



## A aplicabilidade das imagens do satélite FORMOSAT-2 na classificação de zonas costeiras

Pedro SILVA<sup>1</sup>, Ana Cláudia TEODORO<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Dep. Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Portugal

<sup>2</sup> Instituto de Ciências da Terra (ICT), Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Portugal

([up201007485@fc.up.pt](mailto:up201007485@fc.up.pt); [amteodor@fc.up.pt](mailto:amteodor@fc.up.pt))

**Palavras-chave:** Classificação baseada no píxel, Classificação orientada a objetos, Restinga, Padrões de praia

**Resumo:** O FORMOSAT-2, lançado em Maio de 2004, foi desenvolvido pela agência nacional espacial de *Taiwan*, e tem a bordo um sensor ótico de alta resolução espacial com 2 metros de resolução espacial na banda pancromática e 8 metros nas 4 bandas multiespectrais (visível e infravermelho próximo).

As imagens deste sensor podem ser usadas com diferentes objetivos, desde a monitorização de recursos naturais e florestais, prevenção de catástrofes e trabalhos de busca e resgate.

O principal objetivo deste trabalho é investigar a aplicabilidade dos dados do FORMOSAT-2, de modo a: (1) Identificar de padrões de praia (2) extrair os limites de um corpo arenoso (restinga).

Duas abordagens (classificação baseada no píxel e orientada a objetos) foram aplicadas às 4 imagens do satélite FORMOSAT-2 usadas neste trabalho e os resultados foram comparados com resultados de trabalhos já publicados usando imagens do IKONOS-2.

Analisando os resultados obtidos, é possível concluir que os dados FORMOSAT-2 são adequados para a identificação de padrões de praia e uma correta extração dos limites da restinga do rio Douro.

Este trabalho permitiu concluir que os dados FORMOSAT-2 e as técnicas de processamento de imagem utilizadas são uma metodologia eficaz para identificar padrões de praia e para extrair com exatidão os limites da restinga.



## 1. Introdução

As zonas costeiras são zonas de extrema importância quer na sua componente “artificial” quer na sua componente ecológica. Mais de metade da população mundial vive a uma distância igual ou inferior a 100 km da costa. Do ponto de vista ecológico, a zona costeira é uma região de fortes interações entre a biosfera, atmosfera e hidrosfera.

Durante os últimos anos, a costa portuguesa tem sido cada vez mais afetada pelo fenómeno da erosão. As principais causas apontadas para a ocorrência e aumento deste processo deve-se à fraca capacidade que as correntes fluviais têm de transportar sedimentos, ao aumento do nível médio das águas do mar, ao aumento da população que reside perto da orla marítima e à destruição do cordão dunar (Teodoro *et al.*, 2007; Teodoro e Veloso-Gomes, 2007; Teodoro *et al.*, 2008). Além disso, as barragens reduziram consideravelmente o transporte de sedimentos sólidos em direção ao mar.

A deteção remota é uma técnica/ferramenta extremamente útil para monitorização de praias e estuários, assim como para a classificação de corpos estuarinos e arenosos. Além disso, permite obter dados de forma contínua de uma vasta região, num curto período de tempo.

A identificação de padrões de praia recorrendo a dados e técnicas de deteção remota é uma tarefa bastante desafiante e complexa. Pais-Barbosa *et al.*, (2009) propôs um método de identificação, medição e classificação de hidroformas e hidromorfologias costeiras, assim como a classificação do estado morfológico de praias aplicado ao noroeste de Portugal, através da análise de fotografias aéreas verticais em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica). No entanto, esta técnica apresentava claras fragilidades, como sejam, a impossibilidade de avaliação da exatidão do processo de classificação e a subjetividade introduzida pelo operador. Uma alternativa à fotografia aérea vertical, são os dados de satélite de alta resolução espacial. De modo a aperfeiçoar as técnicas de identificação, medição e classificação de padrões de praia e complementar o trabalho desenvolvido por Pais-Barbosa *et al.*, (2009), Teodoro *et al.*, (2009) aplicaram técnicas de classificação baseados no píxel (supervisionada e não-supervisionada) e orientada a objetos a imagens de alta resolução espacial. Posteriormente, de modo a implementar uma metodologia que permitisse identificar padrões de praia de modo automático, Teodoro *et al.*, (2011) apresentaram uma nova metodologia baseada na análise de componentes principais (PCA) e segmentação de histograma (PCHA) também aplicadas a fotografias aéreas e imagens IKONOS-2. Mais recentemente, Teodoro (2015) investigou a aplicabilidade dos algoritmos de *data mining* na identificação de padrões de praia usando dados de alta resolução espacial (IKONOS-2).

A extração automática ou semi-automática de formas a partir de dados de satélite foi desde sempre um enorme desafio para os investigadores da área da deteção remota. Existem vários problemas associados a esta tarefa, como por exemplo, o facto das formas das regiões serem irregulares. No caso da restinga, é ainda importante considerar os efeitos das marés, das ondas e do vento. Também os efeitos das bolhas e espuma devido à rebentação das ondas e a turvação da água dificultam a obtenção de uma elevada exatidão na delimitação da fronteira entre terra (restinga) e mar (água). Teodoro e Gonçalves (2012) implementaram uma nova metodologia que consistiu numa abordagem semi-automática através da segmentação do histograma e baseado no método de Otsu, designado por GthE (Global thresholding refined through detected edges). Este método foi aplicado à restinga do rio Douro, com o objetivo de extrair de forma precisa os limites da restinga e posteriormente estimar a sua área.

Os dados do satélite FORMOSAT-2 são utilizados principalmente para estudos de ocupação e uso dos solos, desastres naturais e estudo de vegetação. Por exemplo, Liu *et al.*, (2007) investigaram a aplicabilidade dos dados FORMOSAT-2 para a monitorização de desastres naturais, relativamente ao procedimento utilizado após o tsunami de dezembro de 2004, no sudeste asiático. Liou *et al.*, (2010) analisaram imagens FORMOSAT-2 após os deslizamentos de terra ocorridos após o terramoto de *Wenchuan*. Liu *et al.*, (2011) monitorizaram os deslizamentos de terra na zona do reservatório de *Tseng-wen*, em *Taiwan*, usando estes dados. Kato *et al.*, (2015) investigaram as vagas de calor em três áreas urbanas de *Taiwan* através de dados dos satélites ASTER e FORMOSAT-2.

O principal objetivo deste trabalho é investigar a aplicabilidade das imagens de satélite FORMOSAT-2 nas zonas costeiras, particularmente na identificação e classificação de padrões de praia e na extração dos limites da restinga do rio Douro.



## 2. FORMOSAT-2

O FORMOSAT-2 é um satélite desenvolvido pela agência espacial de *Taiwan*. O seu principal objetivo é recolher imagens da zona de *Taiwan*, mas também das zonas oceânicas e terrestres do resto do globo. As imagens adquiridas pelo FORMOSAT-2 durante o dia permitem ser utilizadas para vários fins, como sejam, o estudo da ocupação e uso dos solos, monitorização de recursos naturais, proteção ambiental, prevenção de catástrofes e trabalhos de resgate e salvamento. Este satélite possui um sensor ótico de alta resolução (RSI), que permite obter informação com 2 metros de resolução espacial na banda pancromática e com 8 metros nas 4 bandas multiespectrais (visível e infravermelho próximo (NIR)). Uma característica que distingue o satélite FORMOSAT-2 de outros satélites, é que maximiza a hora de passagem nos locais, normalmente passa entre as 9.30 e as 10.30 da manhã, ou seja, passa bastante mais cedo do que a maioria dos outros satélites. O objetivo de passar a esta hora, deve-se ao facto de a essa hora a probabilidade de o céu ter poucas nuvens é mais elevada e assim é minimizado o risco de se obter imagens com alta cobertura de nuvens. No Quadro 1 são apresentadas algumas das características deste satélite.

Quadro 1 – Características principais do FORMOSAT-2

<b>Produtos</b>	Pancromática (P): 2 m Multiespectral (R, G, B, NIR): 8 m
<b>Bandas espectrais</b>	P: 0,45 – 0,90 $\mu\text{m}$ B1: 0,45 – 0,52 $\mu\text{m}$ (Azul) B2: 0,52 – 0,60 $\mu\text{m}$ (Verde) B3: 0,63 – 0,69 $\mu\text{m}$ (Vermelho) B4: 0,76 – 0,90 $\mu\text{m}$ (NIR)
<b>Área coberta</b>	24 km x 24 km
<b>Resolução radiométrica</b>	8 bits
<b>Resolução temporal</b>	Diária
<b>Níveis de pré-processamento</b>	Nível 1A, 2A e Orto

## 3. Metodologia

Para estudar a aplicabilidade das imagens FORMOSAT-2 para classificação dos diferentes padrões de praia e extração dos limites da restinga, usaram-se dois tipos de classificações: classificação baseada no pixel e classificação orientada a objetos. Os dois procedimentos foram implementados usando os algoritmos disponíveis no software Spring (Spring, 2014). O Spring é um software do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do Brasil. A metodologia que foi seguida é apresentada na Figura 1.

Na classificação baseada no pixel (supervisionada e não-supervisionada) apenas a informação espectral é usada na classificação de cada pixel. Foram testados três algoritmos de classificações supervisionada: Máxima Verosimilhança (Maxver), Máxima Verosimilhança–modo de interação condicional (Maxver-ICM) e Distância Euclidiana (DE). O algoritmo Maxver é um dos algoritmos mais usados e basea-se na probabilidade Bayesiana. Enquanto a classificação Maxver está associada a classes de pontos individuais na imagem, a classificação Maxver-ICM tem dependência espacial. O ICM é um método de otimização local, que está assente em duas suposições: as observações estão dependentes das classes e a imagem contém propriedades Markovianas. A DE caracteriza-se por cada classe possuir um valor médio em cada banda.

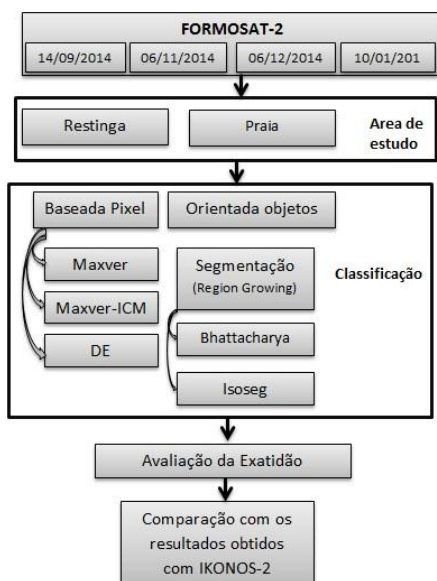


Figura 1 – Esquema da metodologia adotada

A classificação orientada a objetos tem em consideração a forma, textura e informações espectrais. Neste tipo de classificação, em primeiro lugar é realizada uma segmentação da imagem, que consiste em dividir a imagem em objetos significativos. Estes objetos são identificativos das diferentes formas representadas na imagem. A forma destes objetos combinado com a sua informação espectral nas diferentes bandas analisadas, são usados para uma classificação inicial. De seguida utiliza-se uma técnica de agrupamento dos objetos por grupos. Neste trabalho usou-se um algoritmo de crescimento de regiões. Inicialmente, o processo de segmentação baseia-se no pressuposto de que cada píxel representa uma determinada região. Deste modo deve-se aplicar um critério de similaridade a cada região. A imagem é assim dividida em sub-imagens (objetos), e depois a união entre elas é feita, de acordo com os limites de agregação que são definidos pelo utilizador. A segunda fase consiste na aplicação de um algoritmo de classificação orientada a objetos. Neste trabalho foram testados dois algoritmos de classificação: Bhattacharya e Iseseg. Bhattacharya é um algoritmo de classificação supervisionada para classificar imagens segmentadas, em que, o objeto a classificar não é necessariamente um píxel mas a região da imagem. A classificação Iseseg é um algoritmo de classificação não-supervisionada aplicada a um conjunto de regiões, que são caracterizadas pelas suas estatísticas de atributos, covariância e área.

#### 4. Área de estudo

A zona de estudo deste trabalho, é uma zona da costa noroeste de Portugal. A área é limitada a norte pelo rio Douro e a sul pela praia da Madalena, em Vila Nova de Gaia (Fig. 2). A outra zona de estudo é a restinga do rio Douro (Cabedelo) que corresponde ao limite norte da zona de estudo definida anteriormente. O estuário do Douro está sujeito às condições meteorológicas e hidrodinâmicas do Oceano Atlântico. Dois terços da Foz do rio Douro está protegida por esta restinga muito dinâmica, criando um micro-ecossistema de grande interesse biológico. A restinga têm um comprimento aproximado médio de 800 metros e uma largura de 300 metros e uma área que nos últimos anos tem sofrido grandes alterações, mas em termos médio tem variado entre os 220 000 km<sup>2</sup> e os 270 000 km<sup>2</sup>.



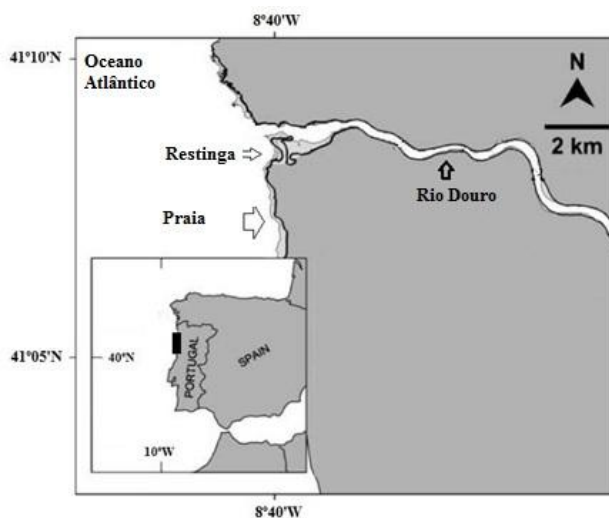


Figura 2 –Localização da zona de estudo (adaptado de Teodoro e Gonçalves (2008))

## 5. Resultados e Discussões

A base de dados usada neste trabalho é composta por quatro imagens FORMOSAT-2 de nível 1A. Essas imagens são de: 14 de Setembro de 2014, 16 de Novembro de 2014, 6 de Dezembro de 2014 e de 10 de Janeiro de 2015. Os resultados obtidos refletem a metodologia seguida referida na Secção 2 e esquematizada na Figura 1.

### 5.1 Restinga

Foi estimada a área da restinga (Quadro 2) para os cinco algoritmos testados. No processo de segmentação, foram considerados como critério de similaridade e de área do píxel, os valores 5 e 10, respetivamente.

Quadro 2 –Área estimada (m<sup>2</sup>) da restinga do rio Douro (Cabedelo) através dos cinco algoritmos aplicados às imagens FORMOSAT-2.

Data (dd/mm/aaaa)	Area (m2)				
	Maxver	Maxver- ICM	DE	Bhattacharya	Isoseg
14/09/2014	454534,7	453885,1	423869,5	490713,3	519889,8
16/11/2014	378127,9	377245,2	373021,1	376389,9	386642,9
06/12/2014	394600,5	396855,9	424533,9	393944,3	391024,7
10/01/2015	363799,1	369024,4	365452,1	369407,6	358275,8

Considerando os valores apresentados no Quadro 2, os resultados são consistentes com os obtidos em trabalhos anteriores (Teodoro e Gonçalves, 2011; Teodoro e Gonçalves, 2012). Na Figura 3 é apresentado um exemplo da extração da restinga para posterior cálculo da área, considerando a imagem de 10 de janeiro de 2015 e o algoritmo da Maxver.



A imagem de setembro de 2014 é a que apresenta os valores mais elevados para a área e a de janeiro de 2015 os valores mais baixos. A classificação orientada a objetos, tanto a classificação supervisionada como a não-supervisionada, apresenta os valores mais elevados para a área (imagem de Setembro de 2014), respetivamente com 49 0713,3 m<sup>2</sup> e 51 9889,8 m<sup>2</sup>.

O trabalho realizado por Teodoro e Gonçalves (2012), onde foram analisadas 6 imagens do satélite IKONOS-2, foi realizado entre 2001 e 2007. Após 2008, com o fim da construção dos dois quebra-mares que tinham como objetivo estabilizar a foz do rio Douro, verificou-se o aumento da área da restinga. Essa percepção foi totalmente confirmada com este trabalho. No entanto, no período de análise deste trabalho (entre setembro de 2014 e janeiro de 2015) a área da restinga diminuiu. Isso pode dever-se ao facto deste período cobrir o outono/inverno ou a uma nova tendência da restinga. Para que seja possível tirar conclusões mais fortes será necessário analisar mais imagens.

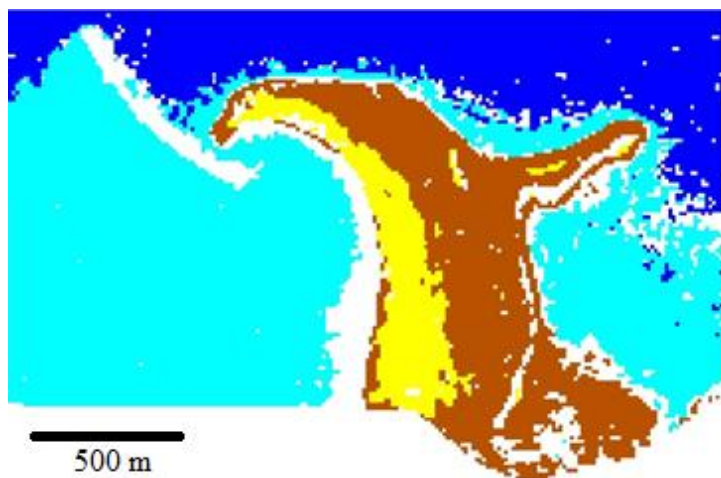
## 5.2 Padrões de Praia

Considerando os algoritmos descritos na Secção 2, e definindo áreas (classes) de treino semelhantes às consideradas em Teodoro (2015), a avaliação da exatidão do algoritmos aplicados na identificação dos padrões de praia são apresentados no Quadro 3. Note-se que são apenas apresentados os resultados para a classificação baseada no píxel. No caso da classificação orientada a objectos, na fase de segmentação, foram testados vários valores de similaridade e área. Contudo, os resultados da classificação, tanto supervisionada como não-supervisionada, eram inconsistentes, e esta opção foi descartada. Nos trabalhos de Teodoro *et al.*, (2009) e Teodoro *et al.*, (2011) provou-se que esta abordagem era inadequada para identificação de padrões de praia com dados IKONOS-2. Este trabalho, desta vez com dados FORMOSAT-2, confirmou isso mesmo.

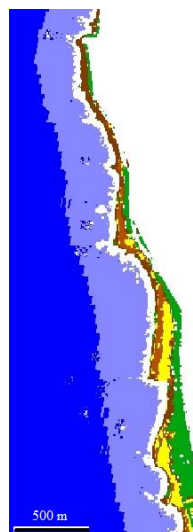
**Quadro 3** – Avaliação da exatidão para identificação de padrões de praia

Data (dd/mm/aaaa)	Maxver		Maxver-ICM		DE	
	EG (%)	Kappa	EG (%)	Kappa	EG (%)	Kappa
14/09/2014	98,47	0,9732	98,91	0,9808	98,78	0,9786
16/11/2014	98,74	0,9821	99,43	0,9919	96,25	0,9466
06/12/2014	96,62	0,9384	97,07	0,9465	98,32	0,9702
10/01/2015	79,05	0,6548	80,71	0,6814	69,36	0,4921

Considerando os valores da Exatidão Global (EG) e Kappa fornecidos no Quadro 3 e através da análise da imagem apresentada na Figura 4, pode-se afirmar que os dados FORMOSAT-2 são adequados para a identificação de padrões de praia. Apenas a imagem de janeiro de 2015 apresenta um resultado menos satisfatório. Este facto pode ser devido à presença de nuvens na altura da captação da imagem. Comparando a performance dos três algoritmos testados, todos os resultados são bastante similares, no entanto o algoritmo Maxver-ICM apresenta os melhores resultados.



**Figura 3** – Identificação da restinga (Classes amarela e castanha), considerando a imagem de 10 de janeiro de 2015 em e o algoritmos da Maxver.



**Figura 4** – Padrões de praia identificados na imagem de 14 de Setembro de 2014 usando o algoritmos de classificação supervisionada Maxver-ICM. As classes identificadas na imagem são: Azul escuro-águas profundas/mar aberto; Azul claro-águas caso 2 (com sedimentos suspensos); Amarelo-praia seca; Branco-zona de rebentação; Castanho-praia húmida; Laranja-zona de espraimento; Verde- vegetação/duna

## 6. Conclusões

A resolução espectral dos dados FORMOSAT-2 é idêntica à do IKONOS-2, mas a resolução espacial é menor. Para além das imagens usadas neste trabalho não serem da mesma data das que foram usadas nos trabalhos anteriores (IKONOS-2), a resolução espacial dos dados é diferente e deste modo não é possível comparar devidamente os resultados. No entanto, com os resultados obtidos neste trabalho, é possível concluir os dados FORMOSAT-2 e as técnicas de processamento de imagem aplicadas são adequados para identificar padrões de praia e permitem extrair com exatidão os limites da restinga. No futuro serão processadas mais imagens FORMOSAT-2 e será efetuado um estudo mais exaustivo sobre este tema. Com este trabalho pretendeu-se efetuar um estudo preliminar sobre a aplicabilidade destes dados, ainda pouco usados, para estudos costeiros.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à “National Space Organization, National Applied Research Laboratories of Taiwan” pela cedência dos dados FORMOSAT-2. Pedro Silva gostaria de agradecer à FCUP pela oportunidade de realizar um “Programa de Estágio Extra Curricular” (PEEC) onde este trabalho foi desenvolvido.

## Referências Bibliográficas

Kato, S.; Liu, C.C.; Sun, C.Y.; Chen, P.L.; Tsai, H.Y.; Yamaguchi, Y. (2012). Comparison of surface heat balance in three cities in Taiwan using Terra ASTER and Formosat-2 RSI data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 18, Págs. 263-273.



- Liou, Y.A.; Kar, S.K.; Chang, L.Y. (2010). Use of high-resolution FORMOSAT-2 satellite images for post-earthquake disaster assessment: a study following the 12 May 2008 Wenchuan Earthquake. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 31, No. 13, Págs. 3355-3368.
- Liu, J.; Liu, C.; Lin, A.; Wu, S.; Liu, C.; Shieh, J. (2007). Image processing of FORMOSAT-2 data for monitoring the South Asia tsunami. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 28, No. 13-14, Págs. 3093-3111.
- Liu, C.; Shieh, J.; Lin A.; Wu, S. (2011). Classification of non-vegetated areas using Formosat-2 high spatiotemporal imagery: the case of Tseng-Wen Reservoir catchment area (Taiwan). *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 32, No. 23, Págs. 8519–8540.
- Liu, C.C. (2015). Preparing a landslide and shadow inventory map from high-spatial-resolution imagery facilitated by an expert system. *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 9, Págs. 096080.
- Pais-Barbosa, J.; Veloso-Gomes, F.; Taveira-Pinto, F. (2009). Portuguese Northwest Beach Classification Using Aerial Photographs and GIS Tools. *Journal of Coastal Research*, Vol. 56, Págs. 1552-1556.
- Spring-DPI/INPE, <http://www.dpi.inpe.br/spring/english/>, consultada em 19 março de 2014.
- Teodoro, A.C.; Veloso-Gomes, F. (2007). Quantification of the Total Suspended Matter concentration around the sea breaking zone from in situ measurements and TERRA/ASTER data. *Marine Georesources and Geotechnology*, Vol. 25, No. 2, Págs. 67-80.
- Teodoro, A.C.; Veloso-Gomes, F.; Gonçalves, H. (2007). Retrieving TSM concentration from multispectral satellite data by multiple regression and artificial neural networks. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 45, No. 5, Págs. 1342-1350.
- Teodoro, A.C.; Veloso-Gomes, F.; Gonçalves, H. (2008). Statistical techniques for correlating TSM concentration with seawater reflectance using multispectral satellite data. *Journal of Coastal Research*, Vol. 24, No. S13, Págs. 40-49.
- Teodoro, A.C.; Pais-Barbosa, J.; Veloso-Gomes, F.; Taveira-Pinto, F. (2009). Evaluation of Beach Hydromorphological Behaviour and Classification Using Image Classification Techniques. *Journal of Coastal Research*, Vol. 2, No. 56, Págs. 1607-1611.
- Teodoro, A.C.; Gonçalves, H. (2011). Extraction of Estuarine/Coastal Environmental Bodies from Satellite Data through Image Segmentation Techniques. *Image Segmentation*, Pei-Gee Ho (Ed.), Págs. 435-458, InTech.
- Teodoro, A.C.; Pais-Barbosa, J.; Gonçalves, H.; Veloso-Gomes, F.; Taveira-Pinto, F. (2011). Identification of beach features/patterns through image classification techniques applied to remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 32, No. 22, Págs. 7399-7422.
- Teodoro, A.C.; Gonçalves, H. (2012). A Semi-Automatic Approach for the Extraction of Sandy Bodies (Sand Spits) From IKONOS-2 Data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 5, No. 2, Págs. 634-642.
- Teodoro, A.C. (2015). Applicability of data mining algorithms in the identification of beach features/patterns on high-resolution satellite data. *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 9, No. 1, Págs. 095095.