

JULIA CRISTINA BONANI FARACINI

**Técnicas de detecção remota na monitorização da
vegetação e a contribuição da Ria Formosa
no ciclo do carbono**



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
Faculdade de Ciência e Tecnologia
2017

JULIA CRISTINA BONANI FARACINI

**Técnicas de detecção remota na monitorização da
vegetação e a contribuição da Ria Formosa
no ciclo do carbono**

Mestrado em Geomática

Trabalho realizado sob a orientação de :

Professor Doutor Fernando Martins

Professora Doutora Cristina Veiga-Pires



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
Faculdade de Ciência e Tecnologia

2017

“Técnicas de detecção remota na monitorização da vegetação e a contribuição da Ria formosa no ciclo do carbono”

Declaração de autoria do trabalho

Declaro por minha honra ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Julia Cristina Bonani Faracini

© Copyright: Julia Faracini

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Resumo

Localizada no sul de Portugal, a Ria Formosa corresponde a um sistema lagunar com ilhas barreiras e um sapal de grande importância ambiental. Além de ser considerada um dos mais belos parques do Algarve, ela também corresponde a um importante habitat de aves aquáticas, tornando-se uma região de reconhecimento internacional (Guimarães et al, 2012).

O presente trabalho tem como objetivos a delimitação e caracterização da vegetação de uma área específica da Ria Formosa através de técnicas de Detecção Remota, bem como a análise da contribuição dessa vegetação no ciclo do carbono, num determinado período de tempo. Através da análise de imagens de satélite (Landsat) pretende-se calcular índices de vegetação (‘Índice de Vegetação de Diferença Normalizada – NDVI’ e ‘Índice de Vegetação Fotossintético – PRI’) das imagens, e, através destes dois índices, obter o índice CO₂flux, relacionado ao fluxo de carbono, proposto por Rahman, 2000. Posteriormente estes resultados foram correlacionados com os de Gross Primary Production GPP, disponíveis no conjunto de imagens MODIS.

Os resultados deste estudo são fundamentais para o reconhecimento, preservação e manutenção da região e podem servir como material para futuras pesquisas tanto nesta, como em diferentes zonas e áreas do conhecimento.

Palavras-chave: Ria Formosa, detecção remota, índice de vegetação, ciclo do carbono

Abstract

Located in southern of Portugal, the Ria Formosa corresponds to a lagoon system with barriers islands and marshland of great environmental importance. Besides being considered one of the most beautiful Natural Parks in the Algarve, it also represents an important habitat of water birds, becoming an international recognition site. (Guimarães et al, 2012).

This work aims to delineate and characterize the vegetation of a specific area of Ria Formosa using techniques of remote sensing and the analysing the contribution of this vegetation in the carbon cycle in a given period of time. Through satellite imagery analysis (Landsat), it is intended to calculate vegetation indices (normalized difference vegetation index – NDVI e Visible reflectance index - PRI) of the images, and, subsequently, to obtain the CO_2flux index, associated to the carbon flux, proposed by Rahman, 2000. Thereafter those results were correlated with the data of Gross Primary Production GPP, available in the set of MODIS images.

The results of this study are fundamental to the recognition, preservation and maintenance of the region and can be instrumental for future research on this subject and in different areas and fields of knowledge.

Keywords: Ria Formosa, remote sensing, vegetation index, carbon cycle

Índice

1. Introdução	
1.1 O ciclo do carbono e importância das zonas húmidas	12
1.2. O Parque Natural da Ria Formosa	20
1.3. Caracterização da vegetação	22
1.3.1 A vegetação de sapal baixo	22
1.3.2 A vegetação de sapal médio e alto	26
1.3.3. A vegetação presente nas dunas	29
1.4. Detecção remota	34
1.4.1. Monitorização da vegetação	37
1.5. Objetivos	42
2. Metodologia	44
2.1 Descrição da área de estudo	44
2.2 Seleção e processamento das imagens de satélite	45
2.2.1 Imagem Landsat	46
2.2.2 Imagem MODIS	50
2.3 Cálculo dos índices NDVI, PRI, sPRI e CO_2flux	52
2.4 Caso de estudo: Fuseta	57
3. Resultados	67
3.1 Resultado do índice NDVI para o ortofotomosaico da Fuseta e evolução temporal nas imagens Landsat	67
3.2 Evolução temporal imagens Landsat e classificação em anos....	71
3.3 Classificação dos resultados de CO_2flux e evolução temporal das imagens Landsat	73
3.4 Resultados CO_2flux (Ortofotomosaico), MODIS e GPP	77
3.5 Fluxo de carbono e GPP (ortofotomosaico & Landsat).....	81
3.6 Processo imagem Landsat (2016).....	81
4. Discussão dos resultados	87
4.1 Evolução temporal nas imagens Landsat, Índice NDVI para o ortofotomosaico da Fuseta e classificação da vegetação	88
4.2 Classificação dos resultados de CO_2flux e evolução temporal das imagens Landsat	92
4.3 Resultados CO_2flux , MODIS e GPP	92

4.4 Fluxo de carbono e GPP (ortofotomosaico & Landsat).....	93
5. Conclusão	93
5.1 Importância do trabalho e sugestões para estudos futuros	95
6. Referências bibliográficas.	96
Apêndice: Tabela adicional	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.01 - Estoque de carbono relacionado com diferentes tipos de bioma. Retirado e adaptado de Mitra et al. 2003	14
Figura 1.02 - Esquema simplificado de “sumidouro” de carbono nas zonas húmidas.....	15
Figura 1.03 e 1.04 - (acima) Paul do Boquilobo na primavera. Fotografia: Fernando F. Pereira; (abaixo) Zona húmida junto à Estação Ornitológica do Monte do Outeirão, representando um dos habitats da Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha. Fotografia: Cristina Girão Vieira. Ambos retirados de ICNF, 2016	17
Figura 1.05 - Lista de Sítios Ramsar em Portugal (Nota: Nem todos os sítios foram representados nesta figura) Retirado de: ICNF, 2016	20
Figura 1.06 - Parque Natural da Ria Formosa, fotografia de zona próxima a Fuseta. Fotografia: Julia Faracini, 2016	21
Figura 1.07 - Zona de sapal na região da Fuseta. Fotografia: Julia Faracini, 2016	23
Figura 1.08 - O habitat de sapal fornece alimento e abrigo para diferentes seres vivos, entre eles, aves e moluscos. Fotografia: Julia Faracini, 2016	25
Figura 1.09 - Sapal baixo, médio e alto na região da Fuseta. Fotografia: Julia Faracini, 2016	27
Figura 1.10 - Zonação do sapal: do sapal baixo ao sapal médio, alto e de transição. Fotografia: Julia Faracini, 2016	28
Figura 1.11 - Esquema da vegetação de sapal presente na ilha de Tavira que se encontra voltada para a ria (retirado de Rivas-Martínez <i>et al.</i> , 1990). 1: Matorrais caméfitos de dunas fixas (comunidades de <i>Helichrysum</i>); 2, 3: Matorrais de <i>Limoniastrum monopetalum</i> com ou sem juncos (<i>Polygono equisetiformis-Limoniastrum monopetalum</i>) ; 4: Junciais halófilos (<i>Arthrocnemo macrostachyi-Juncetum subulati</i>) 5,6: Comunidades de <i>Sarcocornia alpini</i> com ou sem juncos (<i>Halimiono-Sarcocornietum alpini</i>); 7,8: Comunidades de <i>Sarcocornia perennis</i> das vertentes ligeiramente encharcadas pela Preia-mar (<i>Puccinellio maritimae-Sarcocornietum perennis</i>); 9,10: Prados de <i>Spartina maritima</i> sobre as vertentes encharcadas durante a preia-mar; 11: Comunidades de <i>Sarcocornia fruticosa</i> sobre solos sempre húmidos em profundidade; 12: Comunidades de <i>Suaeda vera</i> dos solos removidos e relativamente elevados dos salgados (<i>Cistancho phelypaeae-Suaedetum verae</i>)	29
Figura 1.12 - Vegetação presente nas dunas, com Estorno (esquerda) e Cordeirinhos-da-praia (direita), retirado de: Instituto de Conservação da Natureza e da Floresta, disponível em http://www.icnf.pt ; Fotografia: Cristina Girão Vieira	30
Figura 1.13 (esquerda) e 1.14 (direita) - Respectivamente, <i>Thymus carnosus</i> , retirado de www.flora-on.pt , fotógrafa: Ana Julia Pereira, e vegetação dunar, disponível em: http://jra.abae.pt/ , (fotografo não identificado)	31
Figura 1.15 - Duna cinzenta, retirado de Plano Setorial da Rede Natura 2000, Fotografia: C. Neto	33

Figura 1.16 - Esquema simplificado de sensoriamento remoto passivo. Adaptado de Meneses, 2011	36
Figura 1.17: Processos de interação da radiação eletromagnética e os objetos. Retirado de Meneses, 2011	38
Figura 1.18: Secção transversal de uma folha. Retirado de Ponzoni & Shimabukuro 2010 Sensoriamento remoto no estudo da vegetação	39
Figura 1.19: Assinatura espectral de vegetação. A vegetação tem baixa refletância na região do visível e alta refletância no infravermelho próximo. Figura retirada e disponível em: http://www.seos-project.eu , 2017	40
Figura 1.20: Reflectância da água, solo e vegetação verde em diferentes comprimentos de onda. Retirado de http://www.seos-project.eu/modules/classification/classification-c00-p05.html , (acessado em 02 de abril de 2017)	41
Figura 2.01: Imagem Landsat-8 onde é possível observar a área de estudo (Ria Formosa). Fonte: U.S. Geological Survey, 2016	47
Figura 2.02: Exemplos de ruídos em imagem Landsat: riscas (à esquerda) e nuvens (à direita) Fonte: U.S. Geological Survey, 2016	50
Figura 2.03: Imagem MODIS MYD17A2H GPP com resolução de 500m	52
Figura 2.04: Exemplo de resultado NDVI em imagem Landsat-8	53
Figura 2.05: Plano de voo “Fuseta Este” criado através do Software Ground Station 4.0.11	61
Figura 2.06: Plano de voo “Fuseta Oeste” criado através do Software Ground Station 4.0.11	62
Figura 2.07 e 2.08: Modelos 3D criados a partir das fotografias da zona da Fuseta capturadas pelo drone criados através do software Ground Station 4.0.11	63
Figura 2.09: Modelo 3D finalizado e com cores criado a partir das fotografias da zona da Fuseta capturadas pelo drone criado através do software Ground Station 4.0.11	63
Figura 2.10: Ortofotomosaico da zona da Fuseta	64
Figura 2.11 : Localização das amostras nas imagens capturadas pelo drone. Identificação das amostras (1) <i>Sarcocornia fruticosae</i> , (2) <i>Sarcocornia perennis</i> , (3) <i>Spartina marítima</i> , (4) <i>Salsola vermiculata</i> e (5) <i>Limoniastrum monopetalum</i>	66
Figura 3.01: Índice de diferença normalizada da vegetação (NDVI) para zona da Fuseta (em 2016)	68
Figura 3.02: Histograma do Índice de Vegetação Normalizada (NDVI) do ortofotomosaico da Fuseta (em 2016)	69

Figura 3.03: Classificação do índice de diferença normalizada da vegetação (NDVI) para a área da Fuseta (em 2016)	70
Figura 3.04: Evolução temporal do índice de NDVI para as imagens Landsat da zona da Fuseta (em 2013-2016)	72
Figura 3.05: Divisão de classes de acordo com a opção <i>Natural Breaks (Jenks)</i> para os valores de CO ₂ flux presentes nas imagens Landsat)	74
Figura 3.06: Evolução temporal do índice de CO ₂ flux para as imagens Landsat da zona da Fuseta (em 2013-2016)	75
Figura 3.07: Percentual de ocupação de cada classe de CO ₂ flux por ano (em 2013-2016)	77
Figura 3.08: Índice CO ₂ flux para zona da Fuseta (em 2016).....	77
Figura 3.09: Gráficos de dispersão representando a relação entre os índices NDVI das diferentes imagens Landsat e a média dos píxeis do ortofotomosaico da Fuseta	79
Figura 3.10: Gráficos de dispersão representando a relação entre os índices NDVI das diferentes imagens Landsat e a média dos píxeis do ortofotomosaico da Fuseta, após exclusão dos píxeis mistos	80
Figura 3.11: delimitação manual da Ria Formosa (linha vermelha)	82
Figura 3.12: Gráfico de dispersão entre os valores GPP e a média dos píxeis CO ₂ flux para a imagem Landsat n ^o 3	82
Figura 3.13: Valores Gross Primary Production (GPP) para a área da Ria Formosa obtidos para a imagem Landsat por estimativa com base na relação linear anteriormente obtida ...	83
Figura 3.14: Valores Gross Primary Production (GPP) para a zona da Fuseta obtidos para a imagem Landsat por estimativa com base na relação linear anteriormente obtida	84
Figura 3.15: Gráfico de dispersão entre os valores GPP e a média dos píxeis CO ₂ flux para o ortofotomosaico	85
Figura 3.16: Valores Gross Primary Production (GPP) para a zona da Fuseta obtidos para o ortofotomosaico por estimativa com base na relação linear anteriormente obtida	85
Figura 3.17: A) Histograma do resultado de GPP para a zona da Fuseta a partir da imagem Landsat (esquerda); B) Histograma do resultado de GPP para a zona da Fuseta a partir do ortofotomosaico (direita)	86
Figura 3.18: : Identificação de valores altos (imagens acima) e baixos (imagens abaixo) de GPP para o ortofotomosaico e a imagem Landsat	87

Tabela 2.01: Lista de todas as imagens Landsat utilizadas no presente trabalho, contendo ano de obtenção e nível de maré de acordo com o software WTides	46
Tabela 2.02: Características – bandas, faixa espectral e resolução - do satélite Landsat-8 Fonte dos dados apresentados: U.S. Geological Survey, 2016	48
Tabela 2.03: Bandas presentes no instrumento MODIS e suas respectivas resoluções espaciais	51
Tabela 2.04: Principais gases do efeito estufa. Adaptado de Skinner & Porter (1995)	56
Tabela 2.05: Tabela de marés tabela de marés para o dia 30 de setembro de 2016 relativa ao porto de Faro, Barra de Faro e Olhão Fonte: Instituto Hidrográfico da Marinha de Portugal, 2016	58
Tabela 2.06: Conjunto de amostras coletadas em campo	65
Tabela 3.01 - Variação do NDVI dividida em classes temáticas para o ortofotomosaico e taxa de ocupação de cada classe temática para a zona da Fuseta (em 2016)	69
Tabela 3.02: Variação do NDVI dividida em classes temáticas para as imagens Landsat da zona da Fuseta (em 2013-2016)	71
Tabela 3.03: Percentual de ocupação de cada classe temática de NDVI para as imagens Landsat da zona da Fuseta (em 2013-2016)	73
Tabela 3.04: Classes temáticas a partir dos valores de CO_2flux para as imagens Landsat da zona da Fuseta (em 2013-2016)	76
Tabela 3.05: Lista de imagens Landsat utilizadas, classificadas por data e nível de maré .	78
Tabela 3.06: Lista de imagens Landsat com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) antes e depois da remoção dos píxeis mistos	81

Símbolos, Abreviaturas e Siglas

μm – Micrometro

AAN - Autoridade Aeronáutica Nacional

ANAC - Autoridade Nacional da Aviação Civil

ASPRS - American Society for Photogrammetry and Remote Sensing

AVIRIS - Airborne Visible InfraRed Imaging Spectrometer

CH_4 -Metano

CO_2 - dióxido de carbono

CORDIS - Community Research and Development Information Service

DEH - Department of Environment and Heritage

GEE – Gases do efeito estufa

GPP – Gross Primary Production

ha – Hectares

ICNF- Instituto de Conservação da Natureza e da Floresta

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

LDCM - Missão de Continuidade de Dados do Landsat

m^2 – Metros quadrados

MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

N – Norte

N_2O - Oxido nitroso

NASA - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço

NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NIR – Infravermelho próximo

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration U.S. Department of Commerce

O - Oeste

O_3 - Ozônio

OLI - Sensor Operational Land Imager

PRI - Índice de Reflectância Fotoquímica

PSN - Net Photosynthesis

QA- Quality Assessment

SNR – Relação sinal-ruído

TIRS – Sensor Térmico Infravermelho

USGS - Pesquisa Geológica dos Estados Unidos

1. Introdução

1.1 O ciclo do carbono e importância das zonas húmidas

O carbono é um componente-chave do ar atmosférico e está presente em todos os organismos vivos. As moléculas mais importantes presentes no corpo humano como proteínas, carboidratos e DNA contêm carbono como componente essencial. A Terra e sua atmosfera correspondem a um sistema fechado, ou seja, a quantidade de carbono existente é constante. Quando novos organismos são criados, o carbono é utilizado para formação de suas moléculas. (Barthelmes et al. 2015, Foster et al. 2012, NOAA, 2016)

O ciclo do carbono corresponde basicamente a reutilização do carbono na natureza através de diferentes processos envolvendo os organismos vivos, a Terra e a atmosfera. Juntamente com o ciclo do nitrogênio e o da água, o ciclo do carbono compreende uma sequência de eventos que são fundamentais para tornar a Terra capaz de sustentar a vida. (Barthelmes et al. 2015, DEH 2016, Foster et al. 2012, NOAA, 2016)

O carbono é armazenado de diferentes formas e pode ser encontrado em locais variados. Moléculas cuja base encontra-se o carbono caracterizam-se como principal componente de compostos biológicos e de vários minerais. O carbono encontra-se também na atmosfera, como dióxido de carbono, gás parcialmente responsável pelo efeito estufa e pode ser depositado nos solos, sendo absorvido ou "sequestrado" através de processos explicados mais detalhadamente no decorrer deste capítulo. O carbono então armazenado pode ser liberado ou emitido através da respiração natural ou quando as estruturas celulares se decompõem, são queimadas ou, no caso do carbono estocado no solo, são perturbadas. (Foster et al. 2012, NOAA, 2016)

Embora os níveis de dióxido de carbono tenham sofrido mudanças de maneira natural ao longo dos últimos anos, as emissões de origem antropogênica para a atmosfera superam as flutuações naturais. Os níveis de dióxido de carbono na atmosfera estão aumentando de maneira acelerada e as mudanças em suas quantidades estão alterando consideravelmente os padrões climáticos e influenciando indiretamente a química

oceânica. Estas emissões representam o principal contribuinte do efeito estufa e das alterações climáticas induzidas pelo homem. (DEH 2016)

Antes Revolução Industrial, os processos de emissão e sequestro de carbono eram geralmente equilibrados, com grandes quantidades de carbono sendo aprisionadas ao longo do tempo em forma de combustíveis fósseis. Posteriormente a este marco histórico, o teor de carbono presente nestes combustíveis fósseis começou a ser liberado ou emitido a medida em que os combustíveis foram queimados para a geração de energia, combustível para automóveis e uso industrial. Ademais, os processos de sequestro natural, especialmente aqueles realizados por plantas, estão sendo interrompidos em consequência da transformação (e degradação) das áreas naturais para uso e necessidades humanas. (DEH, 2016)

As zonas húmidas são áreas naturais de importância internacional, estando entre os recursos naturais mais importantes no planeta, cruciais para os meios de subsistência humanos, a biodiversidade e a estabilidade ecológica. Estas zonas geralmente apresentam vegetação adaptada as condições existentes e solos encharcados, recebendo águas das chuvas, de reservatórios subterrâneos, de rios e de ribeiras e apresentando elevada biodiversidade. Elas geralmente correspondem a áreas de baixas cotas que são permanentemente ou temporariamente submersas em consequência da elevação do nível das águas. (ICNF, 2016).

Este tipo de bioma representa um papel dinâmico e crucial na absorção do carbono atmosférico (figura 1.01). Segundo o Painel de Revisão Científica e Técnica de Ramsar, estima-se que estas zonas armazenem 35% do carbono terrestre. Entretanto, há incertezas em relação a quantidade real de carbono armazenada nas zonas húmidas devido a diferentes fatores, porém, independente das quantidades exatas, a destruição causada pelo homem nestas áreas apresenta uma verdadeira ameaça a aceleração do efeito estufa a medida em que maior quantidade de gases é liberada para a atmosfera (Mitra et al., 2003).

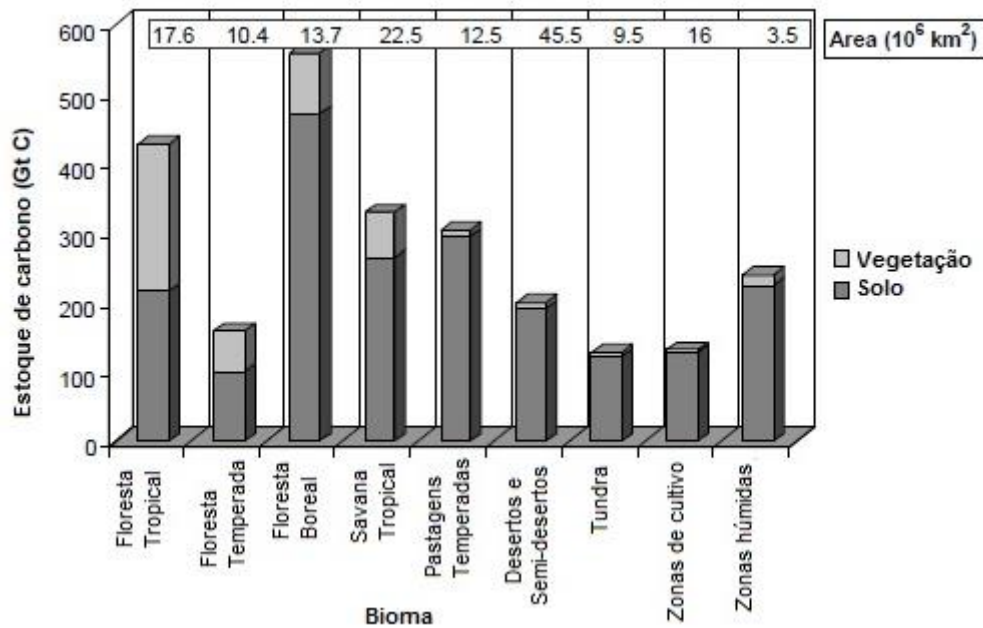


Figura 1.01: Estoque de carbono relacionado com diferentes tipos de bioma. Retirado e adaptado de Mitra et al. 2003

As áreas húmidas intactas ou não perturbadas, ou seja, que não foram alteradas por fatores antropogênicos, atuam como “sumidouros de carbono” devido a sua vegetação densa, solo, e atividade das algas que regulam processos como a decomposição anaeróbia, geradora de metano e óxido nítrico. Estes gases têm, respectivamente, 21 e 310 vezes mais impacto do aquecimento global do que o dióxido de carbono em um período de 100 anos. (Hicks et al., 1999, Page & Dalal, 2011)

Salienta-se que a capacidade das zonas húmidas para absorver e sequestrar carbono varia em função de sua temperatura e disponibilidade de água, entre outros fatores. Quando a água é retirada destas zonas, o oxigênio pode atingir a matéria orgânica, antes inundada, oxidando-a, o que resulta em grandes emissões de dióxido de carbono a medida que este processo continua e se intensifica. Estima-se que cada hectare de sapal armazena cerca de 550t de carbono. (Page & Dalal, 2011)

Confirmou-se que as turfeiras – tipo de solo composto por vegetais parcialmente em decomposição e disposto em camas - caracterizam a mais importante reserva de carbono na biosfera terrestre, armazenando o dobro de carbono da biomassa florestal do mundo. A degradação das turfeiras tem contribuído com emissões anuais equivalentes a 10% das emissões globais de combustíveis fósseis. (Barthelmes et al. 2015)

Os ecossistemas de zonas húmidas caracterizam-se como ecossistemas muito produtivos, formado por sapais, manguezais e sargaços, por exemplo. Estas zonas podem armazenar grandes quantidades de carbono devido principalmente, a dois fatores: o sequestro e o armazenamento de carbono. O primeiro está relacionado com o crescimento acelerado das plantas a cada ano, que no processo, captura grandes quantidades de dióxido de carbono, convertendo-o em partes das próprias plantas, como folhas, caules ou raízes. Este processo é chamado de "fixação" ou "captação" de dióxido de carbono. Parte do carbono também é devolvida à atmosfera – em formando de dióxido de carbono - quando as plantas realizam o procedo de expiração. O segundo corresponde as características de seus solos; parte do carbono capturado pelas plantas é adicionada aos solos seja através de transporte interno na planta ou quando partes de plantas, como folhas e raízes, morrem e se incorporam ao solo, através do processo de decomposição (figura 1.02). (Foster et al., 2012; Mitra et al., 2003; NOAA, 2016)

Uma vez que o carbono está no solo, parte dele é transformado e retorna à atmosfera como dióxido de carbono. Há normalmente uma fina camada de solo oxigenada e acima da água, enquanto a parte restante encontra-se submersa. Os solos presentes nas zonas húmidas são, em sua maioria, anaeróbicos e, devido à ausência de oxigênio, a decomposição do material vegetal orgânico é muito mais lenta, de modo que o carbono presente neste material permanece intacto - podendo persistir por milhares de anos -, em contrapartida de ser transformado por micróbios e devolvido para a atmosfera. Como resultado, as zonas húmidas tornam-se são sumidouros de carbono de alta eficiência. (Foster et al., 2012; Mitra et al., 2003; NOAA, 2016)

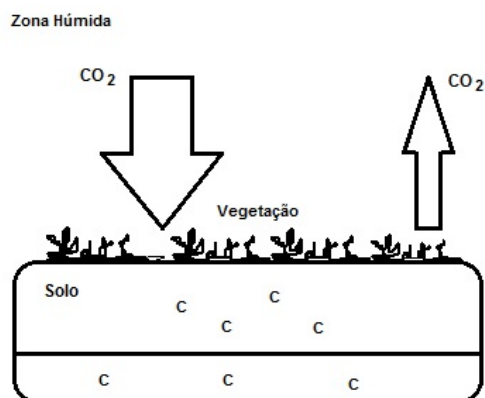


Figura 1.02: Esquema simplificado de “sumidouro” de carbono nas zonas húmidas.

Todas as zonas húmidas possuem dois elementos em comum: água (ou gelo) e terra. Estas caracterizam-se como ecossistemas vulneráveis e sensíveis, porém de elevada produtividade biológica, ocupando área correspondente a apenas 3% do território europeu e 6% da superfície terrestre, podendo ser encontradas em todas as diferentes regiões climáticas - dos trópicos até a tundra - com exceção da Antártica (o único continente que não possui zonas húmidas). (Mitra et al., 2003)

A conservação e a gestão destas zonas têm sido identificadas como tarefas prioritárias de ação imediata nas convenções internacionais e nas políticas regionais, porém áreas de grande extensão enfrentam problemas relativos a constante degradação, que podem levar ao seu conseqüente desaparecimento. Os principais motivos que resultam nesta situação estão relacionados com o progresso econômico e políticas governamentais inconsistentes. A mais comum ameaça do século passado está relacionada com a agricultura (transformação de zonas húmidas em campos agrícolas), assentamentos e urbanização, poluição e caça. (Mitra et al., 2003)

Há décadas, as zonas húmidas foram definidas de diferentes formas nos vários países por cientistas e agências de recursos naturais interessados em funções específicas destas áreas, como, habitats para aves aquáticas, animais e potenciais usos do solo, entre outros; sendo assim, a definição de zonas húmidas tornou-se muito ampla. O alto número de diferentes definições levou à Convenção sobre as Zonas Húmidas, denominada Convenção de Ramsar (Irão, 1971), um tratado intergovernamental que estabelece o quadro para a ação nacional e a cooperação internacional para a conservação e utilização racional das zonas húmidas e dos seus recursos, a elaborar finalmente uma definição acordada. As zonas húmidas são, desta maneira, definidas como “ uma área de sapal, paul, turfeira ou água, natural ou artificial, permanente ou temporária, com água parada ou corrente, doce, salobra ou salgada, incluindo águas marinhas até seis metros de profundidade na maré baixa e zonas costeiras e ribeirinhas" (Figuras 1.03 e 1.04). A convenção de Ramsar também projetou um sistema de classificação para as zonas úmidas que difere entre as zonas húmidas marinhas e costeiras, as zonas húmidas do interior e as zonas húmidas artificiais / intensivamente cultivadas ou em pastoreio. (Ramsar, 2016; Mitra et al.,2003)



Figura 1.03 e 1.04: (acima) Paul do Boquilobo na primavera. Fotografia: Fernando F. Pereira; (abaixo) Zona húmida junto à Estação Ornitológica do Monte do Outeirão, representando um dos habitats da Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha. Fotografia: Cristina Girão Vieira. Ambos retirados de ICNF, 2016

O atual número de partes contratantes da Convenção de Ramsar, incluindo Portugal, é de 169, enquanto o número de sítios Ramsar é de 2.247 distribuídos ao redor do mundo, os quais possuem superfície total de 15.051.273 ha (Dados disponíveis através do website Ramsar, 2016).

As zonas húmidas são de grande importância por diferentes fatores, entre eles:

- Desempenham um papel fundamental no controle de enchentes, inundações e erosão. As zonas húmidas diminuem e absorvem o impacto das inundações, além de absorver a água e reduzir a velocidade da mesma. A vegetação também minimiza o impacto das correntes. As zonas húmidas estão relacionadas com depósitos de excesso de água, dessa forma, quando ocorrem as inundações, estas áreas são responsáveis por armazenar esses excessos, enquanto que, nos períodos de seca, possui função contrária, ou seja, de fornecer água para as áreas de secura, mantendo assim o equilíbrio natural.

- Controle de qualidade e purificação da água, retendo e transformando substâncias poluentes. Além de armazenar água, as zonas húmidas têm a capacidade de melhorar a qualidade da mesma, através de processos de remoção de poluentes divididos em: captura de sedimentos, remoção de nutrientes e desintoxicação química, configurando assim, um sistema de purificação natural.
- Recarga de água subterrânea e fornecimento de água a reservatórios naturais. Estas zonas facilitam o fluxo de água entre o sistema de água subterrânea e o sistema de águas superficiais. Além disto, a capacidade de armazenamento nas zonas húmidas pode auxiliar na redução de fluxos de água consequentes de uma grande tempestade, evitando assim o movimento acelerado das águas em direção aos rios tributários, permitindo que estas águas potenciais cheguem aos rios em um período maior de tempo.
- Fornecem condições para maior biodiversidade. As zonas húmidas estão entre os ecossistemas mais diversos e produtivos do mundo, incluindo grande diversidade de espécies, as quais englobam aves, mamíferos, répteis, insetos, peixes e anfíbios devido principalmente a sua posição única, entre a terra e a água, criando um terreno fértil ideal para alta produtividade. Estas áreas funcionam como abrigo para aves migradoras, fornecendo alimento e condições apropriadas para reprodução de diferentes espécies e fundamentais para sua conservação. A flora presente nestas áreas também apresenta importantes variedades de plantas e flores, recebendo posição de destaque na indústria farmacêutica.
- A vegetação presente nas zonas húmidas retém o dióxido de carbono (principal gás do efeito estufa) e exercem impacto no clima local e regional. Segundo Richardson e McCarthy (1994), muitas zonas úmidas retornam mais de dois terços de seus insumos anuais de água à atmosfera por evapotranspiração, além de amenizar a alta temperatura presentes nas proximidades.
- Exercem função de estabilizadores da linha costeira, estabilizando o solo e estimulando a deposição de sedimentos, protegendo as costas contra tempestades e minimizando a ação dos ventos, ondas e correntes. A vegetação em torno de

lagos e na margem dos rios também exerce papel fundamental no controle da erosão e sedimentação.

- Possuem valor visual e recreativo relacionados ao lazer e também ao ganho econômico. Atividades como pesca e caça, passeios em barco, caminhadas e observação de pássaros são desenvolvidas nestas áreas, onde, as três últimas mencionadas, não prejudicam os recursos ou alteram as paisagens destas zonas. Os ganhos econômicos são, muitas vezes, resultados das atividades turísticas e não apenas da caça e pesca, gerando rendimentos a nível local e nacional. Muitas dessas áreas estão protegidas como Parques Nacionais, Sítios Ramsar e Sítios de Patrimônio Mundial, auxiliando, desta maneira, sua gestão e conservação. Durante muito tempo as zonas húmidas foram tratadas como áreas marginais que deveriam ser drenadas para fornecer terrenos para construção de casas, por exemplo. A construção desornada de edifícios, remoção da vegetação, alteração no curso dos rios (ex. construção de barragens e canais), prática de atividade agrícola irresponsável e poluição contribuíram, e ainda o fazem atualmente, para o desaparecimento destas zonas em nível mundial (Farinha et al., 2001; ICNF 2016; Ramsar, 2016; Mitra et al., 2003)

De acordo com a Revisão do Plano de Ordenamento do Parque Natural da Ria Formosa, em Portugal foram identificadas 49 zonas húmidas, porém nem todas estão classificadas. Este possui 31 locais designados como Zonas Húmidas de Importância Internacional (Sítios Ramsar), com uma área de 132.487 hectares (figura 1.05).

O Parque Natural da Ria Formosa representa uma importante área húmida, não somente a nível nacional como internacional, estando presente, desta forma, na lista das Zonas Húmidas de Importância Internacional, pertencente a Convenção de Ramsar (Irão, 1971), a qual foi adicionada em 24 de novembro de 1980 e posteriormente ao direito interno através do decreto nº 101/80. (Revisão do Plano de Ordenamento do Parque da Ria Formosa, Vol I e II, 1991). A Convenção de Ramsar descreve a Ria Formosa como: “Complexo de lagoas costeiras de água salgada e ilhas barreira, com vastos lagos, bancos de areia, sistemas de dunas, salinas e leitos substanciais de *Zostera*, incluindo plantações de pinus, áreas urbanas, terras agrícolas, sítios industriais e viveiros para a criação de

peixes e moluscos. A área é importante para numerosas espécies de reprodução, invernada e abrigo de aves aquáticas, incluindo garças e íbis. O local é de importância botânica, apoiando várias plantas endêmicas e é uma importante zona de viveiro para peixe. ”



Figura 1.05: Lista de Sítios Ramsar em Portugal (Nota: Nem todos os sítios foram representados nesta figura) Retirado de: ICNF, 2016

1.2 O Parque Natural da Ria Formosa

A Ria Formosa está localizada no extremo sul de Portugal continental, limitada pelas coordenadas WGS84: N 36 ° 57' para N 37° 15' e W 7° 28' a W 8° 04'. Possui uma área de 86.400 ha e perímetro de 166 km, incluindo um complexo de lagoas costeiras de água salgada e ilhas barreira com uma área de cerca de 16.000 ha (160 km²) (PORTUGAL Ramsar Site 212).

Ela estende-se por aproximadamente 60 km, desde o Posto da Guarda Fiscal de Ancão, localizado a 6,5 km a o oeste do concelho de Faro até a Manta Rota a 48,5 km a leste do mesmo. O cabo de Santa Maria, localizado a 6 km da capital algarvia, corresponde ao ponto mais meridional da Ria, onde a largura máxima – 6km - também está localizada no mesmo nível deste cabo. O parque possui um formato aproximado de um triângulo, o qual possui, em seu vértice Sul, o Cabo de Santa Maria – também definido como o ponto mais meridional de Portugal Continental - banhado pelo oceano Atlântico. Ao Norte é possível observar núcleos populacionais e, na zona fronteira, salinhas e pinhais de pinheiro-manso, além de parte da Estrada Nacional 125. (Costa et al; 1997, Revisão do Plano de Ordenamento do Parque da Ria Formosa, Vol I e II, 1991)

Em 1978, o Parque Natural da Ria Formosa foi classificado como Reserva Natural e quase uma década após este evento, em 1987, foi reclassificado como Parque Natural (figura 1.06). Esta área é de particular importância para procriação de inúmeras espécies e aves migratórias. (Martins et al, 2015). O Parque Natural da Ria Formosa abrange 16 freguesias – total ou parcialmente – sendo estas: Almancil (parte do concelho de Loulé), Montenegro, São Pedro e Sé (pertencentes ao concelho de Faro), Fuseta, Olhão e Pechão, Quelfes e Moncaparacho (concelho de Olhão), Cabanas, Conceição, Luz, Santa Luzia, Santa Maria e Santiago (pertencentes ao concelho de Tavira) e Vila Nova de Cacela (parte do concelho de Vila Real de Santo António). (Revisão do Plano de Ordenamento do Parque da Ria Formosa, Vol I e II, 1991)



Figura 1.06: Parque Natural da Ria Formosa, fotografia de zona próxima a Fuseta. Fotografia: Julia Faracini, 2016

A Ria Formosa possui um sistema de ilhas- barreira de aproximadamente 50km de extensão, constituído por cinco destas ilhas e duas penínsulas, com faixas dunares de larguras variáveis que possuem entre 100 e 750m. As ilhas-barreiras representam um tipo de formação que possibilita e favorece trocas sedimentares, físicas, hídricas e de nutrientes entre o meio lagunar e o oceano. É possível também observar um vasto corpo lagunar, constituído por ilhotas, sapais, rasos e canais de maré. As ilhas-barreira presentes na Ria Formosa, são denominadas, de sentido oeste para este, Barreta, Culatra, Armona, Tavira e Cabanas e as penínsulas, Ancão e Cancela. Seis barras separam as ilhas e penínsulas -Ancão (ou São Luís), Faro-Olhão, Armona (ou Grande), Fuseta, Tavira e Lacém (ou Cacela). É importante mencionar que as barras de Faro-Olhão e de Tavira são artificiais e foram, desta maneira, fixadas com molhes, que por definição são estruturas costeiras semelhantes a pontões. As lagoas costeiras são protegidas pela União Europeia e leis portuguesas, e é classificada como Zona Húmida de Importância Internacional pela Convenção de Ramsar (PORTUGAL Ramsar Site 212).

Nas regiões adjacentes das ilhas barreira situa-se a maioria dos núcleos populacionais da região do Algarve, representados pelas cidades de Faro, Olhão e Tavira. (Ceia, 2007 apud Duarte *et al.*, 1999). (Revisão do Plano de Ordenamento do Parque da Ria Formosa, Vol I e II, 1991)

1.3. Caracterização da vegetação

1.3.1 A vegetação de sapal baixo

A maior parte do Parque Natural da Ria Formosa é ocupada por área lagunar e presença de vegetação adaptada a zonas húmidas salgadas. Nesta área é possível observar sapais, lodaçais e areias descobertas nas marés baixas e zonas permanentemente inundadas pelo mar. (Revisão do Plano de Ordenamento do Parque da Ria Formosa, Vol I e II, 1991)

Os sapais originam-se em zonas costeiras de águas calmas, como em estuários tranquilos e baías, onde existe influência da água doce e deposição de sedimentos, em

zonas protegidas da ação direta das correntes marítimas. (Lousã, 1986). A deposição dos detritos e sedimentos em suspensão é facilitada pelo reduzido fluxo das marés, ocasionando o surgimento de bancos de lodo que se depositam no fundo das partes cobertas com água, os quais a certa altura, oferecem substrato para a vegetação (figura 1.07).



Figura 1.07: Zona de sapal na região da Fuseta. Fotografia: Julia Faracini

Os solos dos sapais podem variar entre argiloso, em razão do depósito de cascalho, areia e lodo (nomeadamente, aluvião) depositado em águas calmas; e texturas ligeiras, relacionadas a sedimentação proveniente de águas mais agitadas (correntes fortes). Em Portugal, a maioria dos sapais apresenta solo argiloso e estão localizados em bacias de sedimentação e protegidas por cordão dunar de areais. (Costa et al.,1997)

A área correspondente a Ria Formosa é formada por sedimentos arenosos e argilosos proveniente do mar, a qual é também atravessada por uma rede de canais mais ou menos estáveis, como exemplo dos canais de Faro, Olhão e Tavira. A vegetação de sapal encontra condições para desenvolver-se nesta zona e ocupa grande parte da superfície lagunar. As plantas que vivem nos meios salgados são definidas halófitos e,

mesmo com grande quantidade de água disponível, deve-se salientar que esta é salgada, fazendo com que estas necessitem suportar concentrações de sal, durante determinados períodos, muitas vezes superiores às do próprio mar. (Costa, 2001)

Segundo Rivas-Martínez *et al* (1999), a distribuição da vegetação nas zonas de sapal está relacionada com três importantes fatores, estes são salinidade, nível de toalha freática e período de submersão. Dessa forma, a vegetação que consegue desenvolver-se neste meio apresenta adaptações específicas aos três fatores citados anteriormente. A submersão bidiária pelas marés caracteriza-se como um dos fatores que mais influenciou a distribuição das espécies de plantas na zona de sapal do parque. (Costa et al.,1997)

Os sapais estão presentes em territórios com clima mediterrânico e são constituídos principalmente de arbustos menores de dois metros (nanofanerófitos e microfanerófitos), plantas de pequeno porte (caméfitos) e algumas espécies de plantas perenes bienais, ou seja, que vivem durante períodos mais longos do que dois anos (hemicriptófitos). (Costa, 2001)

A vegetação é de grande importância no processo de sedimentação, não apenas fornecendo detritos vegetais em abundância (transportados pelas correntes das marés), como atuando na retenção destes detritos, formando uma densa “barreira” responsável por reter os sedimentos em suspensão e retardar o movimento das águas. Ela também possui importante papel no processo de maturação de sedimentos e no desenvolvimento da grande rede de canais que fazem parte do sapal. As zonas onde não existe vegetação, ou seja, onde o substrato é menos resistente, sofrem com os processos de erosão ocasionados pelas águas, formando assim uma complexa rede de canais e regueiras. Esta rede de canais é de extrema importância para os seres vivos que habitam esta área (peixes, moluscos, aves e insetos) providenciando, a estes, alimento, abrigo e oferecendo condições para a nidificação de diferentes espécies, consolidando-se, desta forma, como cadeira trófica no habitat de sapal. Nas camadas argilosas mais espessas encontradas na região do sapal, observa-se grande atividade de mariscultura, principalmente voltada para os viveiros de mariscos bivalves (figura 1.08). (Costa, 2001; Plano Setorial Rede Natural 2000, 2008)



Figura 1.08: O habitat de sapal fornece alimento e abrigo para diferentes seres vivos, entre eles, aves e moluscos. Fotografia: Julia Faracini, 2016

Além das funções mencionadas anteriormente, as plantas retiram a humidade dos bancos de lodo (denominados também como vasas), através de suas raízes, consolidando-os e, dessa forma, criando condições favoráveis para o aparecimento de outras espécies. O acúmulo de sedimentos conseqüentemente provoca a elevação do fundo do sapal, diminuindo, o tempo de submersão da vegetação naquela área, além de diminuir o teor salino. Este processo resulta em modificações graduais na vegetação, dependendo de sua localização e cota, originando desta forma a zonação do sapal. (ICNF, 2016)

Segundo Costa (2001), citando Braun-Blanquet (1979), os vegetais halófitos foram divididos em três diferentes grupos: o primeiro, nomeado halófitos obrigatórios, relativos as plantas que necessitam de sais para o seu desenvolvimento; como exemplos de espécies pertencentes a este grupo, pode-se citar o gênero *Spartina*, *Salicornia*, *Sarcocornia*, *Arthrocnemum*, *Limonium*, *Suaeda*, *Atriplex*, entre outros. O segundo grupo corresponde aos halófitos preferenciais, definição para plantas que tem preferência pela presença de sais, como *Juncus maritimus* e *Salsosa vermiculata*. O terceiro grupo é representado pelos halófitos de subsistência, que correspondem aos vegetais que toleram sais, dentre os membros deste grupo pode-se citar o *Juncus acutus* e *Phragmites australis*.

A gramínea *Spartina maritima* atua como planta pioneira do sapal, estabelecendo-se em terrenos de altitudes muito baixas e suportando períodos submersos e de anaerobiose os quais a maioria das plantas não encontra condições favoráveis para o desenvolvimento. Este tipo de vegetação da origem aos extensos “prados” de coloração verde escuro observados no sapal baixo. (Instituto de Conservação da Natureza e da Floresta, 2016)

Grande parte dos terrenos observados nas zonas de sapal possuem cota inferior a 2,5m e diariamente são submersos pelas marés (figura 1.09). É possível encontrar nestas áreas bancos de areia e lamas imaturas, pouca ou nenhuma vegetação, com exceção das pioneiras *Spartina marítima* e de *Zostera noltii*, que formam extensos tufos verdes ao longo do sapal. Entre os 2,5 e 3 metros ainda é possível observar as comunidades de *Spartina*, além de encontrar em abundância *Puccinellia convoluta*, *Sarcocornia perennis* ssp., e *Limonium vulgare*. (Revisão do Plano de Ordenamento do Parque da Ria Formosa, Vol I e II, 1991)

1.3.2 A vegetação de sapal médio e alto

O denominado sapal alto geralmente possui cotas superiores a 3 metros, ultrapassada pelas marés em torno de 200 dias por ano, e maior riqueza na diversidade da vegetação. Os sapais argilosos não ultrapassam da cota de 3,4m e; acima deste valor, observam-se terrenos arenosos. Nas zonas mais baixas é possível observar espécies como *Sarcocornia perennis* ssp. *alpini*, *S. fruticosa*, *Halimione portulacoides*, *Puccinellia foucaudii* e, enquanto nas partes mais altas (solos mais arenosos), encontram-se espécies como *Limonium monopetalum*, *Limonium ferulaceum*, *L. diffusum* e *L. algarvense*. As áreas mais altas do sapal, entretanto, apresentam maior concentração de sais em comparação as mais baixas, isto ocorre em razão da distância ao plano de água. (Costa et al, 1997)

No sapal alto encontra-se a chamada *Limonium monopetalum*, uma planta exótica, com aspecto de arbusto e possuidora de belíssimas flores reunidas em espiga na cor lilás. Também pode-se citar a *Cistanche phelypaea*, com suas flores de cor amarelo intenso e encontrada apenas em algumas regiões específicas, como sul de Portugal,

Espanha e na ilha de Creta (Grécia). (Instituto de Conservação da Natureza e da Floresta, 2016)

Alguns autores, como Costa, mencionam um terceiro nível de sapal, o sapal médio; apesar de que a literatura inglesa aponta diferenças apenas entre sapal baixo e sapal alto. O sapal médio pode ser observado dependendo da faixa de vegetação que se encontra na zona de sapal, porém nem sempre é possível fazer esta distinção já que esta depende muitas vezes do estado de conservação do sapal em questão e sua morfologia.



Figura 1.09: Sapal baixo, médio e alto na região da Fuseta. Fotografia: Julia Faracini, 2016

No denominado sapal médio pode-se observar plantas como a *Sarcocornia fruticosae*, *Arthrocnemum macrostachyum* e *Suaeda vera*. Quando as condições são mais favoráveis ao desenvolvimento de um número maior de diferentes espécies de plantas, seguramente, a composição florística será mais variada (Figura 1.10). Nos solos mais firmes e arejados, pode-se observar espécies como *Halimione portulacoides*, enquanto que, em um solo mais argiloso ou arenoso, desenvolvem-se espécies como *Salsola vermiculata*, entre outras. (ICNF, 2016)



Figura 1.10: Zonação do sapal: do sapal baixo ao sapal médio, alto e de transição.
Fotografia: Julia Faracini, 2016

Segundo Costa (1997), ainda relativo as diferenças da vegetação na região dos sapais, as espécies presentes no sapal baixo (*exemplo: Spartinetum maritima*, *Sarcocornio perennis-Puccinellietum convoluta*) não suportam variações bruscas de profundidade e estão adaptadas a quantidades de salinidade mais ou menos constantes, enquanto que, as espécies de plantas presentes no sapal alto (*Inulo crithmoidis-Arthrocnemetum glauci*, *Cistancho phelypaeae-Suaedetum verae* e *Polygono equisetiformis-Limoniastretum monopetali*), apresentam maior tolerância as variações de profundidade e de salinidade que podem ocorrer ao longo do ano.

O sapal de transição (ou ecótono de sapal) corresponde ao fim da zona de sapal, ou seja, ao limite superior do sapal alto e transição para as dunas, composto por vegetação arbustiva-arbóreas, ocupando zonas superiores a 3,75m, onde este já não é atingidos pelas marés (Figura 1.11). (Costa, 2001)

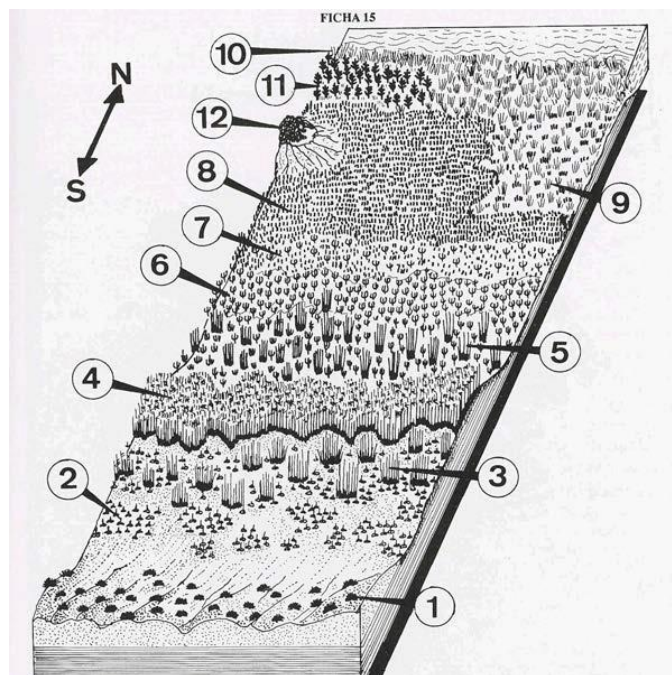


Figura 1.11– Esquema da vegetação de sapal presente na ilha de Tavira que se encontra voltada para a ria (retirado de Rivas-Martínez *et al.*, 1990). 1: Matorrais caméfitos de dunas fixas (comunidades de *Helichrysum*); 2, 3: Matorrais de *Limoniastrum monopetalum* com ou sem juncos (*Polygono equisetiformis-Limoniastrum monopetalum*); 4: Junciais halófilos (*Arthrocnemo macrostachyi-Juncetum subulati*); 5,6: Comunidades de *Sarcocornia alpini* com ou sem juncos (*Halimiono-Sarcocornietum alpini*); 7,8: Comunidades de *Sarcocornia perennis* das vertentes ligeiramente encharcadas pela preia-mar (*Puccinellio maritimae-Sarcocornietum perennis*); 9,10: Prados de *Spartina maritima* sobre as vertentes encharcadas durante a preia-mar; 11: Comunidades de *Sarcocornia fruticosa* sobre solos sempre húmidos em profundidade; 12: Comunidades de *Suaeda vera* dos solos removidos e relativamente elevados dos salgados (*Cistancho phelypaeae-Suaedetum verae*).

1.3.3 A vegetação presente nas dunas

A vegetação no Parque Natural da Ria Formosa classifica-se essencialmente em dois tipos: halofítica (plantas terrestres adaptadas para viverem próximas ao mar e tolerantes a salinidade), presentes nas zonas de sapal, e psamofítica (vegetais que habitam solos arenosos), nas dunas. (Costa, 1997)

As plantas adaptadas as condições adversas típicas das zonas de dunas desenvolveram adaptações para impedir as perdas de água, sobrevivendo a dessecação – causada principalmente pelo alto teor de transpiração da planta - e ao soterramento –

devido as mudanças de maré juntamente com os ventos vindos do mar, que também transportam a areia da praia para o interior. Segundo Costa (1997), citando Géhu (1985), a vegetação caracteriza-se como um fator importante na formação das dunas, onde estas são formadas atrás de barreiras, geralmente vegetais (exemplo do *Elymus farctus*), fazendo com que as areias transportadas pelo vento se acumulem em áreas próximas as estas barreiras (figura 1.12).



Figura 1.12: Vegetação presente nas dunas, com Estorno (esquerda) e Cordeirinhos-da-praia (direita), retirado de: Instituto de Conservação da Natureza e da Floresta, disponível em <http://www.icnf.pt> ; Fotografia: Cristina Girão Vieira

O vento dominante é um dos fatores mais importantes em relação a distribuição das espécies vegetais na zona de dunas do Parque Nacional da Ria Formosa, onde predominam os ventos de barlavento a oeste de Faro e ventos de barlavento, quentes e secos, a leste (Costa, 1992). Devido ao movimento dos ventos, as areias são arrastadas para o interior, e a vegetação, nesta área, encontra-se distribuída espaçadamente (Figuras 1.13 e 1.14).

O local o qual as areias são transportadas apresenta condições mais favoráveis ao desenvolvimento da vegetação, entre elas: menor impacto da ação dos ventos e menor concentração de sais. Plantas como *Ammophila arenaria* (estorno), *Otanthus maritimus* (cordeirinhos-da-praia), *Euphorbia paralias* (morganheira-das-praias) e *Elymus farctus*, entre outras espécies, são conhecidas por edificarem dunas; dessa forma, quanto maior e mais abrangente a duna, maior será sua composição florística e variedade de espécies. Dentre as espécies encontradas nas zonas dunares, é possível observar uma espécie endêmica portuguesa denominada *Thymus carnosus*, o qual possui um formato arbustivo, coloração verde escura e aroma similar ao da lavanda, encontrado apenas nas regiões do

Algarve e do Alentejo. (Revisão do Plano de Ordenamento do Parque da Ria Formosa, Vol I e II, 1991)



Figura 1.13 (esquerda) e 1.14 (direita): Respectivamente, *Thymus carnosus*, retirado de www.flora-on.pt, fotógrafa: Ana Julia Pereira, e vegetação dunar, disponível em: <http://jra.abae.pt/>, (fotografo não identificado)

As dunas caracterizam-se como estruturas instáveis devido a sua dinâmica geomorfológica e condições de formação em um meio complexo, e, pode-se dizer, precário. Sua localização e, conseqüentemente proximidade ao mar age como fator seletivo no crescimento e instalação da vegetação nesta zona. (Costa, 1991)

As dunas embrionárias correspondem as primeiras elevações dunares entre a praia e as dunas, onde há uma maior acumulação de areia e estão mais sujeitas a ação das águas pluviais. Estas são as que sofrem maior influência do mar e possuem maior movimentação do solo, em razão de sua localização. Segundo Costa (1991), essa formação encontra-se bastante destruída no Parque Natural da Ria Formosa devido a erosão, porém a comunidade de *Elymus farctus* apresenta grande capacidade de recuperação. Neste tipo de dunas é possível observar a vegetação composta por um específico tipo de gramínea *Elymus farctus* ssp. *Boreoatlanticus*, pertencente a associação *Euphorbio paraliae-Agropyretum junceiformis*, caracterizada como uma comunidade psamofílica, podendo também, ser observada virada para o sapal, em algumas ilhas barreira e ilhas arenosas

interiores. Este tipo de vegetação pode ser observado nas costas europeias banhadas pelo oceano Atlântico. (Costa, 1997)

Na porção mais adiante das dunas embrionárias, onde a influência da salinidade é menor, surgem as dunas primárias (também chamadas dunas brancas) e com elas as comunidades de *Ammophila arenaria*, pertencente a associação *Loto cretici-Ammophiletum australis* - importantes para a estabilização das dunas pois abrandam o vento e permitem a deposição de areia ao seu redor. Este tipo de duna forma uma crista contínua ao longo da praia e apresenta diferenças dependendo de acordo com seu lado: com a face ao oceano, observa-se a ocorrência de espécies como *Otanthus maritimus*, *Lotus creticus* e *Calystegia soldanella*, e com a face virada ao interior predomina-se espécies *Crucianella maritima* e *Thymus carnosus*. Do litoral ao interior é possível observar-se uma maior riqueza florística e diversidade da vegetação. (Revisão do Plano de Ordenamento do Parque da Ria Formosa, Vol I e II, 1991)

A parte mais baixa da duna, denominada interdunar, possui areias fixadas que favorecem o aparecimento de vegetações de menor tamanho possuidoras de raízes mais curtas e folhas pequenas que se espalham por toda esta área, por exemplo *Ononis variegata*, *Medicago littoralis*, *Paronychia argentea* (erva-prata ou erva-dos-unheiros) e, observada apenas na região do Algarve, a *Hypocoum procumbens*. No topo da duna é possível encontrar espécies como o *Eryngium maritimum* (o cardo-marítimo ou rolador), *Calystegia soldanella* (soldanela ou couve marinha), *Pancratium maritimum* (o narciso-das-areias), *Lotus creticus*, *Crucianella marítima* (a granza-da-praia), e a *Ammophila arenaria* (estorno) a qual abrange diferentes zonas em maior ou menor densidade, não apenas o topo das dunas. A face interior da duna apresenta um terreno melhor fixado – em comparação com o topo – e conseqüentemente diferentes espécies de plantas que habitam solos arenosos, dentre elas, *Reichardia gaditana* ou *Silene niceensis*, *Anthemis maritima*, *Corynephorus canescens*, a *Artemisia campestris ssp marítima* (madorneira), *Linaria polygalifolia ssp lamarckii* e *L. pedunculata*. (Costa et al, 1997; Revisão do Plano de Ordenamento do Parque da Ria Formosa, Vol I e II, 1991)

Assim como as dunas embrionárias, as dunas primárias apresentam sinais de deterioração ao longo do Parque Natural da Ria Formosa e, em razão de sua localização

– zona de transição entre dunas embrionárias e dunas cinzentas – pode ser difícil identificação e delimitação cartográfica. (Costa et al. 1997).



Figura 1.15: Duna cinzenta, retirado de Plano Setorial da Rede Natura 2000, Fotografia: C. Neto

As dunas interiores, podem ser denominadas como dunas cinzentas (figura 1.15), fixas ou semifixas e entendem-se da parte de trás das cristas dunares (das penínsulas e ilhas barreiras) até o sapal. É possível observar comunidades de plantas de pequeno porte com folhas rígidas e suculentas. (Costa et al. 1997).

As espécies encontradas nesta zona pertencem a comunidade *Artemisia crithmifoliae-Armerietum pungentis* e as espécies com maior representação são: *Helichrysum italicum* var. *picardii*, a *Artemisia crithmifolia* e a *Armeria pungens*. Nas partes leste e oeste do parque, encontra-se uma vegetação com formato de arbusto denominada *Juniperus turbinata* (vulgarmente conhecida como sabina-da-praia). Nestas zonas, devido a distância considerável do mar, há menor influência da salinidade e, conseqüentemente, maior variedade florística ocupando, muitas vezes, extensas áreas. (Costa, 1991)

Observa-se, desta maneira, que a há grande pobreza florística junto a costa, bem como um ambiente de xerofitismo marcado principalmente pela alta permeabilidade do solo. Fatores como fortes ventos, transporte de partículas de sal, altos índices de luminosidade e elevada amplitude térmica dificultam o surgimento de plantas não adaptadas fisicamente a estas condições. Entretanto, na região de transição entre o sapal

alto e as dunas, a salinidade apresenta valores mais baixos em comparação as outras áreas. Entretanto, mesmo com a diminuição da influência da salinidade, a ação direta dos ventos continua e impede a presença de bosques de quercíneas (pinheiros, castanheiros e faias, por exemplo) nestas localidades, os quais representam a etapa mais evoluída relativa ao sistema de vegetação das praias e dunas. Assim como as formações dunares anteriores, esta sofre ameaça constante de destruição não apenas no parque, como em todo o território nacional. (Costa 1991, 1997)

1.4 Detecção Remota

Na década de 80, a American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) define formalmente o sensoriamento remoto como “A medição ou aquisição de informação de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo que não está em contato físico ou íntimo com o objeto ou fenômeno sob estudo.”

A ASPRS adotou em 1988 uma definição combinada de fotogrametria e sensoriamento remoto a qual define ambos como “A arte, ciência e tecnologia de obter informações confiáveis sobre objetos físicos e o meio ambiente através dos processos de gravação, medição e interpretação de imagens e representações digitais de padrões de energia derivados de sistemas de sensores sem contato.” (Bossler et al. 2010)

Meneses (2011) define sensoriamento remoto como: ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. O sensoriamento remoto caracteriza-se como uma das mais importantes tecnologias relacionadas a coleta automática dados, com finalidade de levantamento e monitoração dos recursos terrestres em grande escala.

Atualmente, o uso de imagens de satélite tem aumentado consideravelmente e estas são utilizadas para diferentes propósitos. Geralmente a contribuição destas imagens está relacionada com a espacialização de locais específicos, como grandes áreas. Porém para conseguir os resultados almejados é necessário o uso de métodos científicos e

pesquisas com o objetivo de verificar a consistência dos resultados e existência de relações entre os fatores de interesse e os dados orbitais, a exemplo das imagens de satélite. (Kulawardhana et al., 2008; Rodrigues, 2010)

O avanço da tecnologia proporcionou exponencial melhoria nos sensores capazes de fornecer imagens com resolução espectral de centenas de bandas e resolução espacial muitas vezes menores de que 1 metro, com capacidade de obter imagens da Terra de forma sistemática e contínua, em um curto espaço de tempo, que possibilitam detectar e monitorar eventos e mudanças na superfície terrestre. Dessa forma, as imagens de satélite tornaram-se a ferramenta mais eficiente no processo de análise de eventos e fenômenos ambientais. Este acelerado avanço em um curto espaço de tempo é devido principalmente a revolução nos meios de se observar e obter informações relativas a Terra em grande escala, bem como a rapidez e eficiência da monitoração de fenômenos dinâmicos. (Meneses, 2011)

Os sensores remotos estão presentes em satélites ou mesmo acoplados em aeronaves e coletam informação através da energia que é refletida pelo planeta. Estes sensores estão classificados em dois diferentes tipos: passivos e ativos. Os sensores passivos basicamente respondem a estímulos externos, ou seja, eles registram a energia natural refletida ou emitida proveniente da superfície da Terra (Figura 1.16). A luz solar refletida caracteriza a fonte mais comum de radiação detectada por este tipo de sensores. Os sensores ativos, obviamente, agem de maneira diferente, utilizando estímulos internos responsáveis pela coleta de informações. Como exemplo de sensores ativos, pode-se observar o sistema de sensoriamento remoto por laser, onde este projeta um laser na superfície da Terra e mensura o tempo o qual este laser leva para refletir e alcançar novamente o sensor. Em 1972, a 919km de altura foi lançado o primeiro satélite de sensoriamento remoto pelos Estados Unidos: o ERST-1, posteriormente renomeado para Landsat-1. (Meneses, 2011; NOAA, 2017)

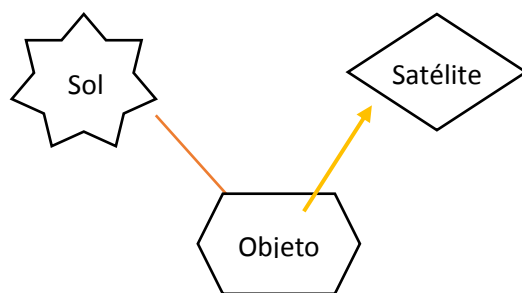


Figura 1.16: Esquema simplificado de sensoriamento remoto passivo. Adaptado de Meneses 2011.

O sensoriamento remoto destaca-se pela sua versatilidade e encontra-se presente em diferentes campos da ciência, possuindo uma vasta gama de aplicações (Kulawardhana et al., 2008, Meneses, 2011; NOAA, 2017). Dentre elas:

- Aplicações costeiras: Mapear as características costeiras, monitorando as linhas de costa e transporte de sedimentos. Os dados obtidos por sensoriamento remoto podem ser utilizados no mapeamento costeiro, bem como em estudos para prevenção de erosão.
- Aplicações oceânicas: Monitoramento da circulação oceânica, temperatura do oceano, altura das ondas e gelo marinho. Estas informações podem ser utilizadas para compreensão dos processos oceânicos e gerenciamento de seus recursos naturais.
- Estudos de risco e de periculosidade: Monitoramento de desastres (furacões, terremotos, erosão e inundações), onde os dados obtidos podem ser utilizados para avaliar os impactos de catástrofes naturais e desenvolvimento de estratégias relativas a prevenção e gestão, importantes tanto anteriormente quanto posteriormente a um desastre natural.
- Gestão de recursos naturais: Monitoramento do uso do solo, análise de crescimento urbano, mapeamento das zonas húmidas, monitoração de desmatamentos florestais e delimitação de parques naturais, caracterizam-se como exemplos do que pode ser realizado através das informações obtidas através do sensoriamento remoto.

- Produtividade agrícola: Previsão de safra, monitoramento de culturas em média e grande escala.
- Outros: Cadastramento multifinalitários, cartografia de precisão, defesa e vigilância.

Nos próximos parágrafos será abordado com maiores detalhes o sensoriamento remoto para o estudo da vegetação, suas aplicações e vantagens em relação aos métodos de amostragem direta, entre outros.

Grande parte da superfície do planeta está coberta por diferentes tipos de vegetação e esta desempenha importantes funções como regulação da temperatura e absorção de CO₂ e caracteriza-se como constante alvo de interesse de cientistas e pesquisadores. Através do sensoriamento remoto é possível conseguir informações relativas a vegetação devido a sua particular maneira de refletir a energia eletromagnética incidente. (CORDIS, 2017)

Segundo Ponzoni e Shimabukuru (2007) é importante perceber que além dos termos geralmente associados ao sensoriamento remoto, como distância e contado físico, outros conceitos estão envolvidos, como a radiação eletromagnética, fundamental para estudos relativos ao sensoriamento remoto, especialmente quando estes estão relacionados com a vegetação. Recursos naturais, solo, corpos d'água e a própria vegetação representam diferentes tipos de objetos, também denominados "alvos", os quais são capazes de fornecer diversos tipos de informação de acordo com a natureza do estudo pretendido.

1.4.1 . Monitorização da vegetação

As folhas caracterizam-se como meio responsável por possibilitar a interação da radiação eletromagnética em relação a vegetação. O processo de absorção de radiação eletromagnética pelas folhas é viabilizado através de pigmentos fotossintetizantes (clorofilas, xantofilas e carotenos) e ocorre apenas na região do visível, ou seja, de 0,40

a $0,72 \mu\text{m}$. O processo de integração entre a radiação eletromagnética e qualquer tipo de objeto dá-se através dos fenômenos de reflexão, transmissão e absorção, os quais são dependentes dos fatores químicos e estruturais como presença de pigmentos fotossintetizantes e a própria organização das estruturas presentes na folha (Figura 1.17). Em suma, o comportamento espectral da vegetação é proporcionado basicamente devido a estes três fenômenos. (Meneses, 2011; Ponzoni e Shimabukuru, 2007)

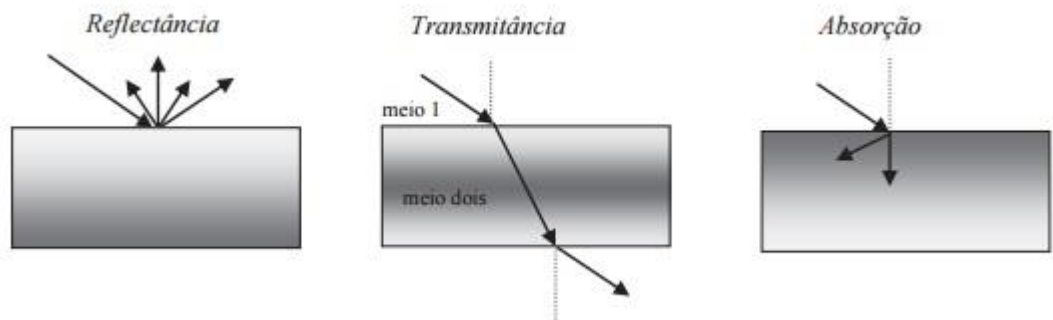


Figura 1.17: Processos de interação da radiação eletromagnética e os objetos. Retirado de Meneses, 2011

As folhas são constituídas por diferentes partes: a face central caracteriza a parte da folha voltada para cima, portanto, a que recebe maior quantidade de radiação eletromagnética proveniente do Sol. Nesta face estão presentes estruturas responsáveis pela proteção da folha, como pêlos e cutícula. A superfície superior da folha é formada por uma fina camada de células denominada epiderme superior. Abaixo da epiderme existem duas camadas de células. A parte superior caracteriza o mesófilo paliçádico e é constituída por células alongadas dispostas de forma vertical. Nesta camada encontra-se a maior parte de clorofila - proteína responsável pela captura da energia solar e fundamental para o processo de fotossíntese. A camada inferior é denominada mesófilo esponjoso, a qual apresenta células dispostas de forma irregular, com espaços de ar entre elas que permitem a circulação dos gases dos processos de respiração e transpiração. Por último encontra-se a epiderme inferior, com uma quantidade maior de estômatos em relação a face ventral, e novamente cutícula (Figura 1.18). (CORDIS, 2017, Ponzoni e Shimabukuru, 2007)

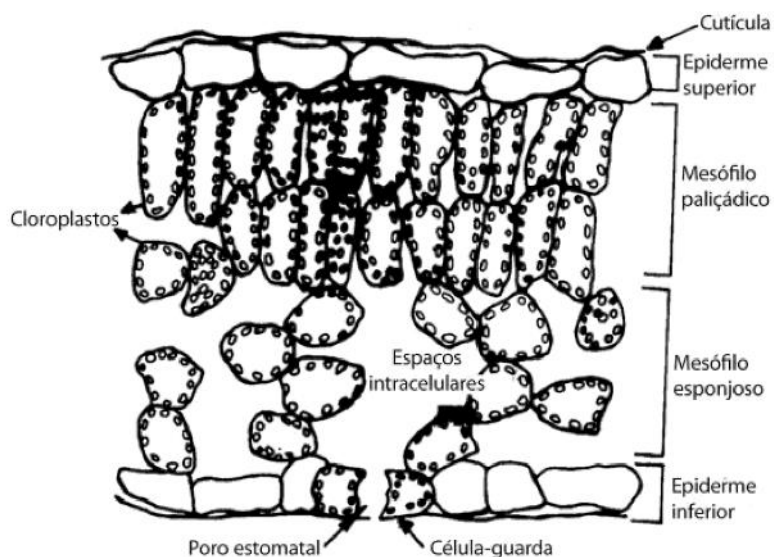


Figura 1.18: Secção transversal de uma folha. Retirado de Ponzoni & Shimabukuro 2007 Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.

O mesófilo paliçádico contém outros pigmentos, além da clorofila, tais como carotenoides, antocianinas e outros, também responsáveis pela absorção da luz. Através destes pigmentos, a maior parte da energia eletromagnética é absorvida, principalmente na região das cores azul e vermelho (comprimento de onda entre 0,43 e 0,66 μm e 0,45 a 0,65 μm). A absorção nas regiões verdes é ligeiramente mais fraca, razão pela qual observamos a vegetação na cor verde. (CORDIS, 2017, Bossler et al. 2010)

Dessa forma, pouca quantidade de energia não é absorvida pela folha e, conseqüentemente, refletida de volta para o céu. Entretanto, a energia do infravermelho próximo (NIR, em inglês) não é afetada por estes pigmentos e penetra o mesófilo paliçádico, atingindo o mesófilo esponjoso, o qual, devido a presença de espaços aéreos internos, provoca a refração da energia NIR em diferentes direções.

Como resultado deste processo, metade da energia liberada pela folha provém da epiderme inferior enquanto a outra metade corresponde a epiderme superior. Sendo assim, os sensores remotos registram um sinal bastante fraco nas regiões do azul e do vermelho, ligeiramente mais forte no verde e forte na região do infravermelho próximo.

A assinatura espectral da vegetação corresponde ao conjunto de características únicas da maioria dos tipos de vegetação relativas a combinação de baixa refletância na região do visível e alta refletância de infravermelho próximo. (CORDIS, 2017)

É possível visualizar esta diferença a partir do gráfico (Figura 1.19) de refletância por comprimento de onda:

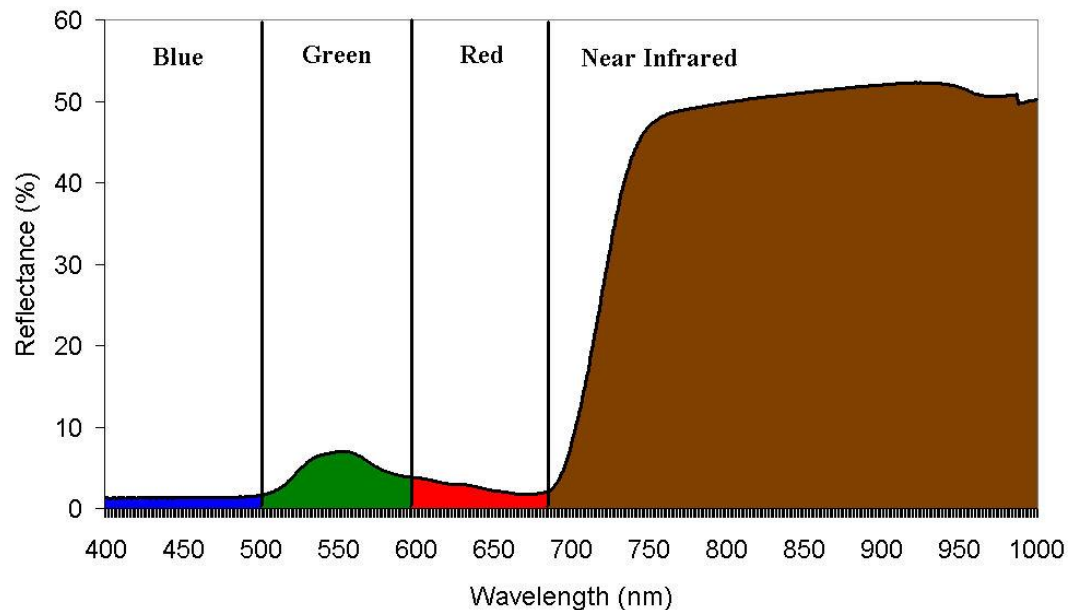


Figura 1.19: Assinatura espectral de vegetação. A vegetação tem baixa refletância na região do visível e alta refletância no infravermelho próximo. Figura retirada e disponível em: <http://www.seos-project.eu>, 2017.

Segundo Ponzoni & Shimabukuro (2007) o comportamento espectral da vegetação pode ser observado em três regiões do espectro eletromagnético, sendo elas: o visível ($0,4 \mu\text{m} - 0,72 \mu\text{m}$), o infravermelho próximo ($0,72 \mu\text{m} - 1,1 \mu\text{m}$) e o infravermelho médio ($1,1 \mu\text{m} - 2,5 \mu\text{m}$). É importante observar que diferentes “alvos”, como o solo e a água, apresentam valores de refletância distintos, tanto na região do visível quanto na do infravermelho. (Figura 1.20)

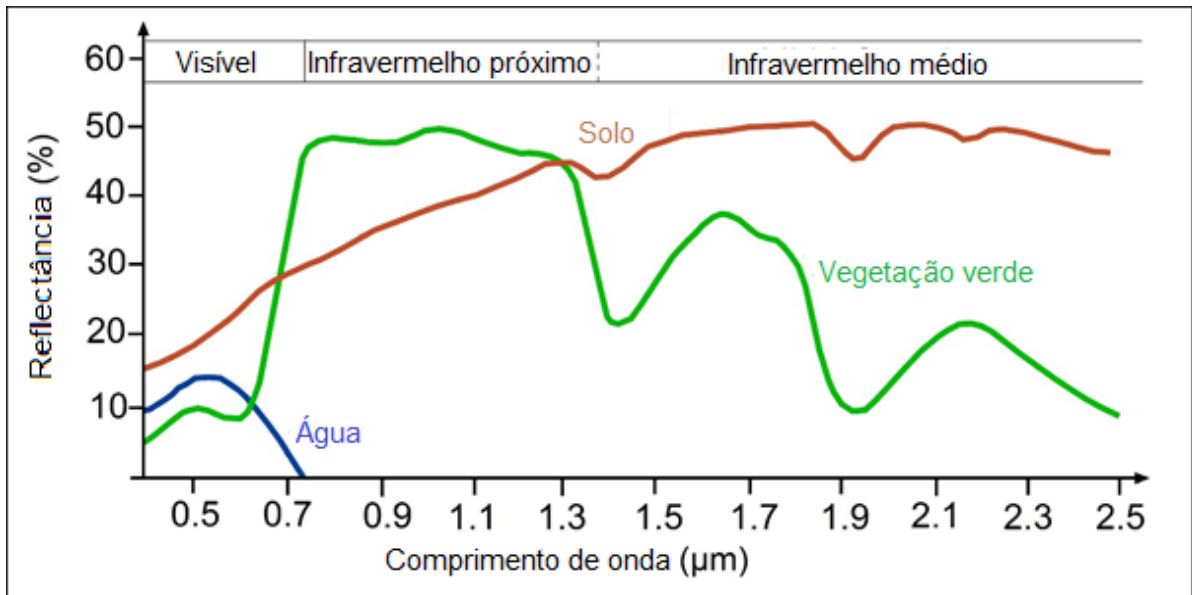


Figura 1.20: Reflectância da água, solo e vegetação verde em diferentes comprimentos de onda. Retirado de <http://www.seos-project.eu/modules/classification/classification-c00-p05.html>, acessado em 02 de abril de 2017)

Salienta-se que o comportamento espectral da vegetação apresenta variações de acordo com seu ciclo vegetativo, entre outros fatores, como diferentes tipos de espécies de plantas (ou cultivo), estrutura do dossel, quantidade e orientação das folhas, transmitância da folha, tipo de substrato (principalmente quando a vegetação se encontra dispersa em determinada área) e ângulo de visada dos sensores dos satélites e do sol.

Certamente as variações entre os diferentes tipos de estruturas de folhas devem ser consideradas, até mesmo a diferença entre folhas de uma planta de uma mesma espécie porem expostas a diferentes meios podem apresentar resultados distintos. O que deve ser considerado relevante é a capacidade da folha como meio pelo qual a radiação eletromagnética trafega.

De acordo com Vieira et al. (2010), em torno de 95% da energia que atingem as folhas, 60% constituem as radiações não absorvidas, 8% são perdidas na forma de calor e 19% usados no metabolismo.

O sensoriamento remoto utilizado no estudo da vegetação também possibilita o cálculo de estimativas de desflorestamento e de índices de vegetação através da análise

de imagens de satélite, principalmente em regiões mais remotas e de difícil acesso em todo o mundo. Outros exemplos podem ser observados no caso de estudos relacionais a fisiologia vegetal, como a quantificação de taxas de absorção de radiação nas plantas, ou no campo de estudo da engenharia agrônômica, relacionada ao desenvolvimento e produtividade de variadas culturas vegetais. Para estes e outros tipos de estudo torna-se necessário compreender o processo de interação entre a radiação eletromagnética e os diferentes tipos de dosséis (definição utilizada para caracterizar um conjunto de plantas de uma mesma fisionomia). (Meneses, 2011, Ponzoni e Shimabukuru, 2007)

Os índices de vegetação são definidos por operações algébricas entre duas ou mais faixas espectrais (bandas) e valores de reflectância, com o objetivo de obter maiores informações relativas a vegetação, minimizando os efeitos do ambiente, e utilizado para evitar o processo de amostragem direta em determinada área ou cultura. (Jackson & Huete, 1991).

Observa-se interesse crescente em sistemas especializados com o objetivo de gerenciar recursos florestais e agrícolas. Estes sistemas são denominados agricultura de precisão e possuem como função principal o aumento da produtividade, otimização dos lucros e proteção ao meio ambiente, através de processos que auxiliam na avaliação das condições gerais de diferentes culturas. Dessa forma cria-se a necessidade de aprimoramento das técnicas de sensoriamento remoto com o objetivo de fornecer dados e informações precisas para estes estudos, devido a sua capacidade de auxiliar na medição de parâmetros biofísicos e sua variabilidade temporal e espacial. (Brandão; Bezerra; Silva, 2007 apud Moran et al., 1997; Daughtry et al., 2000)

1.5 Objetivos

Estudos recentes identificam os métodos de detecção remota como uma alternativa eficiente para a realização de cálculos relativos à medição de carbono em relação à amostragem direta-destrutiva de derrubada de vegetação (Cerqueira e Rocha, 2007).

Índices espectrais são um importante método para extrair informações a partir de dados de detecção remota, pois os índices reduzem, sem eliminar, os efeitos de solos, de topografia e ângulo de visão (Hunt, 2013).

A metodologia de Rahman et al (2000) para cálculo de fluxo de dióxido de carbono (CO₂), um dos gases de efeito de estufa mais importante, através dos índices de vegetação ‘Índice de Vegetação Fotossintético’ (PRI) e ‘Índice de Vegetação de Diferença Normalizada’ (NDVI) tem sido utilizada como referência para diversos estudos desde a época de sua publicação, como pode-se observar em Baptista (2013); Coltri et al (2009); Schmidt (2003); Cerqueira & Rocha (2007), dentre outros. Posteriormente buscou-se correlacionar o índice CO₂flux proposto por Rahman com os dados de Gross Primary Production (GPP), disponíveis no conjunto de imagens MODIS.

As zonas costeiras têm sido, desde sempre, pólos de desenvolvimento da atividade humana. Entretanto estas áreas húmidas têm sido muitas vezes utilizadas de forma incorreta e abusiva, resultando em uma progressiva destruição, causada principalmente por meio de estruturas comerciais e turísticas. O sistema lagunar da Ria Formosa, enquanto ambiente internacionalmente reconhecido pela sua importância ecológica, deve ser gerido em equilíbrio com desenvolvimento regional social e económico. (Marcelo & Fonseca, 1998; Guimarães et al, 2012; Ceia, 2007). Neste sentido, a vegetação da Ria desempenha um papel importante na formação das dunas, maturação de sedimentos e desenvolvimento da rede de canais que sulcam o sapal. (Costa et al, 1997; Costa, 2001).

Com as atuais preocupações com as Alterações Climáticas e a necessidade de monitorização de sequestro de carbono, os estudos de preservação vegetal para este fim são cada vez mais importantes (Pinheiro et al, 2014). Para este estudo, acredita-se que a Ria Formosa é uma região com potencial para significativa capacidade de armazenamento de CO₂, e a constante monitorização desta área é fundamental.

Este estudo tem como principal objetivo a delimitação de diferentes tipos de vegetação e cálculo dos índices de vegetação e fluxo de CO₂ na região da Ria Formosa, considerando a evolução temporal da área de estudo. O processo será realizado através de técnicas de detecção remota em conjunto com trabalho de campo.

2. Metodologia

2.1 Descrição da área de estudo

Devido à grande extensão da Ria Formosa, uma área de menor tamanho foi selecionada para fazer a calibração entre o tipo de vegetação e a análise das imagens Landsat. A extensão da área de estudo corresponde a um polígono de área de aproximadamente 0.2 km².

Esta área abrange uma parte da zona da Fuseta, pertencente ao concelho de Olhão, na qual é possível observar importante e variada vegetação presente ao longo de toda Ria Formosa, deste do sapal baixa ao sapal alto e à vegetação dunar.

A área escolhida para o trabalho de campo encontra-se na zona da Fuseta, com coordenadas 37°03'02.7"N e 7°44'54.5"O. Para justificar a escolha desta área foram levados em consideração os seguintes fatores:

- a) Distância significativa de áreas residências, industriais e do aeroporto de Faro.
- b) Facilidade de acesso com veículo, ou seja, proximidade a estradas.
- c) Presença aparente de diferentes tipos de vegetação nas zonas de transição - observada através do Google Earth.
- d) Presença de dunas e de áreas submersas pelas marés- também observada através do Google Earth.
- e) Grande contraste entre os elementos presentes nesta área, entre eles, praia, zona urbana, sapal, entre outros, o que torna a área interessante para análise com os softwares para processamento de imagens (exemplo: ArcGIS, Idrisi, entre outros)

2.2 Seleção e processamento das imagens de satélite Landsat

Todas as imagens Landsat utilizadas neste trabalho foram retiradas do website: <http://earthexplorer.usgs.gov/> de maneira gratuita. A primeira filtragem consistiu em analisar manualmente todas as imagens disponíveis para região da Ria Formosa de tipo LANDSAT L8 OLI/TIRS (mais recente) para verificar se a mesma não se encontrava bloqueada por nuvens ou outro e qualquer tipo de ruído. Assim foram selecionadas 6 imagens em total, uma correspondente ao ano de 2013, uma de 2014, uma de 2015 e três referentes ao ano de 2016. As 3 imagens de 2016 foram selecionadas intencionalmente com 3 níveis de maré bastante distintos: 2.77m (a), 1.44m(b) e 0.87m (c) para fins de comparação (Tabela 2.01). A imagem de 2016 com nível de mare de 0.87m foi utilizada posteriormente para os cálculos NDVI, PRI, sPRI e CO_2flux . Esta imagem foi selecionada pela sua similaridade de valor de maré com a o nível de mare do ortofotomosaico (0,96m).

Através do software WTides foi possível observar a altura e alcance da maré para o dia e horário de cada imagem Landsat. As informações utilizadas para este procedimento foram retiradas dos arquivos metadata de cada imagem. Os resultados obtidos pelo software foram comparados com a tabela de marés do Instituto Hidrográfico da Marinha de Portugal, apresentando margem de erro de aproximadamente 2 centímetros.

Assim, dentro das imagens selecionadas, pode-se se observar que a imagem com valor de maior nível de maré corresponde ao ano de 2016 com 2.77m, e a de menor nível de maré é pertencente ao ano de 2013, com 0.68cm

Tabela 2.01: Lista de todas as imagens Landsat utilizadas no presente trabalho, contendo ano de obtenção e nível de maré de acordo com o software WTides

<i>Imagens Landsat (anos)</i>	<i>Nível de maré (m)</i>
2013	0.68
2014	0.69
2015	0.85
2016 (1)	2.77
2016 (2)	1.44
2016 (3)	0.87

2.2.1 Imagem Landsat

Para o presente trabalho, foram utilizadas imagens de satélite Landsat -8 (Figura 2.01) em conjunto de imagens geradas a partir de fotografias aéreas (adquiridas através do drone durante o trabalho de campo na região da Fuseta). Iniciado em 1972, o Landsat foi criado a partir de uma iniciativa conjunta entre o serviço de Pesquisa Geológica dos Estados Unidos (USGS) e a Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) e representa a mais vasta coleção de dados de sensoriamento remoto de resolução moderada existente e acessível. As informações e imagens obtidas através do satélite fornecem dados para instituições governamentais, educacionais, militares, comerciais e empresas privadas não apenas nos Estados Unidos, mas em todo o mundo.



Figura 2.01: Imagem Landsat-8 onde é possível observar a área de estudo (Ria Formosa).
Fonte : U.S. Geological Survey, 2016

Precisamente 44 anos depois do primeiro lançamento e com milhares de imagens disponíveis online, o Landsat tem se mostrado uma fonte de material indispensável para profissionais das mais diversas áreas do conhecimento que vão desde ciências agrárias, geologia, silvicultura, gestão, planejamento regional, e educação. As imagens Landsat são também indispensáveis à investigação, nomeadamente na análise de desastres naturais em grande escala, entre outros estudos de riscos.

Em 11 de fevereiro de 2013 o Landsat-8 foi lançado como Missão de Continuidade de Dados do Landsat (LDCM, em inglês) com o objetivo de continuar captando imagens e dados de alta qualidade que atendam, principalmente, às necessidades científicas e operacionais da NASA, USGS e todos os outros possíveis usuários destes materiais. Em maio do mesmo ano os dados obtidos através do satélite Landsat-8 tornaram-se disponíveis. (Alvarenga, 2014; U.S. Geological Survey, 2016)

Como o Landsat-8 entrou em operação em 2013, as imagens disponíveis em seu acervo datam a partir do segundo semestre deste ano. O satélite captura imagens de todo o globo a cada 16 dias com um deslocamento de 8 dias do Landsat 7, tornando-as

disponíveis dentro de 24 horas após o recebimento dos dados. O tamanho aproximado de cada imagem é de 170 km ao norte-sul por 183 km a leste-oeste. Este tipo de material é fornecido de forma gratuita e online através do Earth Explorer, GloVis e Landsat Look Viewer. (U.S. Geological Survey, 2016)

Tabela 2.02: Características – bandas, faixa espectral e resolução - do satélite Landsat-8 Fonte dos dados apresentados: U.S. Geological Survey, 2016

LANDSAT 8 BANDAS	Faixa Espectral (Micrometros)	Resolução (Metros)
BANDA 1 – Ultra Azul (Coastal Aerosol)	0.43 – 0.45	30
BANDA 2 – Azul	0.45 – 0.51	30
BANDA 3 – Verde	0.53 – 0.59	30
BANDA 4 – Vermelho	0.64 – 0.67	30
BANDA 5 Infravermelho Próximo (NIR)	0.85 – 0.88	30
BANDA 6 – SWIR 1	1.57 – 1.65	30
BANDA 7 – SWIR 2	2.11 – 2.29	30
BANDA 8 – Pancromático	0.50 – 0.68	15
BANDA 9 – Cirrus	1.36 – 1.38	30
BANDA 10 – Termal Infravermelho (TIRS) 1	10.60 – 11.19	100
BANDA 11 – Termal Infravermelho (TIRS) 2	11.50 – 12.51	100

O satélite Landsat 8 possui dois instrumentos acoplados: o sensor Operational Land Imager (OLI) e o sensor Térmico infravermelho (TIRS).

O sensor OLI inclui as bandas refinadas do azul (banda 2), verde (banda 3), vermelho (banda 4) e infravermelho próximo (banda 5), além de três novas bandas em comparação aos seus predecessores: uma banda ultra azul (banda 1), que pode ser utilizada em casos de estudo costeiro, recursos hídricos e aerossóis; uma banda infravermelha de ondas curtas (banda 9 - Cirrus), utilizada para detecção de nuvens e, finalmente, uma banda de avaliação de qualidade (QA -Quality Assessment), que caracteriza-se por ser um arquivo o qual contem valores que representam combinações de condições da superfície, atmosfera e sensor (dentre elas: fenômenos naturais como a presença de nuvens, água ou neve) que podem afetar a utilidade de um pixel específico, desse modo, melhorando a integridade das investigações científicas e pesquisas. As bandas de 1 a 7 e 9 geradas através do sensor OLI possuem nove bandas multiespectrais com resolução de 30 metros. A banda 8 é pancromática com resolução espacial de 15 metros. As bandas 10 e 11 correspondem a duas faixas térmicas fornecidas pelo sensor térmico infravermelho (TIRS) e sua resolução é de 100 metros (Tabela 2.02).

Através destes sensores é proporcionado um melhor desempenho radiométrico sinal-ruído (SNR, em inglês), o qual permite uma melhor caracterização do estado e condição da cobertura da terra, por exemplo, além de serem úteis em pesquisas relativas a temperatura da superfície, as quais necessitam de dados mais precisos (figura 2.02). (U.S. Geological Survey, 2016)

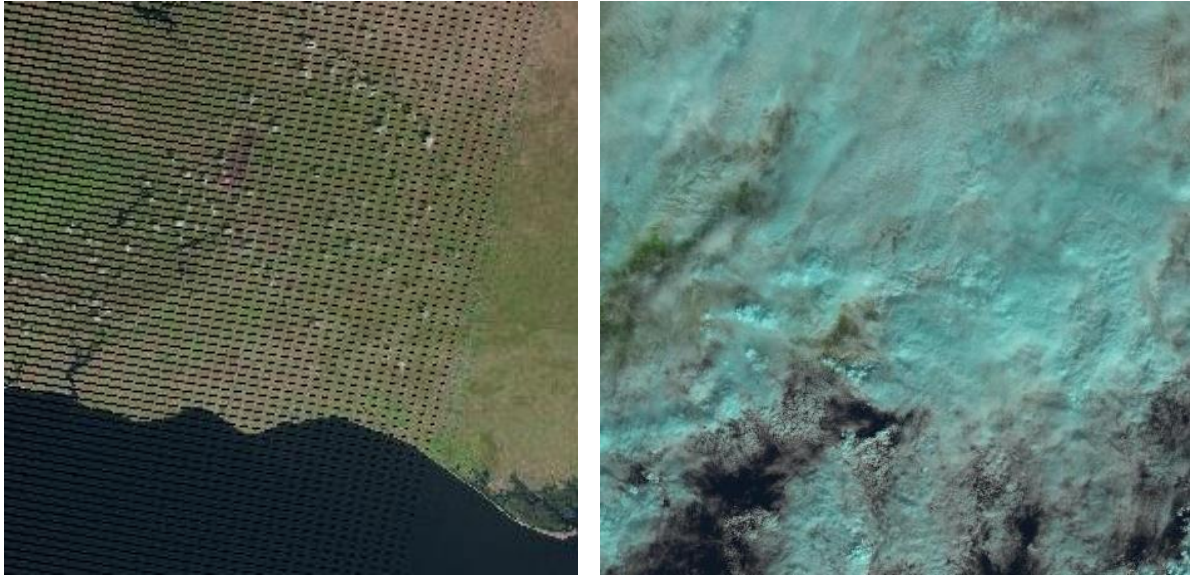


Figura 2.02: Exemplos de ruídos em imagem Landsat: riscas (à esquerda) e nuvens (à direita) Fonte:U.S. Geological Survey, 2016

2.2.2 Imagem Modis

O instrumento MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) encontra-se acoplado nos satélites Terra (originalmente EOS AM-1) e Aqua (originalmente EOS PM-1). Os satélites Terra e Aqua MODIS cobrem toda a superfície terrestre entre 1 e 2 dias, obtendo informações através de 36 diferentes bandas espectrais que variam em comprimento de onda de $0,4 \mu\text{m}$ a $14,4 \mu\text{m}$ (Tabela 2.03). O satélite Terra orbita de norte a sul sobre a linha do Equador no período da manhã, enquanto o satélite Aqua realiza a rota inversa, orbitando de sul a norte, sobre o equador, durante a tarde.

O primeiro instrumento MODIS, denominado PFM (ProtoFlight Model) e acoplado ao satélite Terra (EOS AM-1) foi lançado no dia 18 de dezembro do ano 1999, enquanto o segundo MODIS (Flight Model 1 ou FM1), integrado ao satélite Aqua (EOS PM-1) foi lançado com sucesso alguns anos mais tarde, no dia 4 de maio de 2002.

Tabela 2.03: Bandas presentes no instrumento MODIS e suas respectivas resoluções espaciais

Bandas	Resolução Espacial (m)
1 - 2	250
3 - 7	500
8 - 36	1000

No presente trabalho foi utilizada uma imagem com resolução de 500 metros obtida através do instrumento MODIS (MYD17A2H versão 6), que se caracteriza como um uma composição de valores obtidos e acumulados ao longo de 8 dias com base no conceito de eficiência do uso da radiação (Figura 2.03). A informação contida neste produto pode ser utilizada em estudos e pesquisas relativos ao cálculo da energia terrestre, biogeoquímica da vegetação e processos relativos ao ciclo da água e carbono.

A fotossíntese é o processo responsável pela fixação do carbono presente, porém a maior parte do CO₂ difunde-se novamente na atmosfera sem participar deste processo. O GPP (Gross Primary Production) corresponde ao valor de carbono que é “fixado” pela vegetação, ou seja, utilizado pelas plantas no processo de fotossíntese e convertido em carboidratos (Prentice et al, 2001). A unidade de GPP do produto MODIS é kg C m².

Além dos dados de Gross Primary Production (GPP) é possível consultar no mesmo produto informações relativas a Net Photosynthesis (PSN), além de um layer de controle de qualidade, que apresenta informações tanto para o GPP quanto para o PSN. Todas as informações e produtos relacionados com o instrumento MODIS podem ser obtidos através do Land Processes Distributed Active Archive Center da NASA (disponível em <https://modis.gsfc.nasa.gov>)

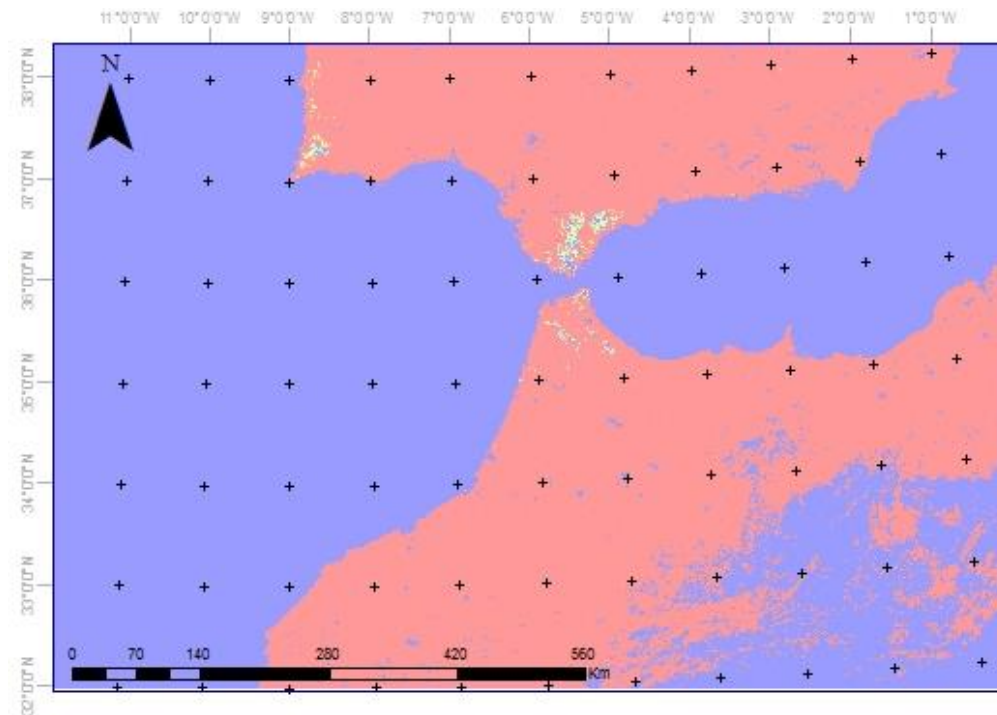


Figura 2.03: Imagem MODIS MYD17A2H GPP com resolução de 500m

2.3 Cálculo dos índices NDVI, PRI, sPRI e CO₂flux

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, em inglês) tem sido um dos índices de vegetação mais utilizados em pesquisas relativas a monitoramento da vegetação com a finalidade principal de construir perfis sazonais e temporais das atividades das plantas, permitindo um mapeamento da vegetação em uma determinada área, incluindo picos de verde, mudanças fisiológicas (quedas das folhas, entre outros) e o crescimento das plantas em geral. (Ponzoni e Shimabukuru, 2007). Segundo Coltri et al; (2009), diferentes autores consideram o NDVI importante nos estudos relacionados a vegetação como um bom estimador de biomassa e também relacionado ao estoque de carbono das plantas.

Este índice utiliza as bandas do vermelho e do infravermelho próximo (bandas 4 e 5, respectivamente, no sensor Landsat-8) através de uma equação de diferença normalizada pela soma, baseando-se na absorção da clorofila – presente na região

espectral do vermelho: 0,66 μm (banda 4), e na reflectância gerada através das estruturas internas das folhas das plantas – região espectral do infravermelho próximo: 0,8 μm (banda 5) (Equação I). Os valores correspondentes aos resultados variam de -1 (mínimo) à 1 (máximo) (Figura 2.04). Estudos demonstram que em vegetações saudáveis os valores de NDVI observados encontram-se no intervalo de 0,2 e 0,8. (Rouse et al., 1973)

$$\text{NDVI} = (\text{R}_{\text{NIR}} - \text{R}_{\text{RED}}) / (\text{R}_{\text{NIR}} + \text{R}_{\text{RED}}) \quad \text{(Equação I)}$$

Onde R_{NIR} é o valor da refletância no comprimento de onda da banda do infravermelho próximo e R_{RED} da banda do vermelho.

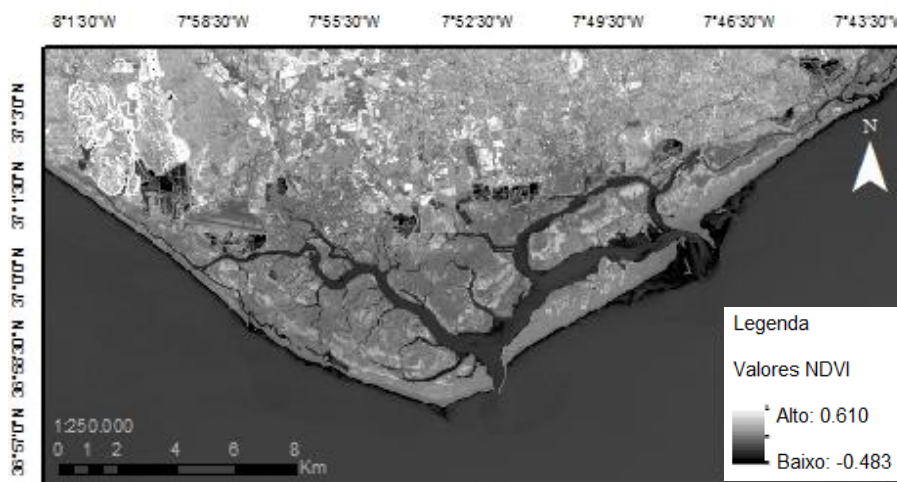


Figura 2.04 : Exemplo de resultado NDVI em imagem Landsat-8

O Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI, em inglês) está relacionado às alterações nos pigmentos de carotenoides (pigmentos amarelos), principalmente a xantofila nas folhas das plantas. Estes pigmentos estão relacionados com a eficiência fotossintética da vegetação ou com a taxa de dióxido de carbono armazenada pela folhagem das mesmas.

Assim, o índice PRI varia de acordo com a capacidade fotossintética das plantas, tipo de vegetação e uso de radiação eficiente. Quanto mais próximo de zero for o índice PRI, maior a capacidade de utilização da luz pela fotossíntese e, conseqüentemente, maior a eficiência da planta em realiza-la. Há maior possibilidade de as plantas utilizarem o carbono atmosférico para processos fotossintéticos (e, como consequência, maior quantidade de carbono estocado) quando estas apresentam melhor utilização da radiação

e, desta maneira, maior taxa de fotossíntese. (Coltri et al., 2009; Rahman et al., 2000)

Este tipo de índice vem sendo aplicado em estudos de produtividade da vegetação, utilizado para medir a saúde geral do ecossistema, que pode ser feito através dos métodos de detecção remota (utilização de imagens de satélite, por exemplo). O PRI expressa a relação entre as bandas azul e verde (Equação II), sendo definido pela razão da diferença existente entre a feição de absorção no azul (banda 2 no sensor Landsat- 8 com faixa espectral de 0,531 μm) e o pico de reflectância do verde (banda 3 no sensor Landsat-8 com faixa especial de 0,57 μm). (Gamon et al., 1992; 1997; Rahman et al. 2000)

$$\text{PRI} = (\mathbf{R_{GREEN}} - \mathbf{R_{BLUE}}) / (\mathbf{R_{GREEN}} + \mathbf{R_{BLUE}}) \quad \text{(Equação II)}$$

Onde $\mathbf{R_{GREEN}}$ corresponde ao valor da refletância no comprimento de onda das banda do verde e $\mathbf{R_{BLUE}}$ da banda do azul .

Assim como o NDVI, os resultados de PRI possuem valores de -1 (mínimo) à 1 (máximo). Em exemplos de vegetação saudável pode-se observar valores entre -0,2 e 0,2. É importante observar que este índice apresenta variações ao decorrer do dia, devido as diferenças de luminosidade e, durante a noite, torna-se inverso, devido à ausência de luz e, conseqüentemente, o processo de respiração das plantas (Gamon et al., 1992; Rahman et al, 2000)

Após realização do cálculo do índice PRI, deve-se salientar a importância de um novo cálculo, o índice sPRI (Equação III), que possui basicamente a mesma definição do índice PRI observado anteriormente, porém a diferença encontra-se em seu resultado, reescalonado para números positivos (de 0 a 1).

Seguindo a metodologia de Rahman et al. (2000), deve-se combinar os índices NDVI e sPRI para obter o índice CO_2flux , correspondente ao sequestro de carbono através da vegetação.

$$\mathbf{sPRI} = (\mathbf{PRI} + 1)/2 \quad \text{(Equação III)}$$

É inegável a importância do gás carbônico no processo de fotossíntese, porém deve-se perceber que este gás possui também papel fundamental no denominado “efeito estufa”, o qual é responsável por manter a temperatura da Terra em condições habitáveis (sem o efeito estufa, a temperatura média do planeta seria em torno dos 18 graus negativos). Dentre os gases presentes no fenômeno do efeito estufa (GEE, em inglês), pode-se observar o vapor d’água como um dos principais agentes, bem como o ozônio (O_3), metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), e o próprio dióxido de carbono (CO_2). Assim, o efeito estufa caracteriza-se como uma barreira, formada por diferentes gases, responsável pela manutenção da amplitude térmica através do bloqueio de radiação oriundas da superfície terrestre. (Baptista 2003; IPCC, 2007)

Fatores como o aumento da poluição (a exemplo da queima de combustíveis fósseis), desmatamento florestal, expansão das áreas urbanas, queimadas em grande escala estão relacionados diretamente com as mudanças climáticas e, desse modo, têm contribuído com o aumento dos níveis de gases do efeito estufa na atmosfera. Estes fatores acrescem ao constante aumento da produção industrial que é responsável pelo lançamento de gases na atmosfera e, portanto, da intensificação do efeito estufa (Tabela 2.04). Juntamente a este processo, segue o aumento da temperatura média do planeta, fenômeno denominado “Aquecimento Global” o qual possui como principal agente o dióxido de carbono. (Cadernos NAE, 2005; IPCC, 2007; Rodrigues, 2010)

Atualmente, com os diversos estudos e pesquisas relacionados ao aquecimento global e aos gases de efeito estufa na atmosfera, observa-se uma grande demanda em pesquisas cujo tema refere-se ao estoque e fluxo do carbono. (IPCC, 2007)

Tabela 2.04: Principais gases do efeito estufa. Adaptado de Skinner & Porter (1995)

	CO₂	CH₄	N₂O	O₃
Efeito estufa	Aquecimento	Aquecimento	Aquecimento	Aquecimento (ar) e resfriamento (nuvens)
Principais fontes antropogênicas	Combustíveis fósseis e deflorestação	Cultura de arroz, criação de gado, combustíveis fósseis e queima de biomassa	Hidrocarbonetos: queima de biomassa	Irrigação
Principais fontes naturais	Balanceado na natureza	Mangues	Hidrocarbonetos	Evapotranspiração
Tempo de vida na atmosfera	50 a 200 anos	10 anos	Semanas a meses	Dias
Contribuição ao efeito estufa antropogênico	60%	15%	8%	Desconhecido

Nas últimas décadas estudou-se a possibilidade de utilização dos índices espectrais para o estudo do estoque e do fluxo de carbono em determinada área. Com o NDVI pode-se estimar o sequestro do carbono pela vegetação durante a fase clara da fotossíntese (também denominada fase fotoquímica), relacionada a quebra da molécula de água e liberação de oxigênio. Segundo Rahman et al. (2000) é possível determinar o fluxo de CO₂ através da interação entre os índices de diferença normalizada NDVI e PRI. O resultado deste modelo foi denominado CO₂flux e possui como objetivo medir a eficiência do processo de sequestro de carbono da vegetação presente em determinada área. Desse modo, quanto maior o valor de CO₂flux, maior será a quantidade de carbono estocado.

O estudo de Rahman et al. (2000) relativo a comparação de dados medidos em campo coletados através de seis zonas micrometeorológicas (zona de floresta boreal de coníferas nos Estados Unidos) e dados obtidos por sensoriamento remoto (sensor AVIRIS - Airborne Visible InfraRed Imaging Spectrometer) apresentou resultados positivos com elevado coeficiente de determinação de 0,78 entre o índice CO₂flux (do produto de NDVI e sPRI) e os dados obtidos nas das torres de medição de dióxido de carbono (flux-towers) em 1994. (Baptista, 2004, Gamon et al., 1997)

As medições de carbono podem ser realizadas de duas maneiras: amostragem direta ou indireta. A primeira consiste em derrubada da vegetação, ou seja, de caráter destrutivo, enquanto a segunda, baseia-se em cálculos e utilização de equações, de acordo com as informações disponíveis, como mapeamento da vegetação e dados da composição florística da região em questão. (Cerqueira e Rocha, 2007)

A amostragem direta ainda caracteriza o método mais utilizado tratando-se de medição de biomassa em diversas culturas agrícolas e florestas. Para este procedimento são necessárias áreas amostrais representativas e isto influi, obviamente, no aumento do valor a ser pago pelo interessado. Pode-se citar a cultura cafeeira, onde a retirada de plantas produtivas de campo, em sua maioria, apresenta resistência da parte dos produtores. Estes então buscam outras alternativas, priorizando métodos não destrutivos, através principalmente do sensoriamento remoto em conjunto com as equações alométricas, como resultados de CO_2flux em conjunto com dados obtidos através das torres de medição (torres micrometeorológicas quem mesuram a concentração de dióxido de carbono em determinada área). Infelizmente neste trabalho não foram utilizados dados provenientes de torres devido a sua ausência nas proximidades da zona de estudo. A utilização de índices de vegetação espectrais para estimativas de biomassa e estoque de e sequestro de carbono tem se mostrado uma alternativa viável aos métodos destrutivos. (Coltri et al., 2009, Rahman et al., 2000)

2.4 Caso de Estudo: Fuseta

A área escolhida para o trabalho de campo encontra-se na zona da Fuseta, com coordenadas 37°03'02.7"N 7°44'54.5"O. Para justificar a escolha desta área foram levados em consideração os seguintes fatores:

- a) Distância significativa de áreas residências, industriais e do aeroporto de Faro.
- b) Facilidade de acesso com veículo, ou seja, proximidade a estradas.

- c) Presença aparente de diferentes tipos de vegetação nas zonas de transição - observada através do Google Earth.
- d) Presença de dunas e de áreas submersas pelas marés- também observada através do Google Earth.
- e) Grande contraste entre os elementos presentes nesta área, entre eles, praia, zona urbana, sapal, entre outros, o que torna a área interessante para análise com os softwares para processamento de imagens (exemplo: ArcGIS, Idrisi, entre outros)

O trabalho de campo foi realizado no dia 30 de setembro de 2016. A preparação das autorizações (e posterior recebimento) aos órgãos responsáveis e organização do material deu-se nas datas anteriores a este dia durante o mês de setembro.

Foram necessárias autorizações dos órgãos portugueses ANAC - Autoridade Nacional da Aviação Civil e AAN - Autoridade Aeronáutica Nacional, onde ambos contêm dados relativos a dissertação, especificações técnicas do drone, localização da área fotografada, entre outros.

O trabalho de campo foi intencionalmente realizado com a maré na posição de baixa-mar. O nível de maré, de acordo com o software WTides era de 0,96m às 10:00h – horário aproximado em que foi dado início aos trabalhos. Através do website do Instituto Hidrográfico da Marinha de Portugal é possível acessar a tabela de marés para o dia 30 de setembro de 2016 relativa ao porto de Faro, Barra de Faro e Olhão, com os seguintes dados presentes na tabela abaixo (tabela 2.05):

Tabela 2.05: Tabela de marés para o dia 30 de setembro de 2016 relativa ao porto de Faro, Barra de Faro e Olhão Fonte: Instituto Hidrográfico da Marinha de Portugal, 2016

Dia	Horário	Altura (m)	Situação
30/09/2016	02:53	3.2	Preia-mar
30/09/2016	08:49	0.7	Baixa-mar
30/09/2016	15:11	3.34	Preia-mar
30/09/2016	21:10	0.63	Baixa-mar

Para o estudo de campo foram utilizados materiais fornecidos pela Universidade do Algarve em conjunto com equipamentos privados dos membros envolvidos neste trabalho.

Para a captação de fotografias aéreas foram utilizados os seguintes materiais:

- **Câmara fotográfica para captação de imagens infravermelho:**

(Especificações: marca Cannon, lentes com zoom de 20x, modelo PC1742 Powershot SX260 HS, 12.1MP, N°492032029144)

- **Drone quadricóptero Phantom 2**

O quadricóptero Phantom 2 caracteriza-se por ser uma aeronave da marca DJI com sistema multifuncional Quad-Rotor, de voo preciso e aterrissagem estável. Com peso de 1000g (incluindo hélices e bateria) e velocidade máxima de voo de 15m/s, esta aeronave mostrou-se adequada para realização do trabalho esperado, que consistia em fotografar, em dois voos diferentes, uma faixa pré-denominada, através do software Ground Station, ao longo da zona costeira da Fuseta. ((fonte das informações: <http://www.dji.com/phantom-2>)

- **Software Ground Station**

A empresa responsável pelo software Ground Station é a DJI Innovation Technology Co. Ltd. e a versão utilizada foi a 4.0.11. Maiores informações podem ser encontradas no website do fabricante.

Através do software foram criados dois planos de voo para a aeronave: o primeiro, o qual chamamos de Fuseta Este, e o segundo, denominado Fuseta Oeste.

- **Câmara fotográfica**

Utilizada para fotografar a vegetação da área de estudo. Especificações: marca Cannon, lentes com zoom óptico de 10x, modelo IXUS 180 1091C001AA, 20.5 MP.

- **GPS portátil Garmin Etrex20x**

Coleta de coordenadas das amostras de vegetação.

- **Régua como escala**
- **Sacos plásticos com fecho hermético**
Coleta das amostras de vegetação
- **Materiais para coleta das amostras: tesoura**

Com o software Ground Station 4.0.11 foi criada o plano de voo –contendo a rota- que o drone seguiria. O tempo de voo do drone está relacionado com a duração de cada bateria. Para este trabalho de campo possuíamos duas baterias, sendo cada rota planejada para aproximadamente 10 minutos. Como mencionado anteriormente, dois planos de voo foram criados: o Fuseta Este, abrangendo o lado este da zona designada para o trabalho de campo e o Fuseta Oeste, correspondendo ao lado oeste desta.

O voo Fuseta Este foi efetuado a uma altura de 100m, teve uma duração total de percurso de 09:47 minutos e uma distância total de 2,201km. As instruções de voo – do software para a aeronave- deu-se através de 9 pontos dispostos paralelamente uns aos outros. A figura 2.05 mostra o plano de voo Fuseta Eeste.



Figura 2.05: Plano de voo “Fuseta Este” criado através do Software Ground Station 4.0.11

O voo Fuseta Oeste foi realizado a uma altura de 100 m, teve uma duração total de percurso de 10:58 minutos e uma distância total do percurso de 2,485km - 284 metros a mais do que o primeiro voo. As instruções de voo deram-se através de 10 pontos dispostos paralelamente uns aos outros. A figura 2.06 mostra o plano de voo Fuseta Oeste.



Figura 2.06: Plano de voo “Fuseta Oeste” criado através do Software Ground Station 4.0.11

O número total de fotos capturadas foi de 284, sendo utilizadas 261 destas. As fotos que foram excluídas correspondiam a imagens “tremidas”, ou seja, de qualidade insuficiente para fazer parte da imagem resultado, e imagens dos momentos de subida e descida do drone. A segunda filtragem deu-se no software Agisoft Photo Scan Professional versão 1.1.0.1976. Do resultado anterior, 254 fotos foram alinhadas, uma Dense Cloud foi criada contendo 31231934 pontos. No final foi produzido um ortofotomosaico com 3 cm de resolução e um modelo 3D de 1501127 faces.

Nas figuras 2.07, 2.08 e 2.09 é possível observar os resultados referentes aos modelos 3D criados através do software. Na figura 2.09 a vegetação apresenta coloração avermelhada devido as configurações da câmera fotografia acoplada ao drone (fotografias de infravermelho próximo). A figura 2.10 corresponde ao ortofotomosaico resultado da composição de fotografias.

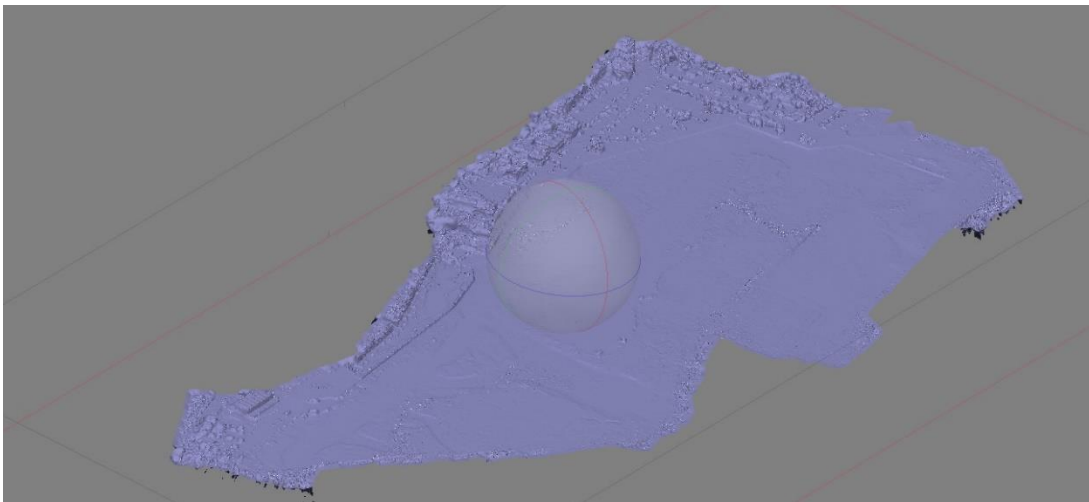
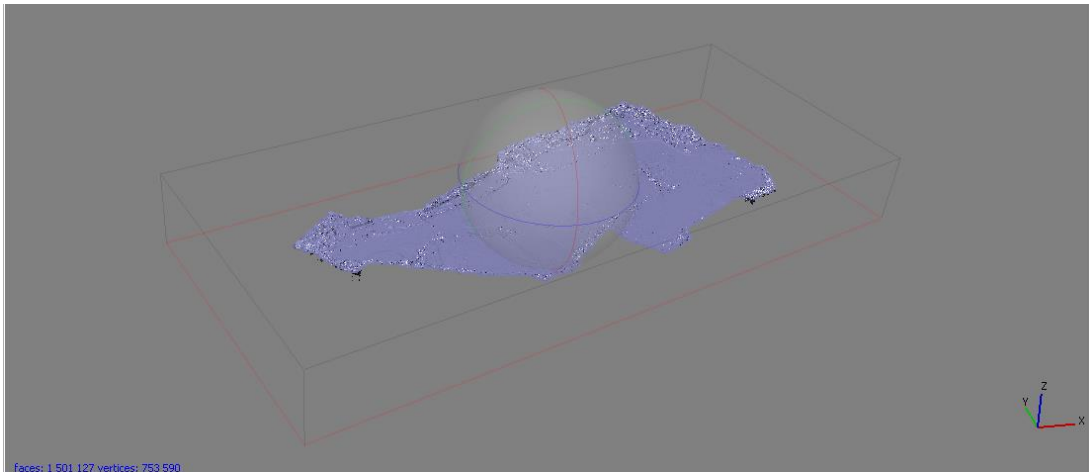


Figura 2.07 e 2.08: Modelos 3D criados a partir das fotografias da zona da Fuseta capturadas pelo drone criados através do software Ground Station 4.0.11

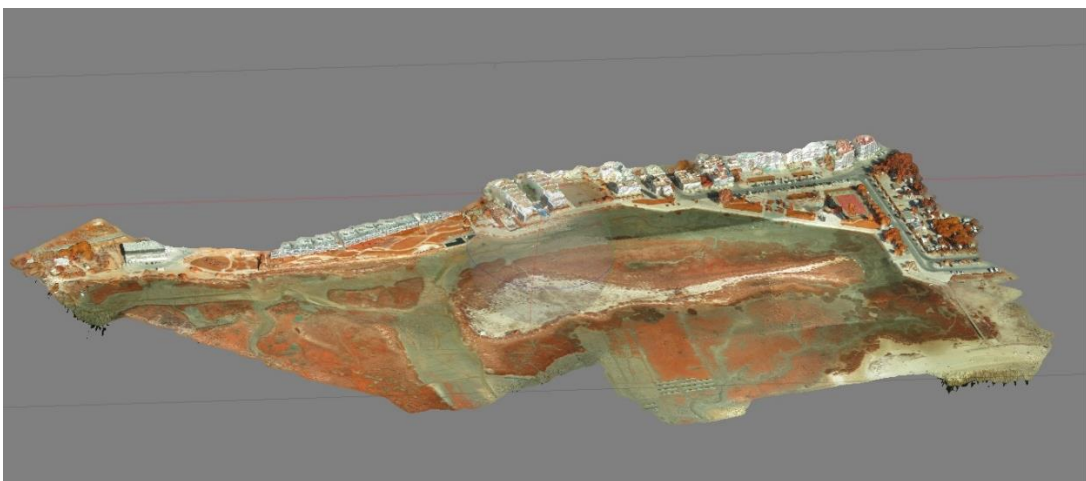


Figura 2.09: Modelo 3D finalizado e com cores criado a partir das fotografias da zona da Fuseta capturadas pelo drone criado através do software Ground Station 4.0.11



Figura 2.10: Ortofotomosaico da zona da Fuseta

- **Amostras de vegetação**

Exemplares de vegetação de sapal foram coletados em campo e posteriormente identificados em laboratório para ratificar as informações disponíveis na bibliografia utilizada. Para registro da localização exata de cada exemplar utilizou-se um GPS portátil durante o processo de coleta das amostras (Figura 2.11). Foram coletadas no total 5 amostras de vegetação, juntamente com as coordenadas geográficas, elevação e hora de coleta de cada amostra (Tabela 2.06).

Tabela 2.06: Conjunto de amostras coletadas em campo

Amostra	Coordenadas	Elevação (m)	Hora da coleta (h)	Nome
001	N 37 03.113 W 007 44.680	2	10:40	<i>Sarcocornia fruticosae</i>
002	N 37 03.112 W 007 44.677	2	10:42	<i>Sarcocornia perennis</i>
003	N 37 03.111 W 007 44.677	7	10:45	<i>Spartina maritima</i>
004	N 37 03.097 W 007 44.653	6	10:49	<i>Salsola vermiculata</i>
005	N 37 03.102 W 007 44.652	5	10:53	<i>Limoniastrum monopetalum</i>

As amostras foram armazenadas em sacos plásticos e transportadas posteriormente a Universidade do Algarve para identificação em laboratório. O professor Rui Santos, membro do Centro de Ciências do Mar da Universidade do Algarve auxiliou no processo de identificação das amostras coletadas na zona de estudo. Todas as plantas identificadas encontram-se de fato na bibliografia consultada bem como no Plano de Ordenamento do Parque Natural da Ria Formosa, volume 2 – flora e vegetação.

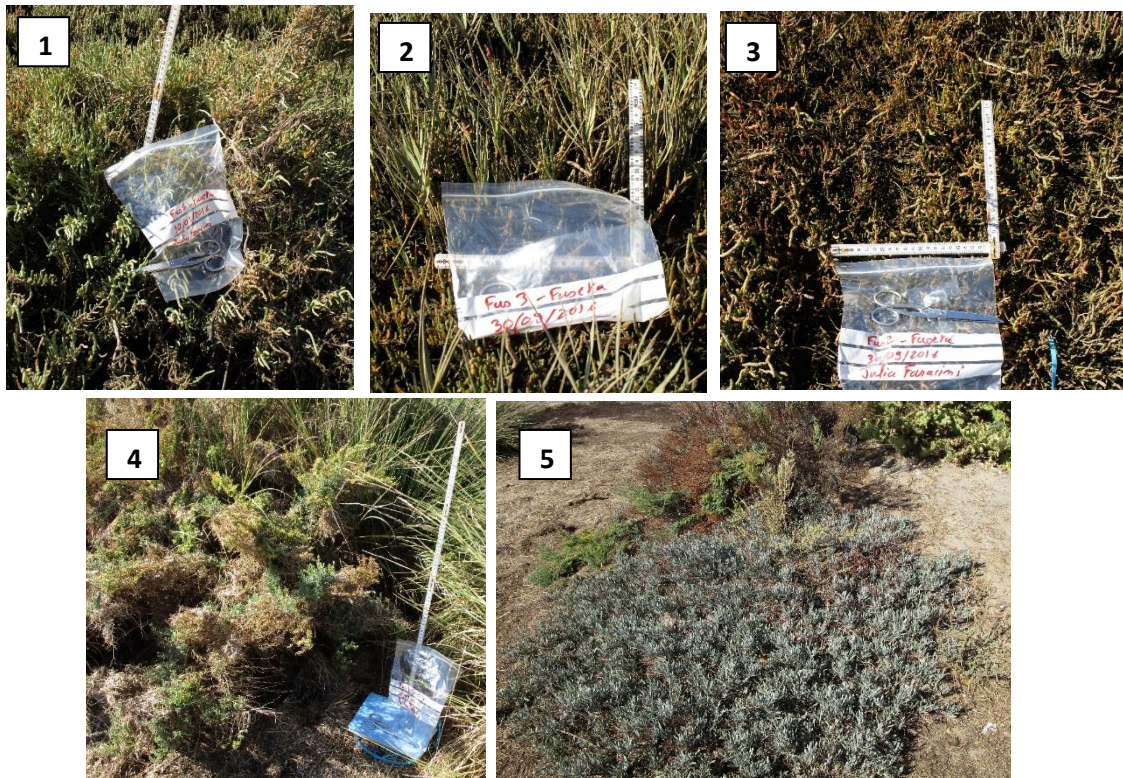


Figura 2.11 : Localização das amostras nas imagens capturadas pelo drone.
Identificação das amostras (1) *Sarcocornia fruticosae*, (2) *Sarcocornia perennis*, (3) *Spartina marítima*, (4) *Salsola vermiculata* e (5) *Limoniastrum monopetalum*

3. Resultados

3.1 Resultado do índice NDVI para o ortofotomosaicomosaico da Fuseta e evolução temporal nas imagens Landsat

Como mencionado nos capítulos anteriores, os valores de NDVI variam entre -1 e 1. Os valores negativos geralmente estão associados a corpos hídricos e zonas de sombras (devido a presença de nuvens ou irregularidades do terreno) enquanto o solo exposto, com pouca ou nenhuma vegetação, apresenta valores próximos ao zero, tanto negativos quanto positivos. O mesmo aplica-se para áreas de centro urbano e terrenos em preparo para produção agrícola, podendo apresentar resultados positivos, mas não muito elevados. Grandes objetos como edifícios isolados apresentam valores baixos, próximos a zero. À medida que a concentração de vegetação aumenta, os valores de NDVI tornam-se mais altos. Áreas com vegetação densa, húmida e desenvolvida apresentam valores de NDVI próximos ou iguais a 1. (Almeida et al. 2014; Costa et al., 2007; Jarlan et al., 2007; Santos et al., 2008)

- **Ortofotomosaico**

Os valores NDVI do ortofotomosaicomosaico criada a partir das várias imagens obtidas em campo através do drone, tal como apresentado no capítulo da metodologia, apresentam valores entre -0.7623 e 1 (Figura 3.01).

A zona relativa aos edifícios, ruas, e outras construções próximas a área de sapal foi removida, com intenção de obter resultados que representassem apenas a vegetação, corpos d'água e bancos de areia. Devido à alta resolução desta imagem, é possível observar claramente as variações das tonalidades de cores na mesma. As zonas em vermelho representam os corpos d'água, bem como pequenos canais que se desenvolvem nas áreas de fundo de vale. Nas zonas de águas rasas, com presença de alguma vegetação

emersa é possível observar uma tonalidade de cor laranja, com valores positivos a variar entre 0 e 0,25. Nas zonas onde se observa a presença de bancos de areia e praias sem qualquer tipo de vegetação os valores são mais baixos, negativos, próximos do valor mínimo de NDVI (cor vermelha).

Segundo Poelking *et al.* (2007) os valores mais elevados (próximos a 1) poderiam ser classificados como vegetação densa e desenvolvida, porém, no caso deste específico estudo, estes valores representam a vegetação de sapal, submersa e de pequeno porte (composta principalmente por erva marinha)

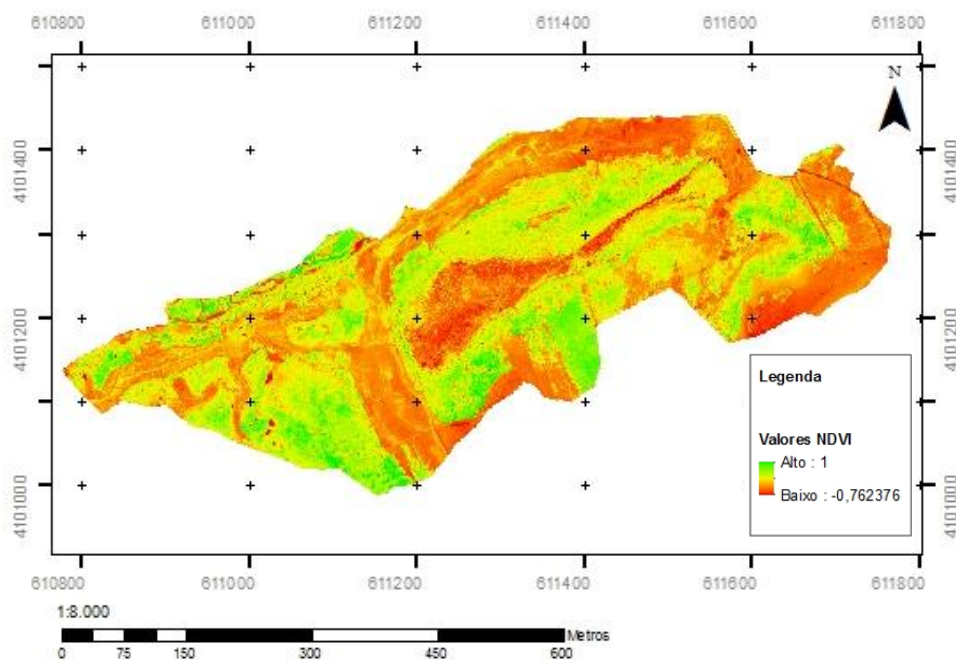


Figura 3.01: Índice de diferença normalizada da vegetação (NDVI) para zona da Fuseta (em 2016).

Em relação à vegetação de sapal médio e alto, este tipo de vegetação dificilmente aparecerá nas imagens com valores de NDVI mais altos (próximos a 1) e, dessa forma, com tonalidades de verde, mas sim, representada principalmente pela cor amarela no mapa resultado.

Através do histograma da imagem é possível observar os valores mínimo e máximo, média com valor de 0.28, e desvio padrão cujo valor é 0.12. (Figura 3.02) A maioria dos píxeis encontra-se agrupada entre os valores 0 e 0.5, no qual é possível observar dois diferentes picos, o primeiro próximo ao zero e o segundo em torno do valor 0.25.

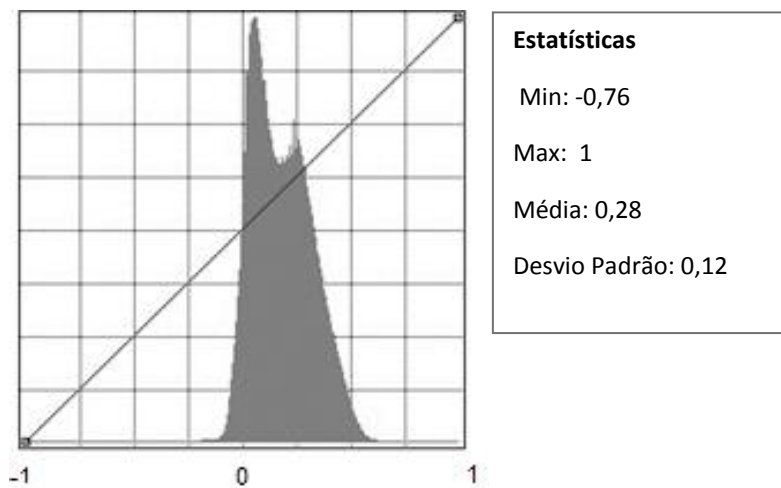


Figura 3.02: Histograma do Índice de Vegetação Normalizada (NDVI) do ortofotomosaicomoosaico da Fuseta (em 2016).

Tabela 3.01 - Variação do NDVI dividida em classes temáticas para o ortofotomosaicomoosaico e taxa de ocupação de cada classe temática para a zona da Fuseta (em 2016)

Identificação Classes	Valores NDVI	Classes - Descrição	Características	Percentual de ocupação (%)
1	-0.20 - 0.15	Área sem vegetação/inerte	Areia, praia, agua e plantas submersas	13.3
2	0.15 - 0.20	Vegetação esparsa	Depósitos de vegetação, matos secos e restos de vegetais	17.2
3	0.20 - 0.35	Vegetação de sapal alto	Vegetação de sapal alto, como <i>Limoniastrum monopetalum</i>	38.8
4	0.35 - 0.50	Vegetação de sapal médio	Vegetação de sapal médio, como <i>Sarcocornia fruticosae</i> e <i>Salsola vermiculata</i>	25.7
5	0.50 - 1.00	Vegetação de sapal baixo	Prados alagados, ervas marinhas (Ex.: <i>Zostera marina</i>)	5.0

A tabela 3.01 foi desenvolvida a partir de informações obtidas através de consultas a bibliografia sobre o tema, juntamente com o que foi observado durante o trabalho de campo na região. Procurou-se associar de maneira adequada as diferentes classes com os valores NDVI.

Através da análise da tabela 3.01 entende-se que a classe dominante corresponde à classe número 3, caracterizada pela vegetação de sapal alto (38,8% da área total), seguida pela classe 4, vegetação de sapal médio (com 25,7% de ocupação). Neste caso a vegetação de sapal foi subdividida em sapal alto, médio e baixo, de acordo com a posição e característica da vegetação discutida nas referências bibliográficas bem como sua localização e distribuição, observadas em campo. Somando-se os valores encontrados, obtém-se 86,7% de área com cobertura vegetal, sendo que 69,5% correspondem apenas a vegetação de sapal. Estes elevados números comprovam a importância da vegetação nesta região e necessidade de gestão permanente e efetiva. A figura 3.03 corresponde ao mapa resultado após reclassificação dos valores NDVI nas 5 classes. Como a zona correspondente a área urbana foi removida da imagem anteriormente ao processo de cálculo do NDVI, as 3 últimas classes, correspondentes a vegetação, aparecem como coberturas dominantes na maior parte da imagem.

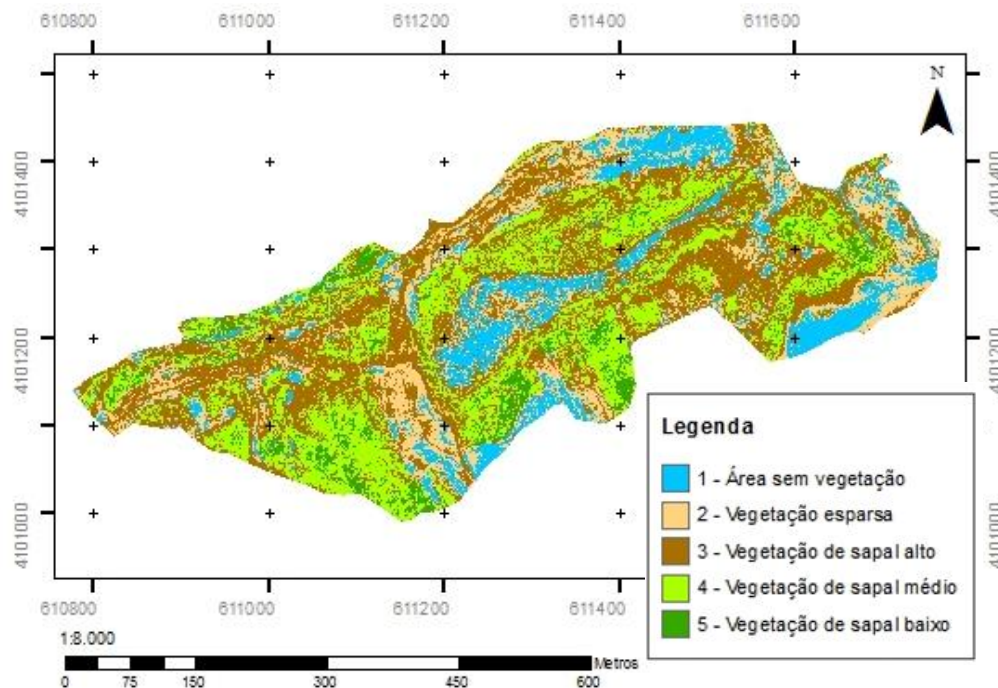


Figura 3.03: Classificação do índice de diferença normalizada da vegetação (NDVI) para a área da Fuseta (em 2016).

3.2 Evolução temporal imagens Landsat e classificação em anos

Com o objetivo de complementar o presente trabalho e fornecer informações indispensáveis a futuras pesquisas, foi realizada uma evolução temporal do índice NDVI da zona da Fuseta referente aos anos de 2013, 2014, 2015 e 2016. Através da análise dos resultados obtidos e consulta as referências bibliográficas realizou-se uma posterior classificação das imagens resultado (tabela 3.02). Esta tabela não pode ser detalhada como a tabela 3.01, relativa ao ortofotomosaico, devido a diferença de resolução das imagens Landsat, bem como os valores NDVI obtidos (baixa variabilidade de valores).

O valor mínimo e máximo encontrado entre as imagens Landsat utilizadas no processo é de 0.023 e 0.352, respectivamente.

Tabela 3.02: Variação do NDVI dividida em classes temáticas para as imagens Landsat da zona da Fuseta (em 2013-2016)

Identificação Classes	Valores NDVI	Classes – Descrição	Características
1	-0.2 - 0.1	Área sem vegetação	Areia, praia, água e plantas submersas
2	0.1 - 0.2	Área com vegetação esparsa	Vegetação de dunas
3	0.2 - 0.4	Área com vegetação densa	Vegetação de sapal alto, médio e baixo

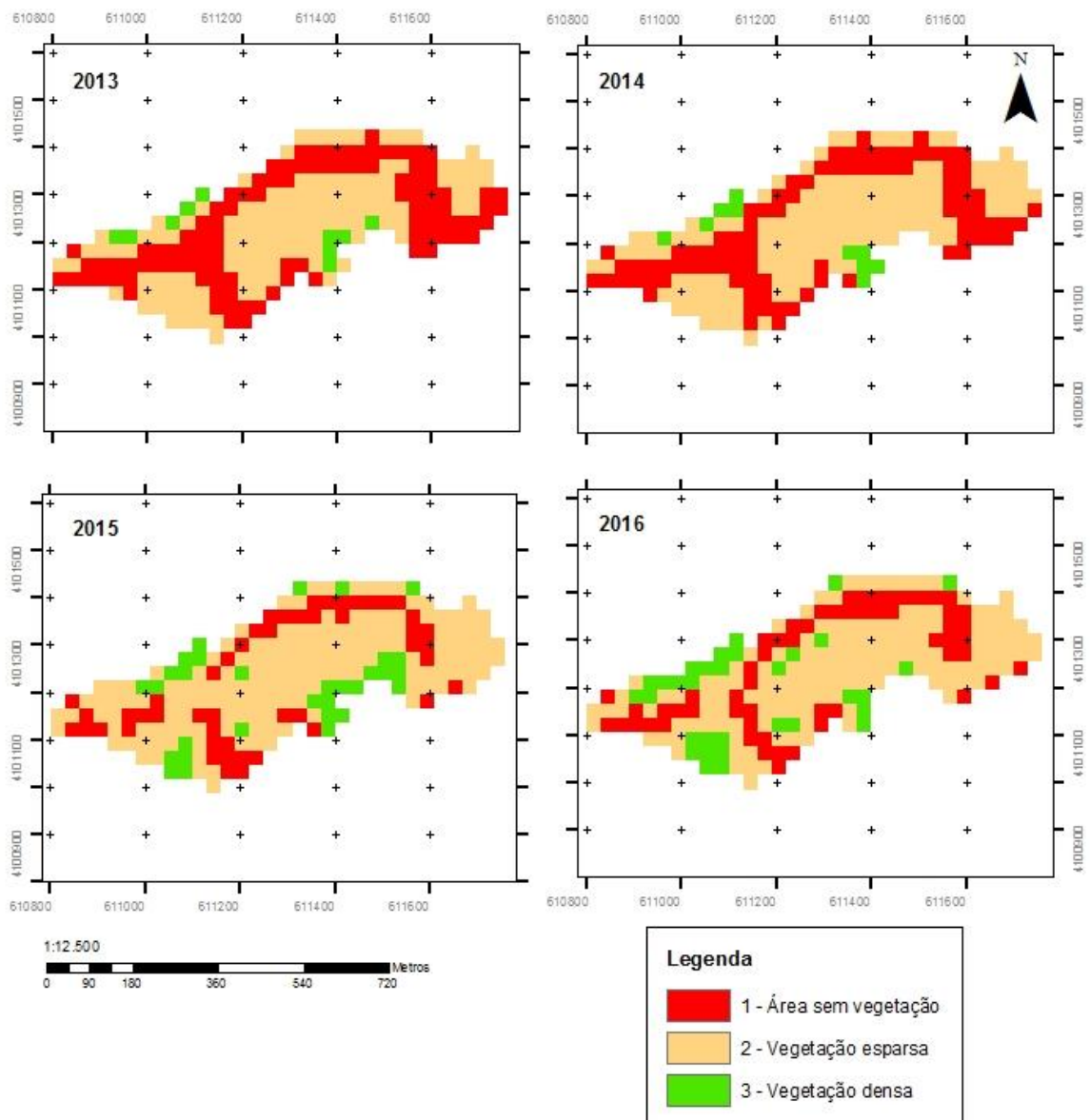


Figura 3.04: Evolução temporal do índice de NDVI para as imagens Landsat da zona da Fusetta (em 2013-2016)

Observando o conjunto de mapas (Figura 3.04), percebe-se primeiramente certa similaridade entre as 4 imagens resultados. Porém após uma análise mais detalhada, é possível identificar maiores semelhanças entre os resultados de índice NDVI correspondentes aos anos de 2013 e 2014 e entre 2015 e 2016.

Tabela 3.03: Percentual de ocupação de cada classe temática de NDVI para as imagens Landsat da zona da Fusetta (em 2013-2016)

Ano	Nível de mare	Classes	Percentual de ocupação (%)
		1	42.6
2013	0,68	2	53.1
		3	4.2
		1	38.3
2014	0,69	2	57.3
		3	4.2
		1	20.6
2015	0,85	2	66.2
		3	13
		1	24.9
2016	0,87	2	61.3
		3	13.7

As classes 2 e 3 (Tabela 3.03) correspondem a vegetação esparsa e vegetação densa, respectivamente, e em conjunto representam um total de área ocupada de 57.3% em 2013, 61.5% em 2014, 69.2% em 2015 e 65% no último ano (2016). Dessa forma, observa-se um aumento constante de vegetação nos 3 primeiros anos e posterior estabilidade destes valores em 2016. Estes valores estão relacionados ao desenvolvimento e aumento da cobertura vegetal na zona da Fusetta.

3.3 Classificação dos resultados de CO₂flux e evolução temporal das imagens Landsat

O índice CO₂flux foi calculado pela metodologia de Rahman et al. (2000) (ver ponto 2.3) para os anos 2013, 2014, 2015 e 2016 através do software ArcMap. A reclassificação dos índices CO₂flux para os referidos anos foi efetuada pela análise dos histogramas dos valores obtidos aplicando a divisão *Natural Breaks (Jenks)* disponível nas opções de classificação do histograma. Este método consiste em agrupar informação que apresenta valores semelhantes e maximizam as diferenças entre as presentes classes. Os limites de cada classe são definidos de acordo com a existência de diferenças significativas nos

valores dos dados (Smith et al. 2009). Foram obtidas 5 classes (Figura 3.05). A divisão de classes está definida na Tabela 3.04.

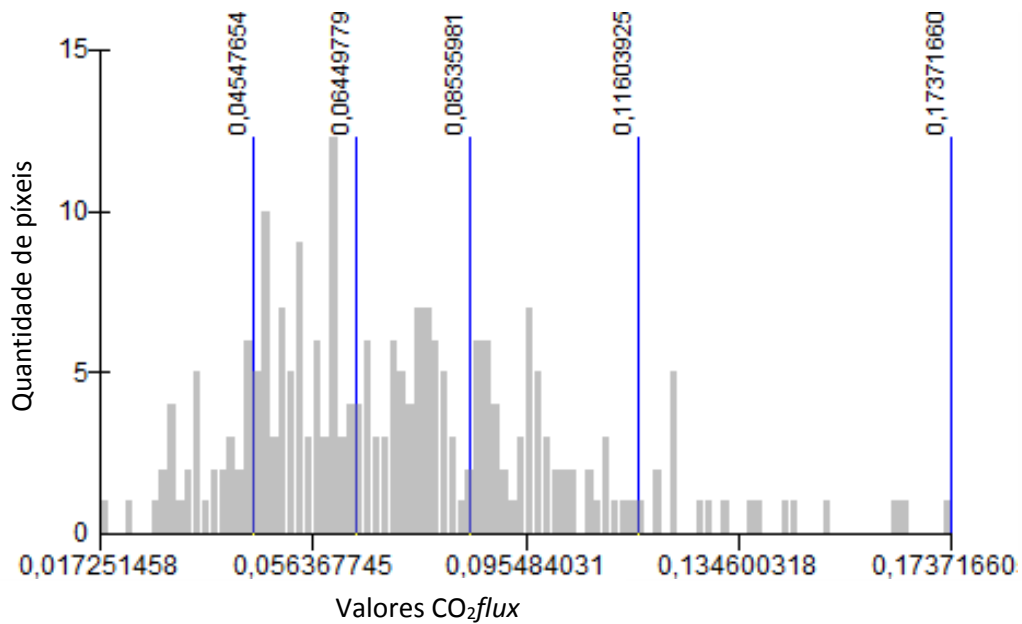


Figura 3.05: Divisão de classes de acordo com a opção *Natural Breaks (Jenks)* para os valores de CO₂flux presentes nas imagens Landsat.

Desta maneira, com a classificação das imagens Landsat, foi realizada uma evolução temporal do índice de CO₂flux para a zona da Fuseta, abrangendo os anos de 2013, 2014, 2015 e 2016 (Figura 3.06), onde é possível observar o percentual de ocupação de cada classe criada. A figura 3.07 mostra a evolução temporal do percentual de CO₂flux do ano 2013 a 2016

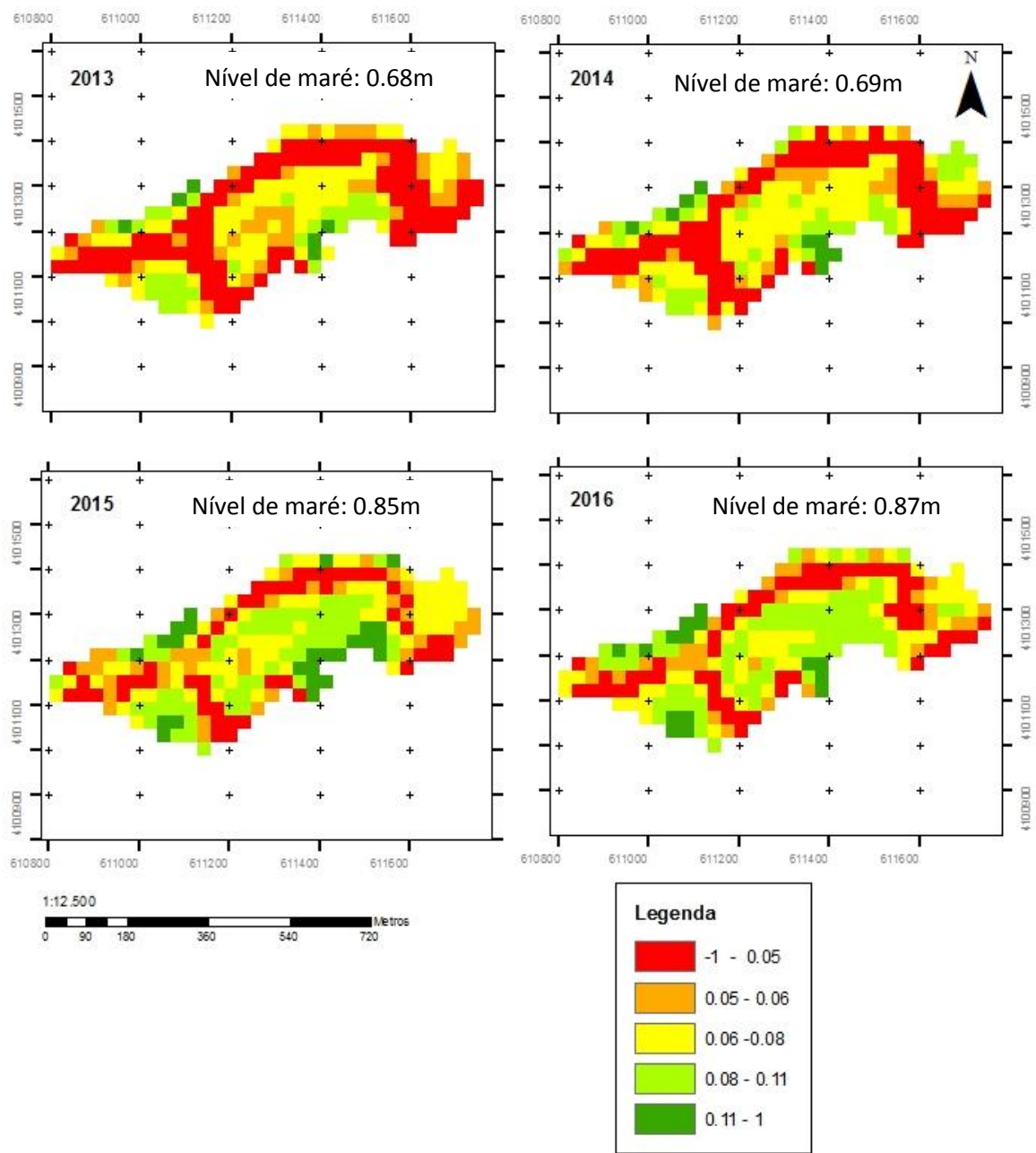


Figura 3.06: Evolução temporal do índice de CO_2flux para as imagens Landsat da zona da Fuseta (em 2013-2016)

É possível observar na figura 3.06 um aumento dos valores (representados pela cor verde) na parte central e sudoeste do mapa para os anos de 2015 e 2016, o que pode indicar um maior desenvolvimento da vegetação nestas áreas e, conseqüentemente, um aumento no fluxo de carbono da região. Deve-se considerar o nível da maré na análise do fluxo de carbono (neste caso há uma diferença de aproximadamente 19cm entre a maré mais alta, em 2016 e a mais baixa, em 2013). O aumento das zonas com índices mais altos de fluxo de carbono (mesmo com níveis de maré mais altos do que os dos anos anteriores) pode ser explicado pelos processos de assoreamento, naturais e artificiais, que ocorrem não somente na área da Fuseta, mas em toda a região da Ria Formosa. (Dores, 2013)

Tabela 3.04: Classes temáticas a partir dos valores de CO_2flux para as imagens Landsat da zona da Fuseta (em 2013-2016)

Classes	Valores CO_2flux
1	-1 - 0.05
2	0.05 - 0.06
3	0.06 - 0.08
4	0.08 - 0.11
5	0.11 - 1

Na figura 3.07 é possível observar o percentual de ocupação de cada classe. Houve uma queda significativa da classe 1 (valores baixos de fluxo de carbono) durante os 3 primeiros anos, e um aumento de ocupação da classe 5 (valores mais altos) de 2.5% em 2013, para 10.5% em 2015. A classe 4 apresentou aumento constante, totalizando 18.7% em 4 anos. Em 2016 os valores são similares ao ano anterior.

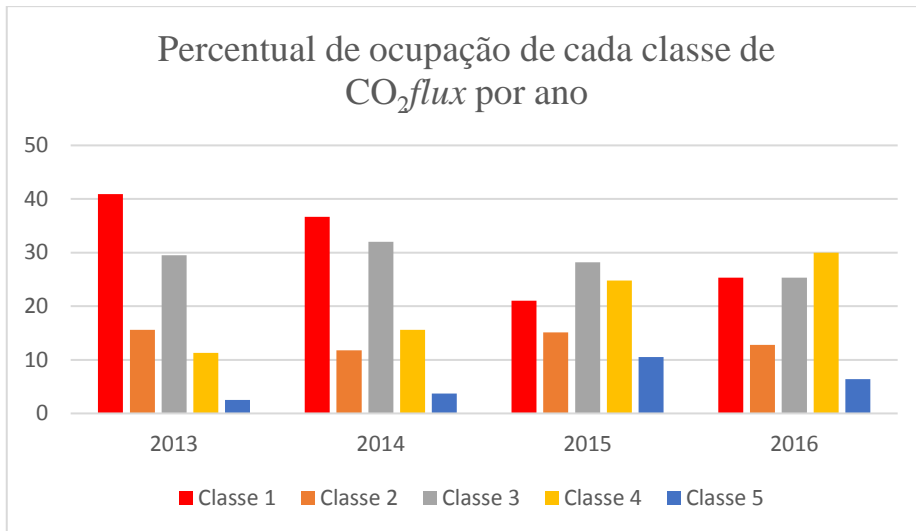


Figura 3.07 - Percentual de ocupação de cada classe de CO₂flux por ano (em 2013-2016). Ver tabela em Apêndice.

3.4 Resultados CO₂flux (Ortofotomosaico), MODIS e GPP

O cálculo do CO₂flux foi realizado também para o ortofotomosaico (Figura 3.08). O valor mais alto corresponde a 1 (valor máximo), relacionado a áreas com cobertura vegetal, e o mais baixo -0.36, representando objetos inertes (Ex.: barcos e edifícios), areia e estradas.

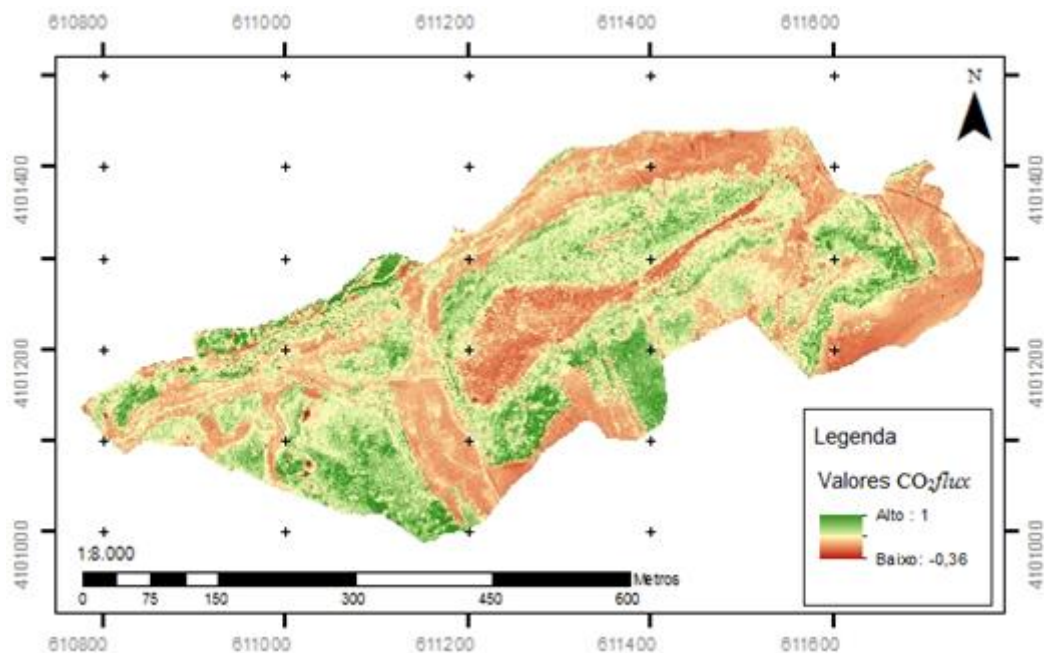


Figura 3.08: Índice CO₂flux para zona da Fuseta (em 2016).

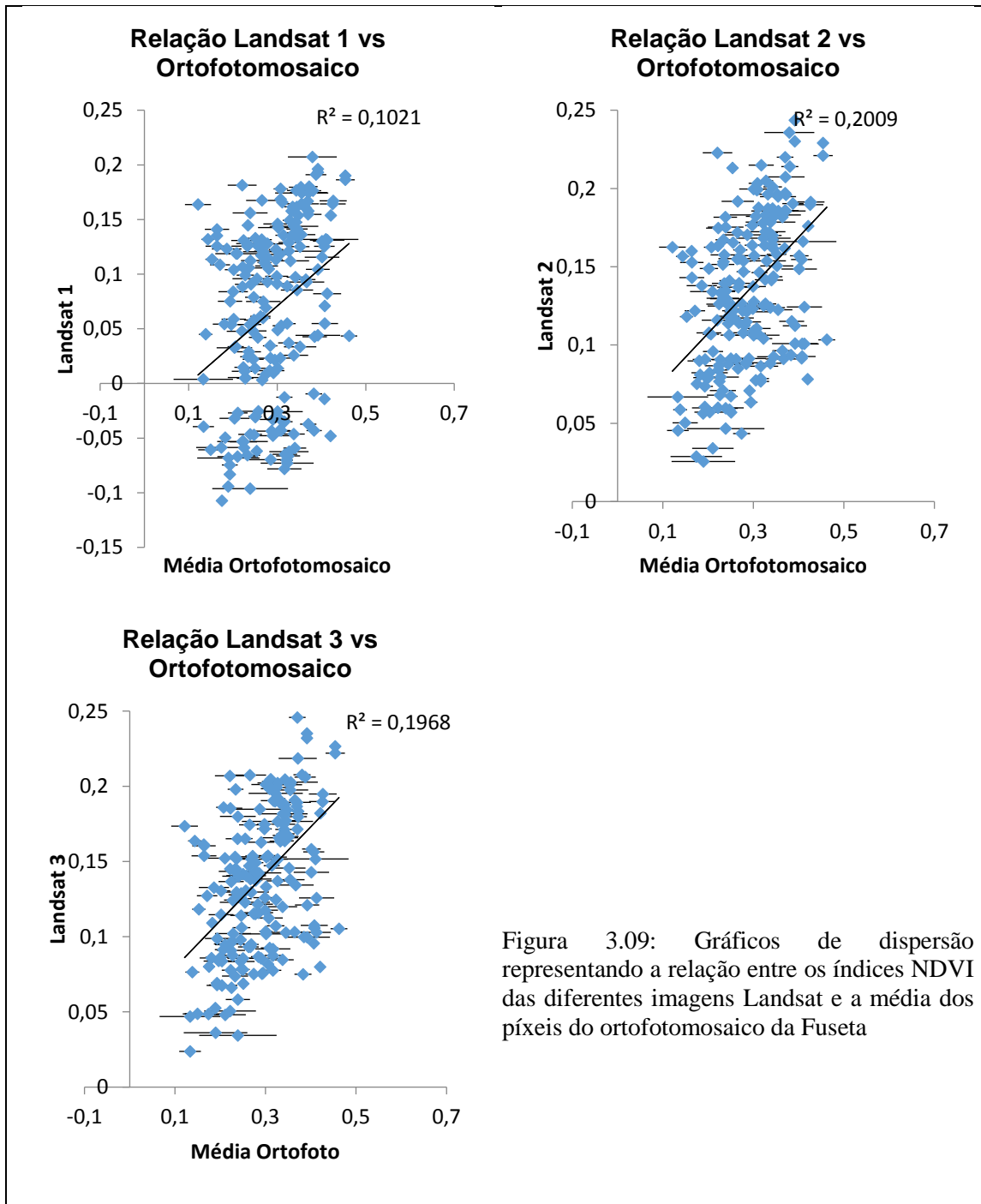
Posteriormente, com a intenção de se verificar se há correlação entre os resultados obtidos a partir do NDVI do ortofotomosaico da Fuseta, foi realizada uma série de comparações entre os píxeis da mesma e de 3 imagens Landsat com diferentes níveis de maré correspondentes ao ano de 2016. Na tabela 3.05 encontra-se a lista de imagens e suas respectivas características:

Tabela 3.05: Lista de imagens Landsat utilizadas, classificadas por data e nível de maré

Imagem	Data	Nível de Maré (m)
1	25/09/2016	2.77
2	08/08/2016	1.44
3	23/07/2016	0.87

Com o objetivo de obter-se a resultados relativos a comparação e análise entre o ortofotomosaico e as imagens Landsat, as dimensões das células, no caso píxeis, devem possuir o mesmo valor. Dessa forma, o tamanho da célula do ortofotomosaico foi ajustado de acordo com o valor das células da imagem Landsat (30x30 metros de resolução), em seguida foi calculada a média dos píxeis do ortofotomosaico dentro de cada quadrado, através do software ArcMap, com a ferramenta *Zonal Statistics*. Devido a este processo os valores negativos presentes nos resultados de índice NDVI do ortofotomosaico desaparecem, bem como a diminuição do valor máximo. O valor mínimo passa para 0.1050 (-0.7623 anteriormente) e o valor máximo para 0.4622 (1 anteriormente).

Os resultados de correlação obtidos apresentam valores considerados baixos, com coeficientes de determinação (R^2) de 0.1020 para a imagem 1, 0.2009 para a imagem 2 e 0.1968 para a imagem 3 (figura 3.09).



Posteriormente foi realizada uma segunda análise, onde foram removidos os píxeis do orto caracterizados como “mistos” (Figura 3.10). Neste tipo de pixel estão presentes diferentes tipos de informação que podem interferir nos resultados. Para o presente trabalho procurou-se comparar píxeis relativos a zonas com água, por exemplo, apenas a outros píxeis com este mesmo tipo de zonas. Um pixel que se encontra na transição de uma zona de areia e uma de vegetação apresentará como valor médio uma

média do índice NDVI para a parte correspondente a areia e a vegetação, logo, este valor não corresponderá com à realidade da zona em questão.

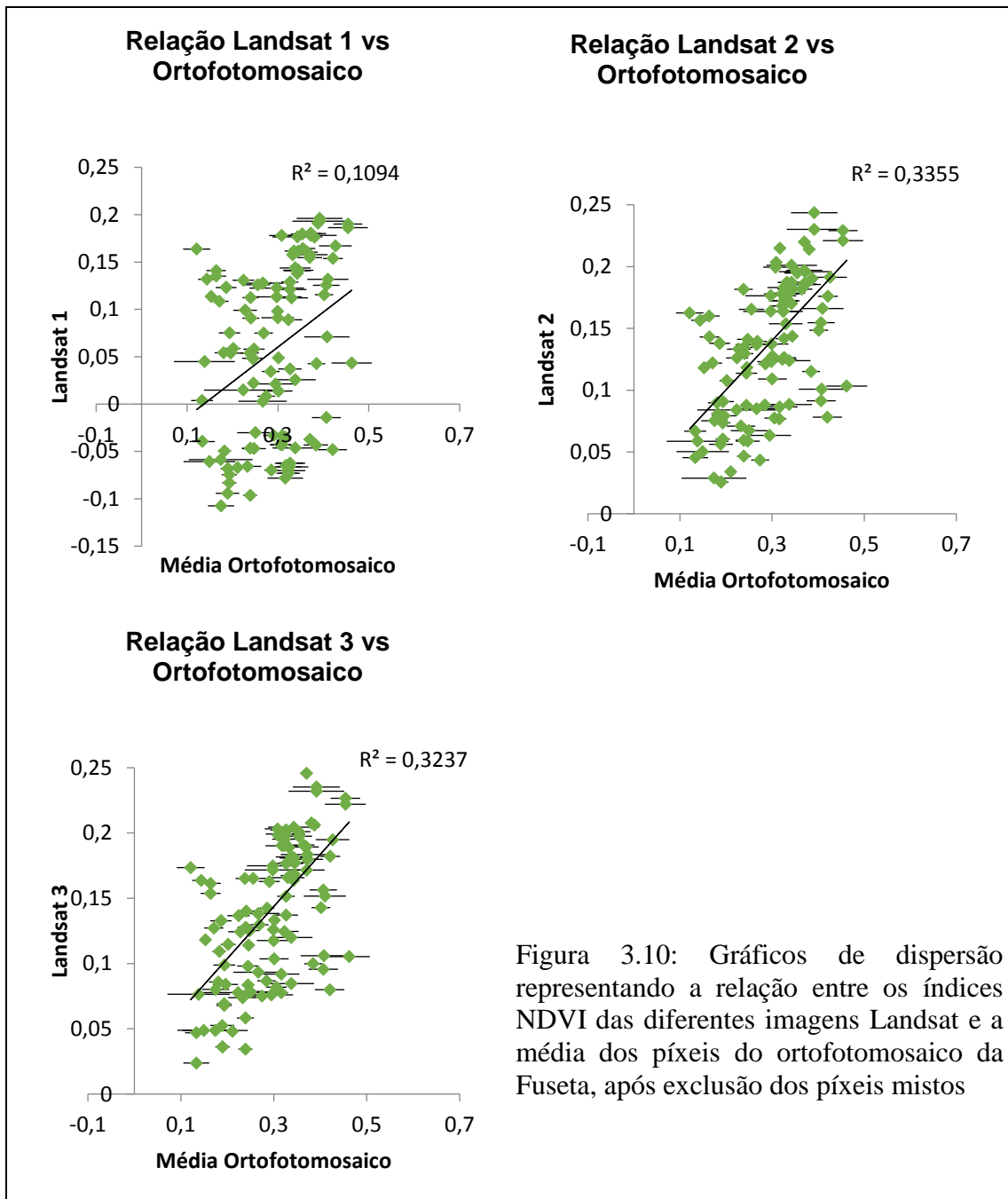


Figura 3.10: Gráficos de dispersão representando a relação entre os índices NDVI das diferentes imagens Landsat e a média dos píxeis do ortofotomosaico da Fusetta, após exclusão dos píxeis mistos

A remoção dos píxeis mistos foi processada manualmente para toda a zona da Fuseta. Observou-se aumentos do coeficiente de determinação (R^2) (ver figura 3.10 e tabela 3.06), contudo continuaram com valores muito baixos, o que indica que não há correlação entre os píxeis do ortofotomosaico e das imagens Landsat.

Tabela 3.06: Lista de imagens Landsat com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) antes e depois da remoção dos píxeis mistos.

Imagem	Coeficiente de determinação (R^2) todos os píxeis	Coeficiente de determinação (R^2) após remoção dos píxeis mistos	Percentual de melhoria (%)
1	0.1021	0.1094	6.67
2	0.2009	0.3355	40.11
3	0.1968	0.3237	39.20

3.5 Fluxo de carbono e GPP (ortofotomosaico & Landsat)

Dando continuidade ao trabalho e de forma a obter um termo de comparação com dados existentes, buscou-se calcular o fluxo de carbono não apenas na zona da Fuseta, mas de grande parte da área da Ria Formosa através da relação entre a imagem MODIS com ambos o ortofotomosaico e a imagem Landsat.

3.6 Processo imagem Landsat (2016)

Utilizou-se a imagem Landsat (nº 3 – Tabela 3.07) já que esta possui nível de maré mais baixo (0.87m) e semelhante ao nível de maré do ortofotomosaico (0.96m). O primeiro passo consistiu em delimitar manualmente a área correspondente a Ria

Formosa através do software *ArcMap*, excluindo zonas urbanas com a presença de edifícios e ausência de vegetação (Figura 3.11).



Figura 3.11: delimitação manual da Ria Formosa (linha vermelha)

Em seguida foram efetuados *clips* às imagens GPP MODIS e CO_2flux da Landsat (n° 3 – Tabela 3.07) a partir da delimitação da Ria formosa efetuada anteriormente. Através da ferramenta *Zonal Statistics as Table* disponível no software ArcGIS obteve-se uma tabela resultado relacionando os valores médios de cada novo pixel criado para a imagem Landsat de CO_2flux com os valores de GPP da imagem MODIS e posteriormente representada em gráfico (Figura 3.12):

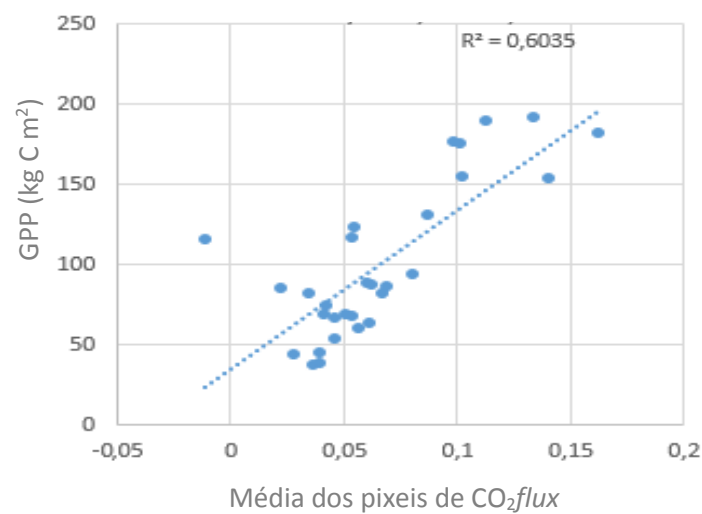


Figura 3.12: Gráfico de dispersão entre os valores GPP e a média dos pixels CO_2flux para a imagem Landsat n°3

A reta obtida foi $y = 991.39x + 34.234$ com um valor R^2 de 0.6035, considerado aceitável e significativo. Decidiu-se trabalhar não somente com a zona da Fuseta, mas com toda a área da Ria Formosa, com o objetivo de se obter mais informações (e consequentemente mais pontos) já que a imagem MODIS apresenta uma resolução de 500m. Dessa forma, cada pixel da imagem MODIS ficou relacionada com a média de 16 píxeis da imagem Landsat.

As figuras 3.13 e 3.14 correspondem aos resultados deste processo para a área da Ria Formosa e a zona da Fuseta, respectivamente. Devido aos píxeis mistos (de resolução de 30m) não se observa valores zero na Fuseta, (exemplo: píxeis correspondentes a água).

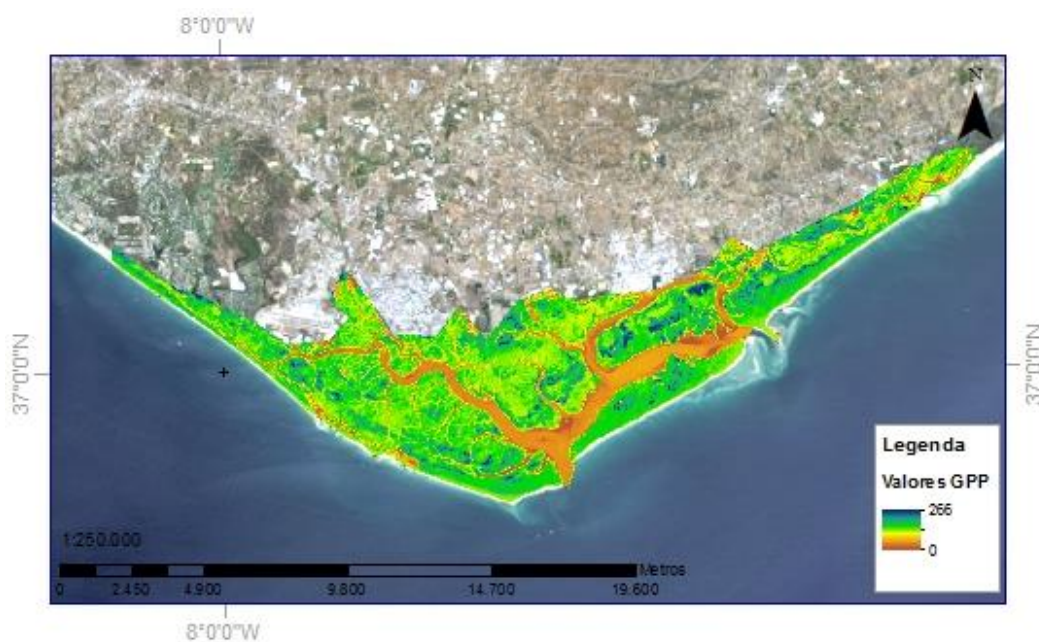


Figura 3.13: Valores Gross Primary Production (GPP) para a área da Ria Formosa obtidos para a imagem Landsat por estimativa com base na relação linear anteriormente obtida

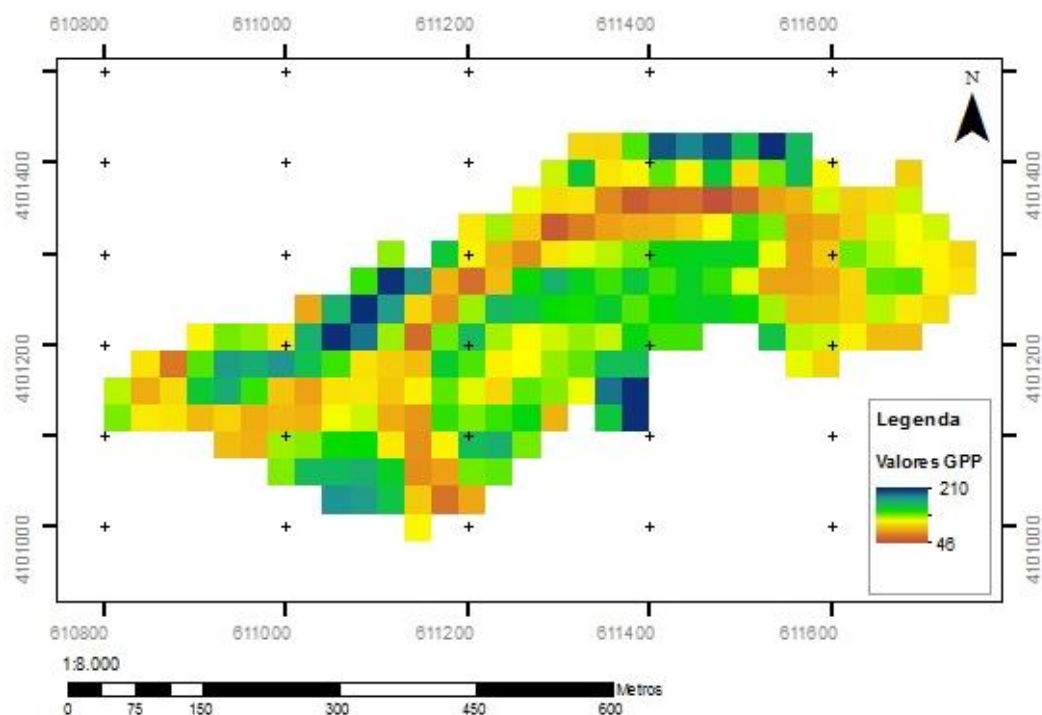


Figura 3.14: Valores Gross Primary Production (GPP) para a zona da Fuseta obtidos para a imagem Landsat por estimativa com base na relação linear anteriormente obtida

O procedimento seguido para trabalhar com o ortofotomosaico é similar ao utilizado com a imagem Landsat. Porém, neste caso, há apenas a região da Fuseta para análise.

Calculou-se o CO_2flux para o ortofotomosaico, e em seguida utilizou-se novamente a ferramenta *Zonal Statistics as Table* relacionando os valores de CO_2flux com os de GPP da imagem MODIS. Como a extensão do ortofotomosaico é bem menor em dimensões do que a área total da Ria Formosa, a zona da Fuseta corresponde a apenas 3 píxeis da imagem MODIS (Figura 3.15). O valor chegado para R^2 foi de 0.9915 para a reta $y=1902x - 248.58$.

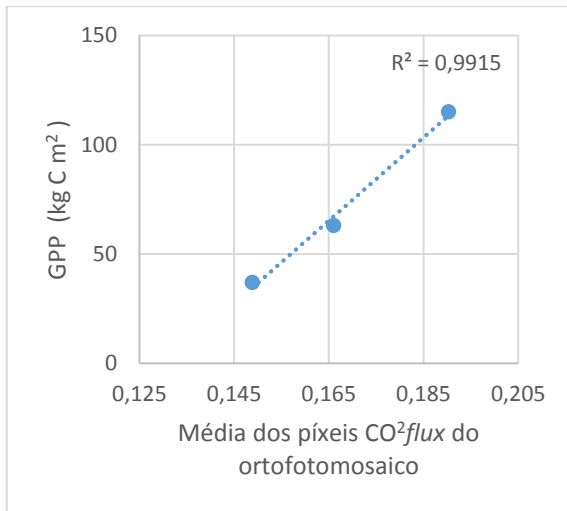


Figura 3.15: Gráfico de dispersão entre os valores GPP e a média dos pixels CO₂flux para o ortofotomosaico

A figura 3.16 corresponde ao resultado deste processo para a zona da Fuseta.

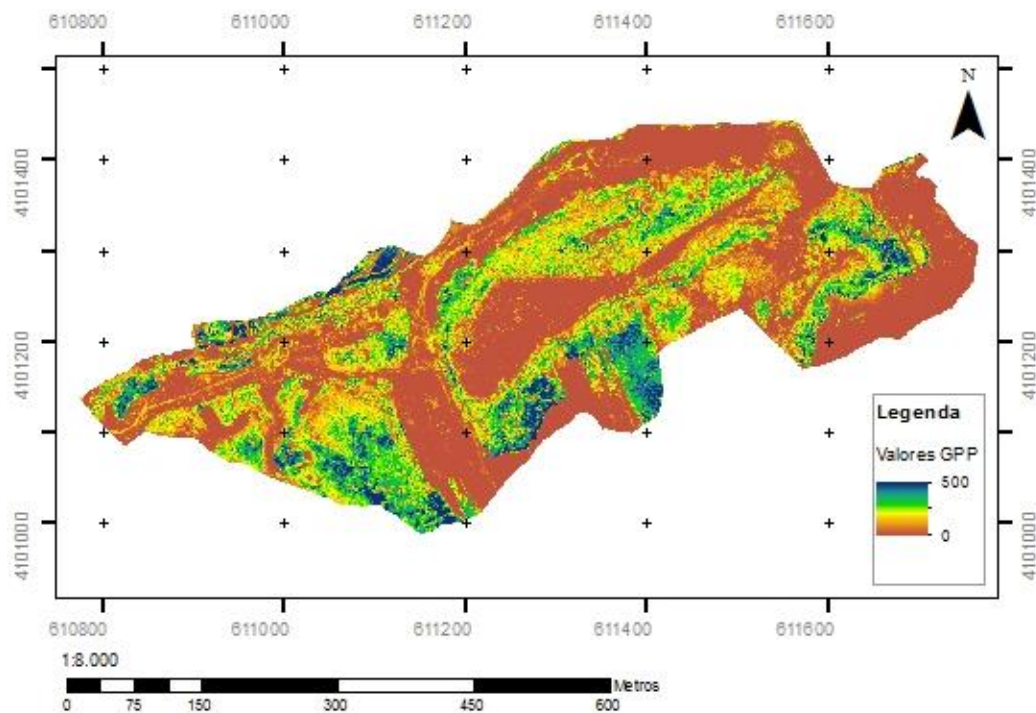


Figura 3.16: Valores Gross Primary Production (GPP) para a zona da Fuseta obtidos para o ortofotomosaico por estimativa com base na relação linear anteriormente obtida

Pode-se observar o histograma das duas imagens resultado (Figura 3.17):

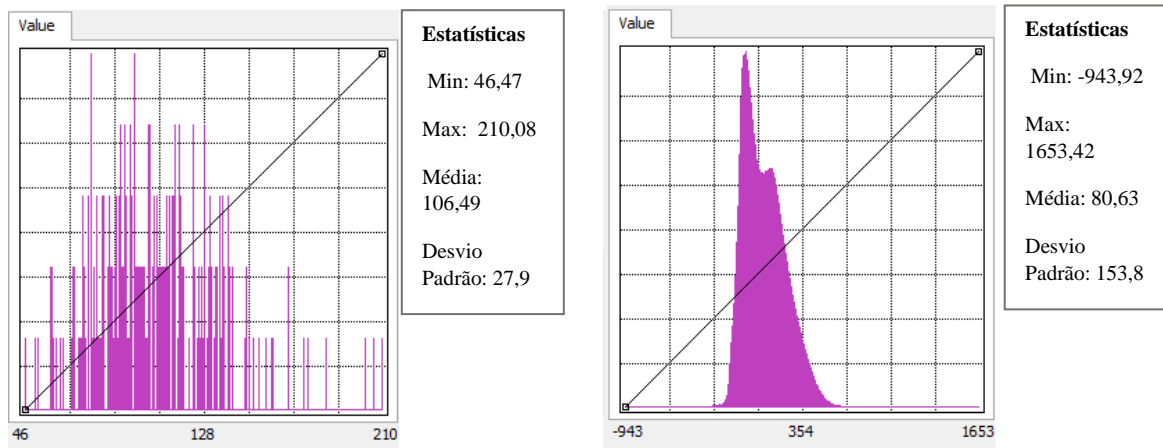


Figura 3.17: A) Histograma do resultado de GPP para a zona da Fuseta a partir da imagem Landsat (esquerda); B) Histograma do resultado de GPP para a zona da Fuseta a partir do ortofotomosaico (direita)

No histograma do ortofotomosaico observa-se que há pequena quantidade de píxeis nos extremos. O desvio padrão da imagem Landsat é 27.9, já que não há grandes diferenças entre os píxeis da imagem. A média encontra-se no valor 80 e o desvio padrão em 153.8. A imagem foi reclassificada nas extremidades, saturando nos valores 0 por não fazer sentido valores de GPP negativos e 500 porque a significância de valores da cauda direita do histograma terminar próximo do valor 500.

Entretanto ainda que os resultados tenham grandezas diferentes, é possível identificar similitudes nas duas imagens (Figura 3.18). As três zonas circuladas nas duas figuras superiores são alguns exemplos que representam valores de GPP elevados tanto no ortofotomosaico como na imagem Landsat. Na parte inferior podem-se observar outras três zonas circuladas com valores baixos de GPP que mostram o mesmo comportamento no ortofotomosaico e na imagem obtida com a Landsat. Através de uma análise mais detalhada percebem-se outras inúmeras áreas que poderiam exemplificar esta relação.

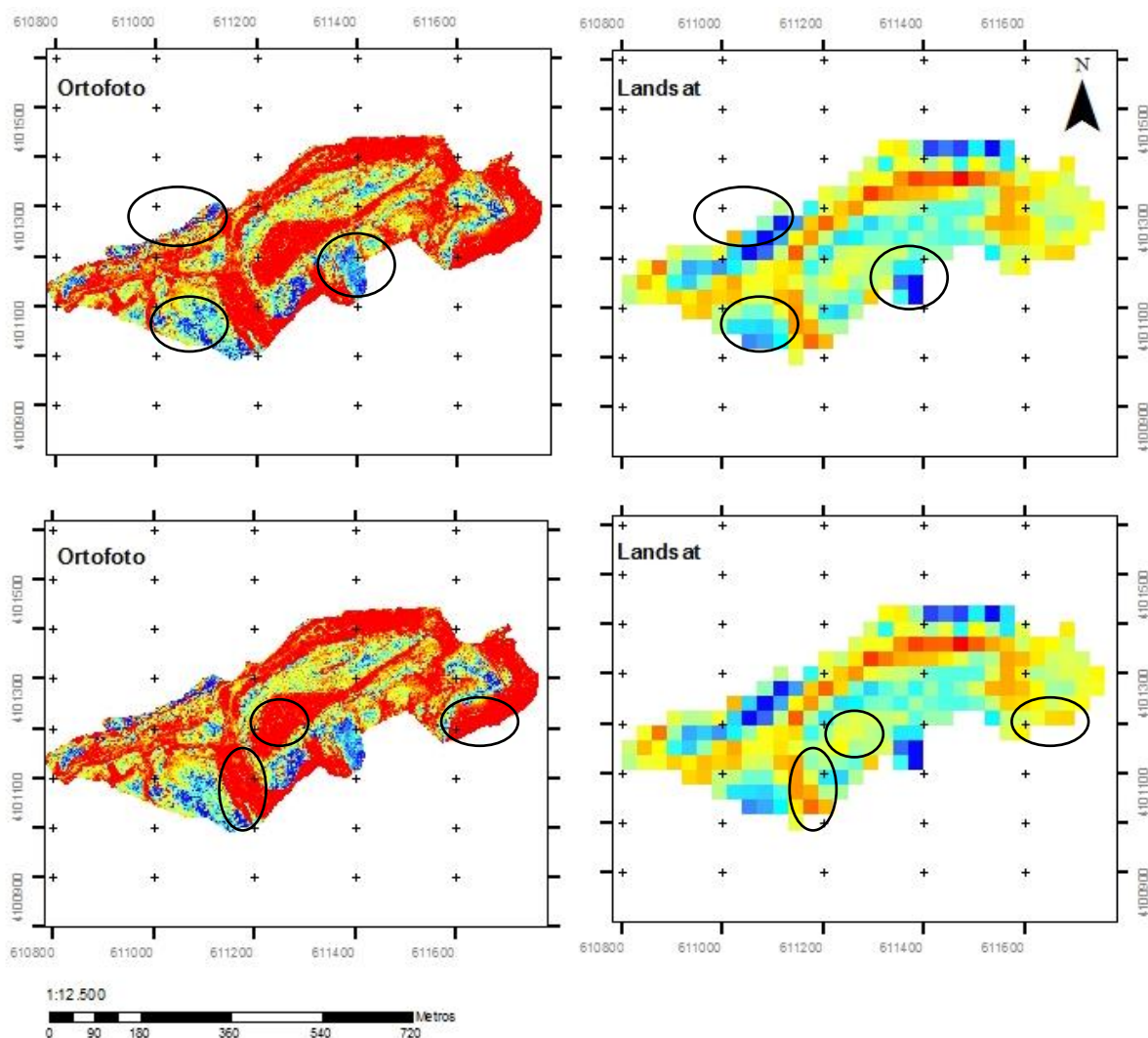


Figura 3.18: Identificação de valores altos (imagens acima) e baixos (imagens abaixo) de GPP para o ortofotomosaico e a imagem Landsat

4. Discussão dos resultados

As tecnologias relacionadas aos sistemas de informações geográficas, em especial, aos sistemas de detecção remota, vem desenvolvendo-se em uma velocidade muito rápida na atualidade. Processos que antes, consumiam uma grande quantidade de tempo e necessitavam de procedimentos de alto custo, como a monitorização de uma zona agrícola, atualmente podem ser realizados com o uso de drones e fotografias aéreas, por técnicos ambientais em conjunto com especialistas em SIG. Através dos índices de vegetação existentes torna-se possível observar e monitorar as diferentes fases de

desenvolvimento dos vegetais, bem como seu estado de saúde, monitorização de doenças, entre outros. (Meneses, 2011)

4.1. Evolução temporal nas imagens Landsat, Índice NDVI para o ortofotomosaico da Fuseta e classificação da vegetação

As imagens Landsat apresentam-se como interessante material para a realização de evoluções temporais de uma determinada área, como foi feito neste trabalho (evolução temporal correspondente aos anos de 2013 a 2016). O banco de imagens Landsat disponível online de forma gratuita contém centenas de imagens (neste caso, relativas a região da Ria Formosa) divididas em categorias (como tipo de imagem) e atualizado até a presente data. Novas imagens são obtidas a cada 16 dias e adicionadas a base de dados, o que possibilita uma constante monitoração de uma determinada área, ou mesmo uma evolução temporal correspondente a períodos mais longos. Esta constitui talvez umas das maiores vantagens na utilização de imagens Landsat para este tipo de estudo. Realizar este mesmo processo com os ortofotomosaicos criados a partir das imagens coletadas pelo drone seria inviável, ou no mínimo de alto grau de dificuldade, em consequência de diferentes fatores:

- a) Uso de equipamentos específicos (drone, câmera, computador portátil)
- b) Voo depende das condições climáticas do local (ausência de nuvens, chuva ou vento) no dia da captura das imagens
- b) tempo de planejamento e preparação necessários para a realização do o voo do drone
- c) distância limitada percorrida pelo drone
- e) tempo de voo limitado (dependente da duração da bateria)
- f) ausência de um banco de dados contendo imagens de períodos anterior ao voo (se este não foi criado antecipadamente pelo utilizador)

Durante a análise das imagens Landsat é importante considerar o nível de maré de cada imagem. Procurou-se utilizar imagens com níveis de maré similares (todos maior do que 0.5m e menores que 1m) com o objetivo de realizar comparações o mais próximo da realidade possível entre elas. Diferentes níveis de maré entre as imagens podem vir a apresentar grande influência nos resultados. O nível de maré para cada imagem foi calculado com o *software* WTide, porém o ideal seria obter este tipo de informações através do Instituto Hidrográfico da Marinha de Portugal ou outra instituição responsável por pesquisas desta natureza. Esta ressalta também deve ser considerada na análise da evolução temporal dos índices CO_2flux , discutida mais adiante neste capítulo.

Na análise das imagens resultantes do índice NDVI, utilizadas na evolução temporal presente neste trabalho, é possível identificar maiores semelhanças entre os resultados correspondentes aos anos de 2013 e 2014 e entre 2015 e 2016. Como uma possível explicação para este fenômeno, pode-se citar o processo de assoreamento, comum não apenas na zona da Fuseta, mas em toda zona costeira da Ria Formosa. Procedimentos de caráter antrópico, como dragagens, são comuns nestas zonas, além de processos erosivos, que resultam, muitas vezes, do movimento natural de migração das barras de maré. A dinâmica de um sistema lagunar é complexa, devido as constantes interações entre marés, ondas e correntes, que modelam a morfologia da região (Dores, 2013). Outro fator que pode explicar essa semelhança é o período em que estas imagens foram obtidas: as imagens correspondentes a 2013 e 2014 foram registradas durante o verão (mês de julho), enquanto as de 2015 e 2016 correspondem ao inverno (mês de dezembro), e a vegetação de sapal pode apresentar características diferentes dependendo da época do ano (exemplo: vegetação anual e vegetação estival) (ICNF, 2016). Porém notou-se a falta de material e bibliografia disponíveis referentes a este assunto, principalmente quanto aos processos e intervenções realizados na zona da Fuseta durante o período de 2013 a 2016.

Diferentes sistemas ecológicos estão presentes na área do Parque Natural da Ria Formosa, o que conseqüentemente resulta na existência de variados tipos de vegetação, adaptados de acordo com o meio em que se encontram. (Costa, 2001)

Durante o trabalho de campo buscou-se coletar propositalmente amostras de plantas:

- a) que iriam aparecer posteriormente no ortofotomosaico.
- b) que estavam presentes em grande quantidade e/ou concentração na região de estudo.
- c) poderiam ser diferenciadas claramente sem a utilização de equipamentos (olho nu) no momento da coleta.
- d) pertenciam a diferentes partes do sapal (alto, médio e baixo), de acordo com sua localização (proximidade com áreas alagadas e dunas, por exemplo)

O trabalho de campo realizado foi fundamental para uma maior compreensão e visão prática da bibliografia utilizada nesta dissertação. Amostras de erva-marinha não foram coletadas por encontrarem-se submersas na área do sapal, porém foi possível observar grande quantidade da mesma nas zonas de águas mais rasas, nos arredores da praia. As amostras coletadas correspondem, no entanto, apenas a uma pequena parte do inventário florístico presente na área do parque, constituída por centenas de espécies diferentes. (Revisão do Plano de Ordenamento do Parque Natural da Ria Formosa, 1991)

Deve-se observar se a vegetação não se encontra sob estresse hídrico durante as análises dos resultados de NDVI. Quanto maior o nível de estresse hídrico das plantas, menor será a diferença entre as reflectância nos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo. Isto ocorre em consequência da menor absorção de radiação solar por parte da planta, processo que resulta no aumento sua reflectância no espectro visível e maior absorção na faixa do infravermelho próximo. (Poelking et al., 2007). Grande parte da vegetação do sapal se encontra próxima a água mesmo nas marés mais baixas, sendo assim, apenas a vegetação presente nas dunas pode chegar a passar por períodos de estresse hídrico. (Martins et al., 2008)

Schmidt (2003) reconhece a dificuldade de identificação das plantas presentes no sapal através de imagens de satélite devido a sua similaridade e aparente homogeneidade

quando observadas de longe. Porém em seu trabalho, a autora apresentou resultados positivos em relação a identificação de diferentes espécies de plantas através da análise dos valores NDVI em imagens hiperespectrais. Em sua pesquisa também foram utilizados equipamentos específicos como o espectrômetro, por exemplo.

O ortofotomosaico, entretanto, apresentou-se como uma interessante alternativa quanto a classificação da vegetação de acordo com seu valor NDVI. Durante a análise da imagem foi possível observar (e posteriormente classificar) as variadas tonalidades de cores e os diferentes valores NDVI para a cobertura vegetal da zona de estudo.

No processo de classificação da vegetação conseguiu-se identificar cinco diferentes classes: área sem vegetação, vegetação esparsa, vegetação de sapal alto, vegetação de sapal médio e vegetação de sapal baixo, de acordo com os valores obtidos, enquanto que na imagem Landsat apenas três: área sem vegetação, vegetação esparsa, vegetação densa. Os valores de NDVI variam entre -0.7623 e 1 para a ortofotomosaico, enquanto que na imagem Landsat apenas de 0.023 e 0.352. Isso deve-se principalmente ao fato da presença de píxeis mistos nas imagens Landsat, ou seja, píxeis cujo os valores representam uma média de regiões com água e vegetação, por exemplo. Isto ocorre em consequência da baixa resolução da imagem Landsat (em comparação a resolução do ortofotomosaico) para uma área de estudo consideravelmente pequena (aproximadamente 0.2km²). Dessa forma, os resultados referentes a ortofotomosaico são mais fiéis a realidade do que os da Landsat. Assim, ortofotomosaico e imagens de alta resolução são fundamentais para a realização de um estudo de qualidade e obtenção de resultados significativos.

É importante observar que os tipos de vegetação (sapal baixo, médio, alto e dunas) foram identificados através da análise do ortofotomosaico, e não as diferentes espécies de plantas que compõe cada um desses grupos. Para resultados mais precisos, o uso de equipamentos como o espectrômetro, em conjunto com o uso de imagens hiperespectrais e múltiplos trabalhos de campo é recomendado.

4.2 Classificação dos resultados de CO_2flux e evolução temporal das imagens

Landsat

Os resultados de CO_2flux foram agrupados automaticamente em 5 classes pelo *software* ArcMap. Através de análise da evolução temporal das imagens Landsat, observa-se que os valores de CO_2flux aumentaram ao longo dos anos (de 2013 a 2016), configurando um aumento de 23.2% (conjunto formado pelas classes 4 e 5, as quais possuem valores mais altos). Devido aos diferentes níveis de maré, moderada resolução das imagens Landsat e ausência de trabalhos e pesquisas científicas utilizando o índice CO_2flux nesta zona, torna-se complicado afirmar com certeza o que ocorreu exatamente nesta área ao longo dos anos. Este aumento nos valores de CO_2flux pode ser consequência de um maior desenvolvimento da vegetação local, bem como expansão da cobertura vegetal na zona da Fuseta, devido a programas de conservação e manejo da região.

4.3 Resultados CO_2flux , MODIS e GPP

Os resultados da correlação entre os píxeis da ortofotomosaico e os da Landsat (utilizando o NDVI de ambas) apresentaram valores baixos e não significativos. Após a remoção dos píxeis mistos presentes na imagem Landsat, os resultados apresentaram uma pequena melhoria, mas não suficiente para serem considerados relevantes.

Entretanto o R^2 da relação entre os valores da imagem resultado CO_2flux (Landsat) e de Produção Primária Bruta (GPP) (obtidos através da imagem MODIS) foi de 0.6, considerado um valor significativo. A correlação entre a mesma imagem de GPP MODIS e a ortofotomosaico obteve um R^2 de 0.9, considerado muito alto. Dessa forma, é possível afirmar que valores de GPP podem ser obtidos através de dados e informações presentes em uma imagem de CO_2flux . Porém é importante observar que, para este estudo, foram utilizados apenas 3 pontos (quantidade de pontos GPP que correspondia a área da Fuseta).

Como a imagem de GPP MODIS apresenta resolução de 500 metros, torna-se interessante conseguir dados para píxeis de maior resolução, principalmente em regiões de área menor. Entretanto a imagem GPP MODIS trata-se de uma composição de valores de GPP de um período de 8 dias, onde seria ideal utilizar dados de apenas um dos dias

para comparar com os resultados de CO_2flux , tanto na imagem Landsat como no ortofotomosaico. A ausência de torres de medição de carbono próximas a zona de estudo corresponde a um dos fatores agravantes deste trabalho, o que impossibilitou comparações entre os valores encontrados através dos softwares de SIG e as informações coletadas por estas torres.

4.4 Fluxo de carbono e GPP (ortofotomosaico & Landsat)

Na última análise deste trabalho, O GPP foi calculado para ambas imagens, ortofotomosaico e Landsat. Como as imagens apresentam resoluções muito diferentes, não foi possível realizar uma comparação efetiva entre os resultados. Porém, quando visualizados no formato de mapas de GPP, é possível perceber um certo padrão e semelhança entre as imagens; ou seja, áreas que apresentam valores baixos de GPP na imagem Landsat também apresentam valores baixos no ortofotomosaico, apesar de que com grandezas diferentes. Para um melhor resultado seria interessante comparar imagens com a mesma resolução, e mesmo em diferentes áreas, para compreender melhor a distribuição e variação dos valores GPP em uma determinada região. As zonas com valores mais altos correspondem sempre as áreas com vegetação densa, enquanto as zonas com valores mais baixos estão relacionadas aos bancos de areia, praia e água. Devido à alta resolução do ortofotomosaico é possível observar mais detalhes e conseqüentemente mais valores de GPP presentes na zona da Fuseta.

5. Conclusão

Estudos relacionados com zonas húmidas podem ser utilizados para vários propósitos, dentre eles reabilitação pós desastres, desenvolvimento de infraestrutura adequada, incluindo estradas e pontes e abrigos habitacionais. Através da análise das imagens de satélite, é possível observar o estado atual das zonas húmidas a nível global. (Kulawardhana et al.,2008)

É inegável a importância de mapear e caracterizar as zonas húmidas a fim de melhorar a gestão e planeamento destas áreas a nível nacional, regional e local.

Pode-se dizer que o ortofotomosaico possui resolução bem maior (0,03m) do que as imagens Landsat (30m), possibilitando a visualização de um grande número de detalhes da zona de estudo. É possível observar os denominados píxeis “puros” no ortofotomosaico, ou seja, píxeis que estão localizados apenas em zonas de água, ou apenas em zonas de vegetação, mas não em áreas de transição (o que acontece nas imagens Landsat). Em consequência disto, os resultados da ortofotomosaico correspondem mais fielmente à realidade (Ex.: aparecimento de píxeis negativos e de valores elevados, representando a vegetação). Enquanto no ortofotomosaico é possível observar detalhes da região da Fuseta em sua totalidade, as imagens Landsat são ideais para áreas de grandes extensões (na grandeza de quilômetros ou hectares).

Segundo Kulawardhana et al (2008), é possível, de maneira eficiente, mapear, identificar e analisar as zonas húmidas presentes em uma área geográfica de grande extensão através do uso de imagens de satélite juntamente com dados e softwares de SIG. Dessa forma, pode-se observar que este tipo de análises em grandes escalas espaciais aumentaria a capacidade de avaliar e entender a dinâmica destes ecossistemas vulneráveis como um grande conjunto, e não apenas uma entidade isolada.

A identificação da vegetação presente nas zonas de sapal pode ser realizada através de ortofotomosaicos apresentando resultados satisfatórios e fornecendo, por exemplo, importante informação relacionada ao mapeamento florístico de uma região. Este método de identificação é uma alternativa não destrutiva e com menor custo em comparação aos métodos tradicionais.

Com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se afirmar que, para pequenas extensões, ortofotomosaicos são ideais devido à ocorrência e visualização de detalhes. Para grandes extensões, como florestas tropicais, e estudos relacionados a evolução temporal de determinadas áreas aconselhável a utilização de imagens de satélite.

5.1 Importância do trabalho e sugestões para estudos futuros

Como sugestões para futuros trabalhos, pode-se citar a utilização de imagens de satélite hiperespectrais no processo de análise dos índices NDVI, PRI, sPRI e CO_2flux , bem como o uso de dados obtidos através de torres de carbono, para uma possível correlação com os resultados de GPP e CO_2flux . Seria interessante explorar os outros índices de vegetação existentes, como Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF), entre outros.

A utilização do drone para a captura de imagens apresenta-se como uma possibilidade acessível e interessante para observação e identificação de vegetação, não se restringindo apenas as zonas de sapal, mas podendo ser utilizado sob qualquer tipo de terreno, mesmo sem cobertura vegetal.

Para futuras pesquisas seria interessante calcular o índice de CO_2flux em outros tipos de imagens em diferentes períodos e observar se os novos resultados se assemelham ou seguem a mesma linha dos resultados das imagens Landsat utilizadas neste trabalho.

Apesar da importância do Parque Natural da Ria Formosa como zona húmida, não apenas em Portugal, mas a nível global, ainda há pouca pesquisa relacionada ao tema do cálculo do fluxo de carbono através de técnicas de detecção remota que pode ser explorada e desenvolvida. Pesquisas neste tema são extremamente importantes para a compreensão, ordenação e manejo, tanto de ambientes naturais como de zonas modificadas pelo ser humano.

6. Referências bibliográficas

- Almeida, J. B., Moreira, A. A., Fernandes, F. H. S., de Almeida, R. P., & Nery, C. V. M. (2014). O Sensoriamento Remoto aplicado ao Estudo da Desertificação na Região Semiárida do Norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geomática*, 2(2).
- Alvarenga, A. e Moraes, M. (2014) *Utilização de imagens LANDSAT 8 para caracterização da cobertura vegetal*. Disponível em <http://mundogeo.com/blog/2014/06/10/processamento-digital-de-imagens-landsat-8-para-obtencao-dos-indices-de-vegetacao-ndvi-e-savi-visando-a-caracterizacao-da-cobertura-vegetal-no-municipio-de-nova-lima-mg/>, (Acedido em 21 novembro de 2016).
- Baptista, G. M. M. (2003) *Validação da modelagem de seqüestro de carbono para ambientes tropicais do cerrado, por meio de dados Aviris e Hyperion*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. (SBSR). 05-10 abr. 2003, Minas Gerais. Anais... Belo Horizonte: INPE, 2003. Artigos, 1037- 1044
- Baptista, G.M.M. (2004) *Mapeamento do Sequestro de Carbono e de Domos Urbanos de CO₂ em Ambientes Tropicais, por meio de Sensoriamento Remoto Hiperespectral*. Geografia (Rio Claro), v. 29, p. 189-202, 2004
- Barthelmes, A., Couwenberg, J., Risager, M., Tegetmeyer, C., & Joosten, H. (2015). *Peatlands and Climate in a Ramsar Context: A Nordic-Baltic Perspective* (Vol. 2015544). Nordic Council of Ministers.
- Brandão, Z. N., Bezerra, M. V. C., & Silva, B. B. (2007). *Uso do NDVI para determinação da biomassa na chapada do Araripe*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 75-81.
- Braun-Blanquet, J. (1979) – *Fitosociologia. Base para el estudio de las comunidades vegetales*. H. Blum. Madrid.
- Bossler, J. D., Campbell, J. B., McMaster, R. B., & Rizos, C. (Eds.). (2010). *Manual of geospatial science and technology*. CRC Press.
- Cadernos NAE (2005) *Mudança do clima*, n.3. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Brasília, 250p.
- Ceia, F. (2007) *Vulnerabilidade das Ilhas-Barreira e Dinâmica da Ria Formosa na Óptica da Gestão*. Tese de mestrado em Gestão e Conservação da Natureza. Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente – Universidade do Algarve, Faro. 106 pp.
- Cerqueira, D.B.; Rocha, W.F (2007). *Relação entre tipos de vegetação e fluxo de CO₂ no Bioma Caatinga: Estudo de caso em Rio das Contas-BA*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR),2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE. 2413-2419. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.29/doc/2413-2419.pdf>>. (Acedido em 21 novembro de 2016).
- Coltri, P. P., Ramirez, G. M., Walter, M. K. C., Zullo Junior, J., Pinto, H. S., Nascimento, C. R., Gonçalves, R. R. do V. (2009). *Utilização de índices de vegetação para estimativas não-*

- destrutivas da biomassa, estoque e seqüestro de carbono do cafeeiro Arábica*. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE 25-30, 121-128.
- Community Research and Development Information Service CORDIS (2016), disponível em: <http://cordis.europa.eu>
- Costa, J.C.; Lousã, M. e Espirito-Santo, M.D. (1997) – Vegetação do Parque Natural da Ria Formosa. *Studia Botanica* 15: 69-157
- Costa J. C., (1991) – *Flora e Vegetação do Parque Natural da Ria Formosa*. Dissertação de Doutoramento. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa. Pp. 323.
- Costa J.C. (2001) – *Tipos de vegetação e adaptações das plantas do litoral de Portugal continental*. In Albergaria Moreira, M.E., A. Casal Moura, H.M. Granja & F. Noronha (ed.) Homenagem (in honorio) Professor Doutor Soares de Carvalho. Braga. Universidade do Minho. 283-299.
- Costa, F. D. S., Souza Filho, C. R., & RISSO, A. (2007). Análise temporal de NDVI e mapas potenciais naturais de erosão na região do Vale do Ribeira, São Paulo. XIII simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.
- Daughtry, C. S. T., Walthall, C. L., Kim, M. S., Brown de Colstoun, E., & McMurtrey III, J. E. (2000) *Estimating corn leaf chlorofila concentration from leaf and canopy reflectance*. *Remote Sensing Environment*, v.74, p.229– 239.
- Department of Environment and Heritage DEH (2016) *Protection Wetlands and the carbon cycle, WetlandInfo*, Queensland. Disponível em: <https://wetlandinfo.ehp.qld.gov.au/wetlands/ecology/processes-systems/carbon-cycle.html>. (Acedido em 28 de dezembro de 2016)
- Dores, T. M. P. D. (2013). Evolução espaço-temporal da batimetria dos principais canais da Ria Formosa recorrendo à aplicação de SIGs (Dissertação de mestrado). Universidade do Algarve, 86p.
- Duarte, C., Matias, A., Dias, J.A., Ferreira, Ó., (1999). *Vulnerabilidade dos corpos dunares do Algarve*. 10º Congresso do Algarve: 477-490.
- European Association of Remote Sensing Laboratories EARSEL (2016), disponível em <http://earsel.org/>
- Farinha, J.C; Costa L., Trindade, A., Araújo, P.R. & Silva, E.P. (2001) *Zonas Húmidas Portuguesas de Importância Internacional*. Instituto da Conservação da Natureza, Lisboa
- Foster, J., Evans L., Curtin, A. & Hill, B. (2012) *The Role of Wetlands in the Carbon Cycle*. Issues Paper The Role of Wetlands in the Carbon Cycle. pag. Department of Environment. Australian Government. Disponível em: <http://www.environment.gov.au/system/files/resources/b55b1fe4-7d09-47af-96c4-6cbb5f106d4f/files/wetlands-role-carbon-cycle.pdf>. (Acedido em 20 de dezembro de 2016)
- Gamon, J. A.; Penuelas, J.; Field, C. B.(1992) *A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency*. *Remote Sensing of Environment*, v.41, n.1, p.35-44.

- Gamon, J.A.; Serrano, L.; Surfus, J.S. (1997). *The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels*. *Oecologia*, vol. 112 (4): 492-501.
- Géhu, J.-M. (1985). *La végétation des dunes et bordures des plages européennes*. Comité Européen pour la Sauvegarde de la Nature et des Ressources Naturelles. Conseil de l'Europe. Strasbourg.
- Guimarães, M.H.M.E; Cunha, A. H.; Nzinga, R. L. e Marques, J. F. (2012). *The distribution of seagrass (Zostera noltii) in the Ria Formosa lagoon system and the implications of clam farming on its conservation*. *Journal for Nature Conservation* 20: 30-40.
- Hicks, W.S., Bowman, G.M. & Fitzpatrick, R.W. (1999). *Environmental Impact of Acid Sulphate Soils near Cairns, Qld*, vol. 15 CSIRO Land and Water Technical Report.
- Hunt, E.R., Jr.; Doraiswamy, P.C.; McMurtrey, J.E.; Daughtry, C.S.T.; Perry, E.M.; Akhmedov, B. (2013) *A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale*. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf*, 21: 103–112.
- Instituto de Conservação da Natureza e da Floresta – ICNF (1991) *Revisão do Plano de Ordenamento do Parque da Ria Formosa, Vol I e II*
- Instituto de Conservação da Natureza e da Floresta - ICNF (2008) *Plano Setorial Rede Natural 2000*
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2007) *Climatic Change 2007: Synthesis Report*. Pachauri, R.K.; Reisinger, A. (Eds.). Geneva, Switzerland, 2007. 104p.
- Jackson, R. D. & Huete, A. R (1991). *Interpreting vegetation indices*. *Preventive veterinary Medicine*, 11 185-200. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam
- Jarlan, L., Mangiarotti, S., Mougin, E., Mazzega, P., Hiernaux, P., & Le Dantec, V. (2008). *Assimilation of SPOT/VEGETATION NDVI data into a sahelian vegetation dynamics model*. *Remote Sensing of Environment*, 112(4), 1381-1394.
- Kulawardhana, R. W., Thenkabail, P. S., Vithanage, J., Biradar, C., Islam, M. A., Gunasinghe, S., & Alankara, R. (2008). *Evaluation of the wetland mapping methods using Landsat ETM+ and SRTM data*. *Journal of Spatial Hydrology*, 7(2).
- Lousã, M. (1986) – *Comunidades halofíticas da Reserva de Castro Marim*. Dissertação de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia.
- Marcelo, M.J. & Cancela da Fonseca, L. (1998). *Ria Formosa: Da gestão e conservação de uma área protegida*. *Revista de Biologia*, 16,1-4:125-133.
- Martins, F.M.G.; Fernandez, H.M.; Isidoro, J.M.G.P.; Jordán, A. & Zavala, L. (2015): *Classification of landforms in Southern Portugal (Ria Formosa Basin)*, *Journal of Maps*, DOI: 10.1080/17445647.2015.1035346
- Martins, S., Machado, S. R., & Alves, M. (2008). *Anatomia e ultra-estrutura foliar de Cyperus maritimus Poir.(Cyperaceae): estratégias adaptativas ao ambiente de dunas litorâneas*. *Acta Botanica Brasilica*, 493-503.
- Meneses, P. R. (2011). *Princípios De Sensoriamento Remoto*. In: *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Meneses, P. R.; Almeida, T. (Org.). UnB: Brasília

- Mitra S., Wassmann, R. & Vlek, P. (2003) *Global Inventory of Wetlands and their Role in the Carbon Cycle*. ZEF – Discussion Papers on Development Policy No. 64, Center for Development Research, Bonn, pp. 44.
- Moran, M. S., Inoue, Y., & Barnes, E. M. (1997) *Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management*. *Remote Sensing of Environment*, v.61, p.319– 346, 1997.
- National Oceanic and Atmospheric Administration U.S. Department of Commerce NOAA (2017) disponível em: <http://oceanservice.noaa.gov/facts/remotesensing.html>
- Neto C. & J. Capelo, (1999). *Guia da Excursão ao Sado e Costa da Galé. Livro de Resumos do 2º Encontro ALFA de Fitosociologia*. Centro de Estudo Geográficos da Universidade de Lisboa, Lisboa. Pp. 152.
- Page, K.L. & Dalal, R.C. (2011) *Contribution of natural and drained wetland systems to carbon stocks, CO₂, N₂O, CH₄ fluxes: An Australian perspective'*, *Soil Research*, vol. 49, no. 5, pp. 377-377-388. Disponível em http://www.publish.csiro.au/?act=view_file&file_id=SR11024.pdf (Acedido em 10 de janeiro de 2017)
- Pinheiro, H.; Castro, J. P. M; Azevedo, J. (2014). *Sequestro de carbono e alterações na paisagem na Freguesia de Deilão, nordeste de Portugal*, *Revista Árvore*, 1: 41 - 52.
- Plano Setorial Rede Natural 2000 (2008) disponível em <http://www.icnf.pt/>
- Poelking, E. L., Lauermaann, A., & Dalmolin, R. (2007). *Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico*. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 13, 21-26.
- Ponzoni, F. J; Shimabukuro, Y. E (2007). *Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação*. São José dos Campos, SP, Editora Parentese. 126p.
- Prentice, I. C., Farquhar, G. D., Fasham, M. J. R., Goulden, M. L., Heimann, M., Jaramillo, V. J., ... & Wallace, D. W. (2001). *The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide*. Cambridge University Press.
- Rahman, A.F.; Gamon, J.A.; Fuentes, D.A.; Roberts, D.; Prentiss, D.; Qiu, H. (2000). *Modelling CO₂ flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery*. *AVIRIS Workshop, JPL/NASA, Pasadena, Califórnia*.
- The Ramsar Convention Manual: a guide to the Convention on Wetlands (1971) Ramsar, Iran.
- Richardson, C.J., McCarthy, E.J. (1994): *Effect of Land Development and Forest Management on Hydrologic Response in Southeastern Coastal Wetlands: A Review*. *Wetlands*, 14(1), pp. 56-71.
- Rivas-Martínez, S., Lousã, M., Díaz, T.E., Fernandez-Gonzales, F., & Costa, J.C. (1990) *La Vegetación del Sur de Portugal (Sado, Alentejo e Algarve)*. *Itinera Geobotánica. Asociación Española de fitosociologia*. 3:5-126.
- Rivas-Martínez, S., Sánchez-Mata, D. & Costa, M., (1999) *North American Boreal and Western Temperate Forests Vegetation*. *Itinera Geobotánica. Asociación Española de fitosociologia*. 12:5-316

- Richardson, C.J., McCarthy, E.J. (1994) *Effect of Land Development and Forest Management on Hydrologic Response in Southeastern Coastal Wetlands: A Review*. *Wetlands*, 14(1), pp. 56-71.
- Rodrigues, C. P. (2010) *Estudo do fluxo de carbono utilizando geotecnologias*. 93 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2010
- Rouse J. W.; Haas Jr, R. H.; Schell J. A., Deering D. W. (1973) *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. In. NASA ERTS SYMPOSIUM, 3. Maryland. [Anais...] Washington, D.C.: NASA, v.1, p.309-317, 1973.
- Santos, A. M., Galvêncio, J. D., & de MOURA, M. S. B. (2008). Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para identificação da cobertura fitogeográfica da Bacia Hidrográfica do rio Goiana-PE. In Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA DO NORDESTE, 2., 2008, João Pessoa. Sustentabilidade e meio ambiente no Nordeste brasileiro. João Pessoa: UFPB: DGEOC: CCEN: PPGG, 2008..
- Schmidt, K. (2003). *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation Species Distribution in a Salt marsh*. Tese de doutorado. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. ITC Enschede, Holanda.
- Smith, MJ; Goodchild, M.F; Longley, P.A; (2009) *Geospatial analysis: a Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*. (3rd ed. ed.). Troubador Ltd: Leicester, UK. 491p.
- Skinner, B. J. & Porter, S. C. 1995. *The blue planet: an introduction to earth system science*. New York, John Wiley e Sons. 493p.
- Vieira, E. L.; Souza, G. S.; Santos, A. R.; Santos Silva, J. (2010) *Manual de Fisiologia Vegetal*. São Luís: Edufma, 230p.

Apêndice

Tabela: Percentual de ocupação de cada classe temática de CO_2flux para as imagens Landsat da zona da Fuseta (2013-2016)

<i>Imagens (ano)</i>	<i>Nível de mare (m)</i>	<i>Classes</i>	<i>Percentual de ocupação (%)</i>
		1	40.9
		2	15.6
2013	0.68	3	29.5
		4	11.3
		5	2.5
		1	36.7
		2	11.8
2014	0.69	3	32
		4	15.6
		5	3.7
		1	21
		2	15.1
2015	0.85	3	28.2
		4	24.8
		5	10.5
		1	25.3
		2	12.8
2016	0.87	3	25.3
		4	30
		5	6.4