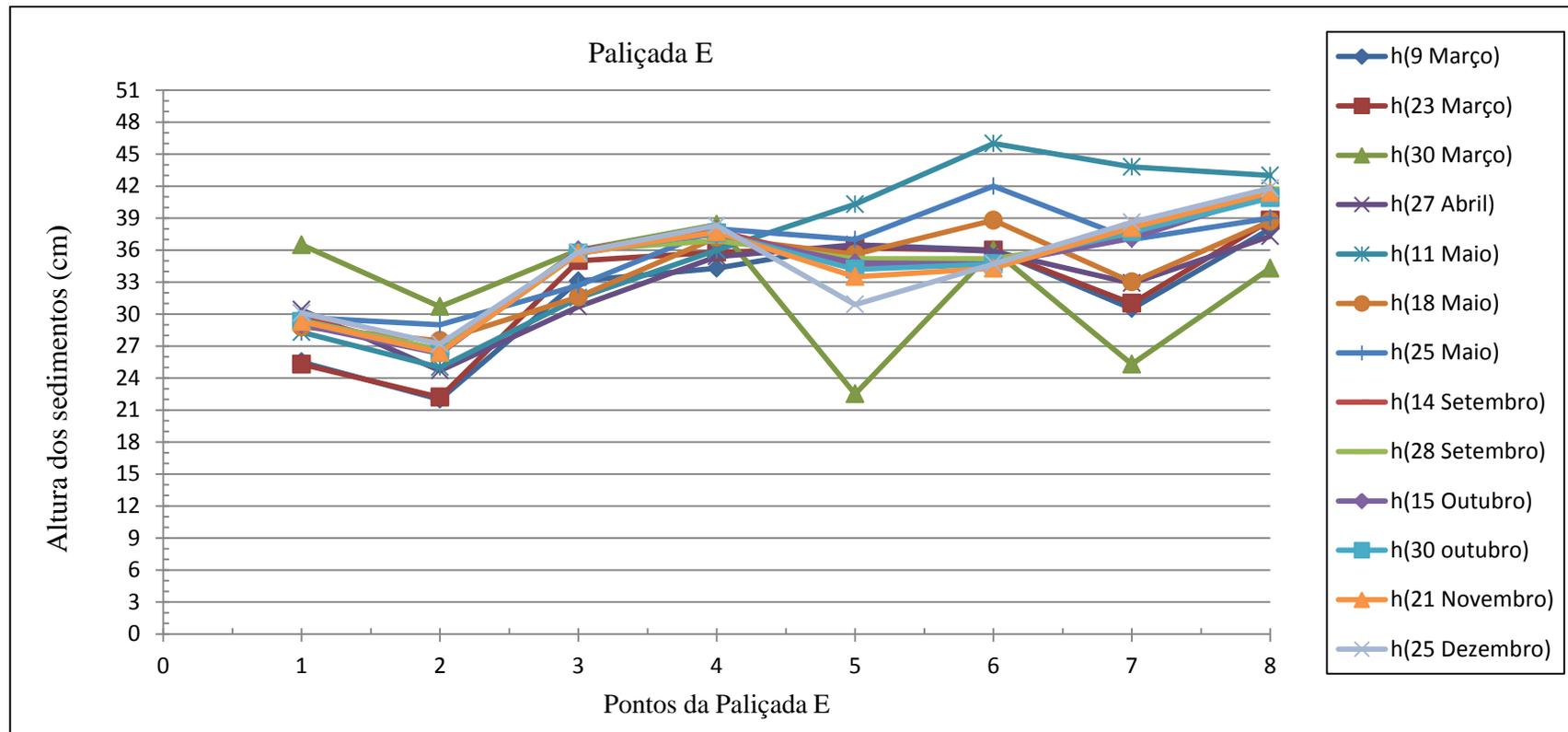


Figura 35: Alturas dos sedimentos na paliçada E.

### 4.3.1.5 Paliçada F

Na figura 36 apresenta-se a evolução das alturas registadas ao longo das campanhas da paliçada F. Os primeiros 4 pontos, a partir da campanha do dia 23 de Março tiveram uma subida elevada, mas nas restantes campanhas houve alguma estagnação nesses mesmos pontos. Ainda assim a campanha do dia 25 de Dezembro terminou positiva para todos os pontos. A maior variação de areia foi no ponto 2 que se situa no lado Oeste da paliçada.

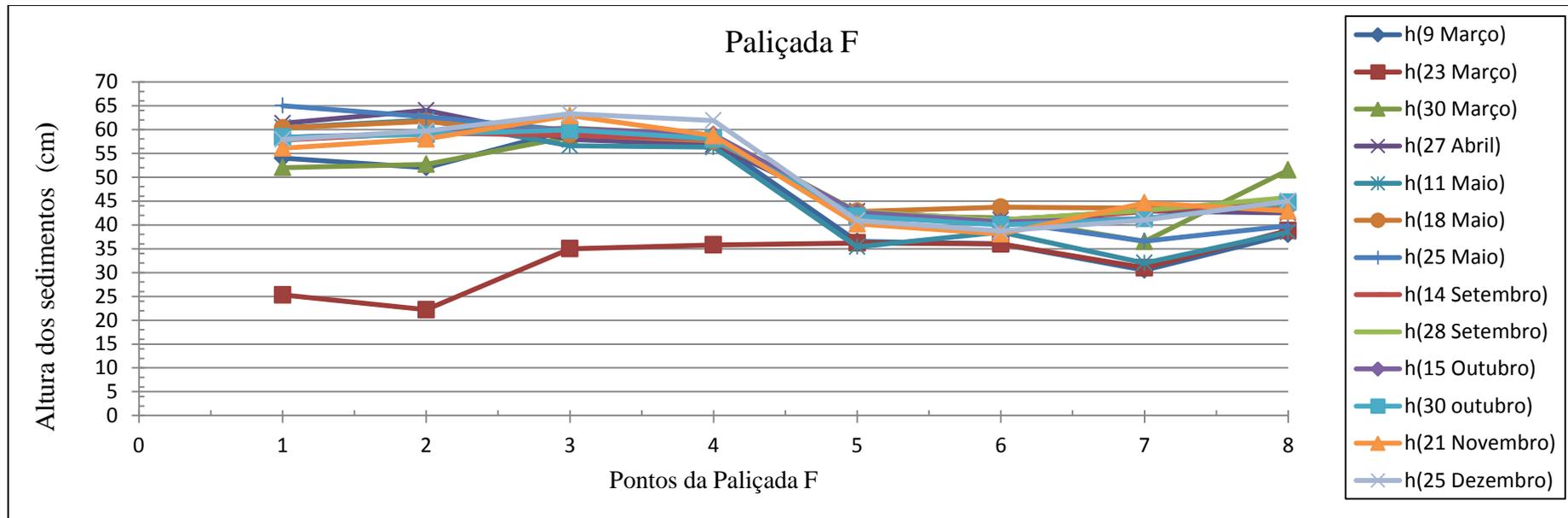


Figura 36: Alturas dos sedimentos na paliçada F.

#### 4.3.1.6 Paliçada G

Na figura 37 apresenta-se a evolução das alturas registadas ao longo das campanhas da paliçada F. Esta paliçada foi a que apresentou um movimento de areia mais lento, em quase todos os pontos em torno da paliçada. Ainda assim pode-se afirmar que o saldo foi positivo, pois na campanha de 25 de Dezembro todos os pontos apresentavam uma subida de areia.

Os pontos 5 e 6 destacam-se na movimentação de sedimentos, estes pontos estão situados do lado Este da paliçada.

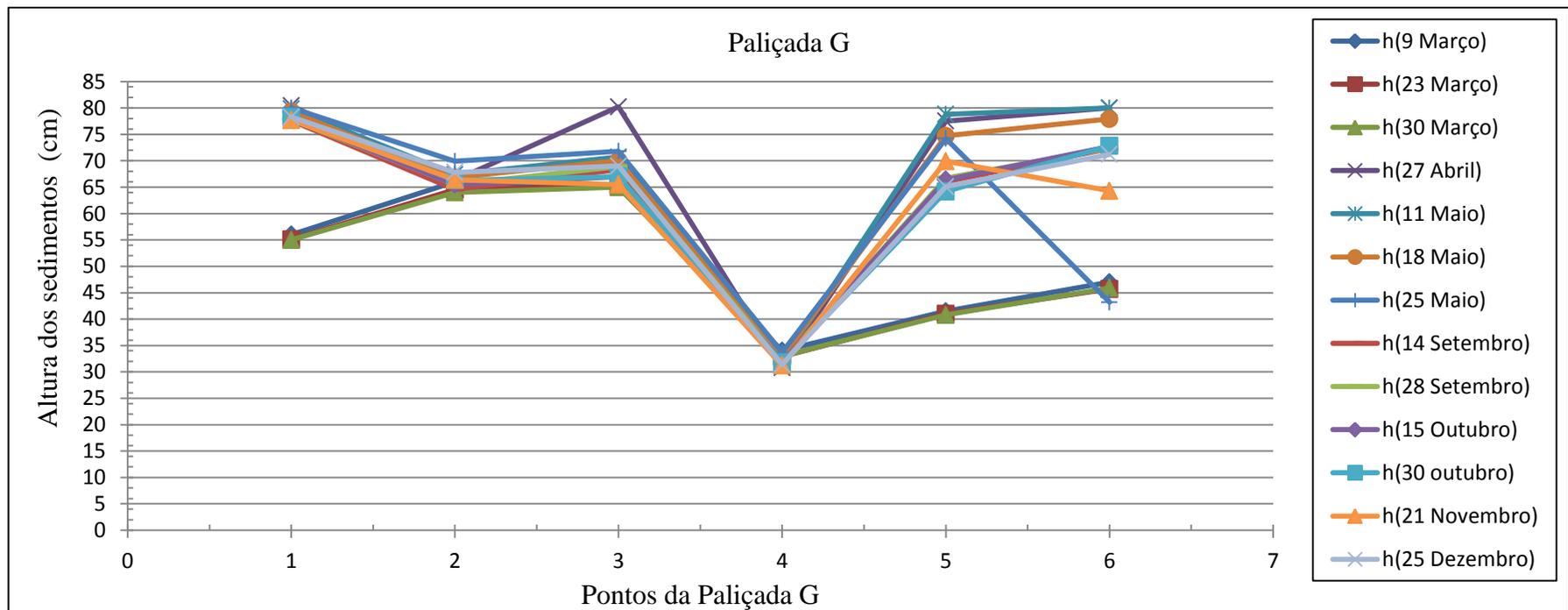


Figura 37: Alturas dos sedimentos na paliçada G.

#### 4.3.1.7 Paliçada H, I e J

Na figura 38 pode-se observar mais pontos que nos restantes gráficos, isto deve-se ao facto de serem três paliçadas agrupadas. Neste caso a variação da areia é semelhante ao que aconteceu na paliçada G, embora estejam em locais distintos, também foi ligeira. Em todos os pontos a alteração das alturas foi moderada, no entanto quando se iniciou a investigação já existiam pontos com muita quantidade de sedimentos, sobretudo os centrais. O ponto que tem mais porção de sedimentos é o 3.

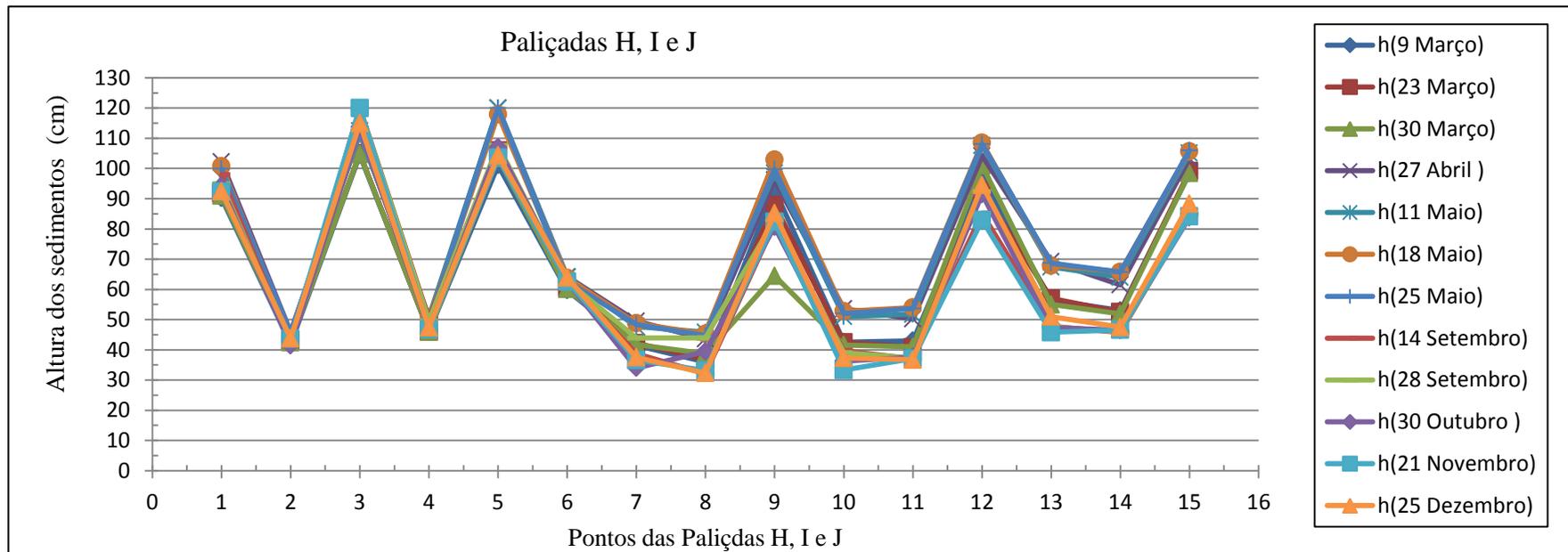


Figura 38: Alturas dos sedimentos nas paliçadas H, I e J.

A figura 39 não foi feita monitorização nos pontos centrais, no entanto é notório que existe mais sedimentos no centro das três paliçadas em comparação com os cantos, onde se retirou os valores das alturas da areia.



Figura 39: Ilustração do enchimento central das paliçadas H, I e J.

#### 4.3.2 Evolução dos volumes de sedimentos nas paliçadas

Fazendo uma compilação de todos os volumes, de todas as paliçadas, durante todas as campanhas, construiu-se a tabela 11 que resulta da síntese de toda a informação recolhida durante as campanhas.

Verifica-se um volume bastante superior das paliçadas C, H, I e J em comparação com os volumes das restantes. Este facto resulta destas paliçadas terem sido avaliadas em grupo e não individualmente, correspondendo também a uma área de paliçadas superior à das restantes.

Nas paliçadas A e B que têm dimensões muito semelhantes o volume é superior na paliçada A.

Entre as paliçadas E, F e G, que também têm dimensões muito próximas, é na paliçada G que se verifica o maior volume de sedimentos.

Tabela 11: Volumes calculados de sedimentos no interior das paliçadas em estudo.

Volumes calculados de sedimentos no interior das Paliçadas ( $m^3$ )							
Campanhas/Paliçadas	A	B	C	E	F	G	H,I e J
<b>9/03</b>	7,60	4,00	12,05	4,64	6,32	7,35	27,24
<b>16/03</b>	7,15	4,00	12,05	4,64	6,32	7,35	27,24
<b>23/03</b>	7,02	4,02	12,29	4,72	4,52	7,23	27,24
<b>30/03</b>	7,28	4,12	10,31	4,71	6,80	7,21	26,64
<b>27/04</b>	9,47	6,53	12,27	4,79	7,10	9,85	30,55
<b>11/05</b>	7,30	4,26	13,25	5,33	6,59	9,69	30,58
<b>18/05</b>	7,59	4,94	13,29	4,92	7,16	9,53	30,97
<b>25/05</b>	7,11	4,39	13,00	5,16	7,01	8,85	30,85
<b>14/09</b>	7,38	4,41	13,98	5,05	7,01	9,04	26,39
<b>28/09</b>	7,50	4,21	13,28	5,05	7,10	9,09	26,98
<b>15/10</b>	7,51	4,31	13,25	5,02	7,04	9,05	26,98
<b>30/10</b>	7,69	4,27	12,94	5,02	6,99	9,03	26,12
<b>21/11</b>	7,78	4,27	13,11	5,02	6,96	8,90	25,80
<b>25/12</b>	7,78	4,38	15,21	5,03	7,08	9,09	26,51

Na figura 40 apresentam-se gráficos de evolução dos volumes de sedimentos.

No caso das paliçadas A e B, o volume máximo durante o período de monitorização aconteceu na campanha do dia 27 de Abril de 2012, onde se estima que ocorreu uma deposição de  $2 m^3$  de sedimentos nas duas paliçadas. Após esse pico houve uma estagnação próxima dos  $8 m^3$  de volume na paliçada A e  $4 m^3$  na paliçada B.

A paliçada C teve alterações entre os 10 e os  $15 m^3$ .

Por sua vez a paliçada E, na última campanha apresentava um volume de  $5 m^3$ .

A paliçada F foi a única que teve um decréscimo de volume na campanha do dia 23 de Maio, tendo erodido cerca de  $2 m^3$ , no entanto terminou na campanha de dezembro com aproximadamente  $6 m^3$  de volume de sedimentos.

A paliçada G, sofreu um aumento de volume de sedimentos a partir de 30 de Março mantendo-se aproximadamente com o volume atingido até ao final do período e monitorização. Entre a campanha de 30 de Março e a campanha do 27 de Abril a paliçada sofreu um aumento de  $3 m^3$  de volume, ao longo das restantes campanhas sofreu alguma erosão e terminou com aproximadamente  $9m^3$  de volume.

Nas paliçadas H, I e J estudadas de forma agregada, ocorreram dois períodos com situações particulares, teve um aumento de volume entre a campanha de 30 de Março e a a campanha do dia 27 de Abril e uma diminuição entre a campanha de 25 de Maio e a campanha do dia 14 de Setembro. Em dezembro este conjunto de paliçadas apresentava um volume estimado de  $26,5m^3$  de volume.

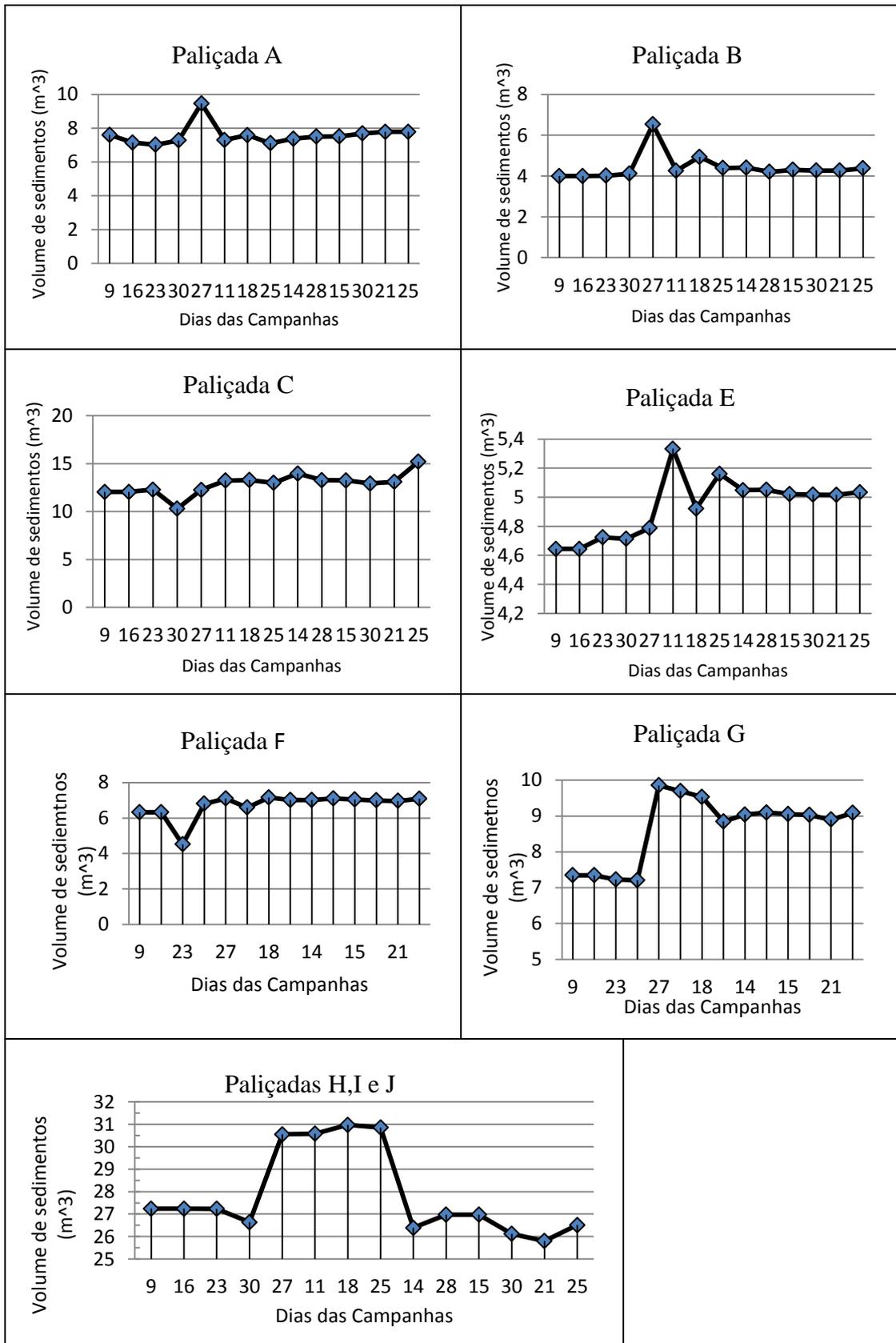


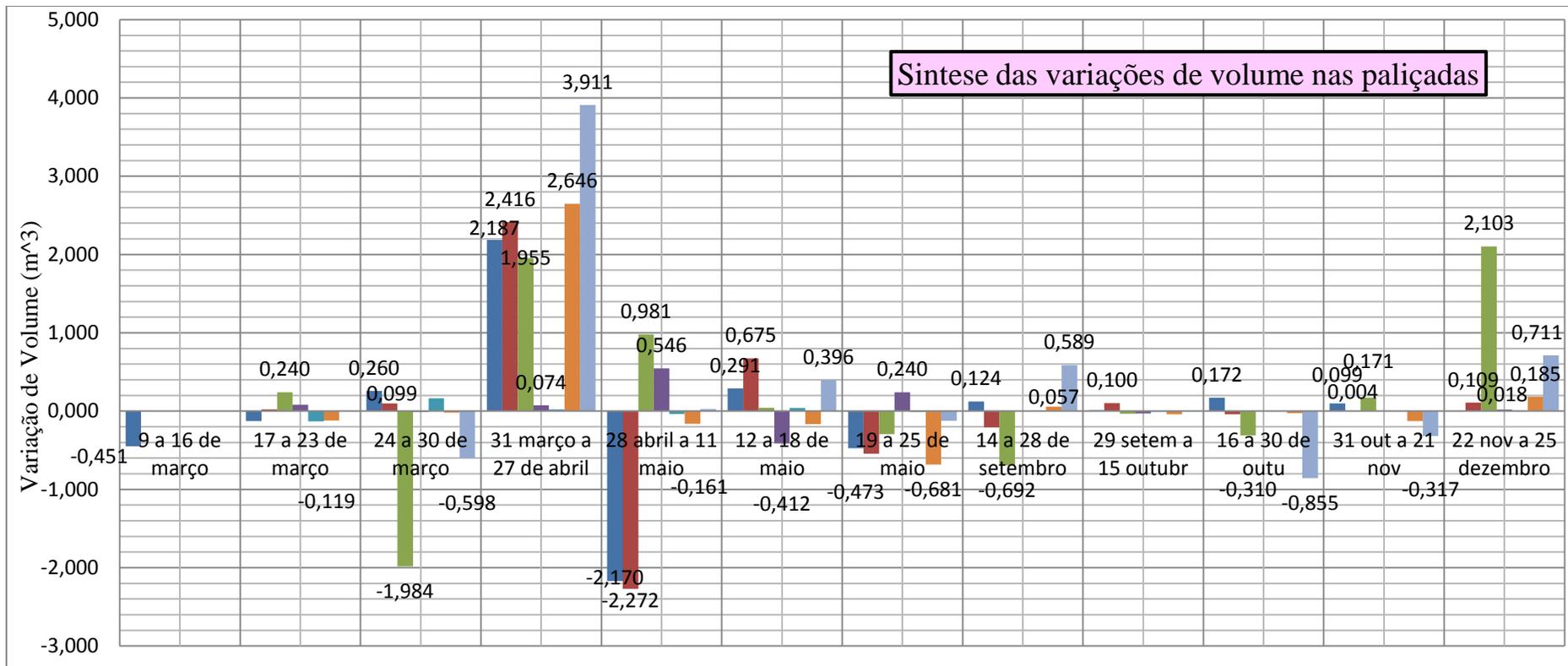
Figura 40: Desenvolvimento do transporte de sedimentos de todas as paliçadas.

#### **4.4 Discussão de resultados**

Após a apresentação de resultados para cada uma das paliçadas, torna-se pertinente analisar a informação obtida para se perceber de que modo a forma de atuação do vento poderá explicar as variações volumétricas de sedimentos ocorridas durante o período de monitorização.

Na figura 41 pode-se observar a variação volumétrica de sedimentos ao longo das campanhas em todas as paliçadas. Tendo assim uma ideia geral das respetivas alterações de volume em metros cúbicos, de todo o processo, em todos os locais em estudo num só cenário.

Na tabela inferior ao gráfico observa-se a legenda completa de todos os valores das barras de volumes e nas duas últimas linhas verificam-se as velocidades predominante e média, ocorridas nesses respetivos períodos para que se possa então obter conclusões sobre o movimento eólico da areia.



	9 a 16 de março	17 a 23 de março	24 a 30 de março	31 março a 27 de abril	28 abril a 11 maio	12 a 18 de maio	19 a 25 de maio	14 a 28 de setembro	29 setem a 15 outubr	16 a 30 de outu	31 out a 21 nov	22 nov a 25 dezembro
■ Variação do volume da Paliçada A	-0,451	-0,129	0,260	2,187	-2,170	0,291	-0,473	0,124	0,012	0,172	0,089	0,000
■ Variação do volume da Paliçada B	0,000	0,021	0,089	2,416	-2,272	0,675	-0,543	-0,207	0,100	-0,042	0,004	0,109
■ Variação do volume Paliçada C	0,000	0,240	-1,984	1,955	0,981	0,043	-0,292	-0,692	-0,035	-0,310	0,171	2,103
■ Variação do volume da Paliçada E	0,000	0,080	-0,011	0,074	0,546	-0,412	0,240	0,002	-0,029	-0,004	-0,002	0,018
■ Variação do volume da Paliçada F	0,000	-0,130	0,165	0,021	-0,037	0,041	-0,010	0,006	-0,004	-0,003	-0,002	0,009
■ Variação do Volume da Pliçada G	0,000	-0,119	-0,019	2,646	-0,161	-0,164	-0,681	0,057	-0,040	-0,026	-0,128	0,185
■ Variação do volume das Paliçadas H, I e J	0,000	-0,003	-0,598	3,911	0,027	0,396	-0,122	0,589	0,000	-0,855	-0,317	0,711
■ Velocidade Predominante	11,1	13	11,1	11,1	13	3,7	5,6	3,7	7,4	14,8	13	9,3
■ Velocidade Média	10,4	12,8	11,2	12,9	16,1	7,99	9,1	10,3	8,7	13,9	11,4	13,7

Figura 41: Síntese dos resultados.

Na tabela 12 apresenta-se a direção do vento predominante registada nos doze períodos entre campanhas de monitorização.

Tabela 12: Direção do vento predominante para os períodos entre campanhas.

1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º
Este	Este	ESE	NNO	Sul	Oeste	NO	Sul	Sul	ESE	Este	Sul

Da observação da figura 41 verifica-se que os períodos em que se registaram maiores variações de volumes de sedimentos foram os períodos 4º (21 de Março a 27 de Abril) e 5º (28 de abril a 11 de Maio). Nestes dois períodos as velocidades registadas foram as mais elevadas, a média variou entre os 11,1 km/h e os 13 km/h e a velocidade predominante atingiu os 16 km/h. No 4º período (31 de março a 27 de abril) a variação de volume em todas as paliçadas foi de  $1,89 m^3$  e por sua vez no período seguinte já foi de  $-0,44 m^3$ . No entanto, a direção do vento foi bastante diferente entre os dois períodos: no primeiro o vento atuou predominantemente de norte e de noroeste e no segundo período a atuação foi predominante de Sul.

Curiosamente em relação aos períodos seguintes, somente no 10º (16 a 30 de outubro) é que se voltaram a registar velocidades de vento elevadas, próximas dos 14 km/h para a velocidade média e próximas dos 15 km/h para a velocidade predominante. No entanto, neste período tal como no anterior e no seguinte, a variação de volume de sedimentos não foi muito significativa. Se repararmos na orientação do vento, esta, nestes três períodos atuou de quadrantes de este, o que poderá justificar a estabilidade relativa verificada apesar das elevadas velocidade do vento registadas.

## 5 CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação permitiu recolher informação pioneira sobre a morfodinâmica de dunas intervencionadas com paliçadas. O trabalho desenvolvido contribui para o conhecimento da mobilidade associada a estes sistemas costeiros e avaliar alguns dos fatores que a condicionam.

O trabalho desenvolvido limitou-se à análise de um número limitado de variáveis intervenientes neste processo complexo. Para uma caracterização mais completa seria interessante obter dados de vento no local e registar como se processa o transporte no interior das paliçadas. Este transporte poderá ser importante e a metodologias utilizada (avaliação das variações volumétricas) não permite a sua caracterização. A variável considerada determinante neste trabalho foi o vento, cujas direção e a velocidade foram analisadas para o período de monitorização. Simultaneamente foi realizado um registo fotográfico da vegetação que se ia desenvolvendo dentro das paliçadas em estudo.

Deste registo fotográfico as conclusões obtidas foram que o feno das areias é a planta que mais frequente no interior das paliçadas, sendo aquele que existe em mais abundancia, independentemente da orientação da paliçada. No entanto, deve ser salientado que o chorão apesar de ser mais raro apresenta extensões consideráveis, mas foi introduzido e é uma vegetação infestante.

Foi evidenciado pelos resultados obtidos que a orientação do vento, é um fator importantíssimo na quantidade de sedimentos movidos. No caso em estudo a conclusão é simples: se o vento atuar do 4º quadrante, entre o Norte e o Oeste a mobilização de sedimentos é superior em relação a uma atuação do 2º quadrante, entre o Este e o Sul.

A velocidade de atuação do vento também é essencial na mobilização de sedimentos, como seria expectável. Foi possível verificar que acima dos 11,1 km/h o vento apresenta capacidade para alterar o volume de sedimentos no interior das paliçadas. Não foram analisadas as diferenças entre os locais e orientações das paliçadas estudadas. Verifica-se contudo, que durante o período de monitorização foi a paliçada C, que apresentou maior mobilidade de sedimentos.

Em trabalhos futuros sugere-se a consideração de outras variáveis com potencial influência na dinâmica sedimentar destes cordões dunares e que não foram analisadas neste trabalho, nomeadamente: a humidade, a precipitação e a temperatura.

No entanto é pertinente afirmar agora, findado o trabalho que uma futura análise dos mesmos parâmetros, que os estudados nesta dissertação, teriam uma perceção mais eloquente, pois neste momento já é possível obter alguns resultados ou algumas ideias do que se está a passar nas paliçadas tendo por base a velocidade do vento e a sua direcção.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Almeida, Elisabete de. 2012.** *COMPONENTE EÓLICA DE TRANSPORTE SEDIMENTAR EM PRAIAS DO LITORAL NORTE*. Vila Nova de Gaia : s.n., 2012.

**Almeida, L.P., et al. 28 June 2010.** *Thresholds for storm impacts on an exposed sandy coastal area in southern Portugal*. Faro, Algarve : s.n., 28 June 2010.

**Baas, Andreas C.W. e Sherman, Douglas J. September 2006.** *Spatiotemporal Variability of Aeolian Sand Transport in a*. Califórnia : Journal of Coastal Research, September 2006.

**Blondeaux, Paolo. 2001.** *MECHANICS OF COASTAL FORMS*. Italy : Annual Reviews, 2001.

**Carvalho, Pedro T. Gomes, Ana C. Botelho, Gaspar S. 2001.** *sistemas dunares do litoral de esposende*. Esposende : Empresa Diário do Minho, 2001.

**Chen, X. e Zong, Y. 1997.** *Coastal Erosion Along the Changjiang Deltaic Shoreline, China: History and Prospective*. China : Coastal and Shelf Science, 1997.

**Costas, Susana.** *Sand invasion along the Portuguese coast forced by westerly shifts during cold*. Portugal : s.n., 2012.

**Dias, J.M.A.** *Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum*. Portugal : s.n., December 1999.

**G. Anfuso a, E. Pranzini, G. Vitale** *An integrated approach to coastal erosion problems in northern Tuscany (Italy):*. Italy : s.n., February 2011.

**Gervais, Balouin e Belon.** *Morphological response and coastal dynamics associated with major storm events*. França : s.n., September 2011.

**Granja e Pinho. 2011.** *“Estudo do risco de erosão do litoral do concelho de Vila Nova de Gaia”*. Vila Nova de Gaia : s.n., 2011.

**Haerens, Piet.** *Definition of storm thresholds for significant morphological change of the sandy*. Belgica : s.n., September 2011.

**Kwarteng, Andy, Touzi, Ridha e AI-Jassar, Hala. 1996.** *Utilization of Satellite SAR Imagery for Mapping Sand Dunes in Kuwait*. Kuwait Institute for Scientific Research : s.n., 1996.

**Luísa Schmidta, Pedro Prista, Tiago Saraivaa, Tim O’Riordanc, Carla Gomesa.** *Adapting governance for coastal change in Portugal*. Lisboa, Portugal : elsevier, July 2012.

**Pinho, Granja .** “*Estudo do risco de erosão do litoral do concelho de Vila Nova de Gaia*”. Vila Nova de Gaia : s.n., 2011.

**Veloso-Gomes, F & Taveira-Pinto.** *Portuguese coastal zones and the new coastal management plans*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto : s.n., 2003.

**Tabajara, L.L.A. & Weschenfelder, J.** *Recuperação de Dunas Frontais em Area Degradada por Sangradouro na Praia de Xangri-Lá/RS*. Rio Grande do Sul : s.n., 2011.

**REIS, Álvaro.** *Quando o mar enrola na areia (A dinâmica do litoral arenoso)*. s.l. : Edição Álvaro Reis, 2002.

**Reis, Catarina Schreck, Carmo, Jose Antunes do e Freitas, Helena.** *Learning with Nature: A Sand Dune System Case Study*. Figueira da Foz : s.n., November 2008.

**Rhew, H.S. e Yu, K.B.** *Pattern of Aeolian Sand Transport and Morphological*. s.l. : Journal of Coastal Research, March 2001.

**Teixeira, Andreia Sofia Ensebio.** *O Trânsito Eólico nas Praias de Francelos e de Francemar em Vila Nova de Gaia*. Vila Nova de Gaia : s.n., 2012.

**Vieira, Sara Filipa Monteiro.** *O Trânsito Eólico nas praias de Francelos e de Francemar em Vila Nova de Gaia*. Vila Nova de Gaia : s.n., Julho de 2012.

## 6.1 Lista de sites consultados

**Almeida, Catarina. 2009.** E-PORTFOLIO. <http://maisbiogeologia.blogspot.pt/2009/03/o-que-e-uma-duna.html>. [Online] Março de 2009.

**Francisco, Colégio São. 1998.** ORIGEM E FORMAÇÃO DAS DUNAS. <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/morfologia-das-dunas/origem-e-formacao-das-dunas.php>. [Online] Janeiro de 1998.

**Gabriel, António Jorge e Farias, Maria Carolina.** [http://www.esec-emidio-navarro-alm.rcts.pt/mar\\_da\\_palha\\_15/dunas.htm](http://www.esec-emidio-navarro-alm.rcts.pt/mar_da_palha_15/dunas.htm). [Online]

**<http://portuguese.wunderground.com>.** <http://portuguese.wunderground.com>. [Online]

**<http://www.scienceclarified.com/landforms/Basins-to-Dunes/Dune-and-Other-Desert-Features.html>.** <http://www.scienceclarified.com/landforms/Basins-to-Dunes/Dune-and-Other-Desert-Features.html>

Other-Desert-Features.html. <http://www.scienceclarified.com/landforms/Basins-to-Dunes/Dune-and-Other-Desert-Features.html>. [Online]

**Maciel, José Miranda de Sousa, et al. 2000.** Águas e Parque Biológico de Gaia. <http://www.parquebiologico.pt/userdata/site-downloads/GuiaDunas-conhecereconservar.pdf>. [Online] 2000.

**Reis, José Luís.** Movimento de defesa das Praias de Matosinhos. <http://defpraiasmatosinhos.no.sapo.pt/Dunas.htm>. [Online]

**Sancho, Francisco e Granja, Helena.** Revista de Gestão Costeira Integrada . <http://www.aprh.pt/rgci/index.html>. [Online]

**Steremberg, Alan, Masters, Jeffrey e Skinner, Toby. 2012.** Weather Underground . <http://portuguese.wunderground.com/about/background.asp>. [Online] 20

