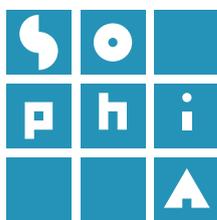


5

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

análise de dados de satélite





DGRM

Avenida Brasília
1449-030 Lisboa
Portugal
Tel.: +351 213 035 700
Fax: +351 213 035 702
dgrm@dgrm.mam.gov.pt
www.dgrm.mam.gov.pt

SOPHIA

sophia-dqem@dgrm.mam.gov.pt
www.sophia-mar.pt

COPYRIGHT

Logótipo SOPHIA © DGRM 2016. Todos os direitos reservados. Marca registada. Não é permitida qualquer reprodução ou retroversão, total ou parcial, do logótipo SOPHIA sem prévia autorização escrita do Editor.

Guia 5 - Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite.
Licença Creative Commons Atribuição Não Comercial Compartilha Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

Título

Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite

Autores

Cristina Lira¹, Alexandra Amorim², Ana Nobre Silva¹, Rui Taborda¹

¹ IDL - Instituto Dom Luiz, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

² Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Coordenação do Guia Técnico

Cristina Lira

Coordenação do Projeto SOPHIA na FCUL

Ana C. Brito, MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Biologia Vegetal, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Edição

DGRM - Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos
Edição Eletrónica - 2016

Design Gráfico

ESCS - Escola Superior de Comunicação Social
(coordenação: João Abreu; paginação: Joana Souza; colaboração: Joana Paraíba, Joana Torgal Marques, Pedro Ribeiro, Renata Farinha, Rita Oliveira)

Referência ao Guia Técnico

Lira, C., Amorim, A., Silva, A. N. e Taborda, R., (2016).
Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite.
DGRM, Lisboa, Portugal. E-book disponível em www.sophia-mar.pt.

ISBN

978-989-99601-5-2

Documentação de apoio ao módulo de formação SOPHIA –
Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite.

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

análise de dados de satélite







COMO UTILIZAR O GUIA	9
PREFÁCIO	11
CAPÍTULO 1 - Princípios básicos da detecção remota	14
1.1 Definição	15
1.2 A radiação eletromagnética	16
1.2.1 Radiação do espectro do visível e infravermelho próximo	17
1.2.1.1 Interação da radiação eletromagnética <i>VNIR</i> com a matéria	17
1.2.1.2 Interação da radiação eletromagnética <i>TIR</i> com a matéria	20
1.2.2 Os efeitos da atmosfera na radiação eletromagnética	20
1.2.2.1 As janelas atmosféricas	22
1.2.3 Os efeitos da água na radiação	23
1.2.4 Refletância	23
1.2.4.1 Tipos de refletância	23
1.2.4.2 Assinatura espectral	24
1.2.4.3 Catálogos de assinaturas espectrais	25
1.3 Sensores de observação da Terra – Tipos de sensores	26
1.3.1 Região do espectro eletromagnético em que operam	26
1.3.2 Fontes de energia	27
1.3.3 Plataformas	27
1.3.3.1 Tipos de órbita	27
1.3.4 Tipos de resolução	29
1.3.4.1 Resolução espectral	29
1.3.4.2 Resolução espacial	30
1.3.4.3 Resolução temporal	32
1.3.4.4 Resolução radiométrica	32
1.4 Outros sensores	33

CAPÍTULO 2 - Programas de observação da Terra	36
2.1 Constelação <i>EOS (Earth Observing System)</i> da <i>NASA</i>	39
2.2 Programa <i>Copernicus</i>	41
2.3 Outras missões	43
2.4 Observação da Terra – Sensores óticos	43
2.4.1 Sensores de baixa resolução espacial	44
2.4.1.1 <i>ATSR (Along-Track Scanning Radiometer)</i> e <i>AATSR (Advanced Along-Track Scanning Radiometer)</i>	44
2.4.1.2 <i>AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)</i>	44
2.4.1.3 <i>MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer)</i>	44
2.4.2 Sensores de média e alta resolução espacial	45
2.4.2.1 <i>ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)</i>	45
2.4.2.2 Programa <i>Landsat (USGS e NASA)</i>	45
2.4.2.3 Sensores <i>Sentinel</i>	50
2.4.3 Sensores de muito alta resolução espacial	52
2.5 Observação da Terra – Sensores <i>SAR</i>	53
2.5.1 Sensores	54
CAPÍTULO 3 - Dados de satélite	57
3.1 Imagens e <i>rasters</i>	58
3.1.1 Imagens de satélite	59
3.1.2 Organização de dados <i>Raster</i>	60
3.1.3 Outros tipos de dados <i>Raster</i>	62
3.1.3.1 <i>HDF</i>	62
3.1.3.2 <i>NetCDF</i>	62
3.2 Fontes de dados de satélite	63
3.2.1 <i>USGS</i>	63
3.2.2 <i>Sentinels Scientific Data Hub</i>	64
3.2.3 <i>COVE</i>	64
CAPÍTULO 4 - Processamento e análise de imagem	67
4.1 Aplicações de processamento de imagem	68
4.1.1 Aplicações comerciais	69
4.1.1.1 <i>ArcGIS (ESRI)</i>	69
4.1.1.2 <i>ENVI (EXELIS)</i>	70
4.1.1.3 <i>TerrSet - IDRISI (Clark Labs)</i>	70

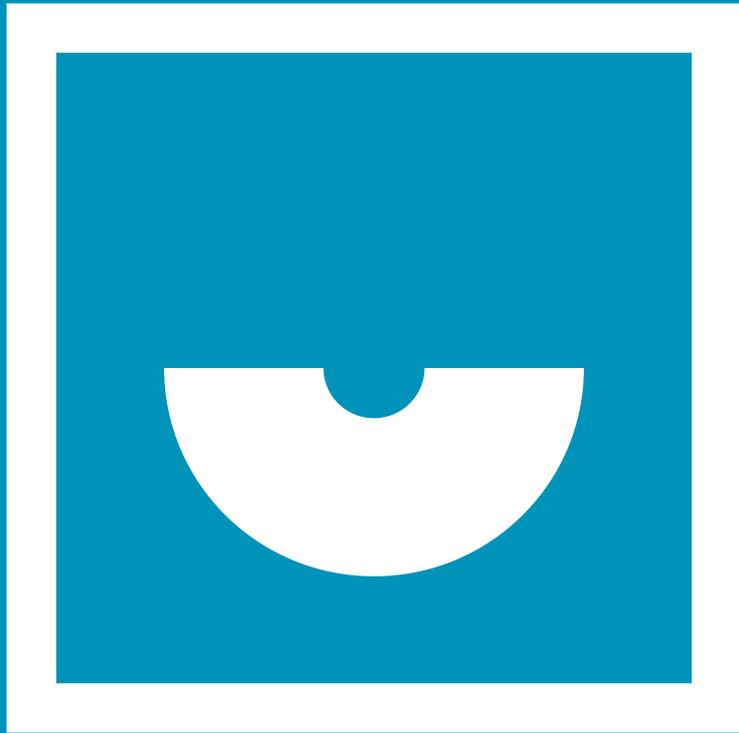
4.1.1.4	<i>IMAGINE (ERDAS)</i>	70
4.1.2	Aplicações gratuitas	70
4.1.2.1	<i>QGIS</i>	71
4.1.2.2	<i>GRASS GIS</i>	71
4.1.2.3	<i>SNAP (ESA)</i>	72
4.2	Análise de imagem em <i>Arcmap</i>	72
4.3	Pré-processamento	73
4.3.1	Operações de realce	74
4.3.1.1	Expansão de contraste usando o histograma das imagens	74
4.3.1.2	Realce	78
4.3.1.3	Composição colorida	78
4.3.2	Correções geométricas	80
4.3.3	Correções radiométricas	81
4.3.3.1	Conversão de <i>DN</i> para radiância espectral <i>TOA</i>	82
4.3.3.2	Conversão de <i>DN</i> para refletância <i>TOA</i>	83
4.3.3.3	Conversão de radiância <i>TOA</i> para temperatura de brilho	84
4.3.3.4	Correções atmosféricas	85
4.3.3.5	Outras correções radiométricas	86
4.4	Processamento	86
4.4.1	Operações Algébricas	87
4.4.1.1	Índices espectrais	88
4.4.1.2	Outras aplicações	90
4.4.2	Operações de vizinhança	91
4.4.2.1	Classificação	91
	Classificação não assistida	91
	Classificação assistida	92
	Classificadores	94
	Outros tipos de classificação	96
4.4.2.2	Fusão de bandas	97
4.4.2.3	Filtragem	98
4.5	Pós-processamento	100
4.5.1	Avaliação da classificação	100
4.6	Geoprocessamento automático	102
4.7	Partilha de dados	105
4.7.1	Diretiva <i>INSPIRE</i>	105
4.7.2	Metadados	105

REFERÊNCIAS **108**

ANEXO I - Glossário de termos e acrónimos em SIG **115**

ANEXO II - Links úteis **121**

ANEXO III - Janela de análise de imagem **122**



COMO UTILIZAR O GUIA

Um glossário com os termos técnicos, abreviaturas e acrónimos mais utilizados neste guia e ainda uma lista de sítios de Internet úteis para obtenção de dados e informação mais detalhada encontram-se disponíveis em anexo.

As **equações** e **expressões** estão assinaladas com o ícone  e as **ideias mais importantes** a reter assinalam-se com o ícone . A natureza digital destes guias permite direccionar o leitor para diferentes conteúdos multimédia, através dos ícones  (**vídeo**),  (**website**) e  (**referência bibliográfica**).

Informação Copyright

As imagens e ícones do *software* ArcGIS® utilizados neste guia são para exemplificação exclusiva do uso e análise de dados de satélite.

O ArcGIS® é propriedade intelectual da ESRI e é aqui utilizado sob licença. Copyright © Esri. Todos os direitos reservados.



Prefácio

Uma imagem vale mais do que mil palavras, mas que palavras são estas?

de Jong e van der Voordt (2002)

É com o mote “**uma imagem vale mais do que mil palavras**” e com o objetivo de compreender “**que palavras são estas**”, que surge o módulo de formação SOPHIA – Sistemas de Informação Geográfica – Análise de Dados de Satélite.

As técnicas de organização, visualização e análise de informação geográfica, já apresentadas no módulo Sistemas de Informação Geográfica – Análise Espacial, estendem-se naturalmente aos dados de deteção remota, mas as particularidades deste tipo de dados justificam um módulo dedicado.

A proliferação e disponibilização de informação com origem remota, com elevadas coberturas espacial e temporal, em particular nos dados de satélite, tem contribuído para o desenvolvimento de técnicas de análise com objetivos diversos, apresentando uma relação custo-benefício muito vantajosa.

A informação recolhida pelos sensores de deteção remota, em geral, e os transportados por satélites, em particular, é informação geográfica por natureza. Estes dados são úteis por si, mas na maior parte dos casos, beneficiam do cruzamento com dados complementares,

o que inclui dados georreferenciados (e.g. mapas temáticos, dados *in situ* ou de validação).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm como principal objetivo a análise e representação de informação geográfica e contêm ferramentas altamente sofisticadas para lidar com todo o tipo de informação espacialmente referenciada, incluindo as imagens de satélite.

De facto, cada vez mais se verifica uma interligação e estabelecimento de sinergias entre a deteção remota (DR) e os SIG, pelo que cada vez faz mais sentido realizar uma abordagem integrada destes temas. Por outro lado, considerando que o objetivo principal da DR é a extração de informação relevante das imagens produzidas, através do processamento e análise de imagem (aqui simplificado para AI), torna-se também essencial introduzir os fundamentos teóricos principais da AI. Com efeito a AI constitui uma ferramenta fundamental na extração de informação temática e quantitativa das imagens originais.

Apesar de grande parte das aplicações SIG estar originalmente vocacionada para o modelo vetorial, atualmente estas aplicações já possuem ferramentas extremamente eficazes para a gestão, visualização e análise de informação no modelo matricial (raster). Assim, afigura-se

natural desenvolver uma formação em que não existam barreiras entre as três áreas que constituem os pilares fundamentais da análise de dados de satélite: SIG, DR e AI.

É importante realçar que os campos de DR, SIG e AI são extremamente vastos e muitas vezes complexos; e abordar com profundidade cada um deles terá, necessariamente, de ser objeto de formações mais direcionadas. Com este pressuposto em mente, o objetivo principal deste guia é apoiar a formação dedicada à utilização de dados de satélite em ambiente SIG, apresentando os conceitos teóricos gerais envolvidos na aquisição da informação, na tipologia de dados fornecidos, no processamento das imagens e na sua análise, com o objetivo de extrair informação relevante na área central do projeto SOPHIA – o Mar.

Este guia técnico foi pensado e desenvolvido com o intuito de providenciar os conceitos teóricos fundamentais necessários à extração de informação relevante a partir de dados em formato raster – imagens. Estes dados podem ser imagens de satélite, mas não estão restritas a estas, uma vez que existem muitos outros tipos de sensores remotos capazes de produzir informação em formato de imagem.

Este guia não pretende constituir uma abordagem exaustiva nos campos dos SIG, DR e AI, mas antes sistematizar as noções gerais necessárias à manipulação deste tipo de dados em ambiente SIG. Os conceitos abordados dizem respeito às ferramentas presentes na aplicação comercial ArcGIS for Desktop (neste guia referido apenas como ArcGIS), mas que encontram replicação fácil noutras

aplicações comerciais ou de livre acesso. O guia sintetiza as etapas necessárias à extração de informação qualitativa ou quantitativa, numa formação que procura articular os conceitos teóricos com a prática através de uma aprendizagem baseada em problemas.

O guia encontra-se organizado em 4 capítulos: 1) Princípios básicos de deteção remota; 2) Programas de observação da Terra; 3) Dados de satélite e 4) Processamento e análise de imagem. A organização cobre a sobreposição das três grandes áreas temáticas abordadas – DR, SIG e AI, com o objetivo de apoiar os utilizadores finais na análise e caracterização do ambiente costeiro e marinho, com especial destaque para a implementação da Diretiva-Quadro Estratégia Marinha (DQEM) em Portugal.

Por último, é de realçar que o conjunto das metodologias abordadas neste guia e dos casos de estudo apresentados nos exercícios do módulo de formação não estão esgotados, mas antes representam “os primeiros passos” de um caminho mais longo que cada um irá, certamente, percorrer no mundo dos SIG e da DR.

Cristina Lira



CAPÍTULO 1

PRINCÍPIOS BÁSICOS DA DETEÇÃO REMOTA



Este capítulo introdutório tem como objetivo sintetizar os conceitos gerais de detecção remota que servirão de base ao processamento e análise das imagens em ambiente SIG. Pretende-se, adicionalmente, introduzir e caracterizar as imagens de satélite de alta a muito alta resolução, que até agora têm tido aplicações muito direcionadas para a zona costeira, mas que apresentam forte potencial de aplicação ao mar profundo.

Adicionalmente, os princípios básicos de detecção remota encontram-se também abordados nos guias práticos de outros módulos da formação no âmbito do projeto SOPHIA, nomeadamente: 1) “**Observação da Terra: uso de imagens de temperatura da superfície do mar e cor do oceano para a monitorização de águas costeiras e oceânicas**” (Sutcliffe *et al.*, 2016a ) - direcionado em particular para o mar profundo e imagens óticas de baixa a média resolução; 2) “**Observação da Terra: uso de imagens SAR para a monitorização de águas costeiras e oceânicas**” (Sutcliffe *et al.*, 2016b ) - direcionado para imagens específicas SAR (*Synthetic Aperture Radar*); e 3) “**Sistemas de Informação Geográfica: Análise Espacial**” (Silva *et al.*, 2016 ) - direcionado para georreferenciação, modelos de dados e superfícies.

1.1 DEFINIÇÃO

A **detecção remota (DR)** pode ser definida, em sentido lato, como o conjunto de técnicas que permitem obter informação sobre um determinado objeto, através da utilização de um instrumento de medição que não está em contacto direto com esse objeto (um sensor remoto). Nesta definição estão incluídas todas as técnicas de aquisição de dados que vão, por exemplo, desde as técnicas mais conhecidas de observação da Terra (satélites), passando por sensores como o *LiDAR (Light Detection And Ranging)*, os métodos geofísicos de prospeção oceânica (por exemplo, sonares), até à vídeo-monitorização (costeira).

De uma forma geral, todas as técnicas associadas ao universo da detecção remota consistem no registo, análise e interpretação de medições da **radiação eletromagnética** refletida ou emitida por um objeto alvo, registada por um sensor remoto e representada em diferentes gamas ou intervalos do espectro eletromagnético (Mather & Koch, 2011). É a partir dos princípios físicos da radiação eletromagnética que a detecção remota se estabelece como uma ciência fortemente direcionada para a observação da Terra e que, juntamente com os desenvolvimentos tecnológicos aereoespaciais, permitem a sua observação a diferentes escalas espaciais - local a global, e temporais - diária a multi-anual.

1.2 A RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

A **radiação eletromagnética (REM)** é uma forma de energia que se transmite em duas componentes fundamentais e perpendiculares entre si: o campo elétrico e o campo magnético. As duas componentes constituem o **campo eletromagnético**, que se comporta essencialmente como ondas sinusoidais perpendiculares entre si e relativamente à direção do movimento geral do campo eletromagnético ([Figura 1](#)). Apresenta também comportamento corpuscular, associado às partículas (fotões) que a constituem, o que explica a sua interação com outras partículas.

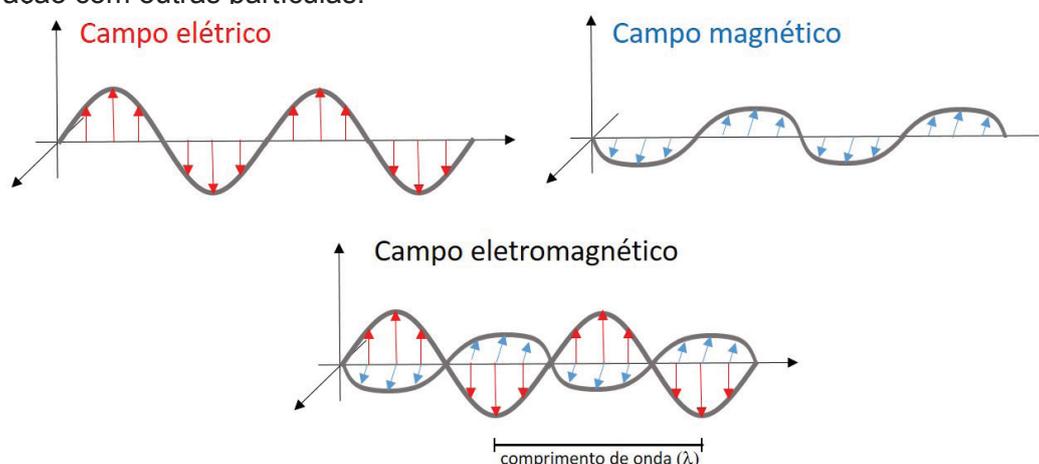


Fig. 1 - Campo eletromagnético



A **radiação eletromagnética (REM)** caracteriza-se pelas propriedades físicas das ondas, nomeadamente o **comprimento de onda** (λ - distância entre pontos homólogos de duas ondas consecutivas) e a **frequência** (número de ciclos ou ondas por segundo), organizadas no **espectro eletromagnético (EEM)**.

O **espectro eletromagnético (EEM)** inclui ondas com comprimentos muito pequenos, na ordem dos picómetros (como os raios gama), até ondas extremamente longas, como as ondas rádio (que podem ter ordem quilométrica). A unidade SI do comprimento de onda (λ) é o metro ([Figura 2](#)). A energia radiante (ER) transportada pela REM depende do comprimento de onda da região do EEM considerada.

1.2.1 RADIAÇÃO DO ESPECTRO DO VISÍVEL E INFRAVERMELHO PRÓXIMO

Na DR é comum caracterizar o tipo de REM medida pelo sensor através da localização do seu comprimento de onda (λ) no EEM. São associados nomes a determinadas zonas do EEM para maior comodidade na sua referência, como, por exemplo, a zona do visível ou o infravermelho próximo.

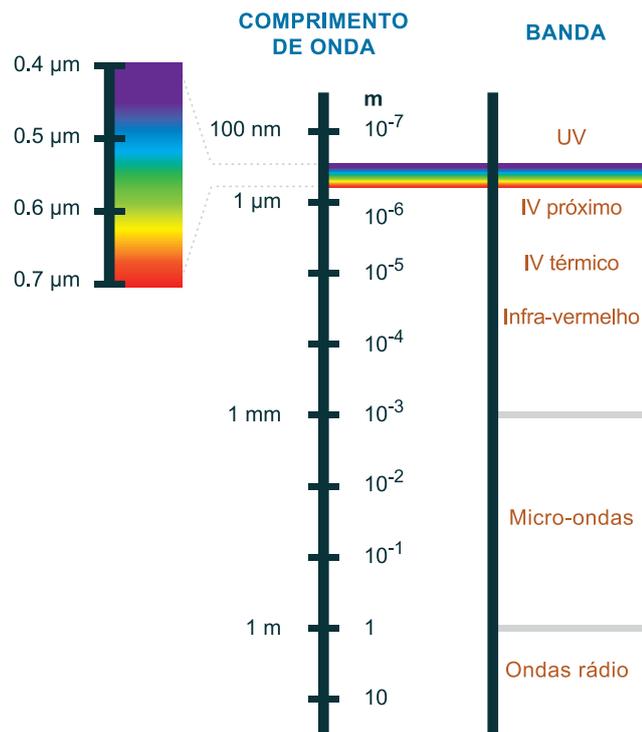


Fig. 2 - O espectro eletromagnético e as janelas atmosféricas utilizadas pelos vários tipos de sensores na detecção remota do oceano (adaptado de [Robinson, 2010](#)).



A **luz visível** constitui uma pequena fração do EEM, com radiação que se estende desde o violeta, a que corresponde o comprimento de onda de 0,39 µm, até ao vermelho, com comprimento de onda de 0,78 µm.

A luz visível é o tipo de REM mais familiar ao ser humano, uma vez que o olho humano regista a informação nestes comprimentos de onda. A radiação com comprimento de onda imediatamente superior à radiação no espectro do visível corresponde ao infravermelho. Uma gama muito específica de sensores opera no espectro do visível e infravermelho, sendo as imagens produzidas denominadas *VNIR* (do inglês *Visible - Near - InfraRed*).

1.2.1.1 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA VNIR COM A MATÉRIA

A principal fonte de REM é o Sol, e muitos sensores aproveitam esta fonte de energia (sensores passivos – [secção 1.3.2](#)) para adquirir informação sobre os objetos na superfície da Terra.

A energia (capacidade de realizar trabalho, medida em *joules* - J) que corresponde à quantidade de radiação EEM recebida ou emitida por uma superfície é denominada **energia radiante (ER)** ([Tabela 1](#)).

Tabela 1 – Grandezas radiométricas		
Grandeza Radiométrica	Unidades	Descrição
Energia radiante (ER)	J	Energia associada ao EEM
Fluxo radiante (FR)	J/s ou W	ER transmitida por unidade de tempo
Densidade de fluxo radiante (DFR)	W/m ²	Magnitude do FR por unidade de superfície
Irradiância	W/m ²	DFR incidente
Exitância	W/m ²	DFR emitido
Radiância (L)	W/m ² .sr (*)	DFR emitida por unidade de superfície

(*) - sr – esferorradianos, unidade do ângulo sólido

A taxa de transferência de ER de uma posição para outra, por exemplo do Sol para a Terra ou da Terra para o sensor, é denominada **fluxo radiante (FR)**. Em termos práticos, a interação entre a REM e a superfície da Terra é geralmente descrita usando o conceito de **densidade de fluxo radiante (DFR)**. Densidade implica variabilidade nas duas dimensões da superfície em que a ER incide. Desta forma, a DFR corresponde à magnitude do FR que atinge ou abandona uma determinada unidade de superfície.

A DFR incidente sobre uma unidade de superfície é designada por **irradiância**. A DFR no sentido inverso, ou seja, a emitida pela superfície, designa-se **exitância** ([Figura 3](#)). A energia emitida pela superfície sob a forma de calor é um tópico particular e será discutido na [secção 1.2.1.2](#).

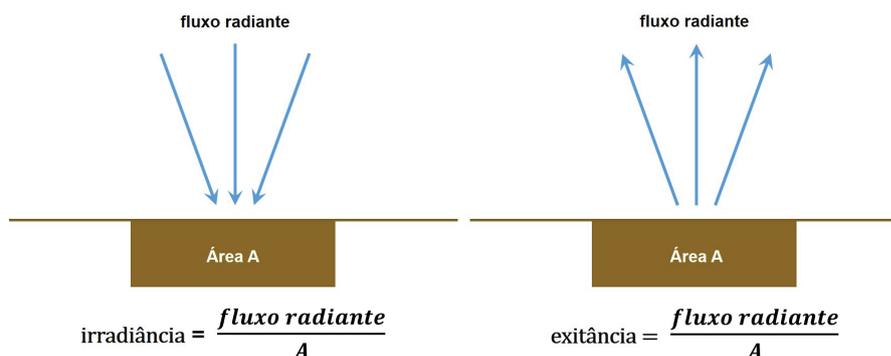


Fig. 3 - Densidade de fluxo radiante (irradiância e exitância).

A **radiância (L)** é um dos termos mais importantes em detecção remota, e designa a forma como o sensor regista a DFR emitida (ou exitância). A radiância representa assim o fluxo radiante por unidade de superfície **A**, na direção θ , por unidade de ângulo sólido α (Figura 4). O ângulo sólido é medido em esferorradianos, que são o equivalente tridimensional dos radianos (Mather, 2011).

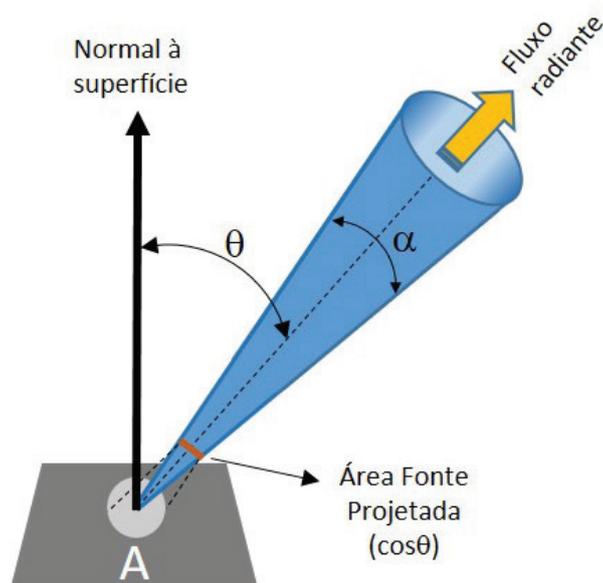


Fig. 4 - Radiância.

A radiação solar é afetada pela atmosfera, pelo contacto com o objeto e a sua vizinhança. Desta forma, a radiância medida pelo sensor inclui a radiação refletida da superfície, a devolvida por píxeis vizinhos (transmitida) e a absorvida. Define-se assim a equação do balanço energético:

1.



$$ER_{Incidente}(\lambda) = ER_{Absorvida}(\lambda) + ER_{Transmitida}(\lambda) + ER_{Refletida}(\lambda)$$

O conceito de radiância, acima descrito, pode ser usado para se referir a um comprimento de onda específico, sendo neste caso o termo sucedido do adjetivo “espectral”. Por exemplo, a radiância espectral de um determinado comprimento de onda corresponde ao DFR por unidade de ângulo sólido nesse mesmo comprimento de onda (i.e., densidade de fluxo radiante espectral).

Desta forma, os sensores que operam na região do espectro *VNIR* registam, para cada elemento de área do terreno, a informação de radiância espectral desse mesmo elemento de área. O registo é codificado através de um número inteiro proporcional à radiância medida (Nível Digital, desenvolvido na [secção 3.1.1 Imagens de satélite](#)).

O conhecimento da energia radiante da superfície da Terra é insuficiente para caracterizar um objeto na detecção remota, uma vez que está dependente da irradiância.

Por isso, é frequente usar termos sem dimensões, determinados como razões usadas para descrever a energia radiante, ou como uma proporção da irradiância de uma determinada fonte. Uma destas razões, a **refletância**, encontra-se desenvolvida na [secção 1.2.4](#).

1.2.1.2 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA TIR COM A MATÉRIA

Nos comprimentos de onda maiores que $\sim 3 \mu\text{m}$ a radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra pode ser detetada sob a forma de calor. Uma vez que estes comprimentos de onda são detetados como calor são chamados de infravermelhos térmicos (*TIR – Thermal InfraRed*). A quantidade e o comprimento de onda desta radiação dependem da temperatura da fonte.



Todos os objetos cuja temperatura é maior que o zero absoluto, que corresponde a aproximadamente $-273 \text{ }^\circ\text{C}$ ou 0 K (*kelvin*), emitem radiação.

O estudo das características da emissão da REM pelos objetos é feito a um corpo padrão ideal chamado corpo negro (CN). Um CN é um irradiador ideal que absorve e emite toda a REM que sobre ele incide sem variar a sua temperatura. A energia emitida por um corpo é, em primeira aproximação, função da sua temperatura; desta forma, a partir da radiação emitida é possível calcular a temperatura de um corpo. O comprimento de onda ideal para detetar este tipo de radiação é aquele em relação ao qual a curva de radiação de um CN atinge um máximo. Os objetos à temperatura ambiente à superfície da Terra ($\sim 27 \text{ }^\circ\text{C}$ ou 300 K) apresentam um comprimento de onda $\lambda \sim 9.7 \mu\text{m}$, pelo que o infravermelho térmico é a região do EEM mais adequada para a monitorização da temperatura à superfície da Terra.

Os princípios físicos da temperatura de superfície encontram-se mais aprofundados em [Sutcliffe et al. \(2016a\)](#) .

1.2.2 OS EFEITOS DA ATMOSFERA NA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

O carácter corpuscular da REM altera o seu comportamento no trajeto desde o sol até à superfície do planeta, principalmente ao atravessar a atmosfera, cujas partículas presentes

provocam fenômenos de **dispersão**, **refração**, **absorção**, **reflexão** e **difusão**, alterando as suas características (Figura 5).

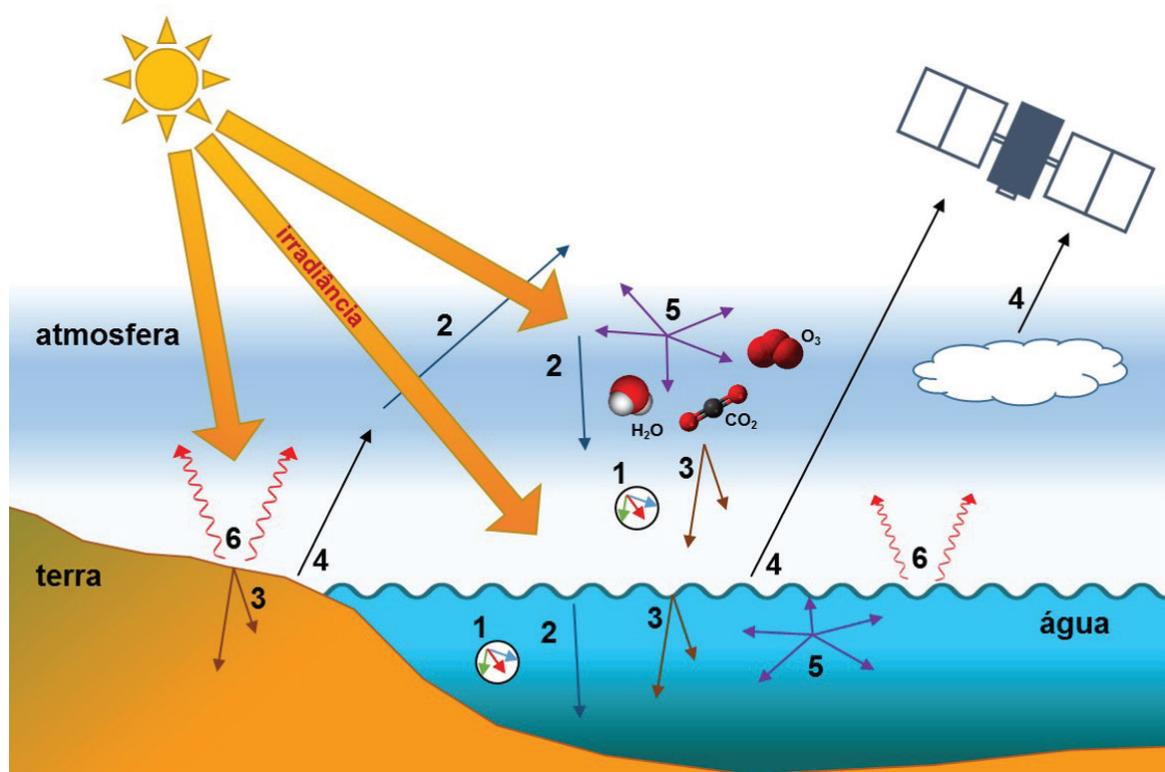
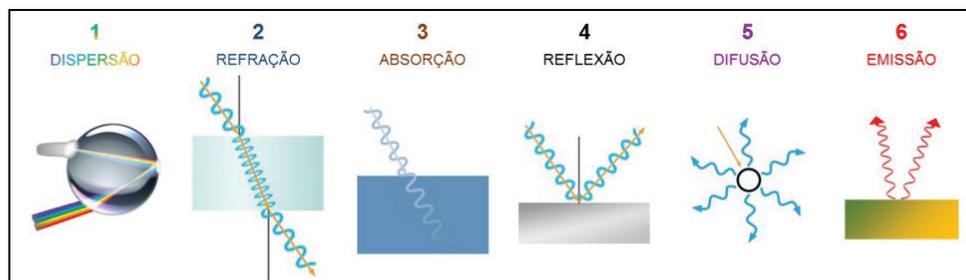


Fig. 5 - Principais efeitos sofridos pela radiação ao interagir com os diferentes meios que constituem o planeta.

A **dispersão** consiste na decomposição da luz branca nas suas diferentes componentes do EEM. A **refração** provoca o desvio da direção da luz ao atravessar meios com diferentes índices de refração, e afeta particularmente a radiação nos planos que separam massas atmosféricas com diferentes características (como a humidade ou a temperatura). A **absorção**, que ocorre na atmosfera principalmente por parte das moléculas de ozono, dióxido de carbono e vapor de água, reduz a quantidade de radiação que chega à superfície. A **reflexão** consiste no redirecionamento da luz após incidência numa superfície, estando a sua intensidade dependente do índice de refração da superfície, do coeficiente de absorção e dos ângulos de incidência e de reflexão. O efeito da **difusão** por parte das

partículas constituintes da atmosfera é o redirecionamento da radiação, reduzindo o contraste nas imagens de DR. A **difusão** é maior para comprimentos de onda menores, logo a fração visível do EEM que sofre maior difusão é o azul, o que explica a cor do céu diurno. Um dos principais efeitos da atmosfera terrestre é filtrar a radiação solar. A intensidade deste efeito de filtragem depende da composição atmosférica, sendo capaz de o minimizar em determinados comprimentos de onda. Os gases que mais interferem na filtragem da radiação são: o vapor de água (H_2O), o dióxido de carbono (CO_2) e o ozono (O_3), acrescentando-se a estes o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e os CFC (clorofluorcarbonetos), que absorvem especificamente nos intervalos infravermelhos do EEM. De referir ainda os aerossóis (suspensões relativamente estáveis de partículas sólidas ou gotículas dispersas – como por exemplo o sal marinho), capazes de influenciar a radiação que atravessa a atmosfera. Um exemplo de uma área do EEM onde este efeito é potenciado ocorre no intervalo entre $5.5 \mu m$ e $7.5 \mu m$, em que a quase totalidade da radiação é absorvida pelo vapor de água, razão pela qual este intervalo não é utilizado pelos sensores de DR de satélite (entre as bandas *MIR* e *TIR* na [Figura 6](#)).

1.2.2.1 AS JANELAS ATMOSFÉRICAS

Os intervalos do EEM onde os efeitos da atmosfera são menores são designados por “janelas atmosféricas” (*transmission windows*). Os domínios onde a radiação sofre menor absorção e difusão situam-se nos intervalos *VNIR*; infravermelhos médios – *SWIR* e *MIR*; e banda térmica do infravermelho - *TIR* ([Mather & Koch, 2011](#)). Estas janelas representam as zonas do EEM onde se verificam as maiores percentagens de transmissão da radiação através da atmosfera, sendo os intervalos habitualmente escolhidos para os sensores de DR adquirirem a informação. Tomando como exemplo a janela dos comprimentos de onda do visível (*VIS* - [Figura 6](#)), o sensor *Landsat 8* regista a radiância em quatro sub-regiões (bandas 1, 2, 3 e 4), enquanto o sensor *Landsat 7* regista a radiância em três sub-regiões (bandas 1, 2 e 3).

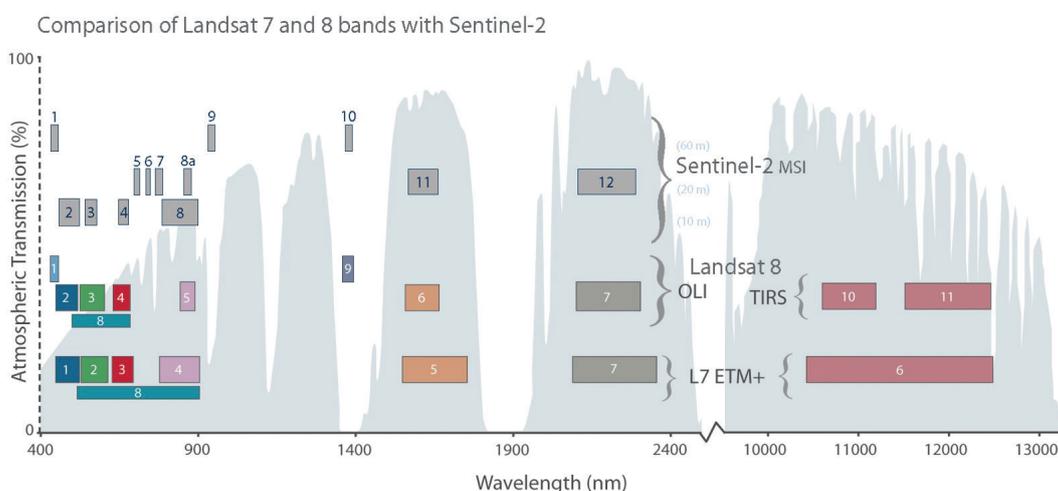


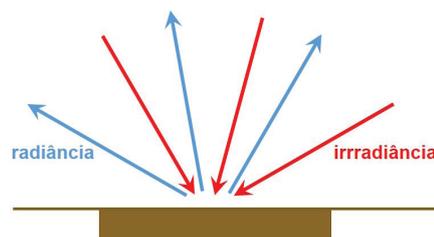
Fig. 6 - Transmissividade da atmosfera (branco) e localização das bandas dos sensores Landsat 7, Landsat 8 e Sentinel 2 (USGS/NASA Landsat )

1.2.3 OS EFEITOS DA ÁGUA NA RADIAÇÃO

Os corpos de água, tal como a atmosfera, também interagem com a radiação, alterando as suas características através de fenómenos de absorção, refração, difusão e reflexão. Estas alterações dependem do intervalo do EEM, por exemplo, na zona *NIR* a transmissão da luz através da água limpa é quase nula, havendo transmissão quase exclusivamente nas zonas espectrais entre o azul e o verde. Esta transmissão depende também da presença de partículas em suspensão (e da sua concentração) e da profundidade da coluna de água. Este tópico encontra-se desenvolvido em [Sutcliffe et al. \(2016a\)](#) .

1.2.4 REFLETÂNCIA

A radiância registada pelo sensor corresponde à REM refletida pela superfície terrestre. Assim, a refletância ρ corresponde à razão entre a quantidade de energia que deixa uma unidade de área no terreno (radiância) e a quantidade de energia incidente naquela área (irradiância), medida no mesmo instante de tempo ([Equação 2](#)).



2.

 Σ

$$\rho = \frac{\text{Radiância}}{\text{Irradiância}}$$

Esta grandeza adimensional depende, principalmente, do intervalo do espectro eletromagnético analisado, ou seja, da região de comprimentos de onda captada pelo sensor (λ). Desta forma surge o conceito de **refletância espectral**, quando se refere à refletância num determinado comprimento de onda $\rho(\lambda)$.

A transformação de valores de radiância em refletância no sensor é uma prática comum em DR e visa atenuar os efeitos de variação da irradiância devido a diferentes épocas do ano em que as imagens são adquiridas (e.g. diferentes distâncias e inclinações do Sol em relação à Terra).

1.2.4.1 TIPOS DE REFLETÂNCIA

No caso dos sensores espaciais, a refletância é medida por um sensor que se encontra no espaço, acima da Terra. Estes valores de refletância incluem as contribuições de nuvens, aerossóis atmosféricos e gases.



A refletância que inclui os efeitos da atmosfera é denominada de **refletância no topo da atmosfera (TOA – Top Of Atmosphere)**. A refletância na superfície da Terra é denominada de **refletância na superfície (BOA – Bottom Of Atmosphere)**.

De forma a obter valores de refletância a partir de imagens de radiância é necessário proceder a correções radiométricas nas imagens ([secção 4.3.3](#)).

O ângulo de incidência da luz (que no caso da luz solar varia com a hora do dia e a estação do ano), a natureza da superfície analisada e as suas características físicas são também fatores que influenciam a refletância. Os diferentes objetos presentes na superfície da Terra vão interagir de maneira diferente para o mesmo comprimento de onda, variando a refletância em função da composição e textura dos objetos.

1.2.4.2 ASSINATURA ESPECTRAL



A curva de variação da refletância espectral em função do comprimento de onda é designada por **curva de refletância espectral**. Esta curva também é denominada **assinatura espectral**, pois a sua forma é única para cada material.

A assinatura espectral típica de cada material permite a identificação de diferentes objetos nas imagens ([Figura 7](#)), uma vez que o padrão de refletância nas diferentes bandas do EEM, ou seja, a sua **assinatura espectral**, irá ser replicada na informação registada pelo sensor ([Figura 8](#)).

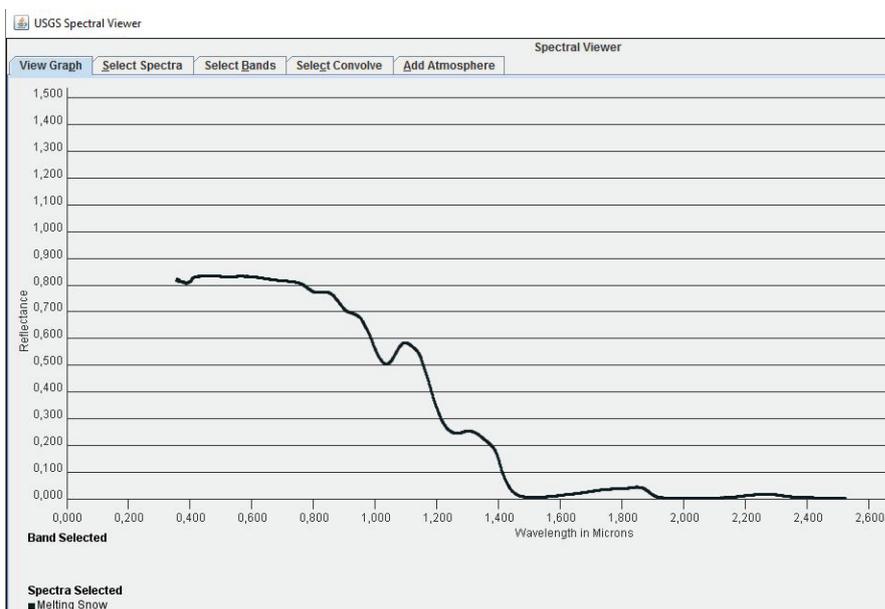


Fig. 7 - Curva de refletância espectral teórica da neve a derreter. Imagem adquirida através da ferramenta *USGS Spectral Viewer* .

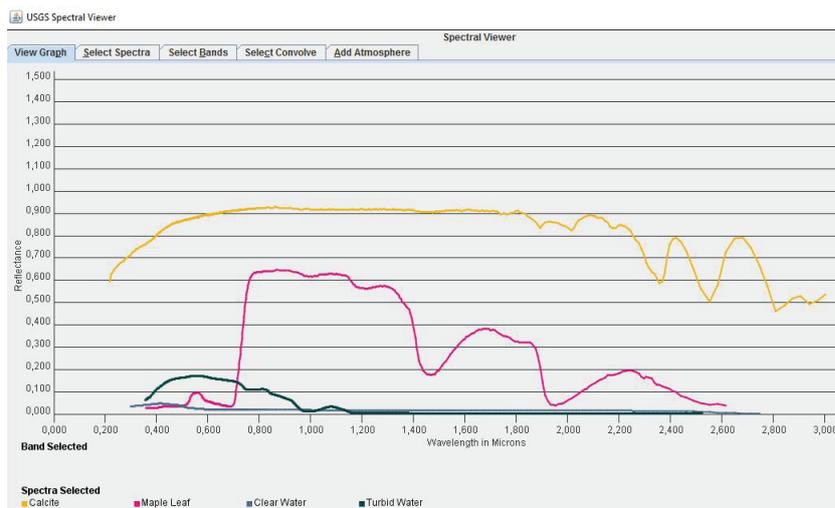


Fig. 8 - Assinaturas espectrais para diferentes materiais: Calcite, Folha de acer (*Maple Leaf*), água limpa (*Clear Water*), água turbida (*Turbid Water*). Imagem adquirida através da ferramenta USGS *Spectral Viewer*.

1.2.4.3 CATÁLOGOS DE ASSINATURAS ESPECTRAIS

A USGS tem uma série de ferramentas e serviços de apoio para quem trabalha com as imagens disponibilizadas por esta instituição. Destes serviços destaca-se o *Spectral Viewer*, uma ferramenta que permite determinar as melhores bandas de uma imagem para interpretar ou estudar determinada propriedade do terreno. Esta ferramenta permite a visualização do registo da intensidade do comprimento de onda (cor) da luz em cada banda de diferentes sensores, denominado de Resposta Espectral Relativa. O *Spectral Viewer* dispõe de informação para vários satélites e para vários materiais, sendo usado em modo *online* e disponível em .

Na [Figura 9](#) é possível observar-se dois perfis de refletância da água correspondentes a diferentes níveis de turbidez. O primeiro perfil foi realizado no oceano, sobre águas mais transparentes, o segundo perfil foi realizado no interior do estuário, naturalmente exibindo águas mais túrbidas.

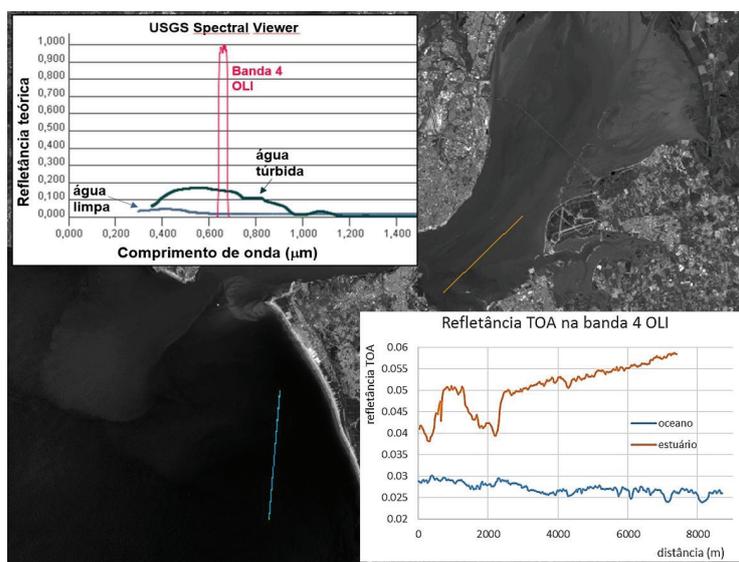


Fig. 9 - Comparação da refletância TOA em água transparente e em água turbida e respetiva comparação com as curvas teóricas do USGS *Spectral Viewer*.
A imagem foi adquirida pelo satélite *Landsat 8*, e corresponde à banda 4 (vermelho) corrigida para refletância TOA.¹

¹ Esta imagem responde à [secção 1.5.1](#) do exercício 4 deste módulo.

Comparando ambos os perfis observa-se que os valores de refletância são mais baixos e menos variáveis (entre 0.024 e 0.030) no caso das águas mais transparentes. No caso das águas turbidas as refletâncias variam entre 0.038 e 0.059, resultado de uma maior reflexão da radiação pelas partículas em suspensão na água. A comparação com as curvas teóricas do *Spectral Viewer* confirma esta diferença, mas exibe valores absolutos de refletância diferentes. As diferenças em relação às curvas teóricas resultam, provavelmente, de diferentes níveis de concentração de partículas em suspensão.

1.3 SENSORES DE OBSERVAÇÃO DA TERRA – TIPOS DE SENSORES

A observação da Terra (*EO - Earth Observation*) por sensores remotos corresponde a um ramo particular da DR, que permite a interpretação e o conhecimento dos fenômenos na superfície da Terra, através da análise e interpretação das medições da REM refletida ou emitida por objetos que se encontram na terra, mar ou atmosfera do nosso planeta, e adquiridas por sensores a bordo de aviões ou em órbita (satélites *EO*).

Os sensores de *EO* podem ser distinguidos e classificados de acordo com as suas características de aquisição e registo da radiação eletromagnética, podendo ainda apresentar diferentes tipos de resolução, consoante as características.

1.3.1 REGIÃO DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO EM QUE OPERAM

A região do espectro eletromagnético em que os sensores adquirem a informação permite distingui-los.



Os **sensores óticos** adquirem informação na região do visível e infravermelho do EEM, registando a essa informação, geralmente, em várias regiões do EEM. Por outro lado, os **sensores radar** registam dados na região das micro-ondas do EEM.

1.3.2 FONTES DE ENERGIA

Uma forma de distinguir os sensores de *EO* entre si diz respeito à fonte de energia que utilizam para registrar a radiação eletromagnética. Os **sensores passivos** utilizam a energia do sol, não possuindo nenhuma fonte de energia própria (e.g. os sensores *Landsat*), limitando-se a receber a radiação. Estes sensores estão desta forma limitados a adquirir informação durante o dia e a radiação recebida no sensor pode ter sido emitida, refletida ou difundida.

Os **sensores ativos**, por outro lado, possuem uma fonte própria de emissão de radiação. Estes sensores emitem um pulso e medem o tempo entre a emissão do pulso e a recepção do seu eco. A comparação entre os pulsos permite obter informação sobre o objeto refletor. Estes sensores não necessitam que haja luz solar, pelo que podem adquirir informação independentemente de ser dia ou noite (e.g. os sensores de micro-ondas)².

1.3.3 PLATAFORMAS

O tipo de plataforma que transporta ou fixa os sensores permite igualmente distingui-los.

1.3.3.1 TIPOS DE ÓRBITA

Os sensores montados em satélites artificiais podem ser classificados de acordo com o tipo de órbita percorrida ([Figura 10](#)), que pode ser **alta** (a mais de 35 780 km de altitude), **baixa** (também designada por *LEO*, ou *Low Earth Orbit*, entre 180 e 2 000 km) ou **intermédia** (também designada por *MEO*, ou *Medium Earth Orbit*, com cerca de 20 200 km de altitude ). As órbitas mais altas são utilizadas por satélites **geoestacionários** (ou geossíncronos) , que mantêm a sua posição relativamente à Terra e captam informação sempre no mesmo local (também designadas por *GEO* – *Geostationary Orbit*). São exemplos os satélites com sensores meteorológicos ou os que medem a atividade solar (níveis de radiação e magnetismo), ou mesmo os de telecomunicações. Os satélites para **GPS** (*Global Positioning System*) ocupam órbitas *MEO*, de baixa excentricidade (quase circulares), completando uma volta completa em 12 horas, designando-se por órbitas **semi-síncronas** (o satélite atravessa os mesmos dois pontos no equador a cada 24 horas).

² O tema SAR encontra-se desenvolvido no guia do módulo respetivo do projeto SOPHIA ([Sutcliffe et al., 2016](#) ).

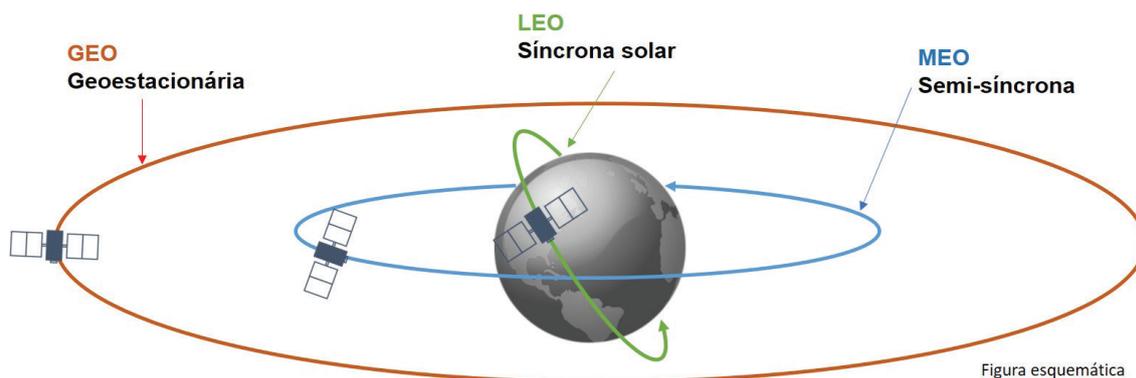


Figura esquemática



Fig. 10 - Tipos de órbitas (adaptado de Harris CapRock .

A maioria dos satélites que transportam sensores para fins científicos percorrem órbitas circulares de baixa altitude, variando a sua inclinação consoante o fim a que se destinam: se a zona a cobrir estiver concentrada em torno do Equador, a órbita será menos inclinada. Órbitas mais inclinadas permitem cobrir as zonas polares, fazendo varrimentos mais próximos dos meridianos terrestres, designando-se por **quase-polares** e demorando cerca de 99 minutos a completar uma volta. Estas são também **síncronas solares**, ou seja, cruzam o equador de norte para sul sempre à mesma hora solar, percorrendo a outra face do planeta de sul para norte durante a noite . Este tipo de movimento permite-lhes captar sempre a mesma inclinação da fonte de luz (não contando com as variações sazonais), evitando variações nas sombras dos objetos em comparações de imagens com diferentes datas ([Figura 11](#)). A menor altitude a que se deslocam obriga a que se desloquem a maior velocidade para compensar a maior força gravítica a que estão sujeitos.

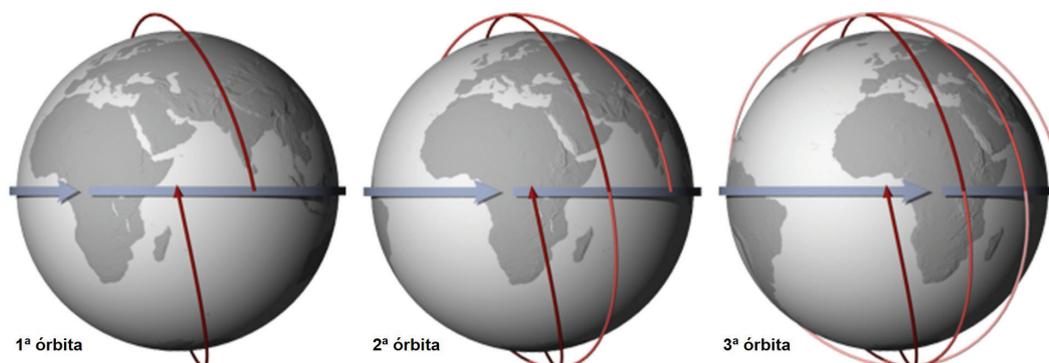


Fig. 11 - Passagens sucessivas numa órbita quase-polar, síncrona solar (adaptado de NASA  .

Como se depreende destas definições, o tipo de órbita do satélite que transporta o sensor vai condicionar, não só a resolução temporal mas também a resolução espacial. No primeiro caso, o condicionamento acontece porque os sensores geo-estacionários registam informação no mesmo ponto com intervalos curtos, enquanto sensores com órbitas polares repetem o mesmo local apenas alguns dias mais tarde. No segundo caso, condiciona a resolução espacial, na medida em que imagens captadas de maior distância abrangem áreas mais extensas, apresentando menos pormenor do que as imagens captadas por satélites de baixa altitude (ver [secção 1.3.4.2](#)).

1.3.4 TIPOS DE RESOLUÇÃO

A resolução dos sensores de *EO* permite quantificar as capacidades de aquisição de informação, dos pontos de vista do intervalo do EEM coberto (**resolução espectral**), da área de cobertura no terreno (**resolução espacial**), da frequência de repetição de aquisição de dados no mesmo local (**resolução temporal**) ou da quantidade de níveis de intensidade de energia representada em cada píxel (**resolução radiométrica**).

1.3.4.1 RESOLUÇÃO ESPECTRAL

A capacidade de um sensor distinguir entre os diferentes intervalos do espectro eletromagnético define a sua **resolução espectral**, que é tanto maior quanto maior for o número de bandas abrangido.



Bandas: regiões do espectro eletromagnético onde o sensor adquire a informação. Estas regiões dependem das especificidades próprias de cada sensor, mas também da transmissividade da atmosfera, e são expressas em termos dos limites de comprimentos de onda medidos.

Quando um sensor capta apenas uma banda, designa-se por **sensor mono-espectral** (e.g. a banda pancromática, que mede intensidades de radiação tipicamente no intervalo de comprimentos de onda do visível e infravermelho próximo). Quando regista mais do que uma banda (até um máximo de 20, variando este número

consoante o autor), designa-se por **multiespectral** (e.g. as câmaras fotográficas adquirem imagens em 3 bandas: vermelha, verde e azul - *RGB*). Quando apresenta um número de bandas superior a 20 denomina-se **hiperespectral** ([Figura 12](#)).

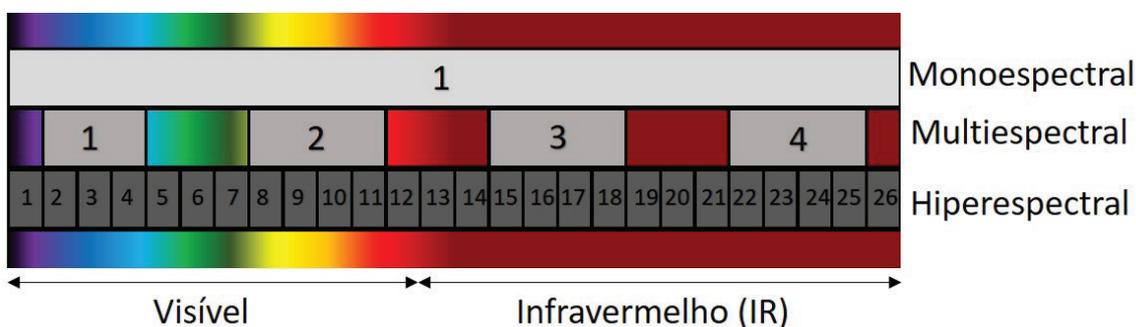


Fig. 12 - Diferentes tipos de resolução espectral.

Grande parte dos sensores que registam informação nos intervalos do visível e do infravermelho fazem-no sob a forma de multi-bandas, ou imagens multiespectrais individuais, cada uma representando um intervalo espectral discreto. Na [Figura 13](#) distinguem-se dois casos, um com resolução espectral média (sensor multiespectral) e outro com resolução espectral muito elevada (sensor hiperespectral). O segundo caso proporciona um maior grau de poder de discriminação dos objetos do que o primeiro.

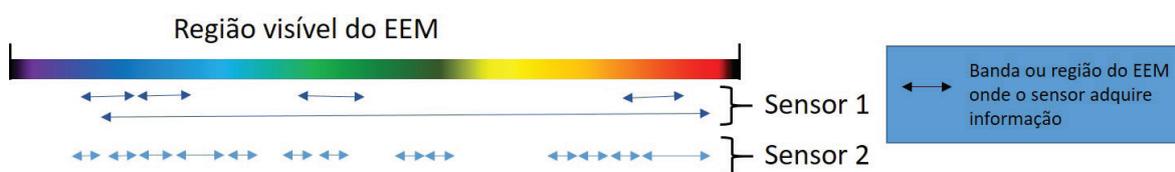


Fig. 13 - Diferentes resoluções espectrais.

1.3.4.2 RESOLUÇÃO ESPACIAL

A resolução espacial de um sensor refere-se à dimensão da superfície terrestre que é representada por cada célula ou píxel da imagem, designada por *IFOV*

(*Instantaneous Field Of View*, ou campo de visão instantâneo). Esta grandeza é diretamente proporcional à distância entre sensor e superfície observada.



A **resolução espacial** relaciona o tamanho do píxel da imagem com a área coberta no chão, representada por uma única célula.

Sensores de elevada resolução espacial representam uma menor área de terreno, logo mais pormenor (por exemplo, os sensores *Ikonos* ou *Geo-Eye*). Por outro lado, sensores de baixa resolução espacial apresentam píxeis que representam uma área de terreno mais extensa (maior cobertura – imagens de macro escala, utilizadas em estudos globais ou continentais), logo menos pormenor.

Na [Figura 14](#) ilustra-se o exemplo de uma superfície (por exemplo, um lago) com 126 m^2 de área no terreno, mas que, consoante a resolução da imagem, apresenta diferentes valores de área. Naturalmente as imagens com maior resolução são as que representam mais fielmente a realidade; no entanto, uma resolução maior implica ficheiros maiores, mais tempo de carregamento, visionamento e processamento e mais espaço ocupado em base de dados. Assim, a resolução deve ser escolhida de acordo com os objetivos finais do trabalho, de forma a otimizar meios e tempo.

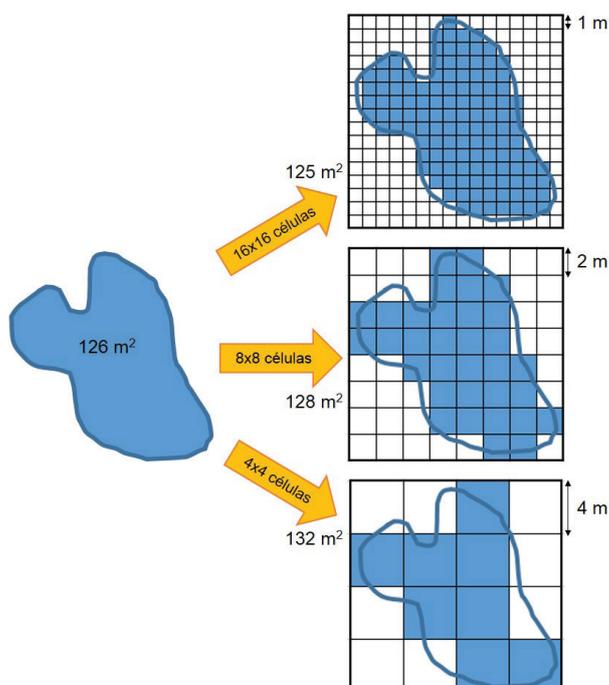


Fig. 14 - Exemplo de um polígono em formato *raster* com diferentes resoluções espaciais.

A resolução espacial também se pode definir no poder de resolução do sensor, ou seja, na sua capacidade de distinguir dois pontos distintos no seu campo de visão, o que significa que a resolução espacial não depende apenas da distância da plataforma ao objeto, sendo uma característica do próprio sensor. O poder de resolução depende também do brilho relativo entre objetos distintos na imagem, resultante das propriedades óticas envolvidas na criação da imagem.

1.3.4.3 RESOLUÇÃO TEMPORAL



O intervalo de tempo entre aquisições consecutivas de informação no mesmo local, ou a frequência de passagem do sensor, definem a **resolução temporal**.

O tipo de plataforma que sustenta o sensor condiciona a sua resolução temporal: sensores montados em estruturas fixas que captam imagens de vídeo para monitorizar praias ou ondas podem ter resolução temporal na ordem dos segundos, enquanto os sensores a bordo de satélites captam imagens com espaçamento (tempo de revisitação) de algumas horas ou mesmo semanas, para o mesmo local.

1.3.4.4 RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA

A resolução radiométrica descreve a capacidade de um sensor para distinguir objetos visualizados na mesma parte do espectro eletromagnético.



A **resolução radiométrica** corresponde ao número de valores de intensidade ou níveis de cinzento usados para representar a informação adquirida pelo sensor.

Este número é expresso num formato de base binária, definido por uma potência de 2, i.e., pelo número de *bits* em que a imagem é codificada.

Ex: 1 *bit* corresponde a $2^1 = 2$ valores de cinzento; 8 *bits*, $2^8 = 256$ valores de cinzento e 16 *bits*, $2^{16} = 65\ 536$ valores de cinzento.

A **resolução radiométrica** é sinónimo do número de valores usados para representar a informação adquirida pelo sensor.

Um sensor que regista apenas dois níveis de intensidade fornecerá imagens a preto e branco, de muito baixa resolução radiométrica, enquanto um sensor que registre 256 níveis de cinzento fornecerá imagens com resolução razoável. A [Figura 15](#) mostra três níveis de resolução radiométrica em imagens *Landsat*, com os respectivos histogramas e informação de valores mínimos e máximos de *DN*.

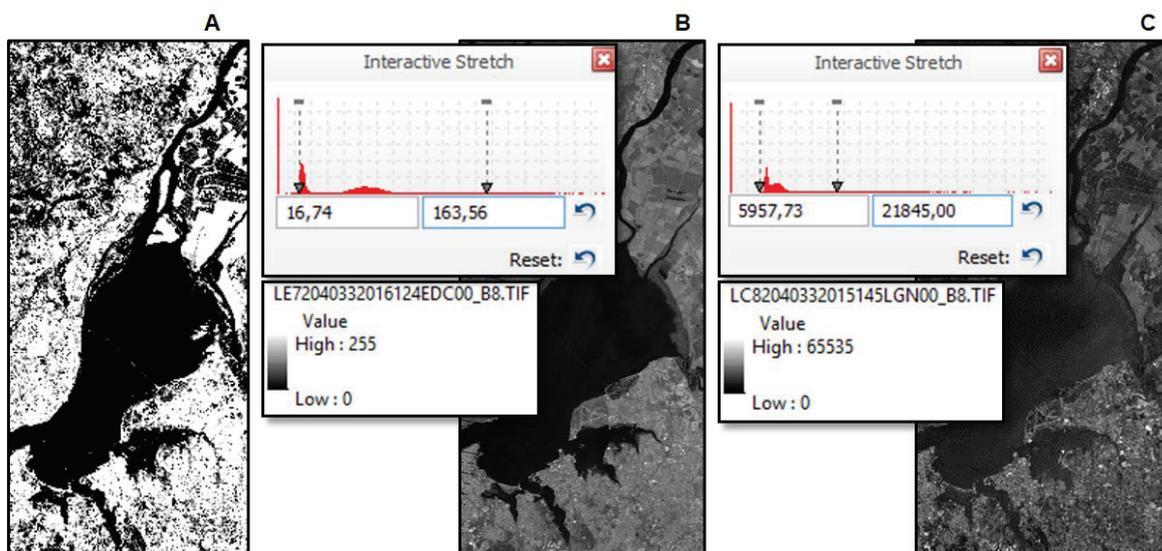


Fig. 15 - A: imagem com 1 bit; B: imagem com 8 bits (*ETM+ Landsat 7*); C: imagem com 16 bits (*OLI Landsat 8*).

1.4 OUTROS SENSORES

O estudo do oceano, e em particular os fundos marinhos, é suportado num conjunto de técnicas e sensores muito diversificado. A [Figura 16](#) apresenta os mais importantes meios de recolha de informação nesta área, que vão desde meios remotos aéreos, como as imagens de satélite (atrás analisadas), as fotografias aéreas ou as imagens *LIDAR* (1, 2 e 3 na figura), passando pelos dados remotos adquiridos com recurso a equipamento subaquático ou a bordo de navios oceanográficos (6 a 9 na figura). Existem ainda imagens que podem ser adquiridas em laboratório, a partir do processamento das amostras recolhidas (4 e 9 na figura).

Todos estes dados são processados e analisados de forma a obter-se a informação relevante para o estudo em causa. Apesar destes dados apresentarem uma natureza muito diversificada, o seu tratamento é frequentemente suportado pelo mesmo conjunto de técnicas de análise de imagem utilizado nas imagens de satélite.

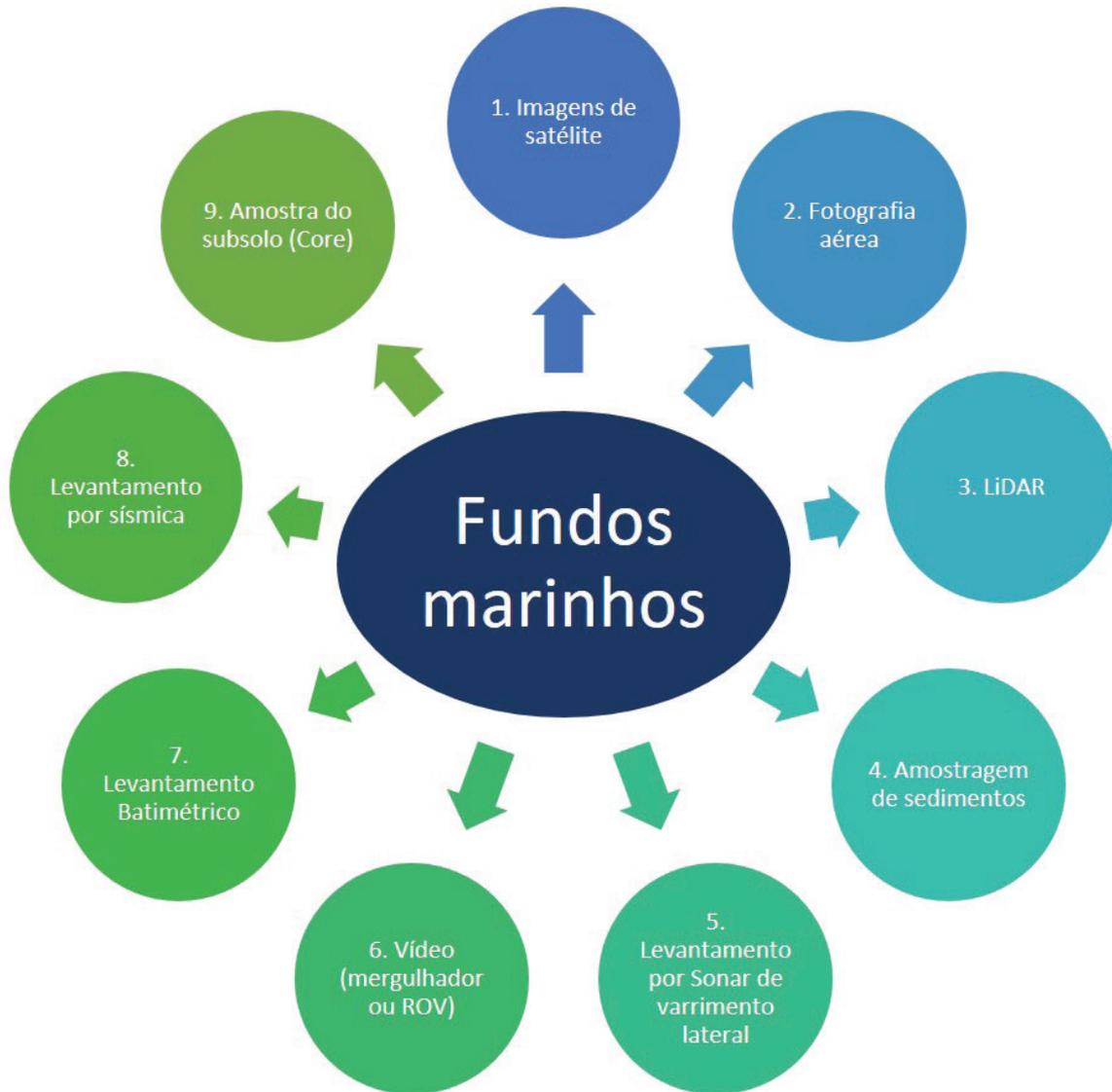
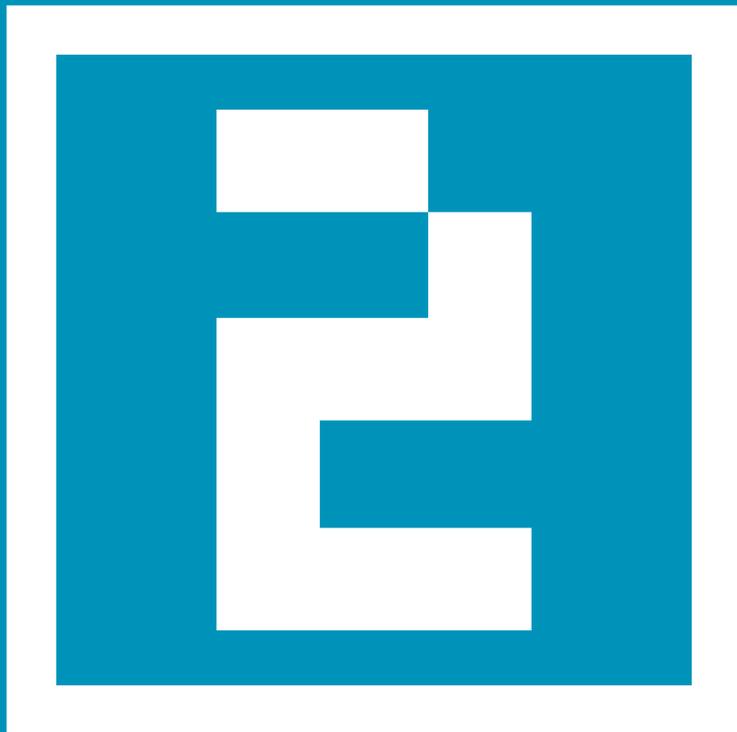


Fig. 16 - Estudo dos fundos marinhos



CAPÍTULO 2

PROGRAMAS DE OBSERVAÇÃO DA TERRA



Os programas de observação da Terra (*Earth Observation – EO*) consistem no desenvolvimento, por parte de um país ou de um consórcio de países, de missões cujo objetivo principal é a obtenção de informação acerca dos sistemas físicos, químicos, biológicos e geológicos do nosso planeta, no sentido de, por exemplo, detetar alterações ou monitorizar riscos. Dependem geralmente de missões espaciais, complementadas e validadas por observações *in situ*, realizadas, por exemplo, a partir de termómetros, sismómetros, sensores fixos radar ou óticos, ou informação cartográfica (Figura 16).

As missões espaciais consistem em sensores de diversos tipos (ver [secção 1.3](#)), montados em satélites, que registam informação radiométrica da superfície terrestre, codificando-a e transmitindo-a a recetores, que posteriormente processam e disponibilizam os dados (Figura 17).

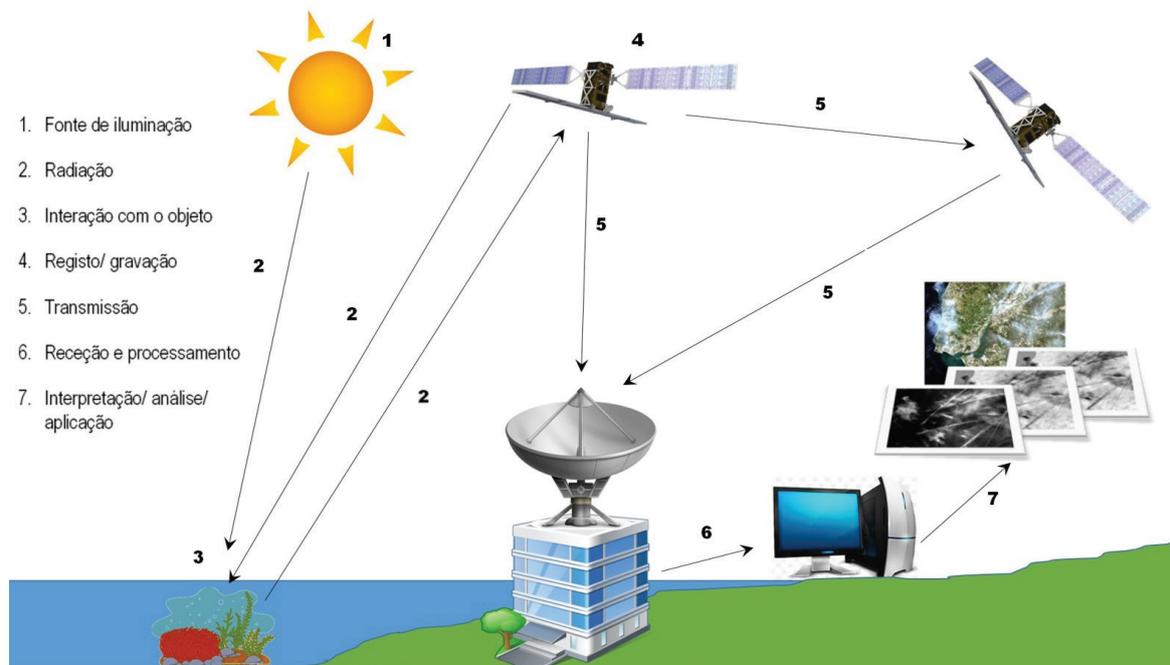


Fig. 17 - Elementos principais do processo de deteção remota (baseado em [Tindall, 2006](#)).



Entre as missões de *EO* desenvolvidas, incluindo os aparelhos já desativados, existem atualmente em órbita cerca de 350 satélites de observação terrestre (dados referentes a 1/1/ 2016, da UCS ).

A União Europeia lançou para o espaço mais de 70 satélites ao longo das últimas quatro décadas. A China possui mais de 40 satélites em órbita para observação terrestre não militar (incluem-se os *Yaogan*, os *Gaofen* e os *Shiyan*); o Japão tem em órbita vários satélites para *EO*, assim como a Índia (em que se inclui a série *CartoSat*), a Alemanha (em que se incluem os *RapidEye*, *TerraSAR-X* e *TanDEM-X*) e a Rússia (em que se incluem os *Resurs*, os primeiros satélites não militares lançados por este país, com início em 2006). A [Figura 18](#) representa o número e o tipo de satélites a orbitar em torno da Terra.

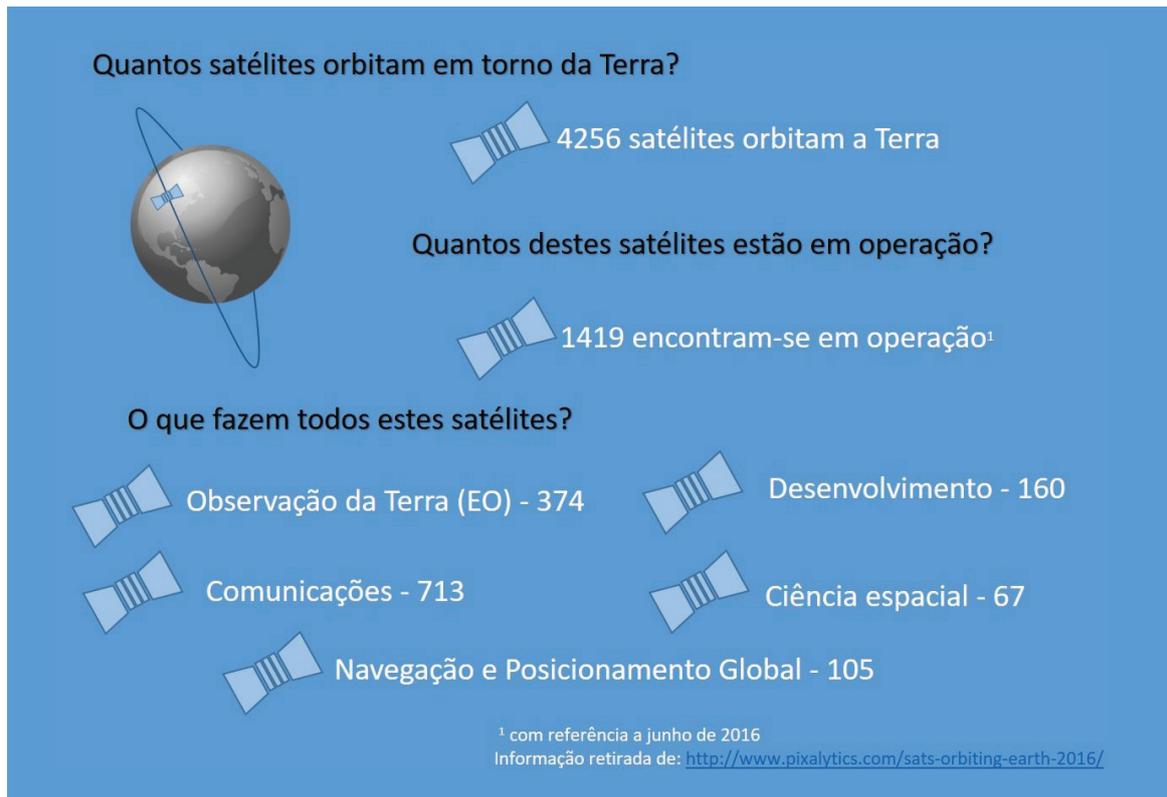


Fig. 18 - Informação sobre o número e o tipo de satélites que orbitam a Terra

Com o objetivo de coordenar as missões de *EO*, foi criado em 1984 o Comitê para os Satélites de Observação Terrestre (*CEOS*), para harmonizar os dados e facilitar a sua disponibilização aos utilizadores em todo o mundo (interoperabilidade, intercalibração dos instrumentos, homogeneização dos formatos de dados, etc.), envolvendo agências como a *NASA* ou a *ESA*. Mais informação acerca das missões para *EO* pode ser consultada na base de dados da *CEOS*, que apresenta uma ferramenta de pesquisa avançada, onde se pode filtrar por agência espacial, estado da missão e dos instrumentos, tipo de instrumento e tecnologia associada, intervalo de comprimentos de onda, etc., com a possibilidade de exportar o resultado da pesquisa em formato *Excel* ([Figura 19](#) e). A diretoria do *Earth Observation Portal* também lista as missões e os sensores de forma exaustiva (*Mission Search*) , assim como a da *NASA* , a *UCS Satellite Database* e a base de dados das Nações Unidas, com a lista de todos os objetos lançados para o espaço .



Fig. 19 - Ferramentas de pesquisa de missões, satélites e sensores do *Committee on Earth Observation Satellites* e da NASA.

A base de dados da *United Nations Office for Outer Space Affairs*

regista atualmente (consulta realizada em 20/5/2016) 19 000 objetos artificiais a orbitar o campo gravítico terrestre, dos quais apenas 1 200 são satélites em funcionamento, sendo os restantes incluídos na categoria de “lixo espacial” (ver e).

A presença destes objetos, assim como as flutuações da atmosfera e a variabilidade do campo gravítico (pelo facto de a Terra não ser perfeitamente esférica e devido à interferência dos campos gravíticos combinados do Sol, da Lua e de Júpiter), obrigam a constantes ajustes em cada órbita de cada satélite de forma a mantê-los operacionais .

A imagem mostra a distribuição do lixo espacial superior a 10 cm

2.1 CONSTELAÇÃO EOS (EARTH OBSERVING SYSTEM) DA NASA

A constelação **EOS** da NASA constitui um conjunto de satélites coordenados, com órbitas polares de baixa inclinação, para observação de longo-termo da superfície terrestre, da biosfera, da crosta terrestre, da atmosfera e dos oceanos. É constituída por 20 missões de

EO (Figura 20), entre elas os satélites *Landsat* (desenvolvidos na [secção 2.4.2.2](#)), *Terra* e *Aqua*. Duas destas missões viajam a bordo da Estação Espacial Internacional (ISS), sendo que a maioria está direcionada para o estudo da atmosfera.

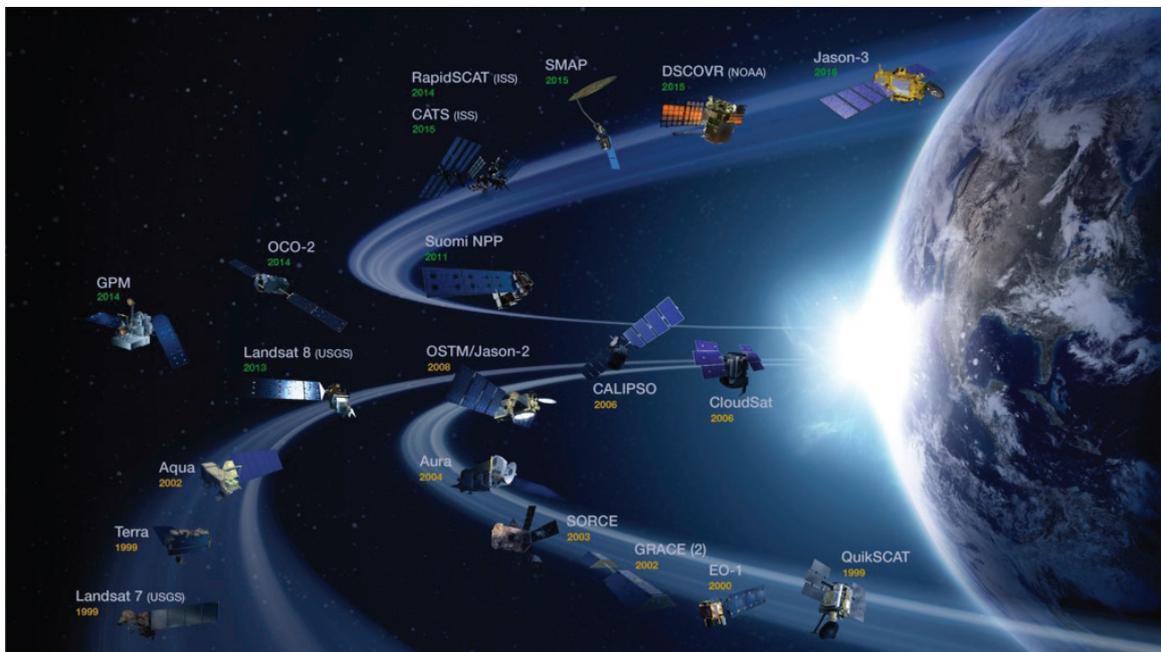


Fig. 20 - Frota de satélites de EO da NASA atualmente em órbita (NASA Headquarters .

O satélite *Terra*, lançado em 1999, foi o primeiro sistema de EO, criado para recolher dados da atmosfera, da terra e dos oceanos e respetivas interações entre si e com a radiação solar. Numa órbita com 98.1° de inclinação e a 720 km de altitude, transporta os sensores *ASTER* (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), *CERES* (*Clouds and Earth's Radiant Energy System*), *MISR* (*Multangle Imaging Spectroradiometer*), *MODIS* (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e *MOPITT* (*Measurements of Pollution in the Troposphere*).

O satélite *Aqua*, lançado em 2002, pretende contribuir para o estudo multidisciplinar do ciclo da água, incluindo os processos atmosféricos, oceânicos e terrestres e a sua relação com as alterações dos sistemas do planeta (registando dados relevantes para compreender a formação de nuvens, a precipitação, o carbono, a humidade ou os fluxos energéticos entre o ar e o oceano). Viaja numa órbita heliosíncrona a 705 km de altitude, com 98.2° de inclinação, repetindo o ciclo em 16 dias (233 órbitas) e fazendo parte do *A-train*, ou “constelação da tarde”, juntamente com os satélites *OCO*, *CloudSat*, *CALIPSO*, *PARASOL* e *Aura*. Transporta os sensores *AIRS* (*Atmospheric Infrared Sounder*), *AMSR-E* (*Advanced*

Microwave Scanning Radiometer for the Earth Observing System), *AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit-A)*, *CERES*, *HSB (Humidity Sounder for Brazil)* e *MODIS*³.

2.2 PROGRAMA COPERNICUS

O programa **Copernicus** da União Europeia, através da Agência Espacial Europeia (*ESA – European Spatial Agency*), pretende estabelecer um sistema operacional e independente de observação da superfície da Terra. O principal objetivo é obter e disponibilizar informação, serviços e conhecimento de qualidade e em tempo útil sobre questões ambientais e de segurança a nível global, utilizando dados de satélite complementados por dados recolhidos *in situ*, no ar, no mar e em terra (e.g. em aviões, balões, drones, navios ou fixos ao solo), provenientes dos vários Estados-Membros.

A **ESA** já lançou para o espaço mais de 70 satélites de observação terrestre ([Figura 21](#)), entre eles os satélites *ERS - European Remote Sensing*, **ERS-1** (entre 1991 e 2000) e **ERS-2** (entre 1995 e 2011) e o satélite **Envisat (Environmental Satellite)**, que funcionou entre 2002 e 2012.



Fig. 21 - Família Sentinel (ESA .

³ Os sensores *MODIS* são duplos, a bordo dos satélites *Terra* e *Aqua* e os sensores *CERES* são 5, dois no *Terra*, dois no *Aqua* e um no *NPP (NPOESS Preparatory Project)*.

Os *ERS* transportavam, em órbitas quase polares de 780 km de altitude, entre outros:

- um sensor ativo de micro-ondas (*MWR – Microwave Radiometer*) para recolha de informação através das nuvens e à noite;
- um escaterómetro (*WS – Wind Scatterometer*) para medir direção e velocidade do vento sobre o oceano;
- um altímetro (*RA - Radar Altimeter*) para medir altimetrias no mar e no gelo;
- um sensor *SAR (Synthetic Aperture Radar)* para distinguir irregularidades à superfície (do mar ou em terra, e.g. ondulação, ou tipo e densidade de vegetação);
- um sensor *ATSR (Along-Track Scanning Radiometer)*.

O satélite *Envisat* transportava 10 instrumentos, essencialmente melhoramentos dos transportados anteriormente pelos *ERS* (entre eles o *AATSR*, no programa de continuidade do *ATSR*) e um espectrómetro de média resolução para estudos de cor do oceano. Está também planeado o lançamento de um novo satélite, o *Biomass*, para recolher dados de zonas florestadas e contribuir para a compreensão do ciclo do carbono e das alterações climáticas, recorrendo a técnicas de interferometria e polarimetria *SAR*.

Atualmente, a *ESA* tem a funcionar para fins de *EO*:

- a constelação *Swarm*, para o estudo do campo geomagnético;
- a missão *Proba-V*, para estudos de vegetação;
- a missão *CryoSat*, para estudar variações na espessura do gelo continental e oceânico;
- a missão *SMOS*, para estudos hidrológicos, de salinidade e de humidade no solo;
- a missão *GOCE*, a 255 km de altitude, para estudar o campo gravítico terrestre (e que já produziu o mais rigoroso modelo de geoide da história);
- a recente missão *Sentinel*, que tem planeadas sete constelações, estando três delas já em órbita, com duas delas em funcionamento.

O par ***Sentinel 1*** (lançado em 2014 e 2016) viaja numa órbita síncrona solar a 693 km de altitude, com 12 dias de tempo de revisitação, transportando sensores *SAR* para monitorização essencialmente de zonas geladas e do ambiente marinho, riscos de movimentação terrestre e cartografia para suporte em crises humanitárias (constitui uma missão de continuidade das anteriores *ERS* e *Envisat* da *ESA*).

O par ***Sentinel 2***, cujo primeiro satélite (2A), lançado em 2015, viaja numa órbita heliosíncrona a 786 km de altitude, cobrindo 290 km de largura, tem um intervalo de revisitação de 10 dias (que será de 5 dias após o lançamento do *Sentinel 2B*), espera-se que funcione durante sete anos, numa missão de continuidade com as missões *Landsat* e *SPOT*. O sensor *MSI (Multispectral Imager)* de alta resolução regista informação ótica de vegetação, solo, água e zonas costeiras.

O trio **Sentinel 3** terá aplicações no âmbito da cor do oceano, da topografia da superfície do mar, dos gelos, das zonas costeiras e da vegetação, estando já em órbita, a 815 km de altitude, o satélite *Sentinel 3A*, desde fevereiro de 2016.

Estão ainda planeados o **Sentinel 4**, para monitorização atmosférica, que será transportado por um satélite geoestacionário *Meteosat*; o **Sentinel 5**, para monitorizar a atmosfera a partir do satélite *MetOp* com órbita polar; o **Sentinel 5 Precursor**, que fará a ponte (com o objetivo de reduzir as diferenças) entre o *Envisat* e o lançamento do *Sentinel 5*; e o **Landsat 6**, que transportará um altímetro radar para medições da altura global da superfície do mar.

2.3 OUTRAS MISSÕES

A constelação *SPOT* (*Système Probatoire d'Observation de la Terre*), explorada pela *Airbus Defence and Space* (que explora também as constelações *Pléiades*, de muito alta resolução, os *TerraSAR-X/TanDEM-X* e o satélite *Formosat-2*, com 2 m de resolução espacial), foi lançada em 1986 numa órbita síncrona solar, quase polar, com 832 km de altitude.

Fazem parte de um programa de observação com o mesmo nome, direcionado para detectar e prever fenómenos climatológicos e oceanográficos. Tal como o programa *Landsat*, o programa *SPOT* conta já com uma quantidade significativa de gerações que vão desde o seu satélite pioneiro, o *SPOT 1*, lançado em 1986, até à última geração, o *SPOT 7*, lançado em 2014. Os tempos de revisitação variam entre 1 e 5 dias, consoante o satélite e a latitude do local (🌐). As imagens dos satélites mais antigos podem ser disponibilizadas aos utilizadores sem custos, mediante um pedido formal à *ESA*.

2.4 OBSERVAÇÃO DA TERRA – SENSORES ÓTICOS

Uma das combinações de sensores mais comuns nos satélites atualmente em órbita corresponde aos sensores óticos, que adquirem informação nos intervalos *VNIR* e térmico (*TIR*) do EEM. Listam-se em seguida os sensores óticos mais populares para observação da Terra, categorizados de acordo com a sua resolução espacial. Esta informação poderá ser aprofundada nas bases de dados da *CEOS* (🌐); do *Earth Observation Portal* (🌐); das missões da *NASA* (🌐); da *UCS Satellite Database* (🌐); e das *Nações Unidas* (🌐).

2.4.1 SENSORES DE BAIXA RESOLUÇÃO ESPACIAL

Nos intervalos do EEM entre o visível e o infravermelho encontramos vários exemplos de programas de observação com baixa resolução espacial⁴.

2.4.1.1 ATSR (ALONG-TRACK SCANNING RADIOMETER) E AATSR (ADVANCED ALONG-TRACK SCANNING RADIOMETER)

São radiômetros montados nos satélites *ERS-1*, *ERS-2* e *Envisat*, que recolheram informação em três bandas do infravermelho térmico (*TIR*) e numa banda do infravermelho próximo (*NIR*), sendo utilizados essencialmente na observação de padrões de temperatura da superfície do mar, com resolução espacial de 1 km no nadir. O mais recente, *AATSR*, registou informação também no intervalo visível (*VIS*) do EEM e o seu modo de varrimento cónico permitiu-lhe captar imagens a partir de ângulos diferentes para o mesmo ponto na Terra.

2.4.1.2 AVHRR (ADVANCED VERY HIGH RESOLUTION RADIOMETER)

Sensor transportado pela série de satélites *NOAA* (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), foi concebido para ser um sistema de observação meteorológica, embora as imagens adquiridas por este sensor tenham sido amplamente utilizadas na monitorização da cobertura da Terra à escala global e continental ([Mather & Koch, 2011](#)). Apresenta canais *TIR* para monitorização de temperatura da superfície dos oceanos e canais *VIS* e *NIR*, combinação também designada por *VNIR* (Visível + Infravermelhos próximos - *Near InfraRed*), para a monitorização de processos superficiais em terra. Caracteriza-se por uma frequência de revisitação (intervalo de tempo entre passagens pelo mesmo local) de 9 dias e uma resolução aproximada no nadir de 1.1 km.

2.4.1.3 MODIS (MODERATE-RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER)

Duplo sensor, transportado pelos satélites *Terra* e *Aqua*, com órbitas polares circulares e heliosíncronas, vocacionado para a observação terrestre (e.g. vegetação, incêndios, cobertura gelada), oceânica (e.g. fluorescência da clorofila, gelo marinho) e atmosférica (e.g. propriedades das nuvens e de aerossóis). Opera em 36 bandas, compreendidas entre o visível e o infravermelho (0.4 a 14.5 μm), com resolução

⁴ A resolução espacial encontra-se explicada na [secção 1.3.4.2](#) deste guia.

espacial variável entre 250 m (*VIS*) e 1 km (*TIR*), numa periodicidade inferior a um dia (tempos de travessia de cerca de 11 e 14 horas).

2.4.2 SENSORES DE MÉDIA E ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL

2.4.2.1 ASTER (ADVANCED SPACEBORNE THERMAL EMISSION AND REFLECTION RADIOMETER)

Instrumento ao serviço da *NASA* e do Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão, transportado a bordo do satélite Terra (*EOS – NASA*). É um triplo radiómetro multiespectral de alta resolução, com aquisição de dados a cada 16 dias, em 14 bandas, das quais três nas regiões espectrais visível e infravermelha (*VNIR*), seis na região *SWIR* e cinco na região *TIR*, com resoluções espaciais de 15, 30 e 90 m (respetivamente para cada intervalo), com largura de varredura (*swath width*) de 60 km. Permite produzir mapas de temperatura da superfície terrestre, de emissividade, de refletâncias e de elevação. Disponibiliza pares estereoscópicos na gama *VNIR*, extremamente úteis na geração de Modelos Digitais de Terreno (MDTs). Um MDT gerado a partir destas bandas (o *ASTER GDEM – Global Digital Elevation Model*) apresenta uma cobertura global com dimensão de célula de 30 m, disponibilizado gratuitamente em  ou .

2.4.2.2 PROGRAMA LANDSAT (USGS E NASA)

Constitui o primeiro, e mais longo programa de observação terrestre relacionado com a observação dos recursos naturais, com a disponibilização gratuita de todas as imagens a partir de 2009. O *Landsat 1* (nome original *ERTS-1, Earth Resources Technology Satellite One*), lançado em 1972, foi o primeiro satélite deste programa, que tem sido continuamente melhorado ao longo das últimas quatro décadas, com os lançamentos dos satélites *Landsat 2* (em 1975), *Landsat 3* (em 1978), *Landsat 4* (em 1982), *Landsat 5* (em 1984), *Landsat 6* (em 1993, perdido aquando do seu lançamento), *Landsat 7* (em 1999) e *Landsat 8* (em 2013), estando já planeado o lançamento do futuro *Landsat 9* em 2023 ([Figura 22](#)).

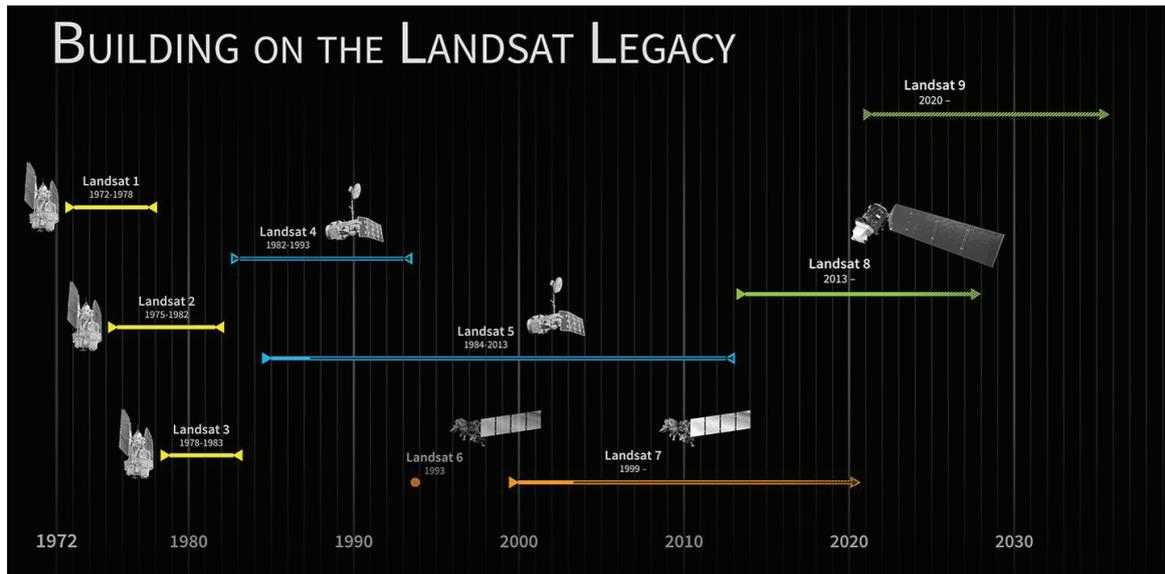


Fig. 22 - Cronologia das missões *Landsat* (USGS/NASA Landsat )

A primeira geração *Landsat*, em que se incluem os satélites **Landsat 1**, **Landsat 2** e **Landsat 3**, deslocava-se em órbitas síncronas solares com cerca de 908 km de altitude e tempo de revisitação de 18 dias. Incluía 2 sensores: o **RBV** - *Return Beam Vidicon* - um sistema de observação por vídeo composto por 3 câmaras alinhadas, sensíveis a diferentes comprimentos de onda (duas na banda do visível e uma na banda *VNIR*) que captavam imagens completas instantâneas a cada 25 segundos, com 170 por 185 km, parcialmente sobrepostas e com 79 m de resolução; o **MSS** - *Multispectral Scanner* - que executava varrimentos perpendiculares (*cross-track*) à direção da órbita (pelo movimento oscilatório de um espelho articulado), cobrindo uma faixa (*swath width*) com 185 km de largura, e cujos 24 detetores captavam dados nas bandas espectrais do vermelho, verde e duas bandas infravermelhas. Ambos os sensores (**RBV** e **MSS**) produziram imagens com 80 m de resolução espacial ( e [Mather & Koch, 2011](#)).

A geração seguinte lançou os satélites **Landsat 4** e **Landsat 5**, que se deslocavam em órbitas síncronas solares com cerca de 705 km de altitude, com ciclos de passagem de 16 dias, e que incluíam, para além do sensor **MSS**, um novo sensor, o **TM** - *Thematic Mapper* -, também com um espelho oscilatório e 16 detetores para cada uma das bandas do EEM (7 bandas *VIS* e *IR*) e uma banda térmica (*TIR*), respetivamente com resoluções de 30 e 120 m ( e [Mather & Koch, 2011](#)). O satélite **Landsat 5** registou imagens durante quase 30 anos, sendo considerado o satélite de observação terrestre com maior duração de funcionamento.

Uma nova versão do sensor **TM** foi instalada no satélite **Landsat 6**, o sensor **ETM** (*Enhanced Thematic Mapper*), que cobria, para além das bandas do antecessor **TM**, uma oitava banda, com resolução espacial de 15 m, designada pancromática, sensível a radiações entre o verde visível e o *NIR* do EEM (). No entanto, um problema aquando do seu lançamento impediu-o de captar imagens.

Em 1999 foi lançado o satélite **Landsat 7**, mantendo as mesmas características orbitais dos anteriores, e carregando o sensor **ETM+** – *Enhanced Thematic Mapper plus*, que incluiu (adicionalmente às 8 bandas do *ETM*) uma banda térmica (*TIR*) com resolução espacial de 60 m. Incluía a bordo um sistema de calibração radiométrica com precisão de 5 %, sendo mais rigoroso e melhor calibrado, tendo sido considerado “o mais estável e melhor caracterizado instrumento de observação da Terra jamais colocado em órbita” (🌀 e [Mather & Koch, 2011](#)).

As imagens *Landsat 7* mais recentes, posteriores a 2003, passaram a apresentar um padrão de linhas paralelas, resultantes de uma falha no sistema de correção *SLC* (*Scan Line Corrector*), um mecanismo eletro-ótico que fazia a compensação do movimento de avanço do sensor (produzindo um padrão de linhas paralelas, transversais ao movimento, em vez do “zig-zag” resultante da combinação do avanço do sensor com o movimento de varrimento). Este problema afetou essencialmente as zonas periféricas das imagens, poupando uma faixa central com cerca de 22 km de largura ([Figura 23](#)). As imagens adquiridas a partir daquela data passaram a designar-se *SLC-off*, tendo as anteriores adquirido a designação *SLC-on*.

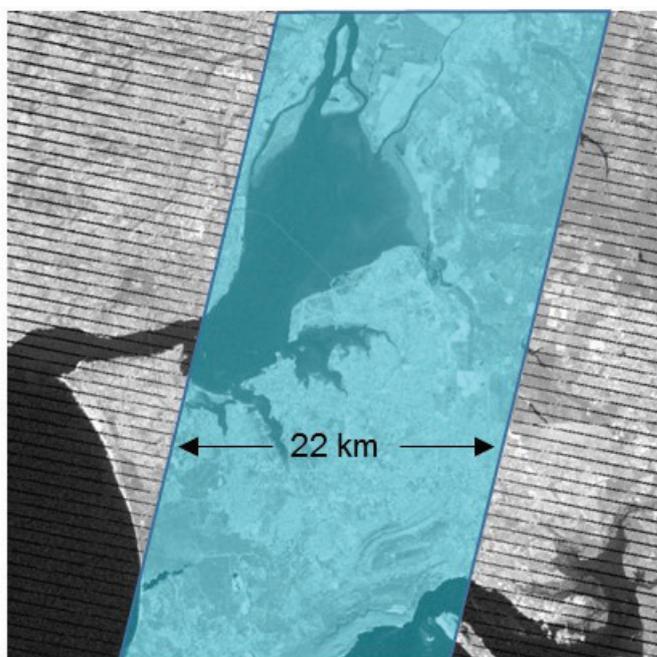


Fig. 23 - Representação da faixa não afetada pela avaria no *SLC*, sobre o estuário do Tejo (imagem *Landsat 7* de 11-3-2014).

O satélite **Landsat 8** ([Figura 25](#)), inicialmente designado por *LDCM* - *Landsat Data Continuity Mission*, surgiu com o objetivo de disponibilizar à comunidade dados para análise de fenómenos evolutivos na superfície terrestre, de forma consistente com os dados anteriores do programa, cobrindo a quase totalidade da superfície da Terra numa base sazonal, com resolução espacial, espectral e temporal suficientes

para caracterizar as causas e as consequências das mudanças registadas (🔗). Mantém as características dos anteriores em termos de órbita, fazendo uma translação completa a cada 98.9 minutos (🔗), com frequência de passagem de 16 dias. Está equipado com dois novos sensores: o **OLI** (*Operational Land Imager*) e o **TIRS** (*Thermal InfraRed Sensor*). O primeiro possui um telescópio de 4 espelhos que orientam a radiação para um plano focal, seguidamente captada por cerca de 7 000 detetores alinhados para cada banda espectral, exceto para a banda pancromática, com 13 000 detetores (🔗). Ao contrário dos sistemas utilizados anteriormente, que possuíam um espelho móvel que varria toda a largura da imagem para conduzir a luz para os sensores (sistema mecânico), o novo sistema “*push-broom*” regista instantaneamente uma linha de varrimento completa, evitando os problemas gerados pelas peças móveis, tais como movimentos ou interferências (Figura 24).

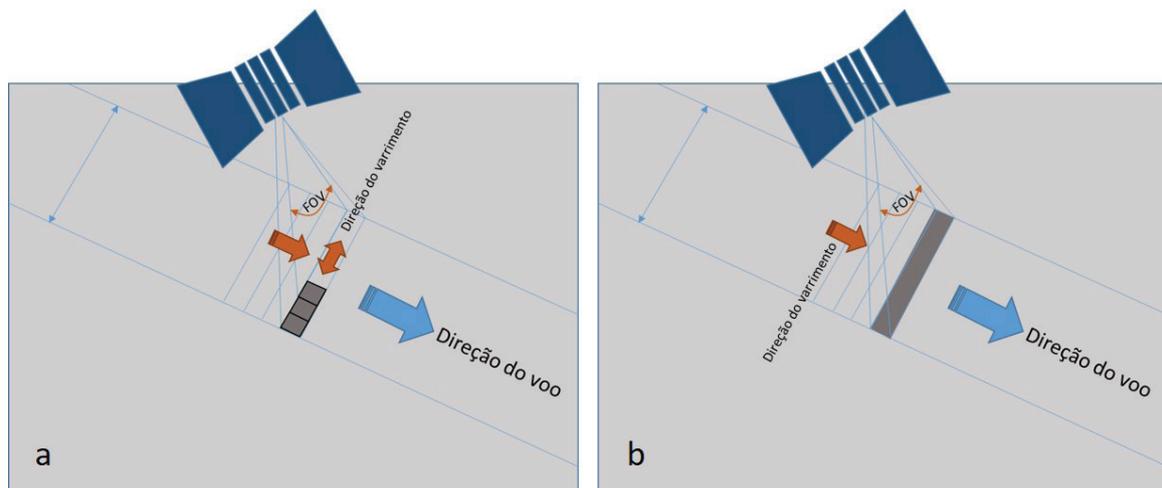


Fig. 24 - Tipos de sensor: (a) mecânico; (b) *push-broom*

O sensor **OLI** produz imagens com 30 m de resolução espacial nas bandas *VIS*, *NIR* e *SWIR* (em 8 bandas distintas) e uma imagem pancromática com resolução de 15 m (Figura 25); o sensor **TIRS** regista imagens térmicas (*TIR*) com resolução de 100 m (🔗) (Tabela 2).

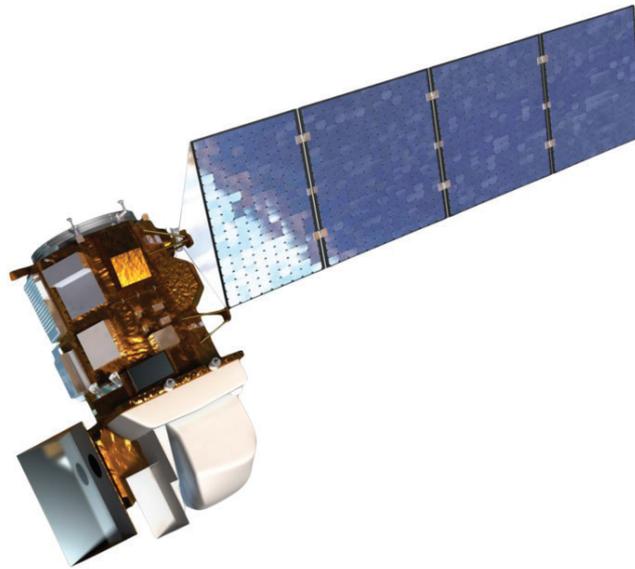


 Fig. 25 - Satélite Landsat 8 (USGS/NASA Landsat ).

Tabela 2 – Bandas e comprimentos de onda (μm) registados pelos sensores *Landsat 5, 7 e 8* ( e .

Bandas TM e ETM+	TM Landsat 5	ETM+ Landsat 7	OLI e TIRS Landsat 8	Bandas OLI e TIRS	Descrição
	comprimentos de onda (μm)				
			0.44-0.45	1	Coastal/aerossol
1	0.45-0.52	0.44-0.51	0.45-0.51	2	Azul
2	0.52-0.60	0.52-0.60	0.53-0.59	3	Verde
3	0.63-0.69	0.63-0.69	0.64-0.67	4	Vermelha
4	0.76-0.90	0.77-0.90	0.85-0.88	5	NIR
5	1.55-1.75	1.55-1.75	1.57-1.65	6	SWIR-1
7	2.08-2.35	2.06-2.34	2.11-2.29	7	SWIR-2
8		0.52-0.90	0.50-0.68	8	Pancromática
			1.36-1.38	9	Cirrus
6	10.41-12.5	10.3-12.36	10.6-11.19	10	TIR-1
			11.5-12.51	11	TIR-2

2.4.2.3 SENSORES SENTINEL

O programa de missões **Sentinel** foi projetado para incluir 7 gerações de satélites/sensores **Sentinel** (Figura 21), apresentando tecnologias distintas para monitorização terrestre, oceânica e de processos atmosféricos, operando nas gamas das ondas radar e multiespectral.

Inseridos no programa *Copernicus* (descrito na [secção 2.2](#)), os instrumentos *Sentinel 1* e **Sentinel 2** (Figura 26) encontram-se em funcionamento desde abril de 2014 e junho de 2015 respetivamente, estando o primeiro a recolher informação radar (ver [secção 2.5](#)) e o segundo é um sensor multiespectral de alta resolução (*MSI – MultiSpectral Instrument*). Informação detalhada acerca das futuras gerações *Sentinel* pode ser consultada em [\[link\]](#).

O sensor **MSI** (*MultiSpectral Instrument*) instalado no *Sentinel 2* adquire e regista informação em 12 bandas, entre o visível (*VIS* com 4 bandas), o infravermelho próximo (*NIR* com 6 bandas) e o infravermelho de ondas curtas (*SWIR* com 3 bandas), sendo a sua resolução espacial de 10, 20 e 60 m respetivamente consoante a banda⁵.

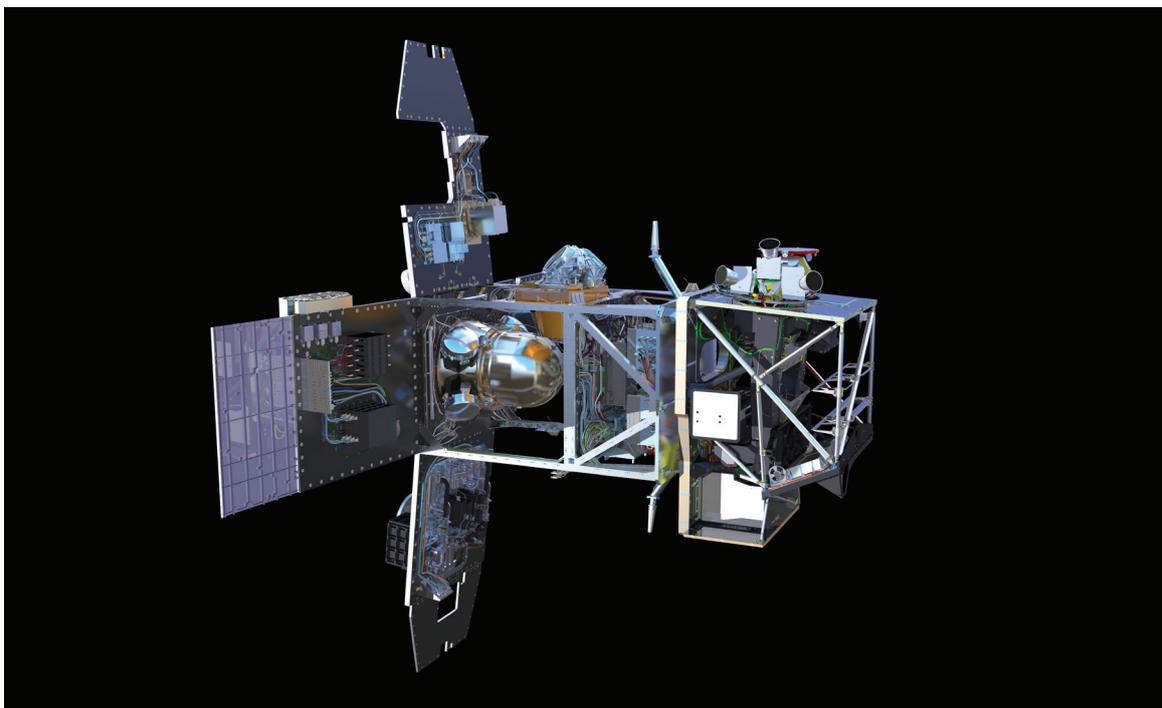


Fig. 26 - Vista interna do satélite Sentinel-2 (ESA/ATG medialab [\[link\]](#)).

⁵ Mais especificações técnicas em [\[link\]](#).

As imagens *Sentinel 2* complementam as adquiridas pelos *Landsat 7* e *8* e a sua compatibilidade com estes pode ser observada na [Figura 27](#).

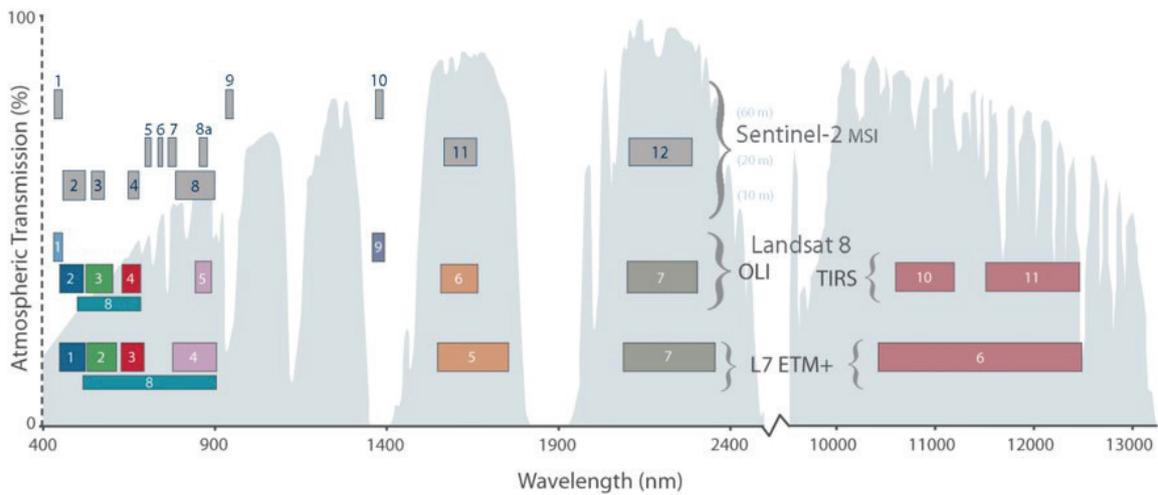


Fig. 27 - Comparação entre as imagens *Landsat 7* e *8* e *Sentinel 2* (USGS/NASA Landsat )

A missão *Sentinel 2* disponibiliza dados de monitorização terrestre, gestão de emergências e segurança. Os produtos descarregados são compilações de grânulos elementares de tamanho fixo, pertencentes a uma única órbita, que representam a partição mínima indivisível de um produto (que contém todas as bandas espectrais).

Os produtos são disponibilizados para os utilizadores a partir do Nível 1-B:

- **Nível 1-B:** constituído por um conjunto de grânulos com 25 por 23 km, que ocupam cerca de 27 MB, com correções radiométricas ao nível do topo da atmosfera (*TOA – Top-Of-Atmosphere*), com a geometria do sensor;
- **Nível 1-C** ([Figura 28](#)): constituído por mosaicos de 100 km² em projeção *UTM/WGS84*. Utiliza dados de MDT para projetar a imagem em geometria cartográfica, mantendo as medições radiométricas com os valores *TOA*;
- **Nível 2-A:** constituído por mosaicos de 100 km² em projeção *UTM/WGS84*, derivados dos produtos de Nível 1-C, com valores de refletâncias na superfície (*BOA – Bottom-Of-Atmosphere*). Este produto pode ser obtido a partir do anterior utilizando a ferramenta *Sentinel 2 Toolbox*.



Fig. 28 - Exemplo de uma imagem Sentinel nível 1C em cor verdadeira da zona costeira da Caparica. (*European Space Agency – ESA*; Processada por: FCUL)

A [Figura 29](#) ilustra os diferentes níveis de pré-processamento aplicados sistematicamente nas imagens até ao Nível 1-C e a conversão deste para o Nível 2-A por parte do utilizador, através da ferramenta *Sentinel 2 Toolbox*, por conversão das refletâncias *TOA* em *BOA*.



Fig. 29 - Diferentes níveis de pré-processamento aplicado aos produtos Sentinel (adaptado de ESA, 2015).

2.4.3 SENSORES DE MUITO ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL

Dentro dos sensores com muito alta resolução incluem-se os sensores **HRG** (*High Resolution Geometrical*) e **HRS** (*High Resolution Stereoscopic*), associados à geração *SPOT 5*. A inclusão destes sensores numa categoria de muito alta resolução deve-se à sua capacidade de produzir imagens pancromáticas com resolução entre 2.5 e 5 m ([Mather & Koch, 2011](#)). Para além das imagens pancromáticas geradas por estes sensores, os sensores **HRG** e **HRS** adquirem ainda 3 bandas *VIS* (com 10 m de resolução), uma banda *SWIR* (com 20 m) e também uma imagem com resolução espacial de 1 km pelo sensor *Vegetation*. Nas gerações *SPOT 6* e *7* inclui-se um novo sensor, de muito alta resolução, designado por **NAOMI**, cuja resolução espacial máxima é alcançada na banda pancromática, com 2.2 m de resolução espacial, adquirindo informação espectral nas bandas *VNIR* com resolução de 8.8 m ().

São exemplos de outros sensores de muito alta resolução e fins comerciais: o **GeoEye**, o **IKONOS**, o **QuickBird** ou o **Worldview**, cujas características fundamentais se apresentam na [Tabela 3](#).

Tabela 3 – Características principais de alguns sensores/satélites comerciais de muito alta resolução (e).

Sensor	Resolução pancromática (m)	Resolução multiespectral (m)	Tempo de revisitação (dependente da latitude) (dias)
GeoEye - 1	0.46	1.84	2 - 8
GeoEye - 2	0.34	1.36	3
WorldView - 1	0.5	-	1.7 - 5.9
WorldView - 2	0.46 - 0.52	1.84	1.1 - 3.7
WorldView - 3	0.31 - 0.34	1.24 – 1.38 (SWIR 3.7)	<1 - 4.5
QuickBird	0.65 - 0.73	2.62 - 2.90	1 – 3.5
IKONOS	0.82 – 1	3.2 – 4	4

2.5 OBSERVAÇÃO DA TERRA – SENSORES SAR

Neste guia apresenta-se uma breve descrição de conceitos e alguns exemplos de programas de observação SAR. Uma descrição mais pormenorizada sobre a tecnologia SAR e exemplos de aplicações podem ser encontrados no guia técnico do módulo de formação SOPHIA: **Observação da Terra: uso de imagens SAR para a monitorização de águas costeiras e oceânicas** ([Sutcliffe et al., 2016b](#) )



O Radar de Abertura Sintética (**SAR - Synthetic Aperture Radar**) consiste num sensor ativo que emite um sinal eletromagnético, cujo eco é registado pelo mesmo após reflexão ou retrodifusão no objeto ou superfície analisados (são medidos o tempo decorrido entre emissão e receção do sinal, para além das alterações de fase, amplitude e polarização do mesmo).

O sinal dos sensores SAR situa-se nos intervalos das micro-ondas do EEM, geralmente com comprimento de onda entre 1 cm e 1 m, o que permite obter informação sob quaisquer condições meteorológicas (independente da cobertura nebulosa) ou de luminosidade

(dia e noite), sendo estas as principais vantagens relativamente aos sensores óticos (principalmente no caso das zonas temperadas e/ou tropicais, frequentemente cobertas por nuvens). Outra característica das micro-ondas é a sua incapacidade de penetrar significativamente na água, principalmente se for salgada, sendo a maior parte da radiação incidente refletida e depois medida pelos sensores.

Basicamente, o sinal radar regista informação acerca das características dielétricas (associadas com a humidade do solo) e da rugosidade da superfície refletora (que no caso do mar pode ser causada por fenómenos de origem oceânica ou atmosférica). Aplicada à oceanografia, a tecnologia *SAR* permite obter assinaturas, entre outras: de ondas oceânicas; de fenómenos atmosféricos; da topografia dos fundos em locais pouco profundos (de forma indireta); de *slicks* - películas gordurosas naturais ou artificiais (derrames de óleo); de navios e respetivos rastos (esteiras).

2.5.1 SENSORES

Neste tópico são apresentados alguns sensores e programas *SAR* adaptados à Observação da Terra. O programa pioneiro no estudo oceanográfico da Terra com imagens radar, o **SeaSat** da *NASA*, foi lançado para o espaço em 1978. Este programa, embora tenha tido um tempo de aquisição limitado devido a falhas energéticas (70 dias, dos 105 dias que esteve operacional), conseguiu demonstrar as potencialidades da metodologia *SAR* no estudo dos processos oceanográficos à escala global, tendo inclusivamente mapeado com sucesso a agitação marítima no oceano.

O sucesso demonstrado na missão *SeaSat* fez com que a tecnologia *SAR* começasse a ser incluída nos programas espaciais de monitorização terrestre que se seguiram, nomeadamente nos programas **ERS-1** (entre 1991 e 2000) e **ERS-2** (entre 1995 e 2011) da *ESA*, que chegaram a funcionar durante 9 meses em simultâneo, percorrendo a mesma órbita com uma diferença de 24 horas. As imagens radar geradas por estes satélites apresentam resoluções espaciais na ordem dos 25 m.

Seguiu-se um melhoramento dos sistemas radar com o **ASAR** (*Advanced Synthetic Aperture Radar*), a bordo do satélite *Envisat* (*Environmental Satellite*) da *ESA* (entre 2002 e 2012), que gerou uma grande variedade de imagens com resolução espacial máxima de 30 m.

Ainda associado à *ESA*, o **Sentinel 1**, operacional desde 2014, constitui um aperfeiçoamento das missões anteriores que operam na banda das micro-ondas, consistindo em sensores radar de muito alta resolução espacial (que pode chegar a 5 m no modo de imagem *Stripmap*⁶).

Exemplo de sensores *SAR* com muito alta resolução espacial é o sistema a bordo dos satélites **TerraSAR-X** e **TanDEM-X**, lançados em 2007 e 2010 respetivamente, numa parceria entre o Centro Aeroespacial Alemão e a companhia *EADS Astrium* (atualmente *Airbus Defence and Space*), com fins simultaneamente científicos e comerciais. Orbitam

⁶ Consultar o Guia técnico do módulo de formação SOPHIA: Observação da Terra: uso de imagens *SAR* para a monitorização de águas costeiras e oceânicas para mais informações ([Sutcliffe et al., 2016b](#) ).

atualmente em formação conjunta, helicoidal (*helix formation*), sendo a órbita do *TanDEM-X* mais excêntrica do que a do *TerraSAR-X* (nunca se cruzando), com separação transversal máxima no equador e separação radial máxima nos pólos (Figura 30).

Este sistema permite ainda a criação de modelos digitais de elevação (*DEM – Digital Elevation Models*), o que tem sido realizado a nível global com o *WorldDEM™* (Figura 31), apresentado sob a forma de imagens *raster* com 12 X 12 m, com precisão vertical relativa de 2 m e absoluta de 4 m (e).



Fig. 30 - Exemplo esquemático da órbita de dois satélites em formação conjunta, o que permite aumentar o tempo de revisitação.

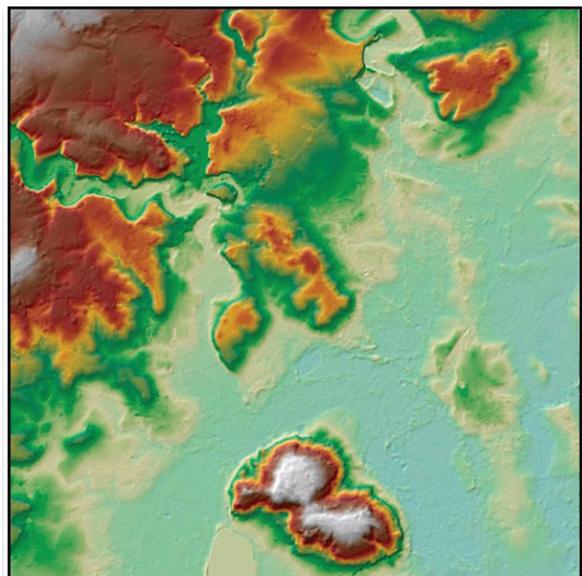
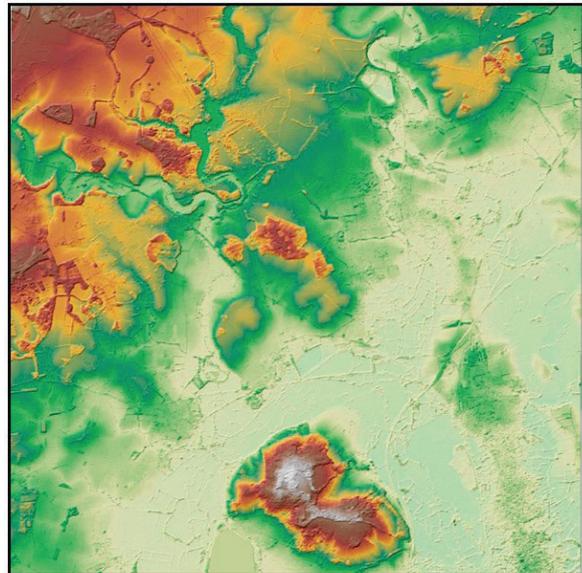


Fig. 31 - Exemplo de Modelo Digital de Superfície (em cima) e Modelo Digital de Terreno (em baixo) (imagens de amostra disponíveis em e).



CAPÍTULO 3

DADOS DE SATÉLITE



A terceira parte deste guia descreve, de uma forma geral, os tipos de dados de satélite que os utilizadores têm à disposição, de forma gratuita, na *internet*. Os dados aqui descritos correspondem aos principais formatos que se podem encontrar existindo, no entanto, muitos mais tipos. São apresentados ainda, alguns sítios onde é possível aceder a imagens de satélite disponibilizadas de forma gratuita.

3.1 IMAGENS E RASTERS

Uma vez que a maioria dos dados de satélite correspondem a imagens, é importante definir o conceito de **imagem** e os tipos de imagens disponíveis e acessíveis em ambiente SIG. *Raster* e imagem são dois termos muitas vezes utilizados como sinónimos. Uma imagem é uma representação pictórica bidimensional que não depende do comprimento de onda ou de um sensor de deteção remota. Uma imagem pode ser exibida num monitor ou em papel e corresponde ao que o ser humano vê. Um **raster** corresponde a uma matriz de píxeis (células) armazenados como uma sequência de linhas. No entanto, e para facilitar a linguagem, vamos utilizar os termos *raster* e imagem como sinónimos.



Um **raster** corresponde a uma matriz de píxeis (células) armazenados como uma sequência de linhas. O **raster** é o elemento fundamental do modelo de dados matricial.

Com o advento das novas tecnologias, as imagens que adquirimos são, cada vez mais, imagens digitais, constituídas por grelhas de píxeis, armazenadas sob a forma de matrizes, em que os píxeis apresentam valores binários ou inteiros, representando intensidades de luz.

Quando visualizamos um *raster*, o que vemos é uma imagem dessa informação, que pode representar a intensidade da luz refletida, a temperatura ou a altimetria de determinado local em determinado momento. As fotografias aéreas, imagens de satélite ou qualquer outro tipo de imagens digitais são dados *raster* ([Figura 32](#)).

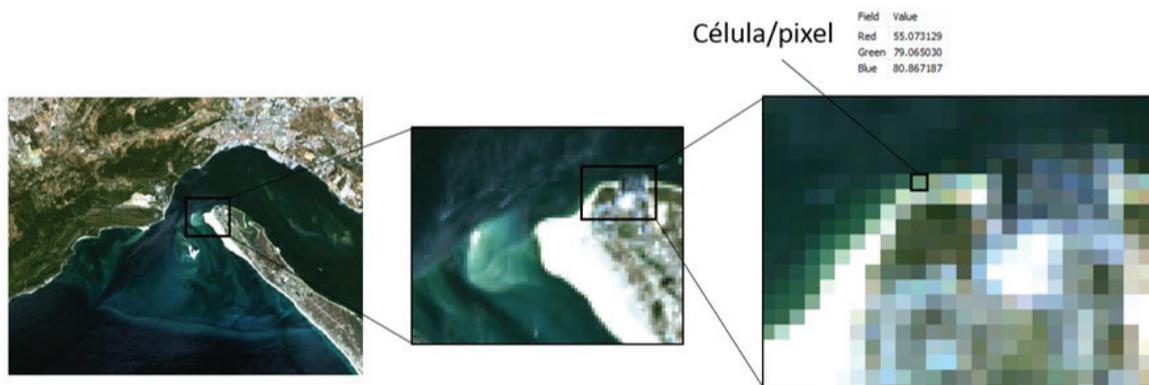


Fig. 32 - Imagem *Landsat 8*, em formato *raster*, representando a península de Tróia em três escalas crescentes da esquerda para a direita.

3.1.1 IMAGENS DE SATÉLITE

A radiação detetada pelos diferentes sensores é armazenada sob a forma de arranjos de células ou píxeis, com diferentes níveis de intensidade, correspondentes à média dos valores da radiação registados em toda a superfície de terreno representada pelo píxel ([Figura 33](#)). A intensidade da radiação medida em cada píxel é representada por tons de cinzento, do preto ao branco, ou por números digitais (*DN - Digital Number*), que variam entre 0 (correspondente ao preto, com menor valor) e um valor máximo, correspondente ao branco (com maior valor), que depende da resolução radiométrica da imagem.

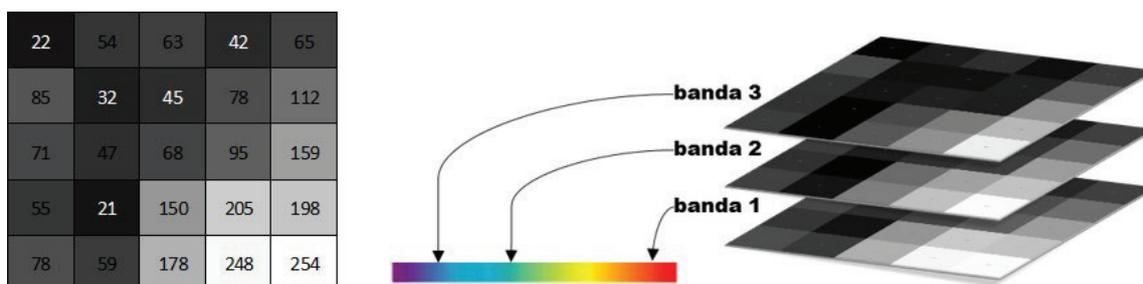


Fig. 33 - Natureza matricial das imagens de satélite, com os *DN* a representarem diferentes valores da radiação medida.



O número de valores de intensidades é definido por uma potência de 2, i.e., define-se pelo número de *bits* em que a imagem é codificada. Por exemplo, 1 *bit* corresponde a $2^1 = 2$ valores de cinzento; 8 *bits*, $2^8 = 256$ valores de cinzento e 16 *bits*, $2^{16} = 65\,536$ valores de cinzento. Este valor corresponde também à resolução radiométrica (ver [secção 1.3.4.4](#)).

O *DN* permite, desta forma, que se utilizem as imagens como matrizes numéricas, admitindo operações algébricas ou outras entre imagens, úteis na análise e quantificação dos elementos presentes nas imagens. A maioria das imagens óticas adquiridas pelos sensores de satélites apresenta resolução radiométrica de 8 *bits* (ou superior), com 256 tons de cinzento, tendo como exemplo as imagens *Landsat 7 TM/ETM+*, *SPOT HRV* e *Terra-1 ASTER*. Os satélites mais recentes têm vindo a captar imagens com maior resolução radiométrica, o que permite maior pormenor na representação da informação, como por exemplo os satélites *IKONOS*, *Quickbird* (imagens a 11 *bits*) ([Liu & Mason, 2009](#)) e *Landsat 8* (12 *bits*⁷).

3.1.2 ORGANIZAÇÃO DE DADOS RASTER

Os dados guardados em formato *raster* representam fenómenos do mundo real, que podem ser classificados como discretos ou contínuos:

- Dados discretos (também denominados de temáticos ou categóricos) representam atributos, e.g. uso do solo.
- Dados contínuos, que representam fenómenos como a elevação, a temperatura ou informação espectral, como as imagens de satélite.
- Imagens digitais, que incluem mapas digitalizados.



Dados discretos representam objetos, quer sejam armazenados em formato de vetor (*feature*) ou de imagem (*raster*), com fronteiras bem conhecidas e definidas (e.g. um lago, um prédio, uma estrada).

Dados contínuos (ou de superfície) representam fenómenos em que a localização representa uma medida (e.g. elevação ou temperatura).

Os *rasters* contínuos ou discretos podem ser adicionados como camadas ou temas juntamente com outros formatos de dados geográficos, permitindo realizar operações de processamento e análise de forma isolada ou em conjunto com outros dados.

O *ArcGIS* oferece quatro formatos de organização, armazenamento e gestão de modelos de dados *raster*, representados pelos respetivos **ícones***:

- *Raster Dataset*
- *Mosaic Dataset*
- *Raster Catalog*
- *Raster Product*

* Ícones do programa <i>ArcGIS</i>	
	<i>Raster Dataset</i>
	<i>Mosaic Dataset</i>
	<i>Raster Catalog</i>
	<i>Raster Product</i>

⁷ O *Landsat 8* adquire imagens a 12 *bits* mas serve as imagens reprocessadas a 16 *bits*.



A maioria dos dados que são fornecidos em formato *raster* (e.g. ortofotomapas ou MDTs) corresponde a um **raster dataset**, o equivalente em português a um conjunto de dados *raster*. O termo **raster dataset** refere-se a qualquer modelo de dados *raster* armazenado no disco ou numa base de dados geográficos (*geodatabase*). É o modelo de armazenamento de dados *raster* mais básico, correspondendo também ao resultado de saída (*output*) de muitas ferramentas de geoprocessamento. O **raster dataset** corresponde a qualquer formato *raster* válido organizado numa ou mais bandas, onde cada banda é constituída por uma matriz de píxeis. Este tipo de dados pode ser armazenado em vários formatos: *TIFF*, *JPEG 2000*, *ESRI GRID*, *MrSid*, etc..



O **mosaic dataset** é uma coleção de **raster datasets** (imagens), armazenada como um catálogo que permite ver ou aceder a um grande número de imagens (cujo tamanho de ficheiro pode ser grande) como uma única imagem em mosaico ou como imagens individuais, não precisando de ser contíguas ou ter sobreposição. Um **mosaic dataset** pode permanecer no seu formato nativo ou ser carregado para uma *geodatabase*. Este formato é o ideal para armazenar dados temporais, uma vez que estes dados podem sobrepor-se.



O **raster catalog** é, à semelhança do **mosaic dataset**, uma coleção de imagens definida em formato de tabela, em que cada registo representa um **raster dataset** individual num catálogo. Este formato pode conter milhares de imagens, sendo usado, tipicamente, para representar imagens adjacentes, total ou parcialmente sobrepostas, sem a necessidade de construir um mosaico. Este formato tem vindo a ser substituído pelo anterior (**mosaic dataset**) que apresenta mais recursos, usos e funções, sendo recomendável dar preferência a este último na organização de dados *raster*.



O **raster product** foi criado para tornar a adição, visualização e usos de imagens de satélite mais rápida e fácil, uma vez que estes produtos apresentam, muitas vezes, um número elevado de bandas individuais, que podem ser posteriormente combinadas para visualização, realce e processamento.

Os **raster products** contêm habitualmente *templates* de representação de um ou mais **raster datasets** (e.g. composição colorida *RGB*), de acordo com as características do sensor que lhe está associado (Figura 34). A identificação do **raster product** é realizada a partir do reconhecimento do ficheiro de metadados, associado às imagens de determinado sensor.

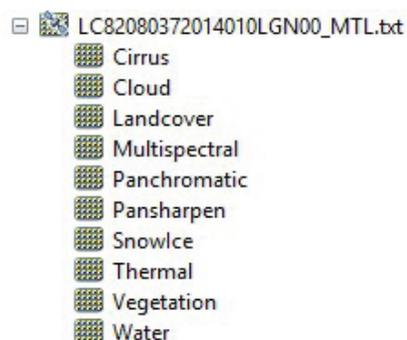


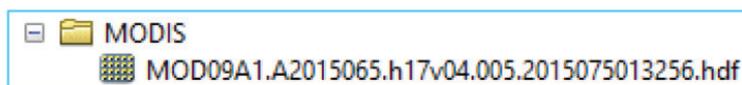
Fig. 34 - Exemplo dos *templates* associados ao **raster product** do ficheiro de metadados do satélite *Landsat 8*.

3.1.3 OUTROS TIPOS DE DADOS RASTER

3.1.3.1 HDF

O *HDF (Hierarchical Data Format)* é um formato de arquivo que permite armazenar estruturas de dados multiobjeto, tais como imagens *raster*, matrizes multidimensionais ou tabelas binárias e é constituído basicamente por uma biblioteca, um utilitário de linha de comando, uma ferramenta de teste, um interface *Java* e um *HDF Viewer*. Existem diferentes tipos de modelos *HDF*, e o *ArcGIS* permite ler os dois formatos principais, *HDF4* e *HDF5*. Os ficheiros *HDF* são lidos pelo *ArcGIS* como *rasters* do tipo *raster with subdatasets*, mas nem todos os arquivos *HDF* são *subdatasets*. Este tipo de formato tem uma estrutura de dados que permite múltiplos conjuntos de dados (*subdatasets*) num único ficheiro pai. Cada um destes pode corresponder a apenas uma banda ou a múltiplas bandas.

As imagens fornecidas pelo sensor *MODIS* a bordo do satélite *Aqua* ou *Terra* são exemplos de imagens fornecidas em formato *HDF*. As imagens neste formato, à semelhança dos dados *Landsat* do tipo *TIFF*, são representadas no *ArcCatalog* com o ícone **Raster Dataset*** (ver página 52).



As características dos produtos *MODIS* podem ser consultadas em .

3.1.3.2 NETCDF

O *NetCDF (Network Common Data Form)* é um formato de arquivo desenvolvido para suportar a criação, acesso e partilha de dados científicos, muito utilizado pelos geocientistas, especialmente nas comunidades que gerem dados atmosféricos e oceanográficos para armazenar variáveis (temperatura, pressão, velocidade do vento, altura de onda, etc.).

Os dados *NetCDF* são:

- Auto descritivos - um arquivo *NetCDF* inclui informações sobre os dados que contém (data de aquisição dos dados, unidades de medida, etc.);
- Portáteis e transversais a diferentes plataformas – um ficheiro criado num tipo de sistema operativo pode, por princípio, ser lido num sistema operativo diferente ou noutra *software*;

- Dimensionáveis – um pequeno subconjunto de um grande ficheiro *NetCDF* pode ser eficientemente acedido sem necessidade de ler o ficheiro inteiro.



Os ficheiros *NetCDF* suportam N-dimensões (x, y, z, tempo e outras dimensões), assim como variáveis múltiplas.

O *ArcGIS* poder ler um ficheiro *NetCDF* em três formatos diferentes: *raster*, *feature* ou tabela, de forma nativa, i.e., sem necessidade de conversão dos dados. No entanto, os ficheiros *NetCDF* não são adicionados ao georreferencial através do botão **Add Data***, sendo, em vez disso, necessário utilizar as ferramentas disponíveis na caixa de ferramentas **Multidimension Tools**. Em alternativa, é possível arrastar um ficheiro *NetCDF* do *Windows Explorer* diretamente para a aplicação *ArcMap*.

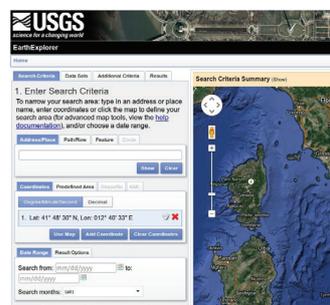


3.2 FONTES DE DADOS DE SATÉLITE

Existe atualmente um grande número de entidades que armazenam bases de dados de satélite e várias aplicações *online* que permitem pesquisar e obter, de forma gratuita (ou não), variados tipos de dados de satélite. Refere-se a seguir as principais fontes de pesquisa e informação gratuita.

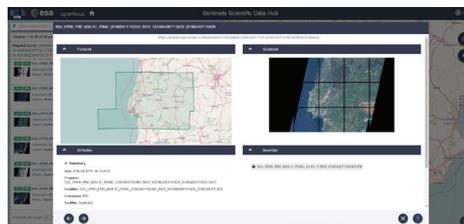
3.2.1 USGS

A *United States Geological Survey* disponibiliza, na sua aplicação online **Earth Explorer** , um grande número de imagens de satélite, fotografias aéreas e produtos cartográficos provenientes de diferentes fontes, cujo acesso é feito através de pesquisas (por data, por missão, por local, por nível de nebulosidade, etc.). Compreende o vasto catálogo de dados consistentes *Landsat* da *NASA* desde 1972 até à atualidade, mas permite também aceder aos dados *MODIS* (das missões *Terra* e *Aqua*), *ASTER* e *AVHRR*, *LiDAR*, *Radar* e, mais recentemente, do *Sentinel 2*. Os produtos a descarregar compreendem diferentes níveis de resolução e processamento, podendo o utilizador escolher o que melhor lhe convier.



3.2.2 SENTINELS SCIENTIFIC DATA HUB

A ferramenta criada no âmbito do projeto *Copernicus* para pesquisar e descarregar dados *Sentinel* (*Sentinels Scientific Data Hub* ) tem atualmente acesso aberto, completo e gratuito aos produtos *Sentinel 1* e *2*, mantendo um arquivo de todos os mapas para *download* por utilizadores registados. Os resultados da pesquisa permitem a pré-visualização da imagem e os seus atributos (data, nome do ficheiro, tamanho, instrumento, satélite, etc.), sem necessidade de descarregar imediatamente. Após descarregar, é necessário descomprimir os ficheiros (grânulos), fornecidos ao utilizador no formato *JPEG2000* (.JP2).



3.2.3 COVE

O *CEOS* (*Committee on Earth Observation Satellites*) disponibiliza uma ferramenta gratuita de visualização e pesquisa de imagens e informação provenientes de uma centena de satélites, desenvolvida pelo *System Engineering Office (SEO)* da *NASA* . Esta ferramenta é utilizada diretamente no *browser*, sem necessidade de instalação prévia, permitindo visualizar percursos de satélites (*Figura 35*) e calcular coincidências entre eles, ligar e desligar camadas, com a possibilidade de descarregar a informação em formatos *.kmz* e *Excel*. Inclui informação detalhada acerca das missões e apresenta alguns estudos de caso.

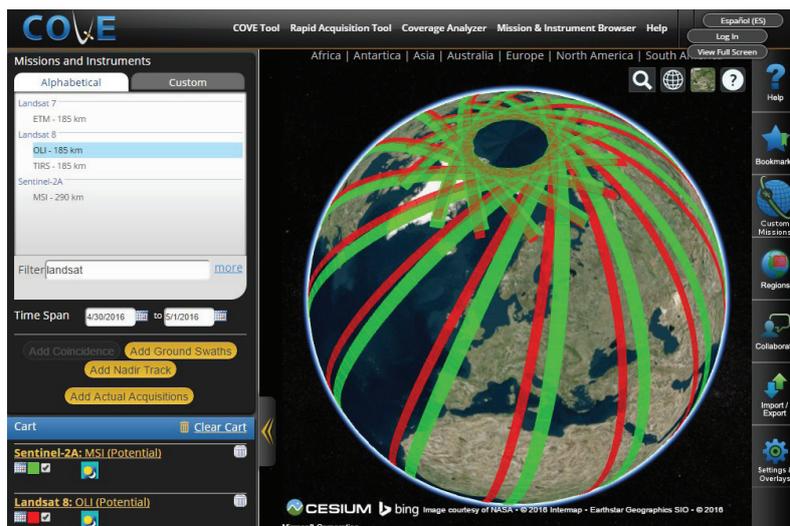


Fig. 35 - Pesquisa no COVE por percursos de satélites selecionados (*swaths*).

Se quisermos, por exemplo, comparar imagens *MSI* e *OLI* provenientes dos sensores *Sentinel 2A* e *Landsat 8* (respetivamente), podemos pesquisar no *COVE* a coincidência entre as órbitas dos respetivos satélites para um determinado intervalo de tempo (neste caso, para o intervalo entre 1 de janeiro e 10 de maio de 2016), em determinado país. Seleccionando a passagem que melhor cobre a área de estudo obtemos os dados detalhados para ambos os sensores ([Figura 36](#)).

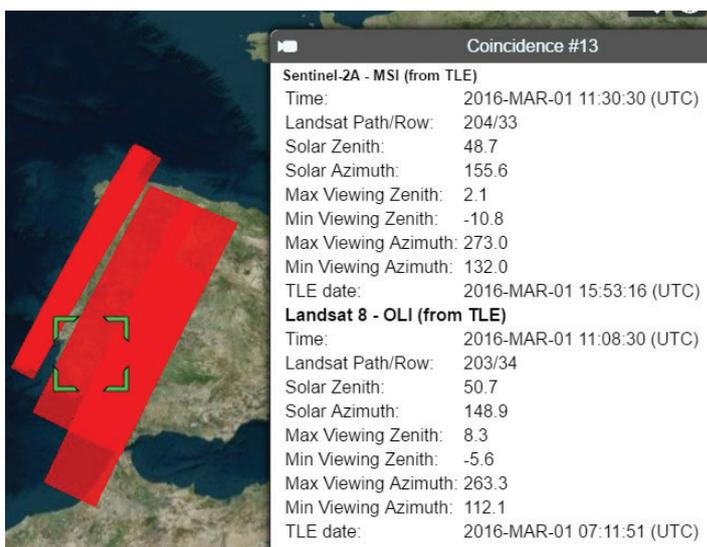


Fig. 36 - Informação de coincidência entre satélites seleccionados em determinada data (©).



CAPÍTULO 4

PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE IMAGEM



Na maior parte dos casos, as imagens (de satélite), por si só e no formato em que são disponibilizadas, não permitem extrair imediatamente a informação desejada, havendo a necessidade de uma preparação prévia, que depende do objetivo final da sua análise.



O **processamento** inclui as fases de extração, manipulação e quantificação da informação temática contida nas imagens, com o objetivo de realçar determinadas características.

Com a crescente disponibilização dos dados em formato digital, o seu tratamento passou a ser realizado com recurso a computadores e de forma mais automatizada, reduzindo assim o tempo e os recursos necessários para manipular grandes quantidades de informação; por exemplo, as imagens de fotografia aérea são agora processadas de forma digital.

O processamento digital de imagens divide-se normalmente em três fases:

- Pré-processamento, uma fase de transformação e exploração das imagens, em que se incluem as operações cujo objetivo é a eliminação de possíveis distorções radio-métricas ou geométricas, resultantes de diversos fatores no momento de aquisição;
- Processamento ou transformação, em que são realçadas as características úteis para o objetivo do estudo;
- Pós-processamento, em que são realçados e avaliados os resultados do processamento e onde é representada a informação (qualitativa e/ou quantitativa) extraída.

Esta divisão é, no entanto, subjetiva, variando de autor para autor e estando as várias fases do processo dependentes do tipo de utilização a atribuir aos dados disponíveis.

4.1 APLICAÇÕES DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM

Existe no mercado uma grande variedade de ferramentas de DR e SIG orientadas para a exploração, processamento e análise de dados no formato de imagem, tanto na vertente proprietária como na vertente *open-source*, desde versões *web* a versões *desktop* ou mesmo *mobile*. A escolha da ferramenta depende, não só do objetivo do trabalho (se queremos visualizar ou analisar as imagens), como também dos recursos disponíveis (financeiros, *hardware*, etc.) e dos conhecimentos informáticos (e.g. programação) e de processamento de imagem dos utilizadores, entre outros.

Embora esta formação seja suportada no conjunto de aplicações *ArcGIS*, cuja

caracterização será pormenorizada mais adiante, dão-se também alguns exemplos de outras aplicações, com ênfase nas de utilização gratuita, acessíveis a qualquer utilizador com computador pessoal, e nas aplicações direccionadas para a análise de imagens e de deteção remota.

4.1.1 APLICAÇÕES COMERCIAIS

Dentro das aplicações comerciais, destaca-se o *ArcGIS* da *ESRI*, por ser o mais utilizado e mais completo programa SIG a nível mundial (embora não seja especificamente orientado para a análise de imagens matriciais, está a desenvolver-se fortemente nesta área); são ainda de referir o *ENVI*, o *ERDAS* e o *IDRISI*, que são aplicações de deteção remota por excelência, muito orientadas para o processamento e análise de imagens remotas.

4.1.1.1 ARCGIS (ESRI)

O *ArcGIS* é um conjunto de aplicações proprietárias criadas pelo *Environmental Systems Research Institute (ESRI)* para utilização essencialmente em ambiente *desktop*. Agrupa uma variedade de aplicações através das quais se podem executar as diferentes tarefas de análise, edição, visualização e gestão de bases de dados geográficas, com destaque para o *ArcMap*, *ArcScene* e *ArcToolbox*⁸.

Adicionalmente, o ***ArcGIS Online*** permite utilizar, criar e partilhar mapas, cenas, aplicações, camadas, ferramentas de análise e dados, com acesso a mapas prontos a utilizar e à *cloud ESRI*, onde é permitido adicionar e publicar camadas *web*. Pode ser utilizado em conjunto com as aplicações *Desktop ArcGIS*, alargando as suas possibilidades.

Destaca-se ainda a aplicação ***ModelBuilder*** (que permite criar modelos de processamento, automatizando as tarefas) e a aplicação ***Python*** (ambiente para desenvolver *scripts* e comandos de geoprocessamento).

As principais funções vêm por defeito na aplicação *standard* (Figura 37), destacando-se a função de adicionar dados a partir de uma pasta no computador, a partir dos mapas-base disponibilizados pelo *ArcGIS* (imagens de satélite ou mapas temáticos) ou a partir de pesquisa no *ArcGIS Online*.

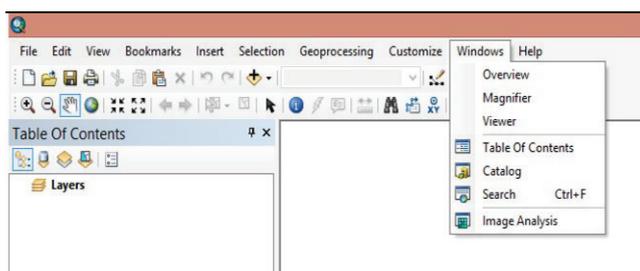


Fig. 37 - Visualização do menu de janelas disponíveis em *ArcMap*.

⁸ Informação mais detalhada em [Silva et al. \(2016\)](#).

4.1.1.2 ENVI (EXELIS)

A aplicação **ENvironment for Visualizing Images**, desenvolvida com base na linguagem *IDL (Interactive Data Language)*, permite visualizar, processar, analisar e apresentar dados em mais de 70 formatos (e.g. *HDF, CDF, GeoTIFF*), incluindo imagens de satélite multiespectrais, hiperespectrais, *LiDAR* e *SAR*, com capacidade para imagens de grandes dimensões, provenientes de vários sensores (*Landsat 8, ASTER, SPOT, QuickBird, AVHRR*, entre outros), funcionando nos principais sistemas operativos . Inclui ferramentas de análise espectral, de análise de dados e de análise de imagem avançada, permitindo por exemplo detetar anomalias estatísticas e espectrais, realizar classificações, extrações, registos e ortorretificações.

4.1.1.3 TERRSET - IDRISI (CLARK LABS)

O software integrado **TerrSet** da empresa *Clark Labs* funciona apenas em *Windows* e possui duas caixas de ferramentas, a *IDRISI GIS Analysis* e a *IDRISI Image Processing*, orientadas para a análise de dados matriciais e o processamento de imagens de satélite, incluindo classificação baseada em redes neuronais (“*machine learning*”) e caracterização estatística .

4.1.1.4 IMAGINE (ERDAS)

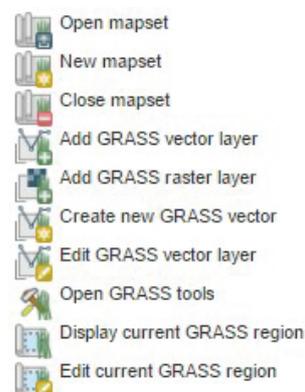
A aplicação **Imagine** funciona apenas em *Windows* e está direcionada para o processamento de imagens de satélite óticas, radar e *LiDAR*, com uma interface amigável e ferramentas de deteção de alterações, de álgebra de mapas e de conversão entre diferentes formatos de imagens, com serviços de *OGC (Open Geospatial Consortium)*, como o *WMS (Web Mapping Service)*. Realiza funções como ortorretificação, mosaicos, classificação e modelação e análise espacial .

4.1.2. APLICAÇÕES GRATUITAS

Dentro das aplicações SIG gratuitas, salientam-se o *QGIS*, o *GRASS* e o *SNAP*.

4.1.2.1 QGIS

A aplicação *QGIS*, anteriormente designada por *Quantum GIS*, é um *software open-source* (em que é possível aceder ao código e alterá-lo) gratuito, transversal a vários sistemas operativos (*Linux*, *Mac OSX*, *Windows* e *Android*), pertencente à *Open Source Geospatial Foundation* . Exige menor *RAM* e recursos do computador do que os equivalentes não gratuitos (o que permite trabalhar em máquinas menos recentes e/ou potentes). Foi desenvolvido em 2002, utilizando as ferramentas *Qt*⁹ e *C++*, sendo continuamente atualizado e corrigido por voluntários. Permite **visualizar** e sobrepor camadas matriciais e vetoriais de diferentes origens (*GRASS*, dados online - *WMS*, *WMTS*, *WCS*, *WFS* e *WFS-T*) e diferentes formatos (*GeoTIFF*, *ERDAS IMG*, *ArctInfo ASCII GRID*, *JPEG*, *PNG*, *tabelas*, etc.) sem necessidade de as converter para um formato interno. Permite **explorar** e **criar** mapas vetoriais (pontos, linhas e polígonos) e matriciais (*raster*), através de uma completa interface gráfica de utilizador (*GUI – Graphical User Interface*) simples e intuitiva (“*user friendly*”), com ligação ao *browser QGIS*, a um gestor de bases de dados, a diferentes ferramentas de visualização e manipulação, etc. Permite importar, converter e exportar dados *GPS* e publicar mapas diretamente na Internet. Permite adicionar *plugins* internos (*core plugins*) e externos (disponibilizados pela comunidade no repositório, utilizando o *Python Plugin Installer*) e criar novos (em *Python* e *C++*) para aumentar as funcionalidades. Permite utilizar as ferramentas *GRASS* de processamento e análise sob a forma de *plugin*.



4.1.2.2 GRASS GIS

A aplicação *GRASS* (*Geographic Resources Analysis Support System*) é gratuita e aberta, tendo sido desenvolvida pelo Exército dos Estados Unidos (*US Army Corp of Engineers*) em 1985 e pertencendo, atualmente, à *Open Source Geospatial Foundation* . É uma ferramenta de gestão e análise de dados geoespaciais, processamento de imagens, produção de mapas e gráficos, modelação espacial e visualização, não só para fins comerciais e de investigação, mas também para gestão do território e ordenamento por parte de organizações governamentais.

⁹ Aplicação que permite construir outras aplicações para diversos sistemas operativos.

Permite manipular dados matriciais e vetoriais; processar imagens multiespectrais; e criar, gerir e guardar dados espaciais, num ambiente de trabalho intuitivo, sendo possível a utilização simultânea da mesma base de dados por diferentes elementos do mesmo grupo de trabalho através da partilha por *NFS (Network File System)*. Encontra-se traduzido para várias línguas (incluindo português) e a versão mais recente (2015) é o **GRASS GIS 7**. Mais informações podem ser consultadas em [\[2\]](#).

4.1.2.3 SNAP (ESA)

As caixas de ferramentas *Sentinel* permitem processar, ver, analisar e apresentar dados provenientes de missões espaciais, não só da *ESA*, como de outras missões. A plataforma de aplicações **SNAP** – (*SeNtinel's Application Platform*) reúne todas as ferramentas *Sentinel*, constituindo uma plataforma complexa que permite abrir e explorar dados de *EO*. A **Sentinel 1 Toolbox** suporta dados dos sensores *Sentinel*, *Envisat* e *ERS (ESA)* e também dos sensores *ALOS PALSAR*, *TerraSAR-X*, *Cosmo-SkyMed* e *RADARSAT-2*. Inclui ferramentas de calibração, filtros, co-registo, ortorretificação, mosaicos, conversão de dados, polarimetria e interferometria. A **Sentinel 2 Toolbox** suporta dados óticos de alta resolução, provenientes não só dos sensores *Sentinel 2 (ESA)*, como também dos sensores *RapidEye*, *SPOT*, *MODIS (Aqua e Terra)* e *Landsat (TM)*, entre outros. Está também a ser desenvolvida a **Sentinel 3 Toolbox**, para as futuras imagens do *Sentinel 3*, com uma interface de programação em *Java* ou *Python*.

As *toolboxes* estão disponíveis para *download* em [\[2\]](#) e os dados de satélite em [\[2\]](#). Os tutoriais para estas ferramentas estão também disponíveis em [\[2\]](#).

4.2 ANÁLISE DE IMAGEM EM ARCMAP

Neste capítulo são apresentadas as funções básicas para processar e analisar imagens (de satélite) em **ArcMap** através da utilização da janela de **Análise de Imagem (Image Analysis)**. Estas operações fazem parte de um conjunto mais alargado de operações realizadas em dados de natureza geográfica, sendo denominadas de **Geoprocessamento** (ver [secção 4.6](#)).

A janela **Image Analysis** está disponível no menu **Windows** ([Figura 37](#)).

A janela **Image Analysis** permite aplicar processos como operações de realce (descritas na [secção 4.3](#)), operações algébricas ou técnicas de fusão. As operações são aplicadas em modo **on the fly**, i.e., os dados originais das imagens *raster* permanecem inalterados, sendo os resultados do processamento adicionados como camadas temporárias ao georreferencial (*Data Frame*). Para guardar os resultados de forma permanente é necessário exportar os dados.

A interface do **Image Analysis** é constituída por 5 elementos principais: *Layer List*, *Options* e os painéis *Display*, *Processing* e *Mensuration* ([Figura 38](#)).

A **Layer List** (lista de camadas) permite ter acesso e visualizar todas as *layers* de natureza matricial (*raster*) incluídos no georreferencial (*Data Frame*), incluindo os do tipo *mosaic dataset*, serviços de imagens e *layers WCS (Web Coverage Service)*. Esta janela não reconhece temas do tipo *raster catalog* e, embora permita aceder à lista de propriedades de cada camada, bem como remover camadas, não substitui a tabela de conteúdos. Permite, adicionalmente, acelerar a visualização da camada que, quando ativa, apresenta o **Accelerate***.

O botão **Options*** permite configurar diferentes opções das ferramentas de processamento e análise de imagem (*NDVI*, *Pan Sharpen*, *Orthorectify*, *Hillshade*, *Stretch* ou *Mensuration*).

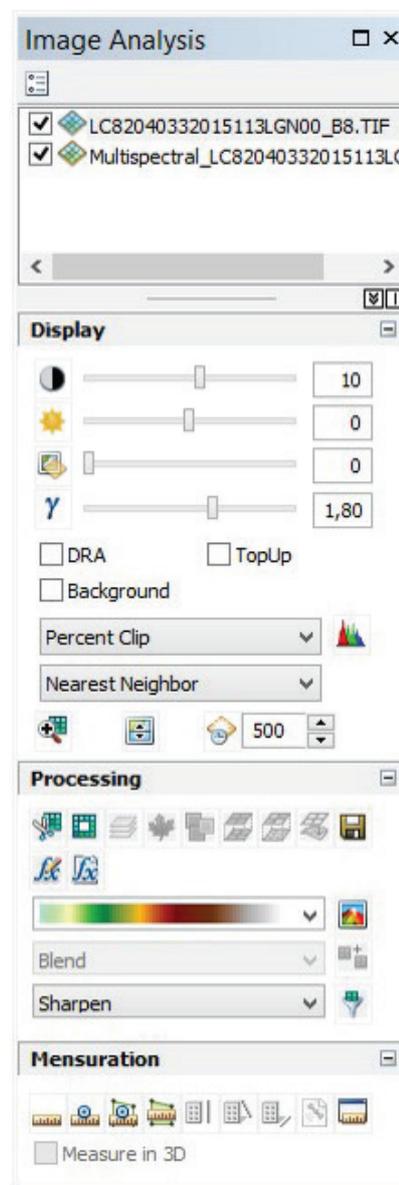


Fig. 38 - Janela de análise de imagem (*Image Analysis*) do ArcMap 10.3.1.

As restantes funcionalidades da janela de processamento de imagem serão introduzidas nas diferentes etapas de processamento.

4.3 PRÉ - PROCESSAMENTO

Os dados adquiridos pelos sensores necessitam, muitas vezes, de tratamento prévio, devido à presença de distorções, que podem ser radiométricas ou geométricas, consoante

correspondam a alterações nos valores de intensidade dos píxeis, ou se estão relacionadas com alterações nas posições absolutas ou relativas desses elementos ([Fonseca e Fernandes, 2004](#)). Atualmente a maior parte destas tarefas é realizada pelo produtor dos dados, antes de os disponibilizar ao utilizador, como é o caso das imagens dos programas *Landsat* ou *Copernicus* ([Figura 29](#)). A sua missão de continuidade implica que todas as imagens disponibilizadas sejam consistentes com imagens anteriores, em termos de geometria, calibração, cobertura e características espectrais, para permitir comparação entre imagens de diferentes datas ([NASA, 1999](#)).

4.3.1 OPERAÇÕES DE REALCE

As operações de realce permitem melhorar a capacidade de interpretação visual de uma imagem por um de dois métodos:

- alteração do contraste da imagem (melhoramento radiométrico ou modificação do histograma);
- conversão de tons de cinza para representação de cores (por composição de diferentes bandas espectrais), de grande utilidade devido à maior capacidade do olho humano para distinguir cores do que tons de cinzento.



As operações de realce apenas ajustam os valores dos píxeis para visualização e não alteram os valores de intensidade dos píxeis (DN).

As operações de realce permitem ajustar os dados contidos nas imagens, que podem ser categorizados sob a forma de histogramas, com o objetivo de realçar determinados atributos. Desta forma, a visualização e manipulação do histograma, característico de cada banda e/ou imagem, é a forma mais eficiente de proceder a este destaque.

As operações de realce são muito utilizadas na fase de pesquisa de imagens, permitindo a avaliação rápida, por parte do operador, da utilidade de determinada imagem para o objetivo do estudo.

4.3.1.1 EXPANSÃO DE CONTRASTE USANDO O HISTOGRAMA DAS IMAGENS

Para melhor compreender o conceito de expansão de contraste usando o histograma de uma imagem vamos introduzir como exemplo uma imagem, que representa a letra **P**. A imagem tem a resolução radiométrica de 8 *bits*, ou seja, 256 valores de intensidade, no entanto a letra **P** está representada pelo valor 125 e o fundo pelo

valor 124 ([Figura 39 A](#)). Se visualizarmos a imagem sem qualquer expansão de contraste, a imagem aparece totalmente representada a cinzento ([Figura 39 B](#)). Isto acontece porque o *ArcMap* reconhece a imagem como sendo uma imagem de 8 *bits*, com 256 níveis de cinzento para representar, sendo o valor mínimo o valor 0 e o máximo o 255. Como o fundo e o objeto **P** apresentam valores muito próximos, o valor de cinzento escolhido para esta gama de valores é o mesmo (124 e 125 são representados quase da mesma forma) e a letra **P** não é visível na imagem.

Ao fazer a expansão de contraste, o *ArcMap* calcula os valores mínimo e máximo da imagem (124 e 125 respetivamente), representando esses valores com os níveis de intensidade mínimo (0 - preto) e máximo (255 - branco), passando a letra **P** a estar visível em contraste com o fundo ([Figura 39 C](#)).

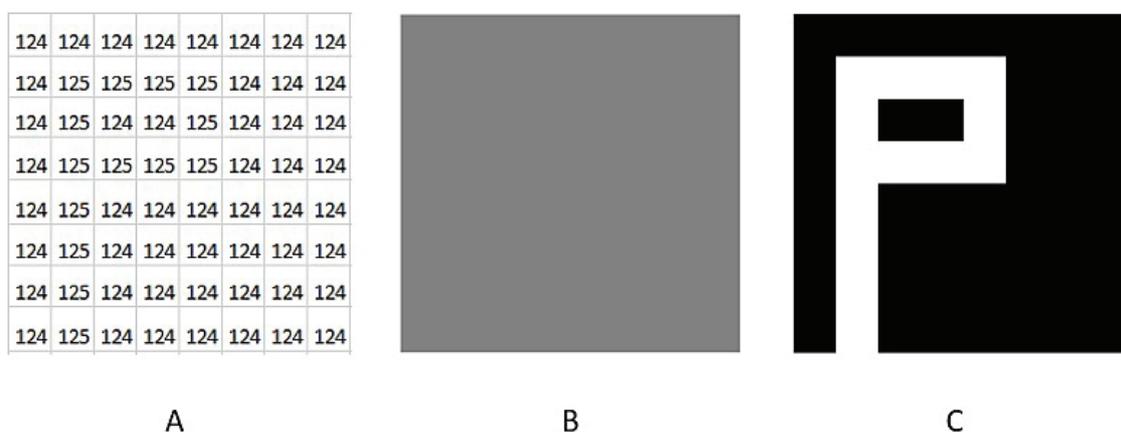


Fig. 39 - Exemplo de expansão do contraste numa imagem: A – Imagem ou matriz de dados original; B – Visualização sem expansão do contraste; C – Visualização com expansão de contraste.

Para realizar uma expansão de contraste deve utilizar-se a função **Stretch** (separador **Symbology** nas propriedades da camada). Esta função permite realçar imagens por alteração do seu contraste, brilho e valor gama, através de diferentes tipos de expansão efetuados no respetivo histograma da imagem, utilizando as estatísticas dos ficheiros *raster*. A expansão linear de contraste permite a visualização numa gama de valores definida pelo utilizador, sendo aplicada à totalidade de valores de visualização (e.g. 256).



Existem duas formas de alterar o histograma de uma imagem: ou pela função **Interactive Histogram Stretch** da [janela de Análise de Imagem](#) ou pela caixa das propriedades da **Layer**, no separador da **Symbologia**, sendo possível ajustar os valores mínimo e máximo e a função que define as características da expansão.

A ferramenta **Interactive Histogram Stretch***, incluída no painel **Display** da janela **Image Analysis**, abre uma janela interativa que permite visualizar e modificar os intervalos de valores máximo e mínimo (expansão do contraste) de visualização de uma imagem. Esta operação, que pode também ser realizada na janela das propriedades da camada (**Layer Properties, Symbology**), ao excluir da visualização os valores extremos de *DN*, menos representativos, vai realçar determinada informação, cujos *DN* passam assim a estar distribuídos ao longo de todo o histograma.

Diferentes tipos de expansão irão produzir diferentes resultados. No exemplo da [Figura 40](#) a mesma imagem apresenta um aumento do contraste e do brilho após a expansão manual do intervalo do histograma, de [0 - 65 535] para [6 912 - 17 152].

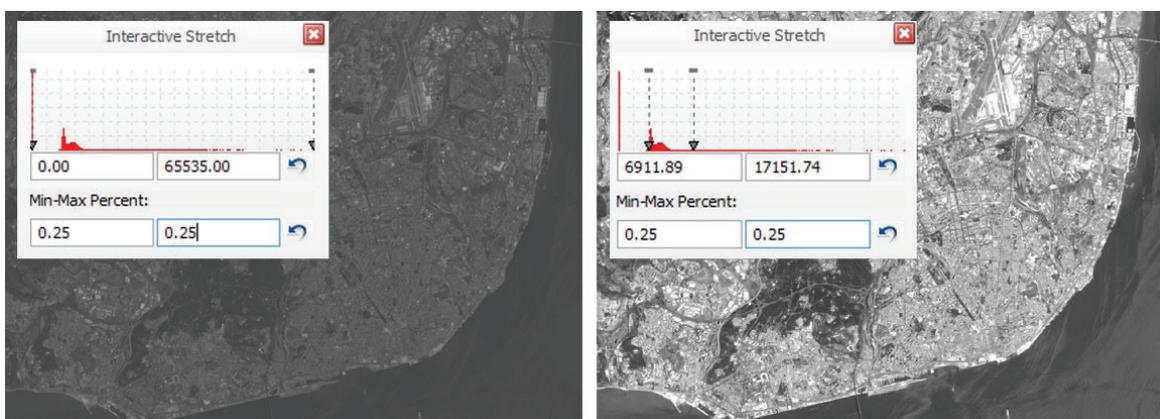


Fig. 40 - Exemplo de expansão do histograma (*percent clip*) numa imagem pancromática OLI Landsat 8.

No caso de imagens coloridas é possível ajustar os três histogramas correspondentes às três bandas representadas (*R, G e B*) ([Figura 41](#)).

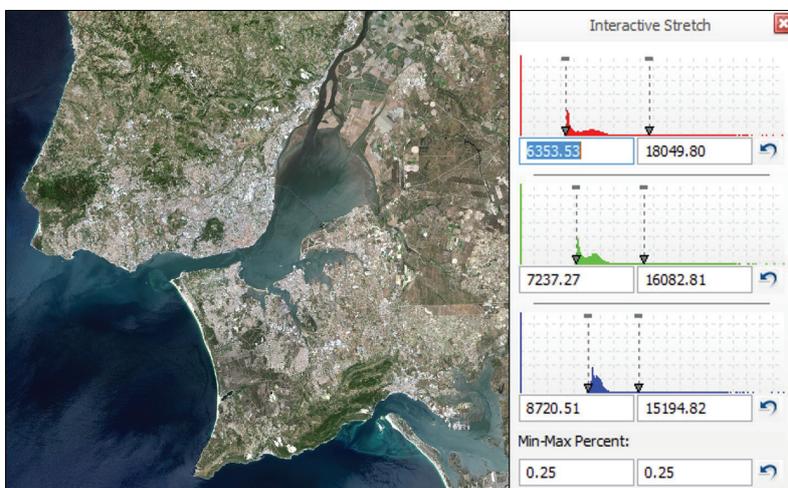
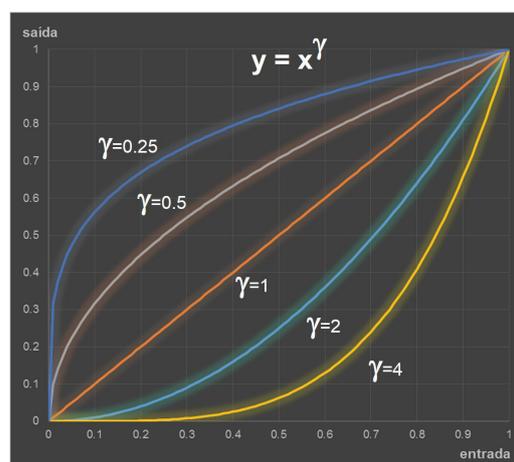


Fig. 41 - Aparência dos histogramas numa imagem multiespectral Landsat 8.

Os ajustes no histograma podem ser manuais ou basear-se em estatísticas, existindo um conjunto de ajustes-padrão:

- **Minimum-Maximum:** esta função aplica uma expansão linear baseada nos valores mínimo e máximo, que serão usados como limites do histograma, excluindo todos os píxeis com valor $DN=0$ (as “caudas” do histograma). No exemplo da [Figura 40](#), os valores mínimo e máximo da imagem, 6 912 e 17 152, tomaram os valores 0 e 65 535 respetivamente (12 *bits* – 65 536 valores disponíveis), o que permite discriminar muito melhor alguns elementos na imagem.
- **Standard Deviation e Percent Clip:** estes dois tipos de ajuste assumem que a maioria dos valores de cinzentos interessantes estão contidos num determinado intervalo, sendo razoável cortar os valores extremos, à semelhança do caso anterior. No entanto, a definição dos valores deste intervalo baseia-se no desvio padrão, no caso do *Standard Deviation*, ou numa determinada percentagem de valores, no caso do *Percent Clip*.
- **None:** neste tipo não será aplicada qualquer expansão na imagem.
- **Gamma:** a correção gama (γ) é uma operação não-linear que permite ajustar os níveis de cinzentos sem interferir nos valores extremos (branco e preto) da imagem. O valor gama utilizado corresponde ao expoente da função de potência usada para realçar o valor de cada nível de cinzento. Os valores de gama abaixo da unidade reduzem o contraste nas zonas mais escuras, aumentando o das claras, enquanto os valores acima da unidade fazem o inverso. Na [Figura 42](#) apresenta-se a



zona terminal do estuário do Sado, a sul de Lisboa, com o γ alterado para 0.5 (à esquerda) e para 2.00 (à direita), sendo possível observar as plumas túrbidas na imagem com maior γ , devido ao aumento de contraste na parte mais escura do histograma .

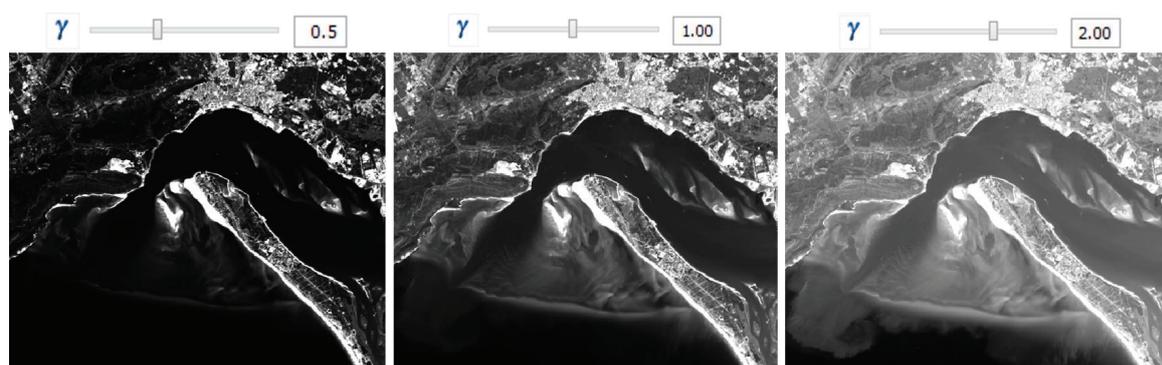


Fig. 42 - Exemplo de imagem panorâmica OLI Landsat 8 com diferentes ajustes de gama (γ).

4.3.1.2 REALCE

O painel **Display** da janela de AI permite aceder a ferramentas para melhorar a visualização dos dados. Os botões deslizantes de **Contrast***, **Brightness*** e **Gamma*** permitem ajustar a imagem de forma a realçá-la; o de **Transparency*** permite visualizar informação por baixo da imagem; clicar no próprio botão permite voltar às visualizações iniciais. A opção **DRA (Dynamic Range Adjustment)** permite realçar a imagem usando apenas os dados contidos na extensão do **Data View**. A opção **Background** remove o fundo (Figura 43), sendo o valor deste definido a 0 (padrão) e tornado transparente para a camada selecionada (o valor de fundo padrão pode ser alterado nas propriedades da camada, no separador **Symbology**, ou definido/alterado para qualquer camada adicionada ao ArcMap em **Customize > ArcMap Options > Raster > Raster Layer**).

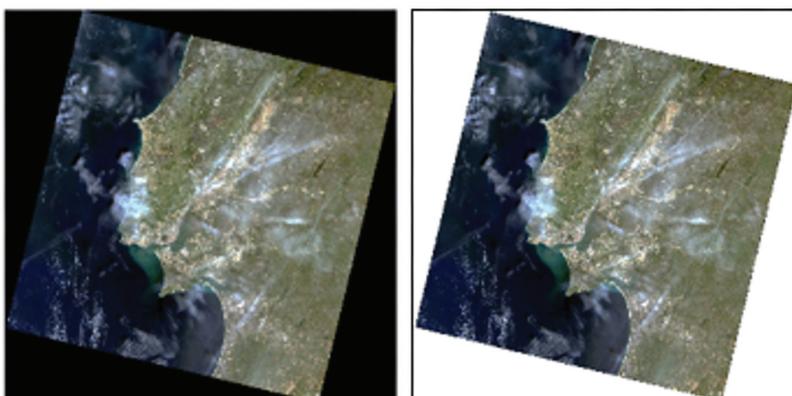
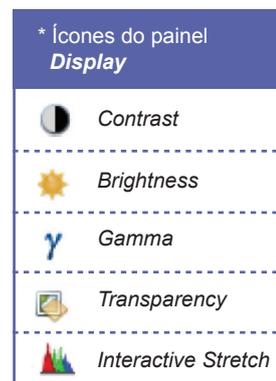


Fig. 43 - Imagem multiespectral Landsat 8 com e sem fundo, por aplicação da opção **Background**.

A ferramenta **Interactive Stretch***, incluída no painel **Display**, abre a janela interativa que permite realizar operações de realce.

4.3.1.3 COMPOSIÇÃO COLORIDA

Para além das imagens representadas em diferentes tonalidades de cinzento, correspondentes às refletâncias captadas para cada intervalo radiométrico, existem ainda as imagens coloridas, resultantes da combinação das três componentes primárias da luz - as bandas vermelha (*R*), verde (*G*) e azul (*B*), vulgarmente designada por **RGB**. Estas imagens resultam do processo designado por composição colorida, em que as intensidades registadas para cada banda são representadas pela respetiva

cor (por exemplo, na banda do vermelho, os diferentes tons de cinzento são substituídos por diferentes tons de vermelho, do claro ao escuro, consoante o seu valor de intensidade). Quando estas três componentes primárias são apresentadas em simultâneo gera-se uma imagem colorida que corresponde a uma imagem em **cor verdadeira**, muito próxima da que a visão humana reconhece ([Figura 44](#)).

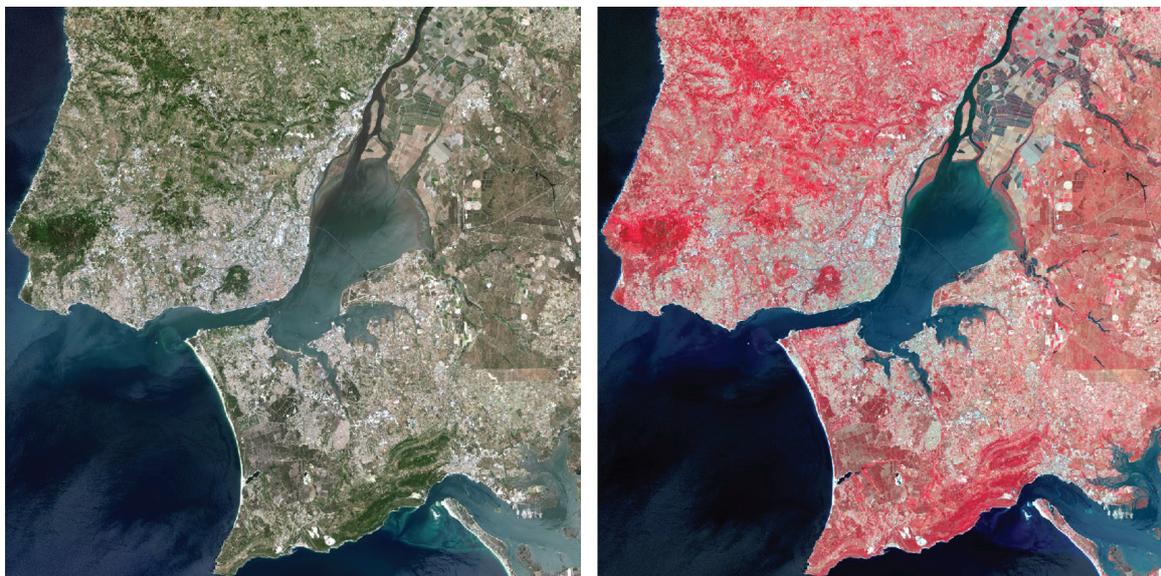


Fig. 44 - Composição de imagens *OLI (Landsat 8)* na zona do estuário do Tejo, à esquerda com representação em “cor verdadeira” e à direita a composição padrão em falsa cor.

Por outro lado, é possível efetuar composições coloridas com diferentes bandas, nas quais as combinações apresentadas em tons *RGB* não são as correspondentes ao espectro eletromagnético destas cores primárias, sendo neste caso produzida uma imagem em **falsa cor**.



A **composição colorida** pode ser realizada através da ferramenta *Composite Bands** que se ativa com a seleção das 3 bandas da composição colorida.

* Ícone



Composite Bands

A geração de imagens em falsa cor permite salientar aspetos particulares da superfície da Terra, como no caso da combinação muito comum das bandas infravermelha próxima (*NIR*), vermelha e verde (nas posições *RGB*, respetivamente), designada por **composição padrão em falsa cor**, que permite salientar eficazmente a vegetação, que surge em tons de vermelho ([Figura 44](#)) ([Liu & Mason, 2009](#)).

A representação de uma imagem em tons de cinzento usando uma escala colorida para representar os diferentes níveis de intensidade é denominada de **pseudo-cor**. Uma vez mais este procedimento visa salientar as diferentes características dos objetos presentes na imagem, apoiando-se no facto de o olho humano mais facilmente reconhecer diferentes cores relativamente a diferentes tonalidades de cinzento.



A representação em **pseudocor** é realizada nas propriedades da camada, separador *Symbology* e escolhendo a representação do tema numa escala colorida.

4.3.2 CORREÇÕES GEOMÉTRICAS



As correções geométricas nas imagens de satélite (em que se inclui a georreferenciação) destinam-se a reduzir distorções resultantes do movimento de rotação da Terra, da sua curvatura, de variações na órbita do sensor ou dos efeitos do relevo.

Atualmente a maioria dos dados de satélite são disponibilizados já com as principais correções aplicadas, mas apenas aquelas que são previsíveis e possíveis de corrigir de forma automática (como as resultantes do movimento de rotação da Terra, da sua curvatura, ou mesmo das variações na órbita do satélite que transporta o sensor). Estes produtos, já corrigidos, tomam a designação “Nível 1”, no caso dos produtos *Landsat*. Um exemplo de correção automática realizada pelo produtor é o efeito de cisalhamento das imagens resultante do movimento de rotação da Terra de oeste para leste, perpendicularmente ao sentido de movimento do sensor, de norte para sul ([Figura 45](#)).

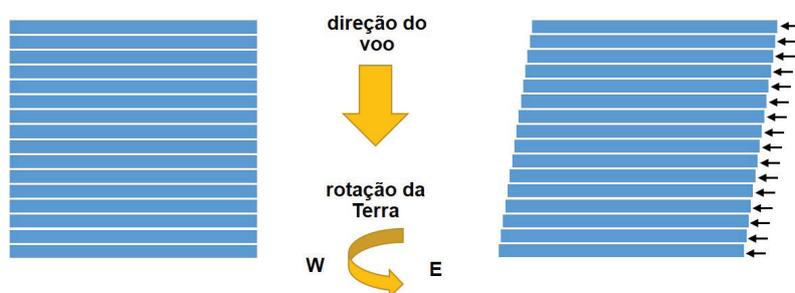


Fig. 45 - Compensação do movimento combinado do satélite e da rotação da Terra.

As correções automáticas podem, no entanto, não ser suficientes, dependendo do nível de precisão exigido pelo trabalho. Quando existe a necessidade de comparar imagens de diferentes proveniências, diferentes sensores ou diferentes datas, é importante que a

informação esteja perfeitamente concordante em termos geográficos, de forma a evitar erros de análise na fase de processamento. É necessário, nestes casos, proceder a operações de alinhamento entre as diferentes imagens, de forma a melhorar a precisão ao nível do píxel.

O *ArcMap* possui uma ferramenta de georreferenciação (**Georeferencing**) que permite georreferenciar imagens através da **sobreposição de pontos homólogos** ou por **atribuição de coordenadas conhecidas** para determinados pontos. Esta ferramenta realiza transformações de vários tipos, a maioria deles com base em ajustes polinomiais aplicados a pontos de controlo atribuídos pelo utilizador. As correções podem incluir componentes de translação, rotação ou cisalhamento, como as da [Figura 46](#), ou mesmo uma combinação de 2 ou 3 tipos de transformações.

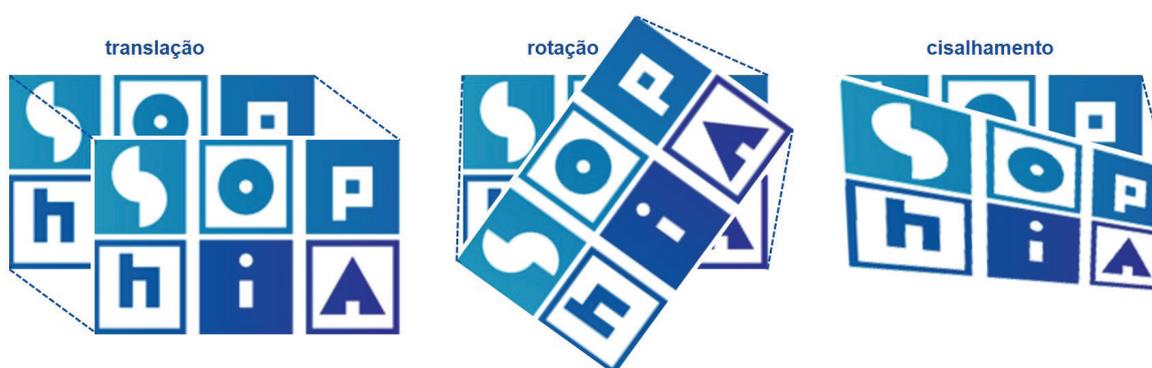


Fig. 46 - Exemplos de correções geométricas aplicadas em imagens.

A ferramenta **Georeferencing** utiliza-se para georreferenciar fotografias aéreas ou informação não georreferenciada (por exemplo, mapas convertidos de papel para formato digital).

4.3.3 CORREÇÕES RADIOMÉTRICAS

As correções radiométricas visam reduzir erros e/ou distorções resultantes da interação da radiação com a atmosfera (descritos na [secção 1.2.2](#)), de efeitos de inclinação e distância do sol em relação a diferentes épocas do ano, do efeito topográfico (que resulta do declive e da exposição do terreno, que é menor para áreas mais planas) ou mesmo de ruído produzido pelos próprios sensores.



As correções radiométricas principais correspondem à transformação de números digitais (DN) para valores de **radiância** e **refletância**.

Uma vez que os dados de satélite são obtidos através de um sinal que atravessa a atmosfera, o valor registado num dado local (píxel) da imagem não é um registo exato do valor no terreno, pois a magnitude do sinal é, normalmente, alterada ao interagir com a atmosfera. Isto faz com que os valores obtidos desta forma não possam ser comparados com medições efetuadas no terreno.

No caso das imagens *Landsat*, os produtos *OLI* (*Operational Land Imager*) e *TIRS* (*Thermal InfraRed Sensor*) disponibilizados pelo *USGS EROS Center* são fornecidos no formato de números digitais (*DN – Digital Number*) quantificados e calibrados. Os produtos são fornecidos em formato de números inteiros a 16 *bits*, podendo ser convertidos para unidades com significado físico, utilizando os coeficientes e constantes térmicas fornecidos na secção “*radiometric rescaling*” do ficheiro de metadados (ficheiro “*MTL.txt*”) que acompanha o produto, para:

- refletância no topo da atmosfera (*TOA reflectance*) ou radiância (L_λ);
- refletância planetária no topo da atmosfera (ρ_λ);
- temperatura de brilho em *Kelvin* (K) ou graus Celsius (°C).

4.3.3.1 CONVERSÃO DE DN PARA RADIÂNCIA ESPECTRAL TOA

A conversão de *DN* de uma imagem *Landsat 8* para valores de radiância *TOA* (*Top Of Atmosphere*) é realizada usando a expressão:

$$3. \quad L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L$$

onde L_λ é a radiância espectral no topo da atmosfera (em $W/(m^2 * sr * \mu m)$); M_L é o fator multiplicativo da radiância, parametrizado para cada banda X (*RADIANCE_MULT_BAND_X*); Q_{cal} é o número digital do píxel; e A_L é o fator aditivo parametrizado para cada banda X (*RADIANCE_ADD_BAND_X*).

Esta operação pode ser realizada no *ArcMap*, usando a ferramenta *Raster Calculator*. Uma vez que o resultado da operação será um número decimal é aconselhável identificar o tipo de resultado (neste caso, para números decimais, a expressão “*float*”) e substituir os fatores multiplicativo e aditivo, assim como a imagem em Q_{cal} , onde estão incluídos os *DN* ([Figura 47](#)).

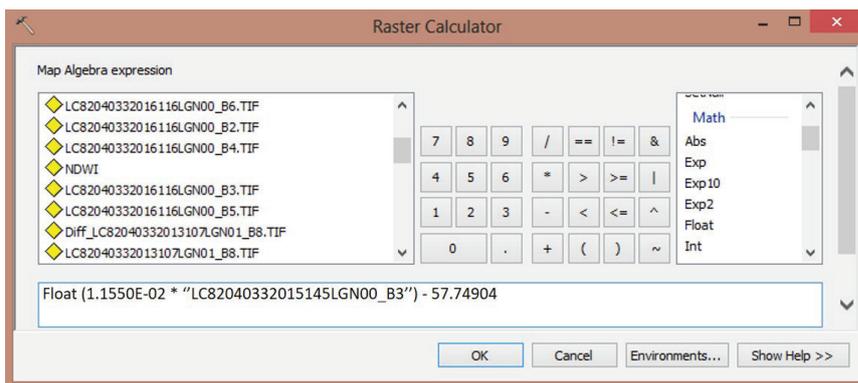


Fig. 47 - Exemplo de cálculo da radiância utilizando a ferramenta *Raster Calculator* do *ArcMap*.

Para o exemplo da banda 10 analisada, a diferença nos histogramas antes e após conversão está representada na [Figura 48](#), onde podem comparar-se também os valores máximo e mínimo dos *DN* com os valores de radiância.

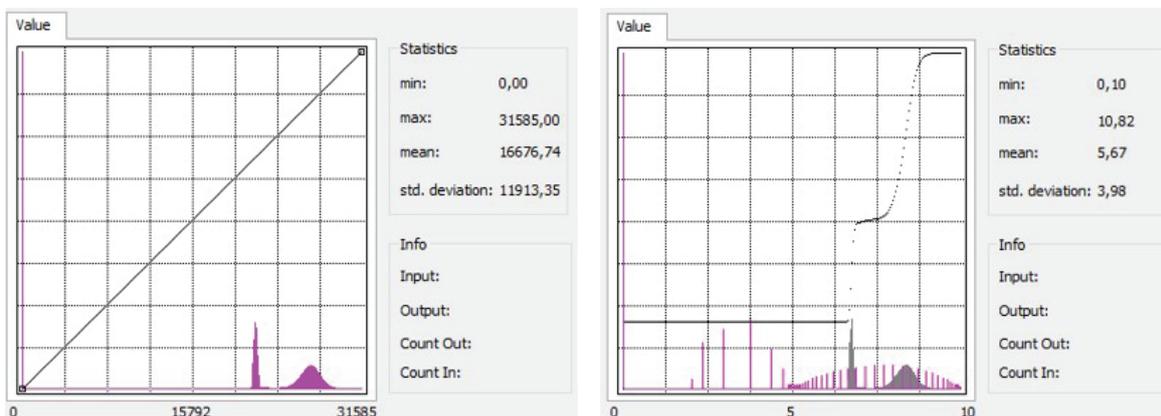


Fig. 48 - Diferença nos histogramas antes e após conversão de *DN* para valores de radiância.

4.3.3.2 CONVERSÃO DE *DN* PARA REFLETÂNCIA TOA

A conversão dos *DN* da imagem *OLI* (*Landsat 8*) em valores de refletância espectral no topo da atmosfera (*TOA - Top Of Atmosphere*) é realizada a partir da expressão:

$$\rho_{\lambda} = \frac{M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho}}{\sin(\theta_{SE})}$$

onde M_{ρ} é o fator multiplicativo da refletância parametrizado para cada banda *X* (*REFLECTANCE_MULT_BAND_X*); Q_{cal} é o número digital do píxel; A_{ρ} é o fator aditivo parametrizado (*REFLECTANCE_ADD_BAND_X*); e θ_{SE} é o ângulo de elevação

solar local (o ângulo de elevação solar central da imagem, em graus¹⁰, é fornecido no ficheiro de metadados - *SUN_ELEVATION*).

Para o exemplo da banda 1 analisada, a diferença nos histogramas antes e após conversão está representada na [Figura 49](#), onde se podem comparar também os valores máximo e mínimo dos DN com os valores máximo e mínimo de refletâncias *TOA*.

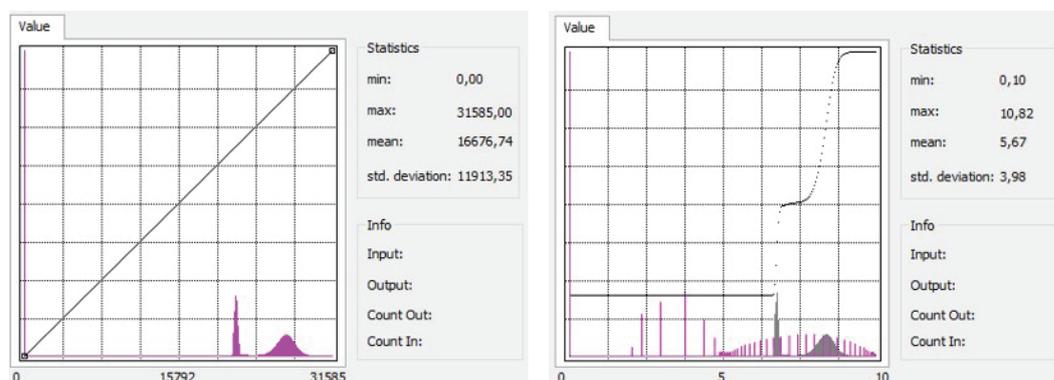


Fig. 49 - Diferença nos histogramas antes e após conversão de *DN* para valores de refletâncias *TOA*.

4.3.3.3 CONVERSÃO DE RADIÂNCIA *TOA* PARA TEMPERATURA DE BRILHO

As imagens térmicas fornecidas pelo sensor *TIRS* (*Thermal InfraRed Sensor*) podem ser convertidas de radiância espectral *TOA* para temperatura de brilho, expressa em graus *Kelvin* (K) e em graus *Celsius* (°C). A temperatura de brilho no sensor (também denominada de temperatura radiante - T_{rad}) assume que a Terra é um corpo negro, i.e., com emissividade igual a 1, e inclui os efeitos atmosféricos (como a absorção) e outras emissões ao longo do caminho percorrido entre a superfície e o sensor. A temperatura de brilho no sensor em graus *Kelvin* pode ser estimada pela expressão da [Equação 5](#), em que K_1 é a constante térmica específica de cada banda de infravermelho térmico (bandas 10 e 11), designada por *K1_CONSTANT_BAND_X* no ficheiro de metadados; K_2 é a segunda constante térmica, designada por *K2_CONSTANT_BAND_X*; e L_λ é a radiância espectral no topo da atmosfera, em $W/(m^2*sr*\mu m)$. Para obter T_{rad} em °C basta subtrair o valor 273.15 ao resultado da [Equação 5](#).

$$T_{rad} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

¹⁰ Em *ArcMap*, como os argumentos das funções trigonométricas são em radianos, o valor em graus terá de ser multiplicado por $\pi/180$.

Para o mesmo exemplo da banda térmica analisada (a banda 11), é possível converter a matriz de radiâncias numa matriz de temperatura de brilho em °C que, após ajustes na cor e no histograma, fica com o aspeto do mapa da [Figura 50](#). A utilização da ferramenta *3D Analyst* permite, neste exemplo, traçar um perfil entre as Berlengas e Coruche, sendo possível correlacionar a temperatura, a geomorfologia e a ocupação.

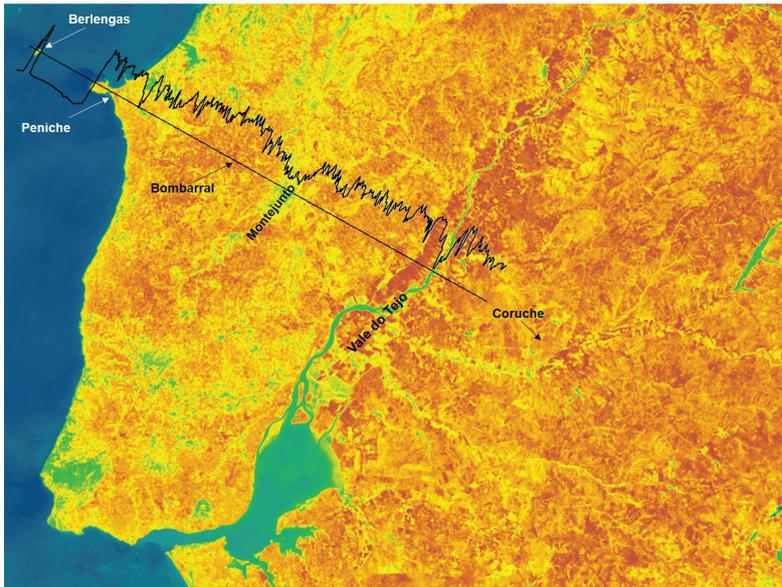


Fig. 50 - Mapa de temperaturas de brilho, obtido por conversão de uma imagem TIRS (Landsat 8) e respetivo perfil entre as Berlengas e Coruche.¹¹

4.3.3.4 CORREÇÕES ATMOSFÉRICAS

As correções atmosféricas são operações bastante complexas e que exigem, muitas vezes, dados *in situ*. Estas operações não são realizadas em todas as imagens, embora seja aconselhada em determinados casos:

- no cálculo da razão entre valores de duas bandas no mesmo ponto numa imagem multiespectral: porque os efeitos da difusão (*scattering*) aumentam inversamente com o comprimento de onda, as de comprimento mais curto sofrem maior difusão do que as mais longas, sendo o rácio assim calculado uma estimativa enviesada da verdadeira razão;
- quando se quer relacionar a radiância de uma superfície com alguma propriedade dessa mesma superfície em termos de um modelo físico, sendo que, para fazer isso, a componente atmosférica presente no sinal deve ser estimada e removida. Este problema é encontrado, por exemplo, em estudos oceanográficos, em que a magnitude da radiância refletida pela água (e que transporta informação sobre os materiais biológicos e sedimentares contidos nas camadas superiores do oceano) é pequena em comparação com a contribuição dos efeitos atmosféricos;

¹¹ Esta imagem funciona como resolução da [secção 1.4 do exercício 4](#) deste módulo.

- na comparação de dados medidos em momentos distintos: uma vez que o estado da atmosfera varia no tempo, é necessário corrigir os valores de radiância registados pelo sensor com os efeitos da atmosfera.
- Devido ao carácter específico e à complexidade de grande parte destas operações, optou-se por não desenvolver neste guia o respetivo procedimento em *ArcMap*. No entanto, é de realçar que as aplicações *QGIS* e *SNAP* permitem fazer estas correções de forma automática para as imagens *Landsat* e *Sentinel 2* no caso da primeira e de forma mais complexa para as imagens *Sentinel 2* no caso da segunda. No caso das imagens *Landsat* é possível descarregar produtos com nível de processamento superior, incorporando já as correções atmosféricas. No caso do *Sentinel 2*, a correção atmosférica tem necessariamente que ser realizada pelo utilizador ([Figura 29](#)).

4.3.3.5 OUTRAS CORREÇÕES RADIOMÉTRICAS

A presença de linhas de varrimento vazias ou saturadas (de cor preta ou branca, equivalentes a números digitais - *DN* - nulos ou máximos), resultantes do movimento de varrimento dos sensores, ou de perdas durante o envio das imagens, poderá também ser corrigida nesta fase. Esta correção é realizada através de técnicas de autocorrelação espacial, que estimam os valores dos *DN* em falta, com base nos valores dos píxeis vizinhos, respeitando a teoria de que, se os fenómenos naturais exibem autocorrelação espacial, pontos geograficamente próximos tendem a apresentar valores próximos na variável de interesse ([Mather & Koch, 2011](#)).

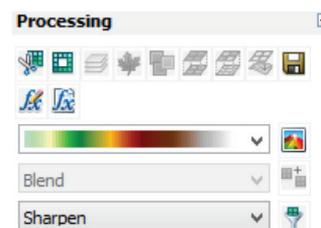
4.4 PROCESSAMENTO



O **processamento** (ou transformação) consiste na extração de informação qualitativa e quantitativa dos dados, de acordo com o fim a que se destinam. Abrange técnicas cujo objetivo é o de realçar determinadas propriedades dos objetos a estudar e que podem ser de natureza espacial ou espectral.

As operações de processamento incluem operações de fusão, algébricas e de classificação, por exemplo.

Na janela *Image Analysis* o painel **Processing** apresenta um acesso fácil às técnicas mais frequentemente utilizadas para processamento de imagens matriciais, em que se incluem o recorte (*Clip*), a ortoretificação, a composição de imagens, a fusão de bandas, o editor de funções e a construção de mosaicos, descritos na [Tabela 4](#), no [Anexo III](#).



4.4.1 OPERAÇÕES ALGÉBRICAS



As operações algébricas são **operações pontuais** entre diferentes temas matriciais. Os temas podem corresponder a bandas pertencentes à mesma imagem, ou a diferentes datas de uma determinada imagem.

Uma expressão algébrica contém uma combinação de operadores matemáticos, lógicos ou booleanos (e.g. adição, subtração, multiplicação, divisão, potência). As operações realizam-se sobre os valores de intensidade dos píxeis que constituem a imagem, não interferindo nos píxeis vizinhos. Consideram-se **operações pontuais multi-imagem** quando realizadas entre diferentes imagens ou bandas, para o mesmo ponto, sendo o resultado final uma função de cada uma das bandas que intervêm na operação.

A **adição** entre diferentes bandas ([Figura 51](#)) pode servir para reduzir o ruído e aumentar a razão entre sinal e ruído (*SNR – signal to noise ratio*), assumindo-se que os píxeis com ruído não se encontram na mesma posição em diferentes bandas ([Liu & Mason, 2009](#)). A **subtração** entre imagens de diferentes datas é útil em estudos de deteção de variação no tempo; a subtração entre bandas é muito utilizada em estudos de vegetação, uso do solo e geologia ([Liu & Mason, 2009](#)). A **multiplicação** pode ser utilizada, por exemplo, para excluir zonas da imagem, por aplicação de uma imagem de 1 *bit* (constituída apenas pelos valores 0 e 1), que através da propriedade do elemento nulo da multiplicação, anula todos os valores nos píxeis correspondentes, funcionando como máscara de corte ([Figura 52](#)).

4	6	4	8	9	+	0	0	3	1	5	=	4	6	7	9	14
5	4	2	6	8		2	7	2	2	4		7	11	4	8	12
9	7	9	4	2		3	4	8	9	6		12	11	17	13	8
2	5	7	5	6		7	8	4	7	0		9	13	11	12	6
0	3	8	3	0		9	5	0	4	1		9	8	8	7	1



Fig. 51 - Exemplo de adição entre matrizes.

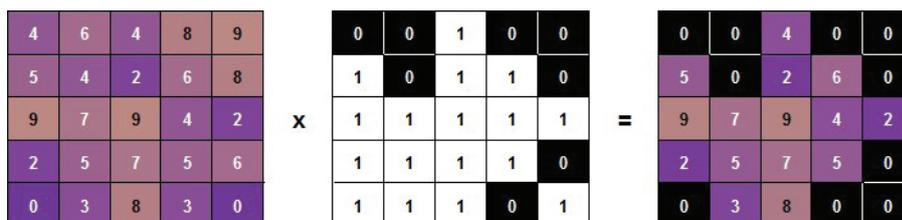
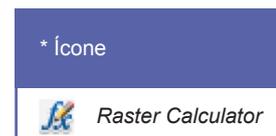


Fig. 52 - Exemplo de multiplicação entre matrizes.

As expressões algébricas podem ser realizadas com recurso à ferramenta **Raster Calculator*** ou utilizando a função **Band Arithmetic Function** presente no menu de funções.



4.4.1.1 ÍNDICES ESPECTRAIS

A combinação de operações algébricas em bandas pré-estabelecidas conduz à definição de índices  que permitem realçar determinada informação (água, vegetação, alguns tipos de solo, minerais de argila, etc.). Os índices espectrais resultam de combinações entre duas ou mais bandas espectrais que representam a abundância relativa de determinados elementos de interesse, sendo o **NDVI** (*Normalized Difference Vegetation Index*) o mais conhecido método de derivação de índices, utilizado para realçar e distinguir vegetação de diferentes tipos e/ou em diferentes fases do seu ciclo evolutivo e/ou sazonal, pré-definido na janela de Análise de Imagem do *ArcMap* 10.3.1, através da função **NDVI***.



Em estudos sobre o oceano é frequentemente importante analisar a concentração de clorofila a, o pigmento fotossintético mais importante do fitoplâncton, e que funciona como *proxy* da sua biomassa. A forma espectral deste elemento absorve a radiação predominantemente nas regiões azul e vermelha do espectro *VIS*, refletindo-a na região do verde (Sutcliffe *et al.*, 2016a ). Esta propriedade, associada à capacidade de a radiação *VNIR* penetrar na água até alguns metros de profundidade, permite utilizar algoritmos para determinar a concentração da **clorofila a** em águas oceânicas, por exemplo. Estes incluem os rácios de refletância azul-verde, utilizados em estudos de cor do oceano¹², e os índices que relacionam as bandas vermelha e *NIR*, como o *NDCI* (*Normalized Difference Chlorophyll Index*) (Mishra *et al.*, 2014).

Em estudos sobre a zona costeira são utilizados frequentemente índices que permitam distinguir os elementos água e terra, com base na propriedade ótica da água, absorvendo esta a quase totalidade da energia eletromagnética nos intervalos *NIR* e *SWIR*, principalmente em águas mais profundas e limpas. McFeeters (1996, in Ji *et al.*, 2015) desenvolveu em 2009, para este fim, um índice simples e muito

¹² Mais informação pode ser consultada em [Sutcliffe *et al.*, 2016a](#). 

utilizado, designado por *NDWI* (*Normalized Difference Water Index*), que utiliza as bandas verde (*G*) e *NIR* ([Ji et al., 2015](#)). Nas imagens *Landsat 8* as bandas *G* e *NIR* correspondem às bandas 3 e 5 na expressão apresentada na [Figura 53](#). [Xu \(2006, in Ji et al., 2015\)](#) desenvolveu, a partir deste, o *MNDWI* (*Modified Normalized Difference Water Index*), em que substituiu a banda 5 (*NIR*) pela banda 6 (*SWIR*), obtendo resultados mais fiáveis ([Ji et al., 2015](#)). Na [Figura 53](#) é possível observar-se a aplicação destes dois índices na zona norte do estuário do Sado, com resultados diferentes, em que o índice *NDWI* considera como água apenas as zonas dos canais mais profundos e com água mais limpa, enquanto o índice *MNDWI* abrange também as zonas onde a água é turva, que são as mais difíceis de distinguir das zonas de terra.

Em estudos oceânicos, estes índices podem produzir de forma automática uma máscara da região de terra, permitindo a aplicação do processamento apenas aos píxeis oceânicos.

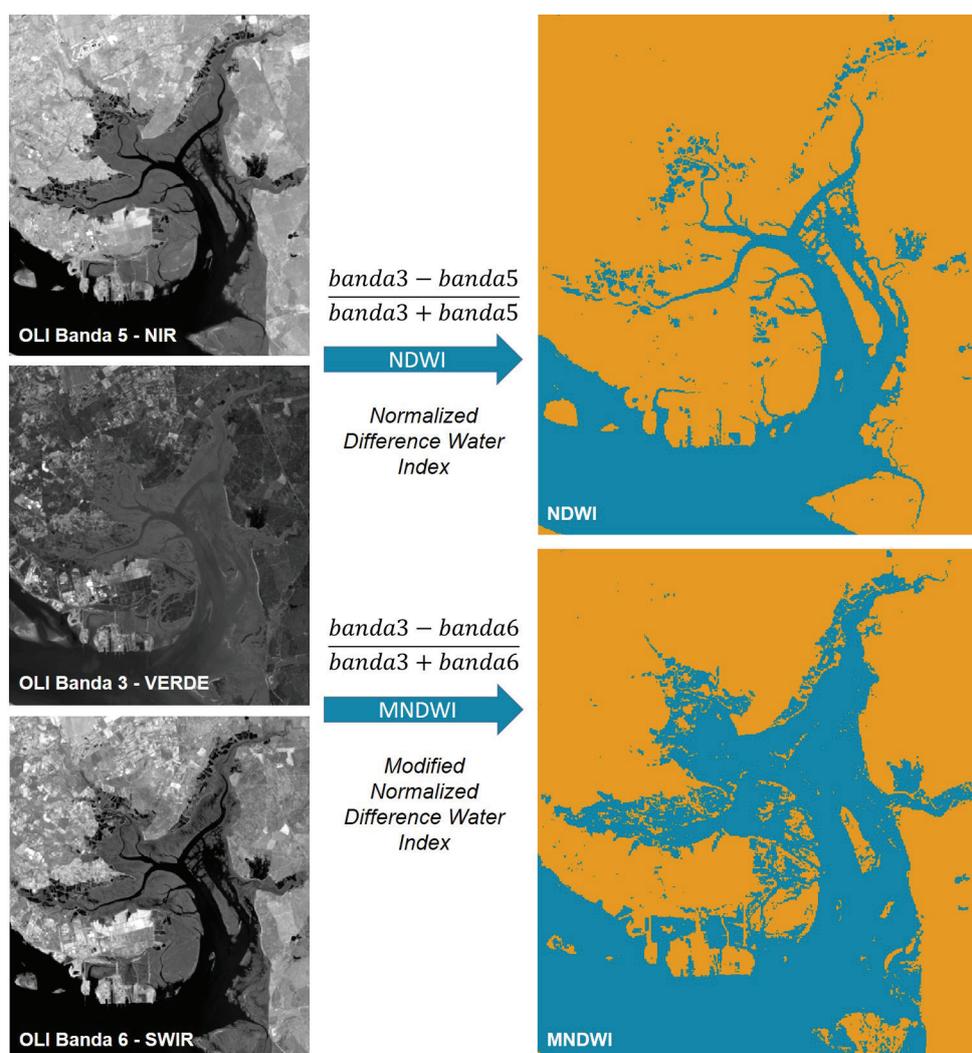


Fig. 53 - Aplicação dos índices *NDWI* e *MNDWI* na região norte do estuário do Sado, em imagens *Landsat 8* de 2016.

4.4.1.2 OUTRAS APLICAÇÕES

Nas operações realizadas entre imagens de datas diferentes, é possível analisar diferenças ao longo do tempo, principalmente em zonas costeiras ou de transição, em que a evolução é visível à escala das décadas e que se encontram abrangidas pela cobertura temporal de alguns programas de *EO*. Estas imagens devem apresentar elevada coerência geométrica e corrigidas dos efeitos da atmosfera e das diferenças de calibração dos sensores, para que os resultados da subtração sejam representativos de evolução real, e não de deficiências no pré-processamento das imagens.

Na [Figura 54](#) apresenta-se o resultado da aplicação desta função em duas imagens *OLI Landsat 8*, uma de abril de 2013 e outra de abril de 2016, com alturas de maré aproximadas. As diferenças positivas entre valores de intensidade de 2013 para 2016 representam essencialmente aumento das áreas emersas neste intervalo de tempo. As maiores diferenças positivas estão representadas pela cor azul escura, que realça as movimentações dos sedimentos que constituem o banco do Cambalhão, mais visíveis na última imagem, em que foi aplicada a função de transparência do tema da subtração sobre a imagem de 2016. A cor verde representa as zonas de estabilidade, em que as diferenças de valores se situam entre -500 e 500 e a cor azul clara representa diferenças no sentido positivo (aumento dos valores de *DN* entre 2013 e 2016). As cores laranja e vermelha representam redução nos *DN*, ou seja, áreas que passaram a estar imersas em 2016.

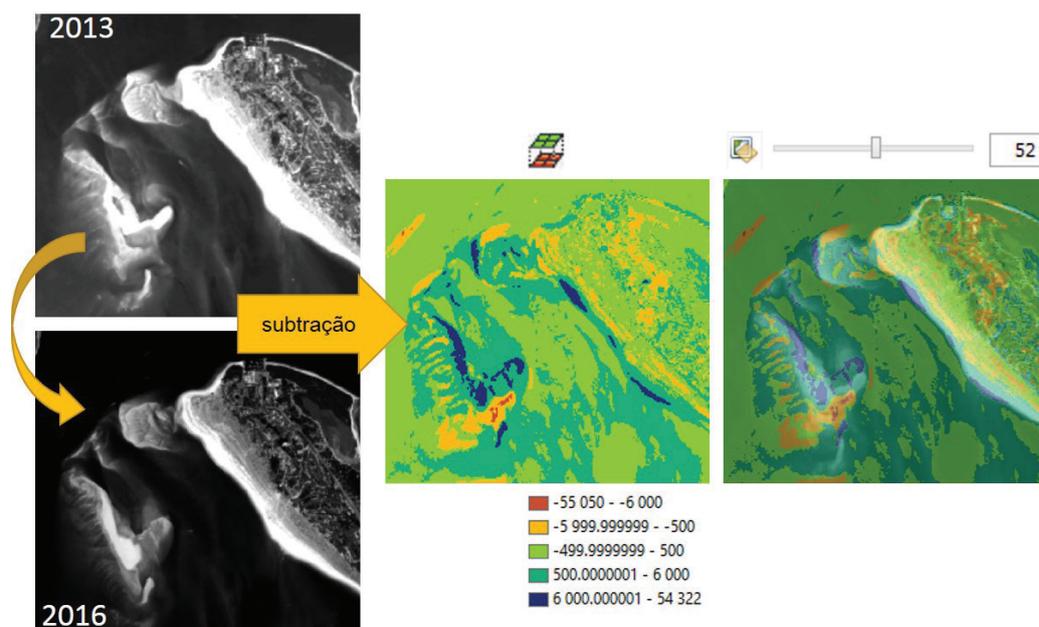


Fig. 54 - Aplicação da função de subtração da janela *Image Analysis* na zona do banco do Cambalhão (península de Tróia).

4.4.2 OPERAÇÕES DE VIZINHANÇA

As operações de vizinhança criam valores de saída para cada píxel, baseados no valor inicial desse píxel e nos valores de uma vizinhança especificada, denominada de janela, *kernel* ou máscara.

4.4.2.1 CLASSIFICAÇÃO

O processo de classificação permite fragmentar uma imagem em grupos (*clusters*) com características espectrais semelhantes, a partir do reconhecimento dos padrões de resposta espectral dos diferentes elementos analisados. A classificação pode ser **assistida** ou **não assistida** (ou híbrida, caso seja benéfica a utilização de ambos os processos para tirar partido das vantagens de cada um deles) e diferentes **classificadores** podem ser usados na definição dos grupos ou *clusters*.

Classificação não assistida

A classificação não assistida é um método iterativo cujo objetivo se baseia exclusivamente na distribuição estatística dos dados da imagem para criar os grupos de dados com características semelhantes – *clusters* –, sendo um processo independente da natureza dos objetos que se encontram representados nas imagens. Estes *clusters* são posteriormente analisados pelo utilizador, que terá que associar as classes a elementos físicos, com base no conhecimento *in situ* disponível, também denominado de *ground truth*.



A **classificação não assistida**, ou automática, utiliza-se quando não há ainda informação suficiente acerca da cobertura da área de estudo e a segmentação é realizada de forma automática pelo algoritmo de classificação, sendo necessário definir apenas o número de classes a obter.



A [Figura 55](#) representa um exemplo de classificação não assistida aplicada a uma imagem *OLI Landsat 8* recortada da península de Tróia e zona terminal do estuário do Sado. A maré registada foi de 0.8 m abaixo do NMM. Utilizando a ferramenta *Iso Cluster Unsupervised Classification* da *toolbox* de Classificação do *ArcGIS* obtém-se

a imagem classificada da direita na [Figura 55](#). A geração da imagem foi feita apenas com a definição do número de classes pretendido (neste exemplo 6) por parte do utilizador. Esta função pode ainda, opcionalmente, criar um ficheiro de assinatura para utilização posteriormente numa classificação assistida.

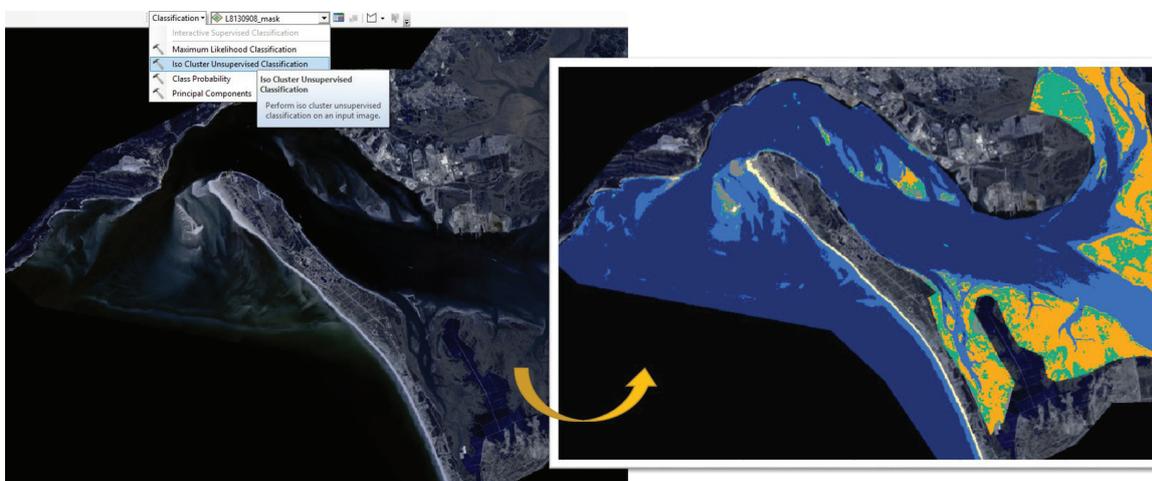
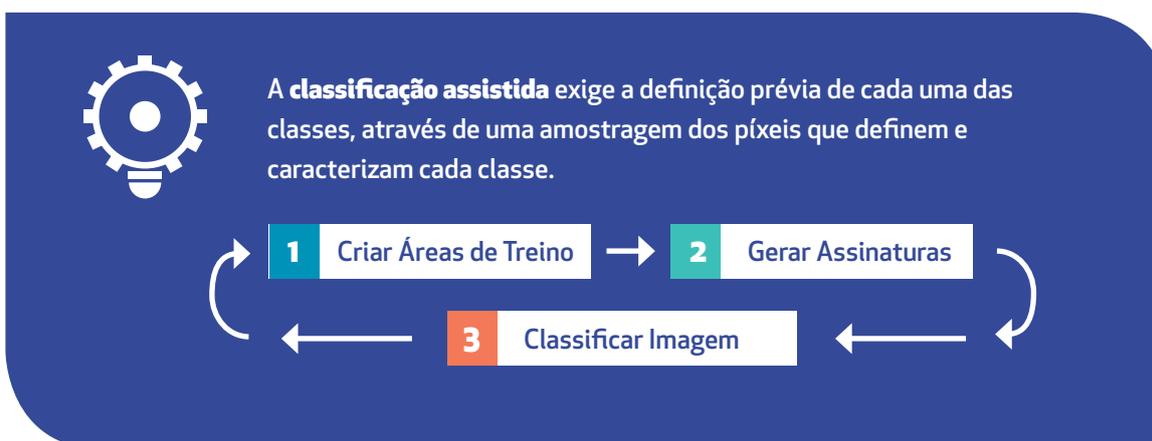


Fig. 55 - Classificação não assistida de uma imagem *OLI* representando a zona terminal do estuário do Sado, utilizando a ferramenta *ArcMap Image Classification*.

Classificação assistida

Contrariamente ao tipo de classificação anterior, a **classificação assistida** baseia-se no conhecimento que o operador tem *a priori* da imagem/área a classificar.



Com base em fotointerpretação e/ou levantamentos *in situ* (*ground truth*), o utilizador cria **áreas** ou **polígonos de treino** sobre a imagem, de forma a representar as assinaturas espectrais de cada classe. Estas contêm as características espectrais essenciais de cada domínio representado, ao qual é atribuído um intervalo de valores espectrais com base nas várias bandas incluídas na classificação ([Figura 56](#)). A cada píxel da imagem resultante o classificador irá atribuir uma classe espectral, baseado nas características do classificador utilizado.

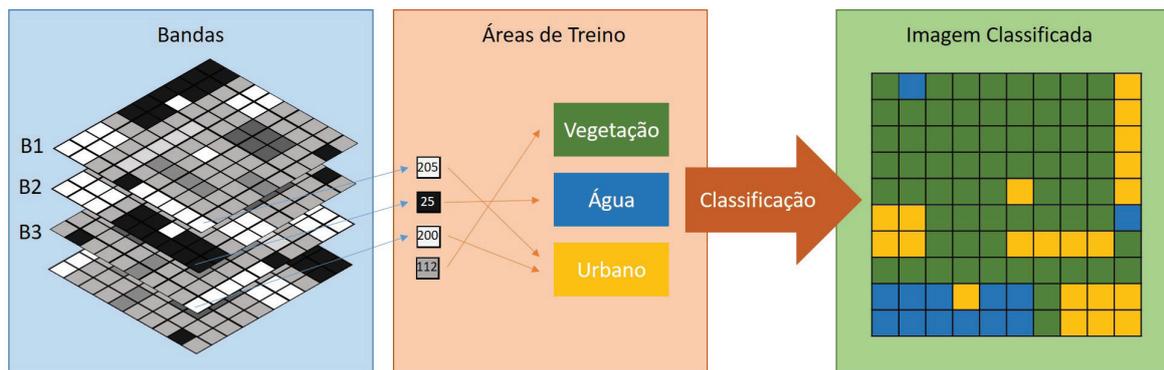


Fig. 56 - Representação esquemática do método de classificação assistida.



O principal passo da classificação assistida é a fase de delimitação das áreas de treino, não estando esta isenta de uma componente de subjetividade, que poderá influenciar o resultado final da classificação. Para reduzir os efeitos da subjetividade, as amostras deverão ter dimensão e composição adequada para representar a informação nelas contida. Devem também conter zonas com alguma variabilidade dentro da classe, não representando apenas um tom. Devem ser sempre validadas por dados *in situ*.

A [Figura 57](#) (direita) apresenta a mesma área do estuário do Sado ([Figura 55](#)), sobre a qual foram delimitados polígonos de teste representativos de 6 diferentes domínios, previamente definidos pelo utilizador, através da ferramenta *Image Classification*. A aplicação atribuiu a cada píxel, de acordo com o algoritmo máxima verosimilhança, a classe mais próxima de cada uma das representadas nos polígonos de treino, gerando a imagem final, com 6 classes¹³.

¹³ Este exemplo resolve o [exercício 6.2](#) desta formação (mapeamento de fundos marinhos).

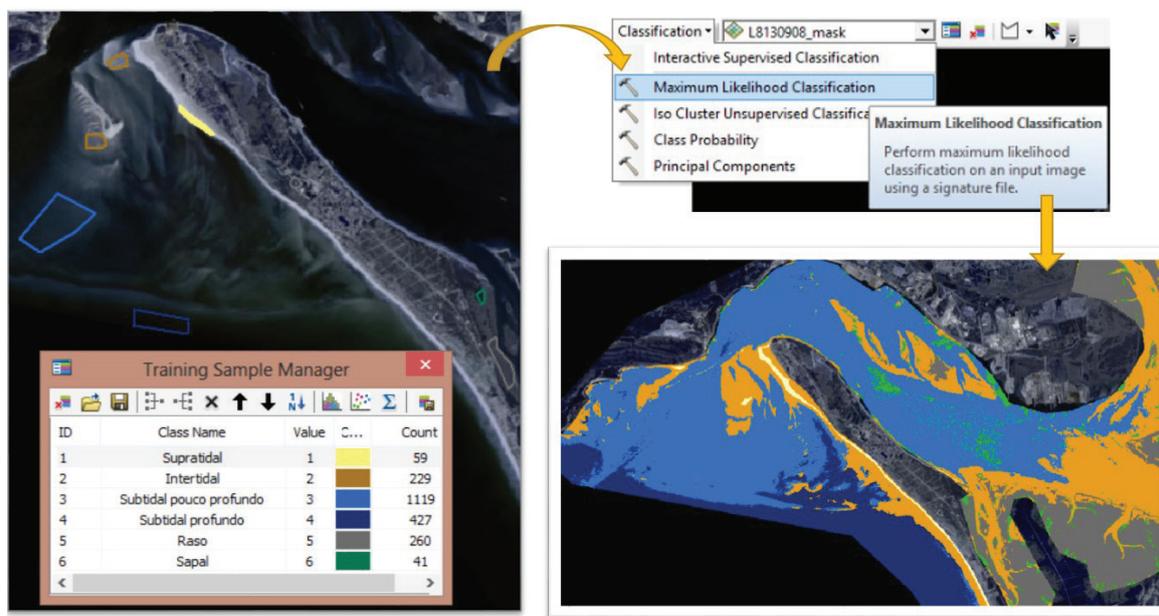


Fig. 57 - Classificação assistida de uma imagem OLI representando a zona terminal do estuário do Sado utilizando a ferramenta ArcMap Image Classification.

Classificadores

Um **classificador** é o tipo de método ou algoritmo utilizado na classificação e que permite definir os grupos ou *clusters*, baseado na informação (espectral) contida nas imagens (Figura 58). Os classificadores podem ser mais ou menos complexos, como se irá observar de seguida.

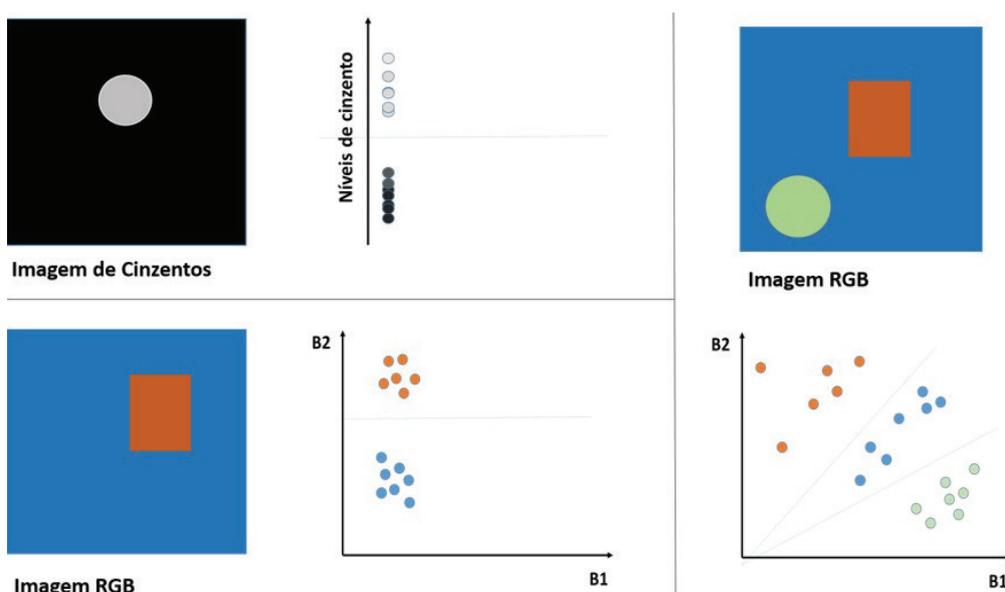


Fig. 58 - Exemplo da distribuição da assinatura espectral de diferentes imagens com diferentes objetos representados.

Um dos classificadores estatísticos mais simples é o classificador **paralelepípedo ou em caixa** (Figura 59 - esquerda). Um paralelepípedo ou caixa é uma forma geométrica simples que permite agrupar os píxeis, sendo definido a partir dos valores máximos e mínimos de uma determinada classe. Os píxeis são identificados de acordo com as caixas onde caem, ficando, normalmente, por classificar, os píxeis que não caem em nenhuma caixa ou que caem em duas caixas em simultâneo. Esta classificação é simples e muito rápida de efetuar.

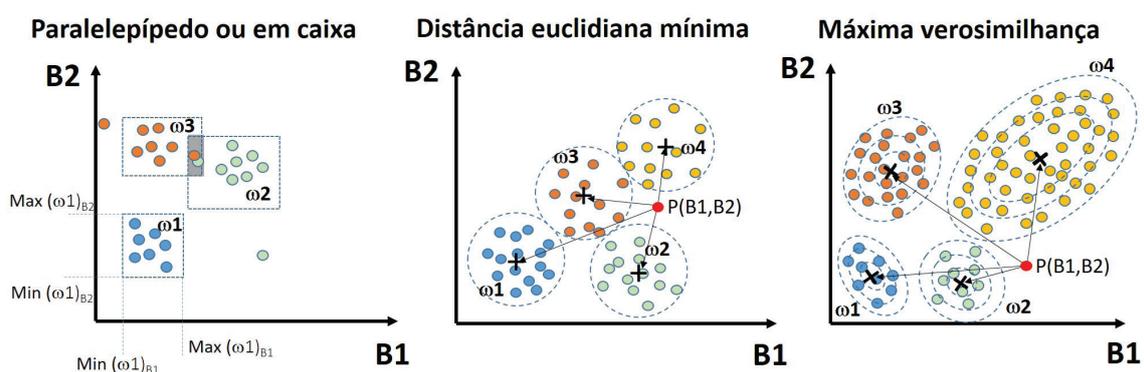


Fig. 59 - Tipos de classificadores estatísticos mais conhecidos.

O classificador **distância euclidiana mínima** (Figura 59 - centro) analisa a probabilidade de um píxel pertencer a uma classe usando o critério da mínima distância ao centro da classe, assumindo um desvio padrão e uma população igual para todas as classes.

O classificador **máxima verosimilhança** (Figura 59 - direita) assume que as classes apresentam distribuição aproximadamente normal multivariada. Neste caso a probabilidade de cada píxel pertencer a uma classe depende da proximidade ao centro, do tamanho e da forma da classe (Figura 60). Este classificador é o mais utilizado, por apresentar resultados consistentemente muito satisfatórios, mesmo quando comparados com outros muito mais complexos.

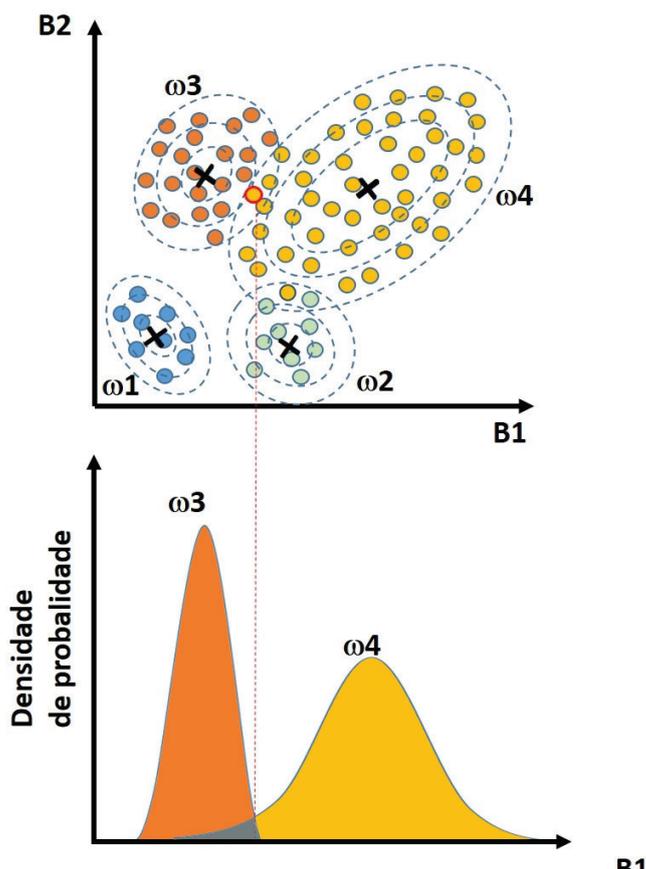


Fig. 60 - Método da máxima verosimilhança.

O exemplo da aplicação do classificador máxima verosimilhança à imagem do estuário do Sado pode ser observado na [Figura 57](#) (esquerda). A aplicação atribuiu a cada píxel, de acordo com o algoritmo máxima verosimilhança, a classe mais próxima de cada uma das representadas nos polígonos de treino, gerando a imagem final, com 6 classes¹⁴.

Comparando as duas figuras resultantes ([Figura 55](#) e [Figura 57](#)), verifica-se uma grande diferença nos resultados da aplicação dos dois métodos de classificação. Por vezes é benéfica a utilização de ambos os tipos de classificação, iniciando-se a classificação com o tipo não assistida e, após a interpretação conjunta com o conhecimento do *ground truth*, se reclassifica a imagem usando as áreas de treino. Este método híbrido permite distinguir algumas classes durante a fase não assistida, que de outra forma poderiam ficar por detetar.

Também o algoritmo ou classificador escolhido para a classificação assistida influencia o resultado final da imagem.

Outros tipos de classificação

Os métodos tradicionais de classificação classificam a imagem píxel a píxel usando a informação espectral contida em cada píxel. No entanto existem outros tipos de classificações que incorporam informação não espectral na classificação ou são capazes de classificar uma imagem ao nível do subpíxel.

¹⁴ Este exemplo resolve o [exercício 6.2](#) desta formação (mapeamento de fundos marinhos).

Um destes tipos é a classificação **orientada a objetos**, que tem em conta a forma dos objetos a classificar. Esta **segmentação de múltipla resolução** agrupa píxeis com características semelhantes, produzindo objetos homogéneos, classificados de acordo com textura, contexto e geometria. Este tipo de classificação, que tira partido tanto da informação espectral como da informação contextual, é o mais adequado para resoluções espaciais elevadas, em que cada objeto é constituído por vários píxeis.

As técnicas de **classificação subpixel** permitem que durante o processo de classificação um píxel possa ser partido em mais do que um valor de classificação, produzindo assim uma imagem classificada com uma precisão espacial maior que a imagem que lhe deu origem. Esta técnica é muito utilizada em imagens de baixa resolução espacial, onde o tamanho grande do píxel, em muitos casos, representa mais do que uma classe e a necessidade de proceder a uma correta classificação desses píxeis leva necessariamente a estes procedimentos.

4.4.2.2 FUSÃO DE BANDAS

Um das mais importantes operações de vizinhança é a fusão de bandas, que permite integrar imagens com diferentes resoluções espaciais, com o objetivo de criar uma nova imagem com a maior resolução espacial, mantendo as características espectrais da imagem de menor resolução. Por exemplo, todas as bandas multiespectrais do sensor ótico *OLI* do satélite *Landsat 8* apresentam informação espacial a 30 m, com exceção da banda pancromática (B8), que apresenta 15 m de resolução espacial. Através da operação **Pan Sharpen** é possível interpolar a banda pancromática, aumentando o nível de pormenor das bandas multiespectrais, cuja resolução espacial passa a ser igual à da banda pancromática, ou seja, 15 m. A [Figura 61](#) mostra a aplicação desta função num pormenor da imagem *OLI* representando a zona norte do estuário do Sado, abrangendo as zonas urbana e industrial, sendo notória a diferença na resolução espacial antes e após aplicação da fusão.



Fig. 61 - Zona industrial do estuário do Sado, antes e após a aplicação da ferramenta *Pan Sharpen*.¹⁵

¹⁵ Esta imagem resolve a [secção 1.1 do exercício 6.4](#) deste módulo de formação.

4.4.2.3 FILTRAGEM

O processo de filtragem é habitualmente utilizado na fase de pós-processamento, embora seja, por vezes, útil nas fases de pré e processamento. Um dos objetivos principais da utilização de filtros é melhorar a definição de contornos, remover possíveis ruídos ou excluir píxeis isolados em imagens classificadas.



Um filtro utiliza uma janela (*kernel*) quadrada (geralmente com 3x3, 5x5 ou 7x7 píxeis), que vai percorrer toda a superfície da imagem, atribuindo, em cada iteração, um novo valor ao píxel central, calculado com base nos valores iniciais do conjunto constituído pela janela utilizada.

Dependendo da escolha do tipo de filtro, é aplicada uma função a cada píxel a alterar, de acordo com a [Figura 62](#).

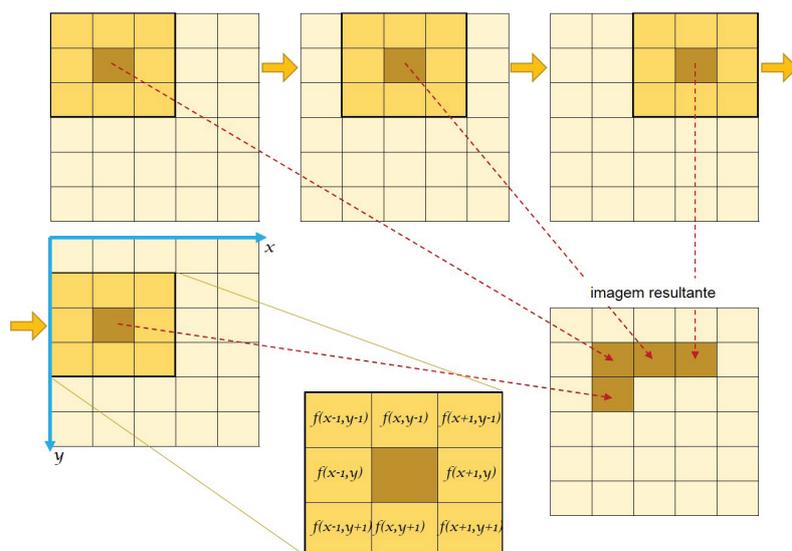


Fig. 62 - Esquema de aplicação de filtros em imagens raster.

Os filtros podem classificar-se em dois tipos principais:

- **passa-baixo**, que suaviza os dados por redução das variações locais e remoção do ruído, calculando para cada píxel o valor médio da sua vizinhança ([Figura 63](#));

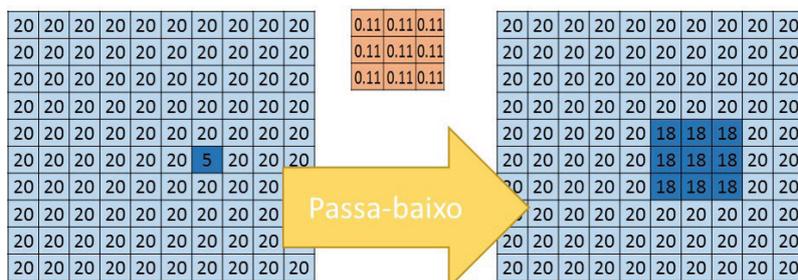


Fig. 63 - Exemplo de aplicação de um filtro passa-baixo, em que um ponto anómalo é suavizado por alteração dos valores dos píxeis vizinhos.

- **passa-alto**, que acentua a diferença relativa entre o valor do píxel e os dos píxeis vizinhos, realçando as fronteiras entre diferentes elementos – os valores resultantes não têm relação com os valores iniciais ([Figura 64](#)).

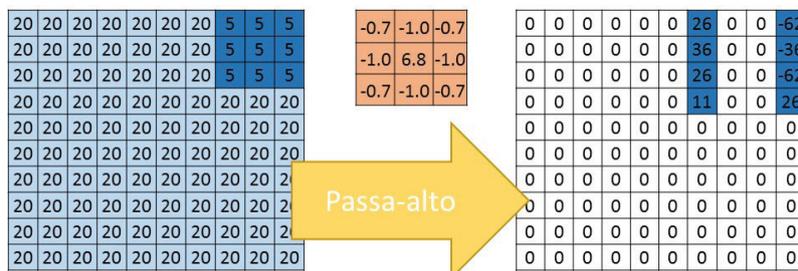


Fig. 64 - Exemplo de aplicação de um filtro passa-alto, em que uma fronteira existente é acentuada, com valores resultantes não relacionados com os iniciais.

As imagens resultantes de processos de classificação necessitam geralmente de ser filtradas para remover os píxeis isolados. Desta forma melhora-se, não só o aspeto da imagem, como a precisão da classificação ([Figura 65](#)).

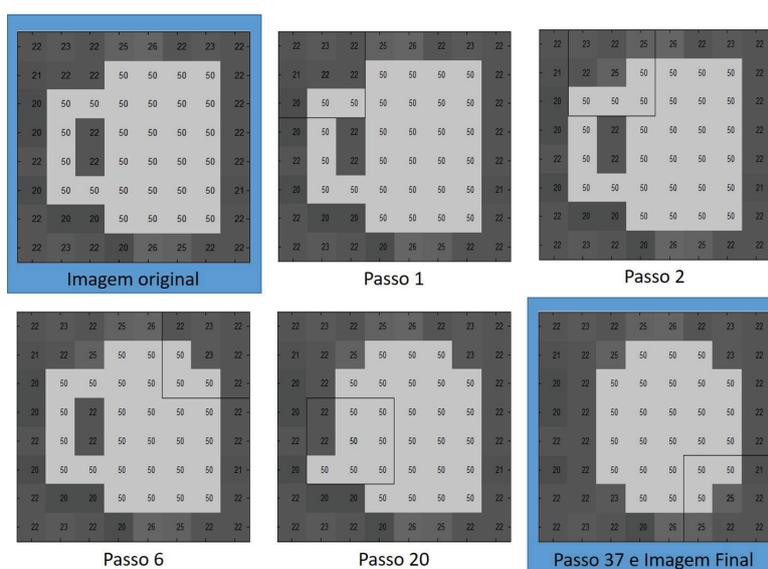


Fig. 65 - Esquema de aplicação de um filtro de mediana com uma janela de 3x3. A aplicação animada e completa do filtro pode ser observada em [\[vídeo\]](#).



O filtro geralmente utilizado para suavizar imagens classificadas (**Majority Filter**) faz a substituição dos valores de cada píxel com base na maioria dos píxeis vizinhos contíguos, podendo referir-se apenas aos 4 píxeis com arestas comuns, ou incluir, além destes, os que o contactam através dos vértices (8 píxeis vizinhos).

A opção pelos 8 píxeis permite suavizar os cantos em zonas retangulares, enquanto a opção pelas 4 células ortogonalmente contíguas mantém os cantos. A [Figura 66](#) mostra o resultado da aplicação do **Majority Filter** na imagem classificada da [Figura 57](#).

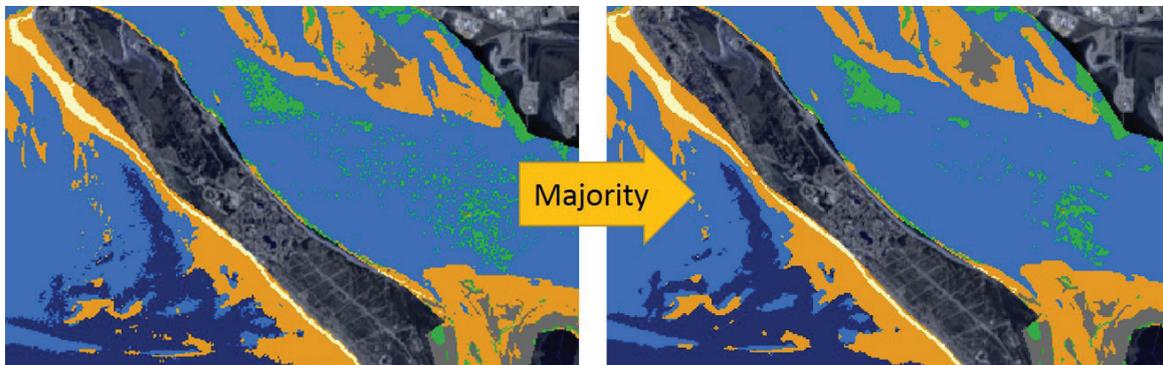


Fig. 66 - Suavização de uma imagem classificada através do filtro *Majority*, com base nos 8 píxeis vizinhos.

4.5 PÓS-PROCESSAMENTO

A fase de pós-processamento inclui, não só os melhoramentos dos resultados obtidos no processamento (e.g. aplicação de filtros para reduzir o ruído), como a avaliação dos resultados (e.g. avaliação da classificação) e a apresentação dos mesmos (*layout*).

4.5.1 AVALIAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO

A qualidade das imagens classificadas pode ser avaliada através da determinação do grau de erro dos dados classificados (relativamente ao *ground truth*, ou seja, a um conjunto de dados obtidos por fotointerpretação, levantamento de terreno ou outro meio fiável de determinação dos objetos representados nas imagens).

A forma mais frequentemente utilizada para o fazer é através de uma matriz de confusão ([Figura 67](#)), que consiste numa tabela de dupla entrada, cujas colunas são preenchidas com os dados do produtor (píxeis classificados), e as linhas preenchidas com os dados do utilizador (*ground truth*).

classificados (máxima verosimilhança)

		água	duna, praia, bancos	raso externo	raso interno	sapal	vegetação dunar/transição/artificial				
ground truth	água	1769	18	174	0	0	0	1961	0.90		
	duna, praia, bancos	4	257	9	0	1	45			316	0.81
	raso externo	49	62	374	6	0	0			491	0.76
	raso interno	37	12	142	830	58	23			1102	0.75
	sapal	0	0	0	36	451	12			499	0.90
	vegetação dunar/transição/artificial	0	7	0	0	14	635			656	0.97
totais classificados		1859	356	699	872	524	715	4316	5025		
precisão do produtor		0.95	0.72	0.54	0.95	0.86	0.89		0.86		

Fig. 67 - Exemplo de preenchimento de uma matriz de confusão (Amorim, 2015).

Uma forma de criar uma imagem com a função de *ground truth* é, por fotointerpretação de imagens com maior resolução (imagens *Google Earth*, por exemplo, de preferência validadas com observações de campo), criar polígonos delimitando cada uma das classes numa região escolhida para efetuar a avaliação da precisão. A aplicação de cada um destes polígonos como máscaras de corte na imagem classificada vai permitir comparar cada classe fotointerpretada (que se assume ter todos os píxeis corretamente classificados) com cada uma das classes classificadas, quantificando-se os píxeis que estão corretamente classificados em cada classe fotointerpretada. A [Figura 68](#) mostra um exemplo de uma classe de ocupação de solo em ambiente estuarino, recortada com a máscara de corte fotointerpretada, permitindo (através da ferramenta *Symbology* da janela *Layer Properties*) quantificar os píxeis corretamente classificados.

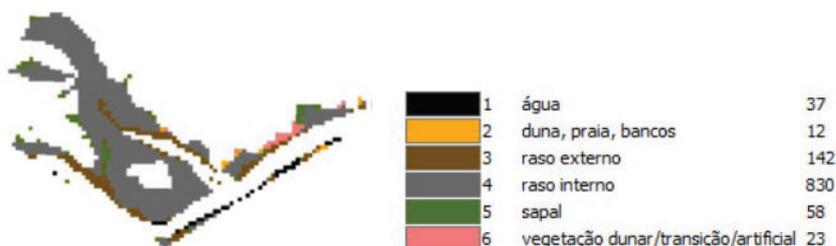


Fig. 68 - Exemplo de quantificação de píxeis corretamente classificados dentro de uma classe (Amorim, 2015).

Na matriz de confusão os dados classificados referentes à classe “raso interno” são preenchidos na linha correspondente a esta classe ([Figura 67](#)). Os elementos pertencentes à diagonal principal (ii) são os dados cuja classificação coincide com o *ground truth* (dados

corretamente classificados). Os elementos que não pertencem a esta diagonal estão mal classificados, contribuindo para baixar a precisão da classificação.

A matriz de confusão permite determinar a precisão do produtor (percentagem de dados de uma classe corretamente classificados) e a precisão do utilizador (percentagem de dados de uma classe corretamente fotointerpretados - *ground truth*). A precisão da classificação determina-se calculando a razão entre os dados corretamente classificados e os dados mal classificados.

O índice *kappa* (κ) é outra forma de avaliar a qualidade da classificação e obtém-se através da [Equação 6](#) (Liu & Mason, 2009), em que N representa o total de píxeis na área de estudo; C_{ii} representa o número de píxeis em cada célula da diagonal (os corretos); e N_{ri} e N_{ci} representam, respetivamente, o total de píxeis por linha (*row*) e por coluna (*column*) para cada classe.

6.	
Σ	$\kappa = \frac{N \sum_{i=1}^m c_{ii} - \sum_{i=1}^m Nr_i \cdot Nc_i}{N^2 - \sum_{i=1}^m Nr_i \cdot Nc_i}$

O índice κ é tanto maior quanto maior for a concordância entre a classificação e a observação, em que o valor 1 representa concordância máxima (Liu & Mason, 2009), sendo considerada “muito boa a excelente” uma classificação com κ superior a 0.75 e fraca uma classificação com κ inferior a 0.4 (Montserud e Leamans, 1992, Cit. por Mather & Koch, 2011). A título de exemplo uma classificação com $\kappa < 0.75$ deverá ser repetida.

4.6 GEOPROCESSAMENTO AUTOMÁTICO

O geoprocessamento consiste no conjunto das diferentes operações de processamento de dados georreferenciados em ambiente SIG, com o objetivo de criar informação. Os Sistemas de Informação Geográfica constituem a principal ferramenta do geoprocessamento, que inclui as etapas de tratamento, gestão, transformação, análise e apresentação dos dados georreferenciados. O *ArcMap* (v. 10.3.1) inclui um menu **Geoprocessing** com algumas ferramentas de análise direcionadas para o geoprocessamento,

que constituem apenas uma ínfima parte das ferramentas destinadas a esse fim, incluídas nas diversas caixas de ferramentas (*toolboxes*) disponíveis no programa, de que se destacam as da [Figura 69](#).

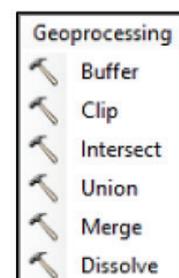




 Fig. 69 - Algumas das principais caixas de ferramentas utilizadas no geoprocessamento em ArcMap.

Neste capítulo têm sido descritas as técnicas de geoprocessamento de dados *raster* com o objetivo de processar e analisar estes dados, sendo estas também parte das técnicas de geoprocessamento. Sendo geralmente um processo bastante complexo, o geoprocessamento inclui por vezes uma grande quantidade de passos a aplicar a um grande volume de dados, até chegar ao produto final. Desta forma, o geoprocessamento pode ser automatizado através de ferramentas específicas que facilitam a reprodução ou repetição dos processos.

O ArcGIS possui diferentes formas de automatizar processos. O mais simples é o processamento **Batch**, que permite eliminar o processo de repetição realizado pelo operador, automatizando cada ferramenta de geoprocessamento usando o modo *batch* disponível (Figura 70).

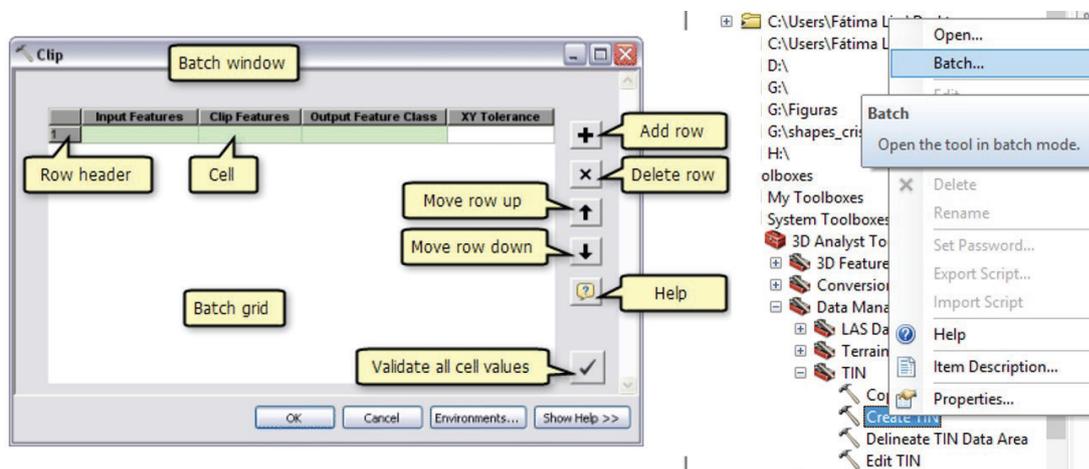
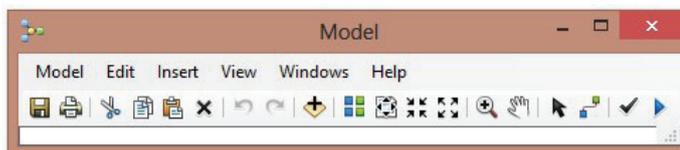


 Fig. 70 - Acesso ao modo *batch* em ArcGIS.

A aplicação **ModelBuilder*** permite criar, editar e gerir modelos. Os modelos são fluxogramas que permitem encadear uma sequência de ferramentas de geoprocessamento, em que a saída de uma ferramenta corresponde à entrada de outra. Também pode ser entendido como uma linguagem de programação visual para fluxos de trabalho de construção. Esta aplicação usa a linguagem

Python, permitindo aceder ao

código do modelo criado. O **ModelBuilder** é muito útil na construção e execução de fluxogramas simples, mas fornece também métodos avançados para ampliar as funcionalidades do **ArcGIS**, permitindo criar e partilhar os novos modelos como ferramentas. No entanto, esta aplicação não permite usar as funções da janela **Image Analysis**.



A janela **Image Analysis** possui uma ferramenta dedicada ao processamento automático das funções **Add Fuction*** utilizadas. A aplicação das diferentes funções é armazenada num fluxo, sendo possível guardar esse fluxo e aplicá-lo a outras imagens. Este fluxo de funções é armazenado sob a forma de template (*.rft.xml). O botão **Apply Function Template*** permite precisamente aplicar um fluxo de funções gravadas, ou *template*, a outras imagens (Figura 71).

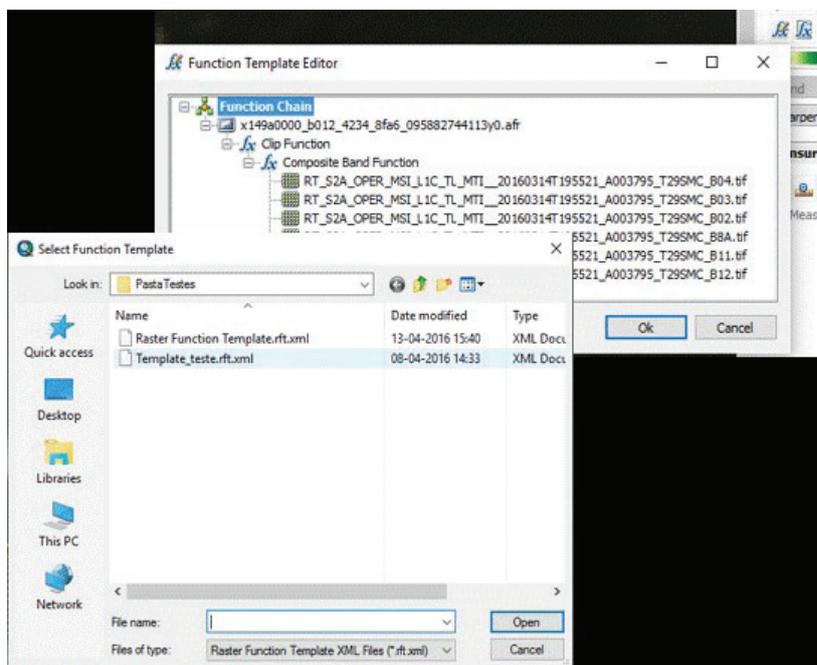
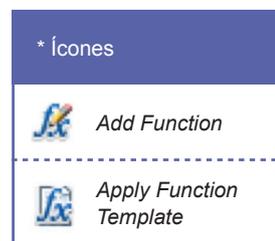


Fig. 71 - Janelas de pesquisa e gravação dos templates de funções em **ArcGIS**.

A linguagem de codificação do *ArcGIS*, *Python*, permite ainda criar novas ferramentas e modificar as existentes, através do botão **Python**, ou através da aplicação **ArcPy**, incluída no *ArcGIS*.



4.7 PARTILHA DE DADOS

Toda a análise de informação geográfica culmina geralmente numa de duas formas: ou na criação de mapas, ou na criação de ficheiros com o objetivo de partilhar informação com outros utilizadores. Com a finalidade de tornar mais simples o armazenamento, a partilha e a pesquisa de dados geográficos, foram criadas regras de uniformização.

4.7.1 DIRETIVA INSPIRE

Aprovada em 2007 pela Comissão Europeia, a Infraestrutura Europeia de Informação Geográfica (*Infrastructure for Spatial Information in the European Community*) pretende estabelecer um enquadramento legal de harmonização gradual dos dados geográficos na Europa, incidindo sobre informação geográfica da responsabilidade das instituições públicas dos Estados-Membros e obrigando-os a gerir e disponibilizar os dados e os serviços de acordo com princípios e regras comuns. Os vários Serviços de Dados Geográficos (SDG) criados neste âmbito permitem a qualquer utilizador visualizar diferentes níveis de informação e sobrepor informação proveniente de diferentes fontes, de modo interoperável e para uma grande variedade de utilizações.

Especificamente para este módulo de formação de dados de satélite, interessa saber que a diretiva *INSPIRE* refere o *European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89)* como o *datum* de referência a utilizar em Portugal Continental, e o *International Terrestrial Reference System (ITRS)* a utilizar nas ilhas (Silva et al., 2016 ) , a escolher na secção "**Coordinate Systems**" da aplicação utilizada. A projeção deve ser escolhida de acordo com o fim a que se destina o trabalho, na secção "**Projected Coordinate Systems**", consoante se pretende manter as áreas (escolhendo-se neste caso a Projeção Azimutal de *Lambert - ETRS89-LAEA*); ou se o objetivo é manter as formas, a escalas inferiores ou iguais a 1/500 000 (escolhendo-se a Projeção Cónica Conforme de *Lambert - ETRS89-LCC*); ou se se pretende manter as formas, mas a escalas superiores (escolhendo-se a Projeção Transversa de *Mercator - ETRS89-TM29*) (Silva et al., 2016 ) .

4.7.2 METADADOS

Os Metadados de Informação Geográfica (MIG) são dados descritivos associados aos dados geográficos (DG), que devem obedecer a normas pré-definidas, com o objetivo

de permitir a rápida pesquisa da informação contida nesses DG. São codificados através de documentos *XML*, devendo seguir a norma *ISO 19139* e dando indicações de vários parâmetros

O Perfil Nacional de Metadados de Informação Geográfica (Perfil MIG) pretende clarificar a implementação da produção, gestão e disseminação dos metadados em Portugal, de forma a assegurar a correta caracterização dos recursos geográficos e a sua harmonização com as infraestruturas de informação geográfica, tanto a nacional (SNIG) como a europeia (*INSPIRE*). É constituído por metadados que obedecem às normas *ISO 19115* e *ISO 19119*, com critérios de seleção ligados aos requisitos da diretiva *INSPIRE* e baseados em listas controladas de termos, léxicos (*thesaurus*) e identificadores normalizados, reduzindo assim ambiguidades nas operações de pesquisa de metadados, assim como na identificação de entidades referenciadas, como sistemas de referência ou unidades geográficas ([Silva et al., 2013](#)).

Com o objetivo de criar, editar e validar metadados foram criadas ferramentas como o editor de metadados do *ArcMap*, ou os editores de metadados online, entre os quais se destacam:

- o editor do *Geoportal INSPIRE* , designado por *European Open Source Metadata Editor*, escrito em *Java*, que permite criar metadados harmonizados em 22 línguas;
- o editor do *SNIMar* , uma aplicação multiplataforma e com *plug-in QGIS* (que permite a criação de metadados em paralelo e em simultâneo com a criação e edição dos dados geográficos), com palavras-chave pré-definidas e harmonizadas (integrado com a ferramenta *Collaborative Keywords* e o *thesaurus* *SNIMar*, específico para recursos marinhos).

Para validar os metadados foi criado o validador *INSPIRE – INSPIRE Geoportal* , que permite colar o código *XML* ou o *URI* dos metadados, procurando os erros e validando de acordo com as normas *ISO* e as especificações *INSPIRE*, dando um valor percentual da qualidade dos metadados. Os erros podem estar relacionados, entre outros, com a ausência de sistema de referência por coordenadas (SRC), ou porque a mesma não se encontra na lista de SRC obrigatórios; pode ter a ver com *XML* mal-formados (não válidos); ou pode referir-se ao não preenchimento de metadados obrigatórios.



Referências

Amorim, A. (2015). Detecção remota e geoprocessamento automático no estudo da evolução de margens estuarinas Estuário do Tejo). Tese de Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território. Faculdade de Ciências - Universidade de Lisboa. <http://hdl.handle.net/10451/18196> .

de Jong, T.M., van der Voordt, D.J.M. (2002). Ways to Study and Research Urban, Architectural, and Technical Design. DUP Science, 560p.

ESA (2015). Sentinel 2 User Handbook, 64p.

Fonseca, A. D., Fernandes, J. C. (2004). *Detecção Remota*. Lisboa: Lidel.

Ji, L., Geng, X., Sun, K., Zhao, Y., Gong, P. (2015). Target Detection Method for Water Mapping Using Landsat 8 OLI/TIRS Imagery. *Water*, 7, 794-817; doi:10.3390/w7020794.

Liu, J.G. & Mason, P.J. (2009). *Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing*. Imperial college. First Edition. London,UK: John Wiley & Sons.

Mishra, D. R., Schaeffer, B. A., Keith, D. (2014). Performance evaluation of normalized difference chlorophyll index in northern Gulf of Mexico estuaries using the Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean. *GIScience & Remote Sensing*, 51:2, 175-198, DOI: 10.1080/15481603.2014.895581.

<http://dx.doi.org/10.1080/15481603.2014.895581>  (visitado em junho 2016).

Mather, P. M. & Koch, M. (2011). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images. An Introduction*. 4th ed. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-74239-6 (cloth); ISBN: 978-0-470-74238-9 (pbk).

NASA (1999). Landsat 7 Science Data Users Handbook. Landsat Project Science Office, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.

<http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>  (visitado em maio 2016).

Robinson, I.S., (2010). Discovering the Oceans from Space: The unique applications of satellite oceanography. Springer Praxis Books / Geophysical Science, 639 pp.

Silva, A. N., Lira, C., Taborda, R., Dias, E., Catalão, J., Amorim, A. (2016). *Sistemas de Informação Geográfica: Análise Espacial*. DGRM, Lisboa, Portugal. E-book disponível em https://www.sophia-mar.pt/pt/recursos_pedagogicos/5 .

Silva, H., Mariano, A. C., Assis, M., Antunes, L. (2013). *Perfil Nacional de Metadados de Informação Geográfica (Perfil MIG)*, Versão 2, 2013-7-8. http://app.dgterritorio.pt/docs/PerfilMIG_v2_Draft8Julho2013.pdf .

Sutcliffe, A., Brito, A. C., Sá, C., Sousa, F., Boutov, D., Brotas, V. (2016a). *Observação da Terra: uso de imagens de temperatura da superfície do mar e cor do oceano para a monitorização de águas costeiras e oceânicas*. DGRM, Lisboa, Portugal. E-book disponível em https://www.sophia-mar.pt/pt/recursos_pedagogicos/1 .

Sutcliffe, A., Catalão, J., Brito, A. (2016b). *Observação da Terra: uso de imagens SAR para a monitorização de águas costeiras e oceânicas*. DGRM, Lisboa, Portugal. E-book disponível em https://www.sophia-mar.pt/pt/recursos_pedagogicos/2 .

Tindall, J. (2006). Deconvolution of Plant Type(s) for Homeland Security Enforcement Using Remote Sensing on a UAV Collection Platform. *In: Homeland Security Affairs*. Vol. II, nº1, Article 4. <http://www.hsaj.org/?article=2.1.4>  (visitado em maio 2016).

Endereços eletrónicos

Pág. 19

Spectral Characteristics Viewer, U.S. Department of the Interior | U.S. Geological Survey. Disponível online: http://landsat.usgs.gov/tools_spectralViewer.php  [acedido a 20 de maio de 2016]

Pág. 21

High Throughput Satellite Communications Systems, The Link, Harris CapRock website. Disponível online: <http://www.harriscaprock.com/blog/high-throughput-satellite-communications-systems-meo-vs-leo-vs-geo/>  [acedido a 9 de junho de 2016]

Vídeo de órbita estacionária. Disponível online: <http://grindgis.com/wp-content/uploads/2015/05/geostationary-orbits.gif>  [acedido a 20 de maio de 2016]

Pág. 22

Polar orbit principle. Disponível online: https://www.youtube.com/watch?v=y_jM_BxQGvE 
[acedido a 20 de maio de 2016]

Pág. 30

UCS Satellite Database, Union of Concerned Scientists website. Disponível online: <http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database#.WBsIT4XXKcP> 
[acedido a 20 de maio de 2016]

Pág. 31

CEOS EO Handbook – Catalogue of Satellite Instruments, The CEOS database, CEOS, ESA. Disponível online: <http://database.eohandbook.com/database/instrumenttable.aspx>  [acedido a 23 de maio de 2016]

Satellite Missions Database, EO Portal Directory, ESA. Disponível online: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions>  [acedido a 23 de maio de 2016]

NASA Missions, NASA. Disponível online: <http://www.nasa.gov/missions>  [acedido a 23 de maio de 2016]

UCS Satellite Database, Union of Concerned Scientists website. Disponível online: <http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database>  [acedido a 23 de maio de 2016]

Online Index of Objects Launched into Outer Space, United Nations Office for Outer Space Affairs. Disponível online: http://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jsp?lf_id 
[acedido a 24 de maio de 2016]

Pág. 32

Online Index of Objects Launched into Outer Space, United Nations Office for Outer Space Affairs. Disponível online: http://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jsp?lf_id 
[acedido a 24 de maio de 2016]

Space debris story, Space in Videos, ESA. Disponível online: http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/04/Space_debris_story  [acedido a 25 de maio de 2016]

Waste in Space. Disponível online: http://thumbnails.visually.netdna-cdn.com/waste-in-space_502916521e707.jpg  [acedido a 25 de maio de 2016]

Orbital Debris, Earth Observatory, NASA. Disponível online: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=40173>  [acedido a 25 de maio de 2016]

Distribution of debris, Space in Images, ESA. Disponível online: http://www.esa.int/spacein-images/Images/2013/04/Distribution_of_debris [acedido a 25 de maio de 2016]

Pág. 36

View Examples of SPOT Satellite Imagery, Appolo Mapping - The Image Hunters. Disponível online: <https://apollomapping.com/imagery/medium-resolution-satellite-imagery/spot> [acedido a 26 de maio de 2016]

CEOS EO Handbook – Catalogue of Satellite Instruments, The CEOS database, CEOS, ESA. Disponível online: <http://database.eohandbook.com/database/instrumenttable.aspx> [acedido a 23 de maio de 2016]

Satellite Missions Database, EO Portal Directory, ESA. Disponível online: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions> [acedido a 23 de maio de 2016]

NASA Missions, NASA. Disponível online: <http://www.nasa.gov/missions> [acedido a 23 de maio de 2016]

UCS Satellite Database, Union of Concerned Scientists website. Disponível online: <http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database> [acedido a 23 de maio de 2016]

Online Index of Objects Launched into Outer Space, United Nations Office for Outer Space Affairs. Disponível online: http://www.unoosa.org/oosa/osoindex/search-ng.jsp?lf_id [acedido a 24 de maio de 2016]

Pág. 38

Earth Data Search, Earth Data, Nasa. Disponível online: https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules?p=C197265171-LPDAAC_ECS&q=gdem [acedido a 22 de maio de 2016]

Reverb Echo, EOSDIS, NASA. Disponível online: http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/#utf8=%E2%9C%93&spatial_map=satellite&spatial_type=rectangle&keywords=gdem [acedido a 24 de maio de 2016]

Pág. 39 e 40

ALandsat Timeline, Landsat Science. Disponível online: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3166> [acedido a 30 de maio de 2016]

Pág. 41

Landsat 8, Landsat Science. Disponível online: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/> [acedido a 30 de maio de 2016]

Landsat 8 History, Landsat Mission, U.S. Department of the Interior | U.S. Geological Survey. Disponível online: http://landsat.usgs.gov/about_ldcm.php [acedido a 30 de maio de 2016]

A Landsat Timeline, Landsat Science. Disponível online: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3166> [acedido a 30 de maio de 2016]

Pág. 43

SENTINEL Overview, Sentinel Online, ESA. Disponível online: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions> [acedido a 30 de maio de 2016]

Pág. 45

View Examples of SPOT Satellite Imagery, Appolo Mapping - The Image Hunters. Disponível online: <https://apollomapping.com/imagery/medium-resolution-satellite-imagery/spot> [acedido a 26 de maio de 2016]

Pág. 48

WorldDEM TM, Airbus Defense and Space. Disponível online: <http://www.intelligence-airbusds.com/worlddem/> [acedido a 9 de junho de 2016]

Pág. 54

MODIS Products Table, LP DAAC, U.S. Department of the Interior | U.S. Geological Survey. Disponível online: https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table [acedido a 9 de junho de 2016]

Pág. 56

Sentinels Scientific Data Hub, ESA. Disponível online: <https://scihub.copernicus.eu/dhus> [acedido a 14 de junho de 2016]

COVE, CEOS. Disponível online: <http://www.ceos-cove.org/index.php?lang=en> [acedido a 14 de junho de 2016]

Pág. 61

ENVI, Harris Geospatial Solutions website. Disponível online: <http://www.harrisgeospatial.com/ProductsandSolutions/GeospatialProducts/ENVI.aspx> [acedido a 14 de junho de 2016]

TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling Software, Clarklab website. Disponível online: <https://clarklabs.org/terrset/> [acedido a 15 de junho de 2016]

Erdas, Hexagon Geospatial website. Disponível online: <http://www.hexagongeospatial.com/brochure-pages/erdas-imagine-brochure> [acedido a 14 de junho de 2016]

Pág. 62

The Open Source Geospatial Foundation website. Disponível online:

<http://www.osgeo.org/> [acedido a 15 de junho de 2016]

Pág. 63

<https://grass.osgeo.org/documentation/general-overview> [acedido a 15 de junho de 2016]

STEP, ESA. Disponível online: <http://step.esa.int/main/download/> [acedido a 15 de junho de 2016]

Sentinels Scientific Data Hub, ESA. Disponível online <https://scihub.copernicus.eu/> [acedido a 15 de junho de 2016]

SNAP Tutorials, STEP, ESA. Disponível online: <http://step.esa.int/main/doc/tutorials/snap-tutorials/> [acedido a 15 de junho de 2016]

Pág. 97

INSPIRE Geoportal, European Commission. Disponível online: <http://inspire-geoportal.ec.europa.eu/editor/> [acedido a 16 de junho de 2016]

Editor de Metadados SNIMar, SNIMAR 2015. Disponível online: <http://editor.snimar.pt/> [acedido a 16 de junho de 2016]

INSPIRE Geoportal Metadata Validator, INSPIRE Geoportal, European Commission. Disponível online: <http://inspire-geoportal.ec.europa.eu/validator2/> [acedido a 16 de junho de 2016]

Figuras

Fig. 6, Comparison of Landsat 7 and 8 with sentinel 2, Landsat Science, NASA. Disponível online: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=10643> [acedido a 20 de julho de 2016]

Fig. 7, 8 e 9, Spectral Characteristics Viewer, U.S. Department of the Interior | U.S. Geological Survey. Disponível online: http://landsat.usgs.gov/tools_spectralViewer.php [acedido a 20 de maio de 2016]

Fig.11, Three Classes of Orbit, Earth Observatory, NASA. Disponível online: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog/page2.php>; e Vídeo de órbita síncrona ao sol, Earth Observatory, NASA. Disponível online: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog/images/sun-synchronous_orbit.h264.mov [acedido a 20 de maio de 2016]

Fig. 18, Informação retirada do sítio: How many satellites are orbiting the Earth in 2016?, Pixalytics. Disponível online: <http://www.pixalytics.com/sats-orbiting-earth-2016/> [acedido a 29 de julho de 2016]

Fig. 20, NASA's current Earth-observing satellite fleet with launch dates, Hyperwall, NASA. Disponível online: <https://svs.gsfc.nasa.gov/30065> [acedido a 29 de julho de 2016]

Fig. 21, The Sentinel family, Space in Images, ESA. Disponível online: http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2014/02/The_Sentinel_family [acedido a 29 de julho de 2016]

Fig. 22, Building on the Landsat Legacy, Landsat 9, Landsat Science, NASA. Disponível online: http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page_id=13134 [acedido a 29 de julho de 2016]

Fig. 25, Satélite Landsat 8, USGS/ NASA. Disponível online: http://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2013/01/lcm_2012_COL.png [acedido a 29 de julho de 2016]

Fig. 26, Inside view of Sentinel-2, ESA/ATG medialab, Space in Images, ESA. Disponível em: http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2015/06/Inside_view_of_Sentinel-2 [acedido a 29 de julho de 2016]

Fig. 27, Comparison of Landsat 7 and 8 with sentinel 2, Landsat Science, NASA. Disponível online: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=10643> [acedido a 20 de julho de 2016]

Fig. 31, Oxford, United Kingdom, WorldDEM TM, Airbus Defense and Space. Disponível online: <http://www.intelligence-airbusds.com/worlddem-sampled/> [acedido a 9 de junho de 2016]

Fig. 65, Vídeo da aplicação de um filtro de mediana, IDL - FCUL. Disponível online: <https://youtu.be/4xtUyP5lknc> [acedido a 2 Novembro de 2016]

Tabelas

Tabela 2, The Thematic Mapper, Landsat Science, NASA. Disponível online: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3229> e Landsat 8, Landsat Science, NASA. Disponível online: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3186> [acedido a 29 de julho de 2016]

Tabela 3, Satellites, Satellite Imagery Corporation. Disponível online: <http://www.satimaging-corp.com/> [acedido a 20 de maio de 2016]

Anexo 1

GLOSSÁRIO DE TERMOS E ACRÓNIMOS EM SIG

Absorção – processo que reduz a quantidade de radiação após atravessar a atmosfera, principalmente por parte das moléculas de ozono, dióxido de carbono e vapor de água.

AI (Análise de Imagem) – extração de informação a partir de imagens utilizando técnicas de processamento digital.

Assinatura espectral ou curva de refletância espectral – projeção gráfica da refletância espectral de um objeto nos diferentes comprimentos de onda do EEM.

BOA (Bottom Of Atmosphere) - expressão utilizada para designar a refletância da base da atmosfera.

CDG (Conjunto de Dados Geográficos) - uma coleção identificável de dados geográficos.

CN (Corpo Negro) - irradiador ideal que absorve e emite toda a REM que sobre ele incide sem variar a sua temperatura.

CSW (Catalog Service for Web) - aplicação informática que, através da Internet, expõe um conjunto de operações a outras aplicações informáticas externas (e.g. pesquisa, carregamento ou descarregamento do catálogo de metadados).

DFR (Densidade de Fluxo Radiante) - magnitude do fluxo radiante que incide sobre um determinado objeto.

Difusão - redirecionamento da radiação ao atravessar as partículas constituintes da atmosfera, reduzindo o contraste nas imagens de DR.

Dispersão - decomposição da luz branca nas suas diferentes componentes do EEM.

DN (Digital Number) - nível de intensidade de um píxel, correspondente à média dos valores da radiação registados na superfície de terreno, variando entre 0 (correspondente ao preto, com menor valor) e um valor máximo, correspondente ao branco (com maior valor), que depende da resolução radiométrica da imagem.

DQEM - Diretiva-Quadro Estratégia Marinha

DR (Detecção Remota) - conjunto de técnicas que permitem obter informação sobre um determinado objeto através da utilização de um sensor remoto.

EEM (Espectro Eletromagnético) - representa os diferentes comprimentos de onda da radiação eletromagnética (e respetivas frequências), ordenados de forma crescente ou decrescente.

EO (Earth Observation - Observação da Terra) - ramo particular da DR que permite a interpretação e o conhecimento dos fenómenos na superfície da Terra através da análise e interpretação das medições da REM refletida ou emitida por objetos que se encontram na terra, mar ou atmosfera do nosso planeta, e adquiridas por sensores a bordo de aviões ou em órbita (satélites EO).

EOS (Earth Observing System) - série de satélites coordenados da NASA, de órbitas polares e de baixa inclinação, orientados para a observação da superfície terrestre, da biosfera, da atmosfera e dos oceanos.

ER (Energia Radiante) – energia associada ao espectro eletromagnético.

EROS (Earth Resources Observation and Science Center) – centro de gestão de dados de deteção remota, desenvolvimento de sistemas e investigação da USGS.

ESA (European Space Agency) - organização internacional com sede em Paris, constituída por 22 Estados-Membros, com o objetivo de unir recursos financeiros e intelectuais para o desenvolvimento espacial da Europa.

ESRI (Environmental Systems Research Institute) – companhia norte-americana que produz aplicações SIG e de gestão de bases de dados geográficas, em particular a aplicação ArcGIS.

FR (Fluxo Radiante) – energia radiante (ER) transmitida por unidade de tempo (W/s).

Geodatabase – base de dados geográficos cujo modelo de armazenamento se baseia no modelo relacional padrão de tabelas e informação de atributos.

GPS (Global Positioning System) - sistema de navegação global com usos militares, civis e comerciais, que fornece a posição do utilizador com base nas posições conhecidas de pelo menos 3 satélites sincronizados.

Geoestacionária (GEO) – órbita que mantém a sua posição relativamente à Terra, captando informação sempre no mesmo local.

GUI (Graphical User Interface) - refere-se à interface gráfica, ou janela de utilizador de uma aplicação, que nos permite interagir com as diferentes ferramentas através de janelas e botões, acionadas por um cursor.

HDF (Hierarchical Data Format) - designação de um conjunto de formatos de arquivos e bibliotecas criados para organização e armazenamento de grandes quantidades de dados numéricos (*Wikipedia*).

Heliossíncrona ou síncrona solar – órbita quase polar, que permite ao satélite cruzar o equador de norte para sul sempre à mesma hora solar, percorrendo a outra face do planeta de sul para norte durante a noite.

IFOV (Instantaneous Field Of View) - campo de visão instantâneo, correspondente à quantificação da superfície terrestre que é representada por cada célula ou píxel da imagem.

Interoperabilidade - possibilidade de os conjuntos de dados geográficos serem combinados e os serviços interagirem, sem intervenção manual repetitiva, de tal forma que o resultado seja coerente e o valor acrescentado dos conjuntos e serviços de dados seja reforçado ([Silva et al., 2013](#)).

Irradiância - quantidade de energia radiante incidente sobre um determinado objeto, por unidade de área.

ISO (International Organization for Standardization) - organização que desenvolve e publica os padrões internacionais.

ISO 19115-1:2014 – define as normas para descrever informação geográfica e serviços através de metadados (identificação, extensão, qualidade, aspetos espaciais e temporais, conteúdo, referência espacial, entre outros) (<http://www.iso.org> .

ISO 19119:2016 - define os requisitos para criação de serviços que permitam manter a conformidade e a interoperabilidade dos dados provenientes de várias fontes.

Janelas atmosféricas (transmission windows) - intervalos do EEM em que a radiação sofre menor absorção e difusão, sendo os efeitos da atmosfera mais subtis.

JPEG (Joint Photographic Experts Group) 2000 – padrão de compressão de imagens criado em 1999, com extensão .jp2.

LIDAR (Light Detecting And Ranging) - técnica utilizada na detecção remota para medir distâncias através do envio e recepção de um feixe *LASER*.

MDT (Modelo Digital de Terreno) - equivalente em português de *Digital Terrain Model (DTM)*, é um modelo que descreve a altimetria do terreno, excluindo os objetos à superfície.

Metadados - informações que descrevem conjuntos e serviços de dados geográficos e que permitem pesquisá-los, inventariá-los e utilizá-los ([Silva et al., 2013](#)).

MrSID (Multiresolution Seamless Image Database) - formato de ficheiros para codificar imagens *raster* georreferenciadas.

NIR (Near InfraRed) – intervalo do espectro eletromagnético que inclui os comprimentos de onda da zona dos infravermelhos próximos.

OLI (Operational Land Imager) – sensor *VNIR* (visível e infravermelho) do satélite *Landsat 8*.

Open source software (aplicação de código aberto) - aplicação informática cujo código-fonte está disponível para visualização, alteração e partilha de forma gratuita.

RADAR (Radio Detection And Ranging) – Sistema de detecção que utiliza um transmissor e um recetor de ondas de rádio ou micro-ondas, com um processador que determina o alcance, o ângulo ou a velocidade de objetos.

Radiância - quantidade de fluxo radiante que deixa um objeto.

Raster – modelo de dados matricial que define os píxeis em linhas e colunas, sendo por vezes também designado por *bitmap* (mapa de *bits*).

Refletância - proporção da radiação incidente que é refletida por uma superfície, variável com o comprimento de onda da energia incidente e com a cor e composição química da superfície.

Reflexão - redirecionamento da luz após incidência numa superfície, estando a sua intensidade dependente do índice de refração da superfície, do coeficiente de absorção e dos ângulos de incidência e de reflexão.

Refração - desvio da direção da luz ao atravessar meios de diferentes índices de refração.

REM (Radiação EletroMagnética) - forma de energia que se transmite em duas componentes fundamentais e perpendiculares entre si: o campo elétrico e o campo magnético, que constituem o campo eletromagnético.

Resolução espacial - quantificação da superfície terrestre que é representada por cada célula ou píxel da imagem.

Resolução radiométrica - capacidade do sensor de distinguir diferentes objetos no mesmo intervalo do espectro eletromagnético.

Resolução temporal - intervalo de tempo entre aquisições consecutivas de informação no mesmo local (também designado tempo de revisitação); frequência de passagem do sensor no mesmo local.

RGB (Red, Green, Blue) - modelo de cores utilizado para produzir imagens coloridas em monitores, por emissão de luz.

SAR (Synthetic Aperture Radar) - sensor ativo que emite um sinal eletromagnético, cujo eco é registado pelo mesmo após reflexão ou retrodifusão no objeto ou superfície analisados.

SDG (Serviço de Dados Geográficos) - operações que podem ser efetuadas utilizando uma aplicação informática, com os dados geográficos contidos em CDG ou com os metadados correspondentes.

SIG (Sistema de Informação Geográfica) - conjunto integrado de software e dados que permitem visualizar e gerir informação relativa a lugares, analisar relações espaciais e modelar processos espaciais, fornecendo uma estrutura que permite a aquisição e organização de dados de natureza espacial e informação relacionada.

SNIG (Sistema Nacional de Informação Geográfica) - Infraestrutura Nacional de Informação Geográfica que permite o registo e a pesquisa de dados e de serviços de dados geográficos produzidos por entidades públicas e privadas em Portugal.

SNIMar (Sistema Nacional de Informação do Mar) - preparação de informação geográfica integrada para a gestão de águas marinhas e costeiras.

Swath width - largura de varredura dos sensores em cada passagem, medida no solo.

SWIR (ShortWave Infrared) – intervalo do espectro eletromagnético que inclui os comprimentos de onda aproximados 1.4 a 3 μm da zona dos infravermelhos.

Thesaurus ou Léxico - vocabulário controlado, estruturado para que estejam claramente identificadas por indicadores relacionais normalizados as relações de equivalência, hierárquicas e associativas entre os termos, sendo o seu principal objetivo o de facilitar a pesquisa de documentos e dar consistência ao sistema de indexação de documentos.

TIFF (Tagged Image File Format) - formato de ficheiros para codificar imagens.

TIR (Thermal InfraRed) - gama ou intervalo do espectro eletromagnético que inclui os comprimentos de onda aproximados 7 a 15 μm da zona dos infravermelhos térmicos.

TIRS (Thermal InfraRed Sensor) - sensor do satélite *Landsat 8*, que regista imagens térmicas.

TOA (Top Of Atmosphere) – expressão utilizada para designar a refletância do topo da atmosfera.

URI (Uniform Resource Identifier) - Identificador Uniforme de Recurso, constituído por uma cadeia de caracteres que identifica um recurso na rede, utilizando protocolos específicos, permitindo a interação com representações do recurso.

USGS (United States Geological Survey) - organização científica norte-americana que disponibiliza informação acerca da superfície terrestre e respetivos recursos, ameaças, alterações, etc..

VIS - gama visível do espectro eletromagnético, entre os comprimentos de onda aproximados 0.4 e 0.75 μm .

VNIR (Visible Near Infrared) - intervalo do espectro eletromagnético nos comprimentos de onda aproximados 0.4 a 1.4 μm , que inclui o visível e as ondas mais curtas da gama infravermelha.

Anexo 2

LINKS ÚTEIS

- ArcGIS Resources:** <http://resources.arcgis.com/en/home>
- The CEOS Database:** <http://database.eohandbook.com/database/instrumenttable.aspx>
- Committee on Earth Observation Satellites (CEOS):** <http://ceos.org>
- COVE:** <http://www.ceos-cove.org/index.php/covetool>
- Direção-Geral do Território (Visualizador):** <http://mapas.dgterritorio.pt/viewer/index.html>
- Earth Data Search:** <https://search.earthdata.nasa.gov>
- Earth Explorer:** <http://earthexplorer.usgs.gov>
- Earth Online (ESA):** <https://earth.esa.int/web/guest/home>
- Earth Observation Portal:** <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/home>
- ESA:** <http://www.esa.int/ESA>
- Future Learn:** <https://www.futurelearn.com/courses/climate-from-space>
- Global Land Cover Facility (GLCF):** www.landcover.org
- GRASS GIS:** <https://grass.osgeo.org/#>
- Landsat Science:** <http://landsat.gsfc.nasa.gov>
- Marine Environment Monitoring Service (Copernicus):** <http://marine.copernicus.eu/>
- MetEd:** https://www.meted.ucar.edu/training_detail.php
- NASA:** <http://www.nasa.gov>
- NASA's Earth Observing System (Project Science Office):** <http://eospsso.nasa.gov>
- Open Source Geospatial Foundation:** <http://www.osgeo.org>
- Pixalytics:** <http://www.pixalytics.com>
- Sentinels Scientific Data Hub:** <https://scihub.copernicus.eu>
- STEP:** <http://step.esa.int/main/download/>
- USGS Science Explorer:** <https://www.usgs.gov/science/science-explorer/Mapping%2C+Remote+Sensing%2C+and+Geospatial+Data>
- USGS Landsat Missions:** <http://landsat.usgs.gov/index.php>

Anexo 3

JANELA DE ANÁLISE DE IMAGEM

Tabela 4 – Ícones do painel *Processing* da janela *Image Analysis* e respectivas funções

Botão	Nome	Função
	<u>Clip</u> (Recortar)	Usa a totalidade do “ <i>data view</i> ” ou um polígono ou elemento selecionado para recortar uma porção da imagem ou do “ <i>raster dataset</i> ”, criando uma camada (“ <i>layer</i> ”) temporária.
	<u>Mask</u> (Máscara)	Usa a totalidade do “ <i>data view</i> ” ou um polígono ou elemento selecionado para definir uma área sem dados (“ <i>NoData</i> ”), criando uma camada (“ <i>layer</i> ”) temporária.
	<u>Composite Bands</u> (Bandas Compósitas)	Permite combinar camadas (“ <i>layers</i> ”) para formar uma camada multibanda temporária.
	<u>NDVI</u>	Calcula o Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas a partir de uma imagem multiespectral ou duas camadas selecionadas, criando uma camada temporária.
	<u>Colormap To RGB</u>	Converte uma imagem a cores numa camada temporária com 3 bandas (<i>RGB</i>).
	<u>Difference</u> (Diferença)	Calcula a alteração entre duas camadas, usando uma comparação pixel a pixel, criando uma camada temporária.
	<u>Pan-sharpening</u>	Cria uma camada temporária com dados multiespectrais com melhor resolução.
	<u>Orthorectify</u> (Ortorretificação)	Cria uma camada temporária com dados ortorretificados.
	<u>Export</u> (Exportar)	Abre a caixa de diálogo “ <i>Export Raster Data</i> ” (exportar dados <i>raster</i>) para gravar a camada temporária como um “ <i>raster dataset</i> ”.
	<u>Function Editor</u> (Editor de Funções)	Abre o editor de funções <i>raster</i> para adicionar, editar ou remover funções.
	<u>Shaded Relief</u> (Relevo Sombreado)	Aplica um relevo sombreado num <i>raster</i> com dados altimétricos selecionado, criando uma camada temporária.
	<u>Mosaic</u> (Mosaico)	Cria uma camada temporária juntando duas ou mais camadas em mosaico. Os métodos para o mosaico são escolhidos a partir de uma lista.
	<u>Filter</u> (Filtro)	Cria uma camada temporária com um qualquer tipo de filtro aplicado, incluindo a capacidade de aumentar ou reduzir a nitidez, entre outros métodos de interpolação aplicados a imagens.

Promotores e Parceiros



Financiamento



Entidades Participantes



Apoios e Colaborações





CONHECIMENTO PARA A GESTÃO DO AMBIENTE MARINHO