



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Joana Inês Henriques Fernandes

APLICAÇÃO DE DETEÇÃO REMOTA NA
MONITORIZAÇÃO HIDROLÓGICA:
ESTUDO DE CASO NO BAIXO MONDEGO

Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, na área de Especialização em Território e Cidades Sustentáveis, orientada pela Professora Doutora Maria Isabel Mendes Leal Pereira Pedroso de Lima e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Julho de 2022

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Civil

Joana Inês Henriques Fernandes

Aplicação de Detecção Remota na Monitorização Hidrológica: Estudo de Caso no Baixo Mondego

Application of Remote Sensing in Hydrological Monitoring: Case Study in Baixo Mondego

Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, na área de Especialização em Território e Cidades Sustentáveis,
orientada pela Professora Doutora Maria Isabel Mendes Leal Pereira Pedroso de Lima.

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC
declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.

Julho de 2022



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

AGRADECIMENTOS

Deixo um especial agradecimento à professora Isabel Pedroso de Lima que durante este semestre esteve sempre disponível, ajudou na orientação e em todo o trabalho.

Em seguida, e não menos importante, queria também deixar um agradecimento ao Engenheiro Romeu Gerardo por todo o apoio que me deu e por todas as dificuldades que me ajudou a superar.

Às minhas colegas Eliana Agostinho e Rafaela Gonçalves pelo caminho que fizemos ao longo destes 5 anos e por se terem tornado em pessoas chave na minha vida, à minha madrinha Inês Silva, à minha afilhada Beatriz Figueiredo e a todos aqueles que estiveram nesta caminhada.

Aos meus pais e ao meu irmão, que sempre foram a base que me permitiu embarcar nesta “aventura”, e em todas as vivências ao longo destes anos.

Queria também agradecer aos meus avós, aos meus tios, primos e a toda a minha restante família que me acompanhou em todos os momentos!

Por último deixo aqui um agradecimento a todos os docentes, funcionários e amigos que permitiram a aquisição dos conhecimentos que certamente servirão como base para o meu futuro.

Obrigada a todos os que estiveram presentes neste momento da minha vida e que assim continue sempre!

RESUMO

Na região do Baixo Mondego (BM), onde a agricultura se apresenta como o principal utilizador de água doce, o cultivo de arroz constitui uma pressão importante sobre os recursos disponíveis para a rega. O arroz é tradicionalmente cultivado sob alagamento contínuo, exigindo muito mais água do que as culturas que são regadas sem alagamento. Assim, por exemplo, a avaliação atualizada da distribuição espacial da área cultivada de arroz e de áreas dedicadas a outras produções, é essencial para diferentes entidades gestoras e produtoras, a socio-economia local e para a avaliação de recursos.

Nos últimos anos, a deteção remota (DR), através da obtenção de imagens multiespectrais obtidas por diversos tipos de satélite, tem permitido a aquisição de dados de forma gratuita e rápida, oferecendo coberturas temporais e espaciais que complementam de forma indiscutivelmente relevante dados obtidos pelas redes de monitorização convencional e de levantamentos pontuais existentes no terreno. Neste trabalho irá aprofundar-se o conhecimento e aplicabilidade na região do BM de indicadores baseados em dados obtidos de forma remota. Estas ferramentas podem contribuir para classificar a cobertura do solo e identificar as superfícies alagadas em áreas agrícolas através de índices de água calculados com base em bandas espectrais do satélite Sentinel-2. Neste trabalho aplicam-se os índices $NDWI_{10}$, $NDWI_{20}$, $MNDWI_{10}$, $MNDWI_{20}$, $ANDWI$ e SWI em áreas de cultivo de arroz, em condições diferentes de inundação dos campos, com o objetivo de verificar o desempenho desses índices.

Palavras-chave: Arroz, Massas de água, Índices de Água, Sentinel-2, Bandas espectrais.

ABSTRACT

In the Baixo Mondego region (BM), where agriculture is the main user of fresh water, rice cultivation is an important pressure on the resources available for irrigation. Rice is traditionally grown under continuous flooding, requiring much more water than crops that are irrigated without flooding. Thus, for example, the updated assessment of the spatial distribution of the cultivated area of rice and of areas dedicated to other productions, is essential for different managing and producing entities, the local socio-economy and for the evaluation of resources.

In recent years, remote sensing (DR), through the acquisition of multispectral images obtained by different types of satellite, has allowed the acquisition of data free of charge and quickly, offering temporal and spatial coverage that indisputably complements data obtained by the conventional monitoring networks and existing spot surveys on the ground. This work will deepen the knowledge and applicability in the BM region of indicators based on data obtained remotely. These tools can help classify land cover and identify wetlands in agricultural areas through water indices calculated based on spectral bands from the Sentinel-2 satellite. In this work, the NDWI₁₀, NDWI₂₀, MNDWI₁₀, MNDWI₂₀, ANDWI and SWI indices are applied in rice cultivation areas, under different conditions of the flooding of the fields, in order to verify the performance of these indexes.

Keywords: Rice, Water Bodies, Water Indices, *Sentinel-2*, Spectral Bands.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE QUADROS	viii
ABREVIATURAS	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos e Motivações	2
1.3 Estrutura Geral da Dissertação	3
2 DETECÇÃO REMOTA NA MONITORIZAÇÃO HIDROLÓGICA	5
2.1 Detecção Remota.....	5
2.1.1 Radiação Eletromagnética e Espectro Eletromagnético.....	6
2.1.2 Radiância e Refletância Espetral	8
2.1.3 Sensores Remotos.....	9
2.2 Monitorização Hidrológica.....	12
2.3 Índices de Água	13
2.3.1 Índice de Água por Diferença Normalizada	13
2.3.2 Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado	14
2.3.3 Índice de Água por Diferença Normalizada Aumentada.....	15
2.3.4 Índice de Água <i>Sentinel-2</i>	16
2.4 Classificação e Validação da Imagem	16
2.4.1 Classificação da Imagem	16
2.4.2 Validação da Imagem	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1 Cultivo de Arroz no Baixo Mondego	20
3.2 Área de Estudo	21

3.3 Condições Meteorológicas	23
3.4 Metodologia.....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 Índices de água	28
4.2 Histogramas	37
4.3 Valores Médios.....	43
4.4 Precisão do Utilizador	44
4.5 Índice de Concordância <i>Kappa</i>	45
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	48
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXO A – TABELAS DE CONFUSÃO PARA O DIA 24 DE FEVEREIRO DE 2018	A-1
ANEXO B – TABELAS DE CONFUSÃO PARA O DIA 21 DE MARÇO DE 2018	B-1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Processo de Detecção Remota (adaptado de Sousa e Silva, 2011).....	6
Figura 2.2 – Espectro eletromagnético e as janelas usadas pelos diferentes sensores na detecção remota (adaptado de Robinson, 2010).....	7
Figura 2.3 – Curvas de refletância do solo seco (nú), vegetação e água (adaptado de Fernandes, 2017).....	8
Figura 2.4 – Comparação entre as imagens obtidas pelo Landsat 7 e 8 e pelo Sentinel-2 (adaptado de Lira et al., 2016).....	12
Figura 2.5 – Esquema da Tabela de Confusão.....	18
Figura 3.1 – Localização da Quinta do Canal (A) e do Pranto (B) (GoogleEarth@2022; Wikipedia@2022).....	22
Figura 3.2 – Precipitação Total para os meses de Fevereiro e Março de 2018 em mm (A) Seleção engloba a região da Quinta do Canal e do Pranto (adaptado de IPMA@2018).....	24
Figura 3.3 – Metodologia detalhada da área em estudo (adaptado de Halder et al., 2022).....	25
Figura 4.1 – Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice NDWI ₁₀ , 24 de Fevereiro de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto.....	29
Figura 4.2 – Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice NDWI ₁₀ , 21 de Março de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto	29
Figura 4.3 – Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice NDWI ₂₀ , 24 de Fevereiro de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto	30
Figura 4.4 – Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice NDWI ₂₀ , 21 de Março de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto.....	30
Figura 4.5 – Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice MNDWI ₁₀ , 24 de Fevereiro de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto.....	31
Figura 4.6 – Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice MNDWI ₁₀ , 21 de Março de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto.....	32
Figura 4.7 – Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice MNDWI ₂₀ , 24 de Fevereiro de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto.....	32
Figura 4.8 – Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice MNDWI ₂₀ , 21 de Março de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto.....	33
Figura 4.9 – Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice ANDWI, 24 de Fevereiro de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto.....	34

Figura 4.10 – Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice ANDWI, 21 de Março de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto.....	34
Figura 4.11 – Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice SWI, 24 de Fevereiro de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto.....	35
Figura 4.12 – Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice SWI, 21 de Março de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto.....	36
Figura 4.13 – Histogramas do índice NDWI ₁₀ (A) 24 de Fevereiro de 2018 e (B) 21 de Março de 2018.....	37
Figura 4.14 – Histogramas do índice NDWI ₂₀ (A) 24 de Fevereiro de 2018 e (B) 21 de Março de 2018.....	38
Figura 4.15 – Histogramas do índice MNDWI ₁₀ (A) 24 de Fevereiro de 2018 e (B) 21 de Março de 2018.....	39
Figura 4.16 – Histogramas do índice MNDWI ₂₀ (A) 24 de Fevereiro de 2018 e (B) 21 de Março de 2018.....	40
Figura 4.17 – Histogramas do índice ANDWI (A) 24 de Fevereiro de 2018 e (B) 21 de Março de 2018.....	41
Figura 4.18 – Histogramas do índice SWI (A) 24 de Fevereiro de 2018 e (B) 21 de Março de 2018.....	42
Figura 4.19 – Valores médios dos diversos índices de água para a área do Pranto e Quinta do Canal (A) 24 de Fevereiro de 2018 e (B) 21 de Março de 2018.....	43

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Caracterização das bandas espectrais e correspondente resolução espacial (Sentinel@2022).....	11
Quadro 2.2 - Desempenho da classificação seguindo os valores do índice de concordância <i>Kappa</i> (adaptado de Landis e Koch, 1977).....	19
Quadro 3.1 - Classes definidas para a fase de classificação da imagem.....	27
Quadro 4.1 - Resultados da Precisão do Utilizador para o dia 24 de Fevereiro de 2018...44	
Quadro 4.2 - Resultados da Precisão do Utilizador para o dia 21 de Março de 2018.....45	
Quadro 4.3 - Resultados do Índice de Concordância <i>Kappa</i> para o dia 24 de Fevereiro de 2018.....46	
Quadro 4.4 - Resultados do Índice de Concordância <i>Kappa</i> para o dia 21 de Março de 2018.....46	

ABREVIATURAS

ANDWI – Augmented Normalized Difference Water Index (Índice de Água por Diferença Normalizada Aumentada)

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AWD – Alternate Wet and Dry flooding irrigation (Rega por alagamento intermitente)

BM – Baixo Mondego

BOA – Bottom of Atmosphere (Base da Atmosfera)

CCRS – *Canada Center for Remote Sensing*

DR – Detecção Remota

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

MNDWI₁₀ – Modified Normalized Difference Water Index (Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado, com resolução de 10 m)

MNDWI₂₀ – Modified Normalized Difference Water Index (Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado, com resolução de 20 m)

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)

NDWI₁₀ – Normalized Difference Water Index (Índice de Água por Diferença Normalizada, com resolução de 10 m)

NDWI₂₀ – Normalized Difference Water Index (Índice de Água por Diferença Normalizada, com resolução de 20 m)

QGIS – Quantum Geographic Information System

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SWI – *Sentinel-2* Water Index (Índice de Água *Sentinel-2*)

TOA – Top of Atmosphere (Topo da Atmosfera)

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo serve como uma breve introdução sobre o que será abordado ao longo desta dissertação. Inicia-se com um breve enquadramento no tema, apresentam-se os objetivos e motivações e, por fim, a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento

A água é um recurso essencial à sobrevivência de todos os seres vivos e como tal deve ser utilizada de uma forma cuidada e equilibrada.

Com o aumento da população mundial, alterações climáticas, poluição, as pressões sobre este recurso finito têm aumentado cada vez mais. As alterações climáticas têm dado origem a modificações no clima da Terra, nomeadamente a situações de seca extrema ou períodos de chuva bastante longos, fenómenos cada vez mais frequentes exigindo uma maior gestão dos recursos hídricos. Existem problemas ao nível da utilização excessiva de água em alguns setores de atividade e da poluição dos cursos de água através da descarga de águas residuais não tratadas bem como de outros resíduos que acabam por afetar a qualidade da água.

O setor da agricultura é um dos setores que mais utiliza os recursos hídricos. Deste modo, existe uma crescente preocupação por parte da população em adotar mecanismos de poupança de água aquando da rega das culturas, aumentando a eficiência das regas e procurando reduzir os impactos sobre o ambiente. Resta salientar um dos maiores problemas, as questões económicas.

A monitorização de massas de água desempenha um papel chave na avaliação dos recursos hídricos presentes e futuros (Arvor et al., 2018) bem como no aproveitamento agrícola do solo (Soleimani et al., 2018).

O arroz é um cereal que faz parte da alimentação da população global, sendo o cereal que mais pessoas alimenta (Yu et al., 2002; Normile, 2008). Como é de conhecimento geral,

os problemas na área da segurança alimentar encontram-se ainda em muitas áreas do mundo pelo que é necessário a utilização de ferramentas que possibilitem uma melhor gestão da água bem como das culturas, nomeadamente do arroz (de Lima et al., 2021).

Sabe-se que o cultivo de arroz está entre os maiores utilizadores de água doce do mundo, daí a preocupação em alcançar modos mais eficientes na gestão dos recursos de água nestas áreas de produção agrícola. Em práticas tradicionais, os arrozais são inundados antes da sementeira e o processo de inundação apenas é interrompido duas a três semanas antes da colheita (de Lima et al., 2021).

É neste ponto que as ferramentas de deteção remota (DR) são uma peça chave porque permitem avaliar a distribuição das massas de água que se encontram na superfície terrestre (Bie et al., 2020). Os dados de diferentes plataformas orbitais de deteção remota estão, cada vez mais, a ser utilizados na área da agricultura, nomeadamente os provenientes do satélite *Sentinel-2*, devido à sua resolução (Halder, 2022).

As imagens obtidas através do satélite podem ser usadas para uma ampla variedade de objetivos, nomeadamente para avaliar as necessidades de rega, avaliar as propriedades físicas dos solos, estimar a produção de culturas, classificar parcelas do terreno, avaliar se o terreno é adequado à cultura em questão e para monitorizar outro tipo de atividades agrícolas. Tipicamente, os dados espectrais recolhidos são usados para calcular diversos tipos de indicadores. Por exemplo, recorrendo a índices de água é possível verificar qual a extensão da inundação em terrenos agrícolas (Fonseca e Fernandes, 2004).

1.2 Objetivos e Motivações

O trabalho que se vai apresentar teve como principal finalidade avaliar a extensão da inundação em terrenos agrícolas na região do Baixo Mondego, mais especificamente nos campos de arroz situados nas áreas agrícolas da Quinta do Canal e do Pranto. Para isso, através dos dados obtidos do satélite *Sentinel-2*, ferramenta de deteção remota, e do programa QGIS (Quantum Geographic Information System) calcularam-se determinados índices de água, os quais permitem avaliar a presença de massas de água, ao nível da superfície do solo (por exemplo, em situações de alagamento de solos). Neste estudo foram analisadas imagens captadas em duas datas específicas, o dia 24 de Fevereiro de 2018 e o dia 21 de Março de 2018, referentes a situações de pré e pós-cheia, respetivamente. O principal objetivo do trabalho consistiu na avaliação de como as ferramentas de deteção remota, neste caso, dados do satélite multiespectral *Sentinel-2*, podem ser utilizadas para analisar a dimensão da inundação em campos agrícolas, como

por exemplo campos de cultivo de arroz, e na identificação do índice de água que melhor se aplica na região do Baixo Mondego, nas condições do estudo. Em aplicações em áreas de cultivo de arroz, este tipo de ferramentas pode auxiliar na avaliação das condições do terreno antes da época de cultivo, visando contribuir para uma melhor predição das condições de cultivo.

1.3 Estrutura Geral da Dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos principais, sendo que no último se encontram as referências bibliográficas.

No presente capítulo, capítulo 1, é apresentado o enquadramento do trabalho, os objetivos e motivações do mesmo e a estrutura global do documento.

O capítulo 2 apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre o uso de deteção remota na monitorização hidrológica. Neste são introduzidos os principais conceitos, o satélite multiespectral *Sentinel-2*, alguns sensores remotos e os índices de água espectrais que são aplicados neste trabalho.

No capítulo 3 é apresentada a caracterização geral das áreas de estudo, na Quinta do Canal, no vale central do rio Mondego, e no vale do rio Pranto; efetua-se a localização dessas áreas no mapa, descreve-se o clima existente e a metodologia aplicada para a realização do trabalho.

No capítulo 4 apresentam-se os resultados obtidos para os dias 24 de Fevereiro de 2018 e 21 de Março de 2018 para as áreas de estudo da Quinta do Canal e do Pranto. Começam-se por apresentar as imagens obtidas com o programa QGIS para os diferentes índices de água, classificadas automaticamente e tendo em conta as três classes definidas. Em seguida são apresentados os correspondentes histogramas para os dias em análise e áreas da Quinta do Canal e do Pranto. De entre os parâmetros estatísticos mostram-se os valores médios obtidos e, para terminar, são apresentados os resultados da apreciação da precisão do utilizador e do índice de concordância *Kappa*. É efetuada uma análise de qual o índice de água que melhor se comporta na zona de estudo.

O capítulo 5 é dedicado à apresentação das principais conclusões e considerações finais.

No último capítulo, capítulo 6, são apresentadas as referências bibliográficas que serviram de base à realização deste trabalho.

Nos Anexos são apresentadas tabelas que permitem a obtenção de alguns resultados presentes no capítulo 4.

2 DETEÇÃO REMOTA NA MONITORIZAÇÃO HIDROLÓGICA

No decurso deste capítulo são efetuadas descrições dos conceitos chave que se enquadram na metodologia utilizada na presente dissertação, correspondendo assim a uma revisão bibliográfica. Os principais tópicos abordados são a deteção remota e a obtenção e uso de índices espectrais, dando-se especial destaque a índices de água. Começa-se por abordar os conceitos de deteção remota onde em primeiro se fala acerca da radiação eletromagnética e do espectro eletromagnético, depois aborda-se a radiância e refletância espectral e por fim, os sensores remotos, nomeadamente, o satélite multiespectral *Sentinel-2* do programa “Copernicus”. Segue-se uma breve referência à monitorização hidrológica para melhor enquadrar os índices de água estudados nesta dissertação. Este capítulo termina com temáticas de classificação e validação de imagem, destacando-se o índice de concordância *Kappa* que é um dos métodos utilizados para a validação das imagens.

2.1 Deteção Remota

As primeiras informações datadas de deteção remota apareceram nos anos 1858/1859 na cidade de Paris, mas foi durante a Guerra Fria e as duas Guerras Mundiais que se observaram os maiores progressos neste ramo. A deteção remota foi uma prática que se espalhou pela sociedade depois de terminarem as guerras, crescendo, deste modo, as suas aplicações. A agricultura tem sido um ramo onde a deteção remota tem vindo a ser aplicada pelo facto de permitir obter informações que ajudam na gestão dos campos agrícolas, atendendo às suas necessidades (Venâncio, 2016).

A deteção remota define-se como sendo o conjunto de técnicas que permitem alcançar informação acerca de um objeto, recorrendo à análise da informação recolhida por um instrumento de medição, o qual não se encontra em contacto direto com esse objeto (Figura 2.1). Utiliza-se, deste modo, um sensor remoto. A deteção remota permite a medição da energia que tem origem na superfície terrestre, sendo uma ciência que potencia a observação da Terra nas suas várias escalas espaciais (local a global) e temporais (desde inferior ao dia a anual), seguindo os princípios físicos da radiação eletromagnética (Lira et al, 2016; Sousa e Silva, 2011).

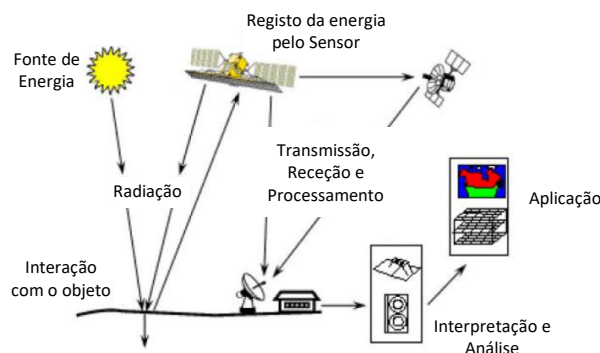


Figura 2.1 – Processo de detecção remota (adaptado de Sousa e Silva, 2011)

Os sistemas de detecção remota ativos e passivos correspondem aos dois grupos principais em que os sistemas de detecção remota podem ser divididos. Os sistemas de detecção remota ativos utilizam a própria luz/fonte de emissão enquanto os sistemas de detecção remota passivos se encontram dependentes da luz que é refletida. A principal vantagem dos sistemas de detecção remota ativos em relação aos sistemas de detecção remota passivos é o facto de funcionarem a qualquer hora do dia em virtude de não precisarem de luz solar (utilizam a sua própria luz) e serem relativamente independentes da dispersão atmosférica (Fonseca e Fernandes, 2004; EOS@2022; Lira et al., 2016).

Em suma, as técnicas relacionadas com a detecção remota baseiam-se no registo, análise e interpretação de medições da radiação eletromagnética, a qual pode ter sofrido um fenómeno de emissão ou reflexão a partir de um objeto alvo. Essa informação será registada num sensor remoto e posteriormente apresentada no espectro eletromagnético, nos correspondentes intervalos através do seu comprimento de onda (Mather e Koch, 2011).

Assim, para o funcionamento de um sistema de detecção remota é necessário um objeto de estudo, radiação eletromagnética e um sensor.

2.1.1 Radiação Eletromagnética e Espectro Eletromagnético

A radiação eletromagnética propaga-se no espaço, sob a forma de ondas, através de duas componentes perpendiculares entre si, o campo elétrico e o campo magnético. A fonte primordial da radiação eletromagnética é o Sol, sendo que a maioria dos sensores a utiliza para obter mais informações acerca dos objetos que se encontram à superfície terrestre (Lira et al., 2016).

O comprimento de onda assim como a frequência correspondem a propriedades da radiação eletromagnética, representadas no espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético, Figura 2.2, encontra-se dividido em subintervalos, as bandas espectrais, essenciais no processo de classificação da radiação eletromagnética (Quartaroli et al., 2014).

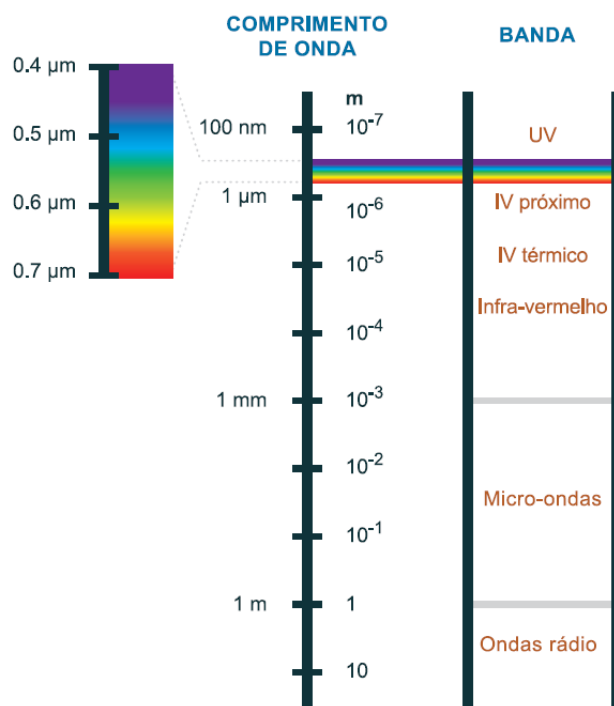


Figura 2.2 – Espectro eletromagnético e as bandas usadas pelos diferentes sensores na deteção remota (adaptado de Robinson, 2010)

O espectro eletromagnético varia desde os comprimentos de onda mais curtos (raios gama e raios-x) até aos comprimentos de onda mais longos (microondas e ondas de rádio), sendo que existem alguns intervalos propícios para a deteção remota, regiões do ultravioleta e do infravermelho (CCRC, 2015).

A região do visível é a única região de comprimentos de onda que os olhos humanos conseguem observar e possui comprimentos de onda situados entre 0,4 e 0,7 μm. É nesta região do espectro que se encontram os comprimentos de onda verde, vermelho e azul. A região dos infravermelhos encontra-se situada entre os comprimentos de onda de 0,7 e 1000 μm (CCRS, 2015).

2.1.2 Radiância e Refletância Espectral

A radiação que atinge a superfície da Terra pode ser absorvida (retida pelo objeto), refletida (radiação sofre uma mudança de direção ao atingir o objeto) ou transmitida (passagem através do objeto). A radiância corresponde a uma medida de radiometria utilizada para contabilizar a quantidade de radiação eletromagnética que é refletida ou emitida por um objeto, numa determinada área (Catalão, 2013). Este conceito é essencial em deteção remota uma vez que mostra como o sensor regista a densidade de fluxo radiante emitida, parâmetro que inclui a radiação que é refletida, transmitida e absorvida pela superfície. Em deteção remota interessa saber qual a energia que é refletida pelos objetos (Lira et al., 2016).

A medição da energia refletida por determinados objetos na superfície terrestre em função dos seus comprimentos de onda, permite a elaboração de um gráfico com as curvas de refletância espectral, Figura 2.3. Os dados obtidos por deteção remota possuem as características espectrais dos mais diversos constituintes da superfície da Terra, incluindo o solo seco, vegetação e água (Fernandes, 2017).

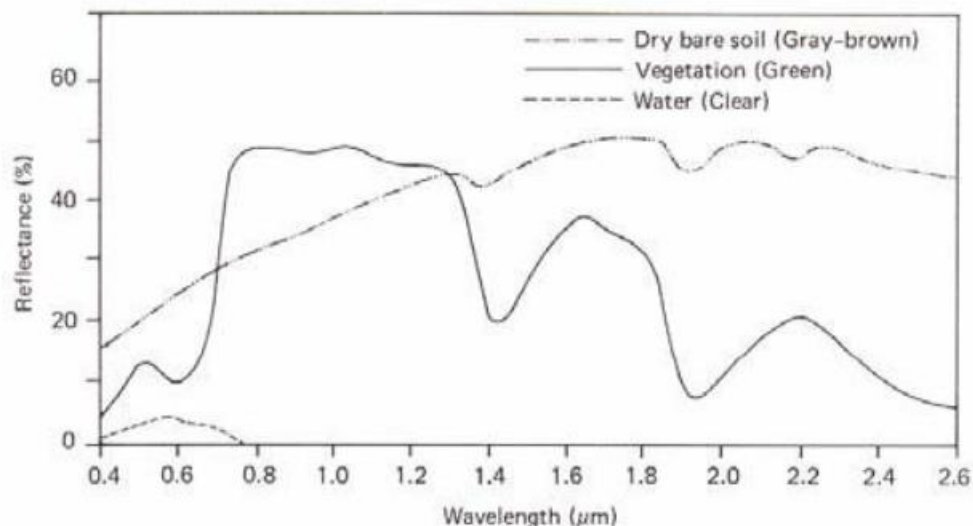


Figura 2.3 – Curvas de refletância do solo seco (nú), vegetação e água (adaptado de Fernandes, 2017)

A água e a vegetação conseguem refletir de uma forma bastante semelhante nos comprimentos de onda visíveis, mas na região do infravermelho isso já não se verifica. As respostas do espectro são muito variáveis para o mesmo objeto, tempo e localização.

Para compreender as relações entre a radiação eletromagnética e a superfície é essencial conhecer todos os fatores que podem alterar a resposta espectral (CCRS, 2015).

2.1.3 Sensores Remotos

A Terra pode ser observada através de sensores remotos permitindo a interpretação e o conhecimento do que acontece à sua superfície. A observação da Terra utilizando sensores remotos possibilita a análise daquilo que acontece à superfície terrestre através da medição da radiação eletromagnética que é emitida ou refletida. A análise do planeta Terra utilizando sensores remotos é um ramo da deteção remota (Lira et al., 2016).

Estes sensores de observação da Terra, com base nas características que registam a radiação eletromagnética, podem apresentar vários tipos de resolução. Atualmente existem mais de 8000 satélites de observação da Terra, em órbita (Lira et al., 2016).

Com o objetivo de adquirir mais informação acerca dos sistemas que fazem parte do planeta Terra (sistemas físicos, químicos, biológicos e geológicos) foram desenvolvidos os programas de observação da Terra, que não são mais que missões delineadas pelos países. Nas missões espaciais existem diversos sensores presentes em satélites com a finalidade de registar a informação radiométrica da superfície, transmitindo essa informação a sensores que a irão processar e posteriormente fornecer como dados (Lira et al., 2016).

O satélite *LandSat Multispectral Scanner System*, lançado em 1972, faz parte de um programa da NASA e da USGS que proporcionou imagens com resolução espacial de 60 metros por pixel recorrendo apenas a 3 bandas espectrais, introduzindo informação que levou ao avanço da deteção remota. Este satélite tinha a capacidade de registar múltiplas bandas espectrais em intervalos de 18 dias. Atualmente encontram-se em funcionamento os satélites Landsat 7, 8 e 9. Em 1999, foi desenvolvido o satélite “Terra”, primeiro sistema de observação da Terra, cuja finalidade era obter dados da atmosfera, terra e oceanos e observar quais as suas interações com a radiação proveniente do Sol. Alguns anos depois, em 2002, foi lançado o satélite “Aqua” que tinha como objetivo ajudar nos estudos mais avançados do ciclo da água. As principais desvantagens da utilização generalizada dos sensores remotos era o custo elevado das imagens obtidas e o custo do *software* de processamento, realidade que foi alterada com a disponibilização aberta e gratuita de dados através do programa *Landsat* em 1972 (Fernandes, 2017).

Mais recentemente foi desenvolvido o programa “Copernicus” o qual resulta de uma parceria entre a Comissão Europeia e a Agência Espacial Europeia. A informação obtida é disponibilizada de forma gratuita e livre. Deste programa fazem parte 6 missões “Sentinel”:

Sentinel-1: formada por três satélites (primeiro foi lançado em 2014 e o segundo foi lançado em 2016) que usam sensores RADAR, tendo como principal finalidade monitorizar as zonas geladas, o ambiente marinho, movimentação de terras e cartografia;

Sentinel-2: formada por dois satélites (satélite 2A lançado em 2015 e satélite 2B lançado em 2017) que usam sensores multiespetrais de alta resolução cujo objetivo é, fundamentalmente, a monitorização da vegetação, água, solo e das zonas costeiras;

Sentinel-3: formada por dois satélites com o intuito de monitorizar a superfície, a cor, bem como a temperatura dos oceanos e dos continentes;

Sentinel-4: satélite utilizado para monitorização atmosférica;

Sentinel-5: satélite com o objetivo de monitorizar a atmosfera através de uma órbita polar;

Sentinel-6: satélite cuja finalidade é medir a altura do nível do mar.

A missão *Sentinel-2* tem a capacidade de transmitir dados correspondentes à monitorização terrestre, gestão das emergências e segurança. Os produtos obtidos são elementares, o tamanho não varia, e fazem parte de uma órbita exclusiva que possui as várias bandas espectrais. As imagens obtidas do *Sentinel-2* encontram-se divididas em vários níveis: Nível 2A (BOA; base da atmosfera) e nível 1C (TOA; topo da atmosfera). O sensor multiespectral que se encontra instalado no *Sentinel-2* obtém e reúne informações na forma de doze bandas (Lira et al., 2016).

As bandas espectrais encontram-se descritas no Quadro 2.1, onde é possível analisar a resolução espacial, o nome da banda e o seu comprimento de onda.

Quadro 2.1 – Bandas espectrais do satélite Sentinel-2: identificação das bandas e correspondente resolução espacial e espectro da banda (Sentinel@2022)

	Resolução Espacial (m)	Número da Banda	Nome da Banda	Comprimento médio da banda (nm)
<i>Sentinel-2</i>	10	B02	Blue (Azul)	490
		B03	Green (Verde)	560
		B04	Red (Vermelho)	665
		B08	NIR (Infravermelho próximo)	842
	20	B05	Red Edge 1	705
		B06	Red Edge 2	740
		B07	Red Edge 3	783
		B08A	Red Edge 4	865
		B11	SWIR 1	1610
		B12	SWIR 2	2190
	60	B9	SWIR	940
		B10	SWIR	1375

Na região do visível possui quatro bandas (azul, verde, vermelho e “vermelho limítrofe”), na região do infravermelho próximo uma banda e, finalmente, na região do infravermelho de ondas curtas (SWIR), quatro bandas. Sabe-se ainda que as bandas espectrais 2, 3, 4 e 8 possuem uma resolução espacial de 10 m e que as bandas espectrais 5, 6, 7, 8A, 11 e 12 possuem uma resolução espacial de 20 m, como pode facilmente ser analisado no Quadro 2.1. A banda *Red Edge* corresponde ao “Vermelho limítrofe”, ou seja, é localizada entre as bandas Vermelho e Infravermelho. As bandas espectrais com a resolução espacial de 60 m não foram utilizadas.

As imagens que são adquiridas pelo *Sentinel-2* complementam as reunidas pelo *Landsat* 7 e 8, Figura 2.4.

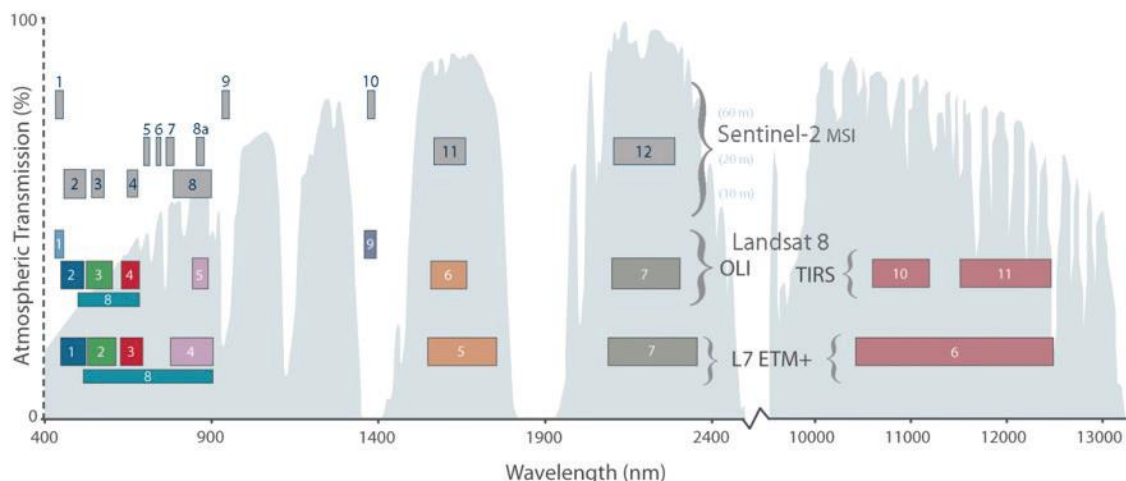


Figura 2.4 – Comparação entre as imagens obtidas pelo *Landsat 7 e 8* e pelo *Sentinel-2* (adaptado de Lira et al., 2016)

As limitações nos custos, como já foi referido anteriormente, foram ultrapassadas através da utilização de *software* de deteção remota aberto. O QGIS é um *software* de sistema de informação geográfica (SIG) que vem cada vez mais a ser utilizado, por ser gratuito, mas igualmente, em virtude de ser um programa de código aberto que permite o desenvolvimento de extensões (por exemplo, Semi-Automatic Classification Plugin).

2.2 Monitorização Hidrológica

A água cobre cerca de três quartos da superfície terrestre, sendo um recurso essencial à sobrevivência de todos os seres humanos. Como meio para satisfazer as suas necessidades, o ser humano utiliza a água para diversas finalidades, nomeadamente para rega de culturas agrícolas. O setor da agricultura utiliza cerca de 70% da água do Planeta Terra (p.e., Rodrigues, 2017). Deste modo, a água, sendo um recurso finito, precisa de ser utilizada de uma forma consciente e ponderada, devendo ser gerida adequadamente por todos nós (Mello e Olivo, 2016).

A monitorização é um meio para a avaliação dos sistemas hídricos, da eficácia das medidas de planeamento e de gestão, assim como para a disponibilização direta da informação recolhida ao cidadão e a outras entidades, como forma de gestão participada e para a cidadania. Engloba as redes e os instrumentos de medição, as etapas necessárias à recolha e validação, os sistemas de bases de dados para o armazenamento de informação e os modelos de simulação para ajuda na gestão e planeamento dos recursos hídricos (Agência Portuguesa do Ambiente, 2021).

Assim, para gerir de forma adequada os recursos hídricos e para que se possa perceber, num dado momento e/ou ao longo do tempo, qual a dimensão da área de terrenos inundados e, no geral, de massas de água, utilizam-se ferramentas de deteção remota que permitem calcular índices de água. Esses índices de água podem também auxiliar na previsão das consequências de inundações dos terrenos por causas naturais. Por exemplo, em áreas agrícolas e relativamente a campanhas de cultivo, esses índices podem fornecer informação pertinente.

2.3 Índices de Água

As tecnologias de deteção remota providenciam formas eficazes de observar a distribuição das diversas massas de água que se encontram à superfície terrestre (Feyisa et al, 2014; Huang et al, 2018; Haibo et al, 2011; Palmer et al., 2015). A deteção remota permite identificar massas de água devido à refletividade mais baixa da água comparativamente com outros objetos terrestres (Huang et al, 2018). Através das características das massas de água têm sido desenvolvidos vários métodos para a identificação de massas de água tendo como base as imagens de deteção remota (Bie et al, 2020).

Um dos métodos para a identificação de massas de água baseia-se no cálculo de índices de água, obtidos através de duas ou mais bandas. Este método permite distinguir as zonas com água e as zonas sem água (Bie et al, 2020).

Vários índices foram desenvolvidos, apresentando-se alguns em seguida. Os valores dos índices de água espetais provenientes das bandas do *Sentinel-2* (Quadro 2.1) são calculados com o auxílio do *software* QGIS.

2.3.1 Índice de Água por Diferença Normalizada

O índice NDWI, Normalized Difference Water Index, foi desenvolvido por McFeeters (1996), tendo como base o índice NDVI, Normalized Difference Vegetation Index proposto por Rouse et al. (1973). A sua criação teve como principal finalidade a distinção entre as zonas preenchidas com água das zonas não cobertas por água, a distinção entre diferentes profundidades de água em zonas inundadas, a estimativa da extensão das massas de água presentes na face terrestre e para a monitorização de secas (Ceccato et al., 2002; Gu et al., 2007). Este processo permite identificar massas de água notando a sua capacidade para absorver a radiação próxima do infravermelho (NIR) e, deste modo,

deixar que a luz visível na região do verde as atravesse (McFeeters, 1996). Este índice varia entre -1 e 1. Quando o índice de água NDWI possui valores acima de zero conclui-se que estamos na presença de objetos com água, enquanto quando se encontra abaixo de zero, não existe água nos corpos em estudo (p.e., de Lima et al., 2021).

O índice $NDWI_{10}$ utiliza pixéis com um tamanho de 10 m por 10 m enquanto o índice $NDWI_{20}$ recorre a uma resolução espacial de 20 m por 20 m.

As equações que permitem obter os valores de $NDWI_{10}$ e $NDWI_{20}$ são (McFeeters, 1996; GISGeography@2021):

$$NDWI_{10} = \frac{G-NIR}{G+NIR} = \frac{(B3-B8)}{(B3+B8)} \quad (1)$$

$$NDWI_{20} = \frac{NIR-SWIR}{NIR+SWIR} = \frac{(B8A-B11)}{(B8A+B11)} \quad (2)$$

em que: G – Visible Green (Verde visível; B3); NIR – Near Infrared (Infravermelho Próximo; B8 e B8A); SWIR – Short Wave Infrared (Infravermelho de Ondas Curtas; B11).

O índice de água, NDWI, em virtude de se basear nas ondas curtas na banda infravermelha (SWIR) é bastante sensível a mudanças na quantidade de água presente numa dada área. Este índice permite ainda avaliar a quantidade de água presente na vegetação que interage com a radiação solar incidente (Serrano et al., 2019).

2.3.2 Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado

O índice de água MNDWI, Modified Normalized Difference Water Index, foi proposto por Xu (2006) e tem como base o índice NDWI, Normalized Difference Water Index, sendo deste modo um índice mais completo. A banda do infravermelho próximo (NIR) foi substituída pelas ondas curtas na banda do infravermelho (SWIR) uma vez que a banda SWIR é menos sensível às concentrações de sedimentos bem como a outros componentes que possam estar dentro da água (Huang et al., 2018). Ou seja, este índice possui baixa aptidão para detetar massas de água com grandes concentrações de sedimentos (Ksenak, 2022). Este índice permite distinguir com maior fiabilidade os terrenos cobertos com água e os que não se encontram cobertos por água (Bie et al., 2020; Serban et al., 2022). Os valores obtidos pelo índice variam entre -1 e 1.

O índice $MNDWI_{10}$ utiliza pixéis com um tamanho de 10 m por 10 m enquanto o índice $MNDWI_{20}$ utiliza uma resolução espacial de 20 m por 20 m.

As fórmulas que permitem determinar os valores de $MNDWI_{10}$ e de $MNDWI_{20}$ são (Xu, 2006):

$$MNDWI_{10} = \frac{G-SWIR_1}{G+SWIR_1} = \frac{(B3-B11R)}{(B3+B11R)} \quad (3)$$

$$MNDWI_{20} = \frac{G-SWIR_1}{G+SWIR_1} = \frac{(B3R-B11)}{(B3R+B11)} \quad (4)$$

em que: G – Visible Green (Verde visível; B3 e B3R); SWIR – Short Wave Infrared (Infravermelho de Ondas Curtas; B11 e B11R).

2.3.3 Índice de Água por Diferença Normalizada Aumentada

O índice ANDWI, Augmented Normalized Difference Water Index, foi desenvolvido com o objetivo de resolver algumas das limitações dos índices de água já apresentados. Este índice, considerado mais robusto em comparação com os anteriores, utiliza uma faixa espectral expandida de imagens para mapear com maior precisão os corpos de água que se encontram sujeitos a diversas condições atmosféricas e terrestres. É um índice que permite classificar as massas de água cobertas por tempestades de poeiras (Rad et al., 2021). O índice varia desde valores situados entre -1 e 1.

A fórmula que permite calcular este índice apresenta-se como:

$$ANDWI = \frac{Blue+Green+Red-NIR-SWIR_1-SWIR_2}{Blue+Green+Red+NIR+SWIR_1+SWIR_2} = \frac{(B2+B3+B4-B8-B11R-B12R)}{(B2+B3+B4+B8+B11R+B12R)} \quad (5)$$

em que: Blue (Azul; B2); Green (Verde; B3); Red (Vermelho; B4) NIR – Near Infrared (Infravermelho Próximo; B8); SWIR – Short Wave Infrared (Infravermelho de Ondas Curtas; B11R e B2R).

A radiação próxima do infravermelho (NIR) possui maior refletância em águas turvas e hidrotermais, contudo é a introdução das bandas azul e vermelha no índice ANDWI que leva a uma maior precisão deste índice. O índice ANDWI ao apresentar os corpos como meios que têm uma elevada refletância nas bandas vermelha, verde e azul comparativamente com a radiação próxima do infravermelho (NIR) e ondas curtas na banda infravermelha (SWIR), elimina a elevada refletância que existe na radiação próxima do infravermelho (NIR) nas águas lamacentas, contrariamente ao índice NDWI. O índice ANDWI, ao possuir uma maior quantidade de bandas espectrais

comparativamente com o índice de água MNDWI, é mais flexível na separação de superfícies de vegetação escura e superfícies de água, informação útil para a distinção de culturas tardias em terrenos agrícolas. Devido ao facto de algumas plantas aquáticas flutuarem à superfície da água, a observação das massas de água existentes torna-se mais difícil (Rad et al., 2021).

2.3.4 Índice de Água *Sentinel-2*

Atendendo à resolução e às características das bandas espectrais disponíveis foi desenvolvido o índice SWI, *Sentinel-2* Water Index, o qual pode ser obtido para uma resolução espacial de 20 m (Jiang et al., 2020). O índice de água SWI assume valores entre -1 e 1.

A fórmula que permite obter este índice de água é:

$$SWI = \frac{\rho_{VRE} - \rho_{SWIR}}{\rho_{VRE} + \rho_{SWIR}} = \frac{(B5 - B11)}{(B5 + B11)} \quad (6)$$

em que: ρ_{VRE} corresponde banda do vermelho limítrofe (B5); ρ_{SWIR} corresponde à banda do infravermelho de ondas curtas (B11).

2.4 Classificação e Validação da Imagem

Após o cálculo dos índices de água recorrendo ao *software* QGIS é necessário proceder-se à classificação da imagem para, em seguida, efetuar a validação dos dados obtidos utilizando as metodologias adequadas.

2.4.1 Classificação da Imagem

Os procedimentos que permitem a classificação da imagem identificam grupos homogéneos de pixéis que pretendem reproduzir a cobertura da superfície terrestre. Através da informação espectral representada pelos números digitais de uma ou mais bandas, os algoritmos irão classificar cada um dos pixéis, onde, no final, se pretendem definir classes que caracterizem todos os pixéis presentes na imagem. A imagem classificada será composta por um conjunto de pixéis os quais fazem parte das classes definidas anteriormente, representando um mapa temático da imagem original (CCRS, 2015).

Os métodos de classificação podem ser divididos em métodos supervisionados e métodos não supervisionados. Nos métodos supervisionados o utilizador define as classes espectrais, através das quais são criadas áreas, pontos, sobre a imagem em que a informação numérica é usada para estimar os parâmetros dos algoritmos classificativos. Os pixéis da imagem original são comparados com aqueles pontos e posteriormente atribuídos à classe que mais se identifica com os pixéis. Para que os métodos supervisionados possam ser aplicados têm de ser definidas as classes espectrais, selecionados os pixéis que representam os dados, utilizar esses dados para estimar os parâmetros do algoritmo de classificação para que em seguida se atribua a cada pixel uma das classes previamente definidas e por último seja avaliada a precisão da classificação através de tabelas de contingência (CCRS, 2015). Em contrapartida, nos métodos não supervisionados os pixéis são atribuídos às classes espectrais, mas o utilizador não tem conhecimentos acerca delas (Richards e Jia, 2006).

2.4.2 Validação da Imagem

Para avaliar se a classificação da imagem foi bem efetuada é preciso que em seguida se valide a classificação com base nos dados da imagem real. Os indicadores que podem ser utilizados para a validação da imagem são: matriz de confusão (ou tabela de contingência), a precisão do produtor, a precisão do utilizador, a precisão global e o índice de concordância *Kappa* (Congalton e Green, 2009).

A matriz de confusão é uma matriz quadrada que compara as informações de referência (i.e. da imagem real) com as informações obtidas da classificação. Nesta matriz, nas colunas estão os dados de referência e nas linhas os dados obtidos no processo de classificação. A matriz de confusão permite avaliar a exatidão da classificação não considerando na avaliação final o peso de cada uma das exatidões individuais de cada classe. Pode ser usada ao nível de outras medidas de precisão de classificação como a precisão do produtor, precisão do utilizador e precisão global (Congalton e Green, 2009).

A precisão do produtor corresponde ao conjunto de observações que fazem parte de uma dada classe e que foram corretamente classificadas (Congalton e Green, 2009).

A precisão do utilizador é definida como sendo o conjunto de observações pertencentes a uma dada classe e que pertencem efetivamente a essa mesma classe, ou seja, os dados correta e incorretamente atribuídos (Congalton e Green, 2009).

A precisão global corresponde ao quociente entre o somatório dos pixéis bem classificados e o número total de pixéis classificados (Congalton e Green, 2009).

O índice de concordância *Kappa* foi desenvolvido por Cohen (1960) e tem como objetivo fornecer uma base para comparar os dados classificados e os de referência e verificar se os mesmos se encontram em concordância, acabando por ser uma medida de avaliação de exatidão mais rigorosa em virtude de ter em conta toda a informação presente na matriz de confusão. A equação seguinte permite o seu cálculo (Cohen, 1960):

$$K = \frac{k_1 - k_2}{1 - k_2} \quad (7)$$

Em que: k_1 representa a proporção de dados observados concordantes; k_2 corresponde à proporção de dados esperados concordantes (Congalton e Green, 2009).

A partir da matriz de confusão, esquematizada na Figura 2.5, facilmente se observa como é que os parâmetros k_1 e k_2 da equação (7) são calculados.

		Índice de Água			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	a	b	c	D
	2	d	e	f	E
	3	g	h	i	F
	Total	A	B	C	T

Figura 2.5 – Esquema da Tabela de Confusão

O valor de A corresponde à soma de a, d e g, do mesmo modo que, o valor de D corresponde à soma de a, b e c. A letra T corresponde ao somatório das linhas que tem de ser igual ao somatório das colunas da tabela.

O valor de k_1 é calculado aplicando a equação (8) e o valor de k_2 é obtido aplicando a equação (9).

$$k_1 = \frac{a+e+i}{T} \quad (8)$$

$$k_2 = \left(\frac{A}{T} \times \frac{D}{T}\right) + \left(\frac{B}{T} \times \frac{E}{T}\right) + \left(\frac{C}{T} \times \frac{F}{T}\right) \quad (9)$$

No ano de 1977, Landis e Koch definiram valores para analisar a qualidade da classificação adquirida olhando para os valores do índice de concordância *Kappa*. O desempenho da classificação proposto por Landis e Koch (1977) varia desde muito fraco a muito bom, como se pode observar no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Desempenho da classificação segundo os valores do índice de concordância *Kappa* (adaptado de Landis e Koch, 1977)

Índice de concordância <i>Kappa</i>	Desempenho da Classificação
< 0	Muito Fraco
0 – 0,20	Fraco
0,21 – 0,40	Razoável
0,41 – 0,60	Moderado
0,61 – 0,80	Bom
0,81 – 1,00	Muito Bom

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Ao longo deste capítulo começa-se por fazer um breve enquadramento do cultivo de arroz na região do Baixo Mondego, descreve-se a área de estudo, em seguida falam-se das condições meteorológicas nesta região e termina-se com a apresentação da metodologia que permitirá, no capítulo seguinte, apresentar resultados da aplicação da metodologia aos dados disponíveis. A metodologia consiste na aplicação de ferramentas de deteção remota para calcular índices de água com recurso ao *software* QGIS, para que, por fim, se possa avaliar a extensão de inundações observadas em campos de arroz do Baixo Mondego e contribuir para a análise de eventuais consequências dessas inundações no cultivo de arroz nesse ano, em cada uma das áreas de estudo.

3.1 Cultivo de Arroz no Baixo Mondego

O arroz é o segundo cereal mais cultivado mundialmente (Walter et al., 2008). Em Portugal, o cultivo de arroz possui elevado potencial económico e social especialmente nos Vales do Mondego, Tejo e Sado. Este cereal é regado por submersão contínua (Pereira, 1989; Normile, 2008). A cultura do arroz, orizicultura, é praticada nos campos do Baixo Mondego desde tempos anteriores à segunda metade do século XVII, tendo sido introduzida pelos árabes na Península Ibérica (Neto, 1997).

A Quinta da Forja, pertencente a um proprietário que tinha o maior número de propriedades nos campos do Baixo Mondego, serviu como quinta experimental para o cultivo de arroz, sendo que no ano de 1760 já existia um elevado número de pessoas a pedir arroz nesse campo. Em 1971, foi contruído um moinho que tinha a finalidade de descascar o arroz produzido. Em 1804, o professor Avelar Brotero salientou que os terrenos pantanosos de Montemor-o-Velho correspondiam aos mais antigos no cultivo de arroz, sendo que esta prática apenas começou a tomar maiores proporções em 1856. No concelho de Coimbra, em 1868, apenas existiam sete propriedades de cultivo de arroz, enquanto em Montemor-o-Velho existiam 571 propriedades. No entanto, foi a partir de 1950 que com as obras de regularização do Mondego se verificou um aumento das áreas cultivadas com arroz. Deste modo, o concelho de Montemor-o-Velho possui o maior número de campos de arroz, sendo considerado o “coração” do Baixo Mondego a nível da orizicultura (Vaquinhas, 1991).

No Baixo Mondego, o arroz cultivado é da variedade Ariete, subespécie *Oryza sativa* L. ssp. *japonica*, comercialmente designado por “Arroz Carolino” (Mendia, 1883).

A tradicional rega do arroz é efetuada através de alagamento contínuo, como foi referido anteriormente. A cultura do arroz é sazonal, pelo que, a rega dos campos começa geralmente em maio, época seca, exigindo maiores volumes de água. Na atualidade, desenvolvem-se trabalhos experimentais no âmbito do projeto de investigação MEDWATERICE (www.medwaterice.org) que visam perceber a adequabilidade às condições locais da prática de rega por alagamento intermitente (AWD – Alternate Wet and Dry), com o fundamento de poupar os recursos hídricos disponíveis (Howell, 2001; Gonçalves e de Lima, 2018). Esta prática de rega tem o potencial de poder conduzir a menores volumes de água aplicados em rega, mantendo-se níveis de produção e a qualidade do grão de arroz.

Como meio para a avaliação da quantidade de água presente nos campos de arroz, do estado de desenvolvimento e vigor das culturas, as tecnologias de deteção remota são essenciais.

3.2 Área de Estudo

O distrito de Coimbra, com uma área de 3947 km², é formado por 17 municípios e encontra-se limitado a norte pelos distritos de Aveiro e Viseu, a nordeste pelo distrito da Guarda, a este pelo distrito de Castelo Branco, a sul pelo distrito de Leiria e a oeste pelo Oceano Atlântico. Este distrito encontra-se integrado na Região Centro e pode ser dividido em duas sub-regiões: Baixo Mondego e Pinhal Interior Norte.

A área em estudo é composta pela Quinta do Canal, com uma área de aproximadamente 318 hectares e por uma área localizada na parte de jusante do vale do Pranto, a qual, por questões de simplificação de linguagem, se passará a designar neste trabalho por “Pranto”, a qual possui uma área aproximada de 342 hectares; estas áreas estão sinalizadas na Figura 3.1, as quais fazem parte do município da Figueira da Foz, região do Baixo Mondego, pertencente ao distrito de Coimbra.

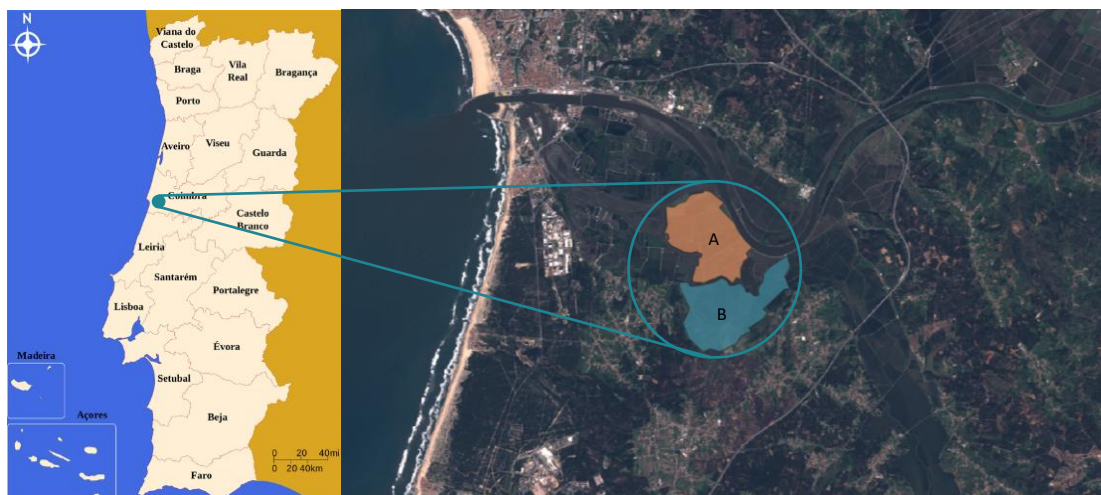


Figura 3.1 – Localização das áreas de estudo Quinta do Canal (A) e Pranto (B)
(GoogleEarth@2022; Wikipedia@2022)

Os solos do Baixo Mondego provêm de aluviões recentes com origem fluvial encontrando-se, frequentemente, assentes sobre substratos com origem marinha. Os solos nesta região possuem uma textura franco-limosa, ou seja, são solos relativamente fáceis de trabalhar para as culturas de arroz. Os solos ocupados, tradicionalmente, por arroz são, em geral, solos com pouca aptidão para a produção de outras culturas (por exemplo, solos com toalha freática próxima da superfície do solo e/ou com problemas de salinidade). Porém, presentemente, o arroz tem-se estendido a outras áreas, face à valorização comercial do produto (de Lima et al., 2021).

A Quinta do Canal e Pranto são duas áreas utilizadas para o cultivo do arroz na região do Baixo Mondego. A Quinta do Canal e o Pranto localizam-se na margem esquerda do Rio Mondego encontrando-se limitadas na direção oeste pelo estuário do Rio Mondego. A Quinta do Canal confina a sul com o rio Pranto. As coordenadas da Quinta do Canal são $40^{\circ}6'47.89''N$ e $8^{\circ}48'10.62''W$ enquanto as coordenadas do Pranto são $40^{\circ}5'45.19''N$ e $8^{\circ}47'57.33''W$; consideraram-se pontos centrais nas áreas de estudo (GoogleEarth@2022).

A água que permite a rega da Quinta do Canal provém do armazenamento providenciado pela Barragem das Fronhas e Barragem da Aguieira. Estes dois reservatórios de água permitem também a regularização do caudal do rio Mondego, reduzindo a probabilidade de ocorrência de inundações. Antes da execução das obras na zona a montante dos campos agrícolas, toda a zona a jusante de Coimbra era frequentemente inundada. A

gestão dos solos ser muito difícil em virtude das regas se processarem em condições difíceis e desiguais ao longo do Baixo Mondego (Santos e Freitas, 2011).

A Quinta do Canal encontra-se protegida por diques e obras de defesa num dos lados permitindo um maior controlo em situações de cheia, comparativamente com a área do Pranto. Na área de estudo do Pranto, a água de rega provém do próprio rio Pranto, um curso de água onde não existem infraestruturas de armazenamento de água ou regularização de caudal, e onde existem obras de proteção contra cheias. A Quinta do Canal possui um sistema de drenagem em que a saída de água para o meio recetor é efetuada através de comportas de maré. A água da Quinta do Canal é drenada para o Pranto, sendo que se o nível de água subir a água não entra na Quinta do Canal devido à existência de uma comporta.

3.3 Condições Meteorológicas

O clima em Portugal Continental é classificado de acordo com a classificação climática de Koppen-Geiger (1936) como um clima mediterrânico do tipo Csa (clima mediterrânico de verão quente) e Csb (clima mediterrânico de verão fresco). O clima mediterrânico de verão quente é aquele em que a média do mês mais frio é superior a -3°C , tem pelo menos um mês com temperatura média acima de 22°C e pelo menos quatro meses com uma média de temperatura superior a 10°C enquanto o clima mediterrânico de verão fresco é aquele em que o mês mais frio tem uma média acima de -3°C , todos os meses possuem temperaturas médias abaixo dos 22°C e possui pelo menos quatro meses com temperatura média acima de 10°C (Koppen e Geiger, 1936).

Na área em estudo, o clima é do tipo Csb, clima mediterrânico de verão fresco (IPMA@2018).

Para o ano de 2018, procedeu-se ao levantamento das condições meteorológicas observadas na área de estudo durante os meses de Fevereiro e Março. Para isso utilizou-se o boletim climatológico de Portugal Continental para os meses em estudo. Estas informações foram retiradas do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA@2018).

Em 2018, Fevereiro foi um mês muito frio e seco enquanto Março foi muito frio e extremamente chuvoso. A temperatura média do ar foi de $8,56^{\circ}\text{C}$ e $10,29^{\circ}\text{C}$ para Fevereiro e Março, respetivamente (IPMA, 2018). Na Figura 3.2 encontra-se

representada a precipitação total para os meses de Fevereiro e Março de 2018, para Portugal Continental.

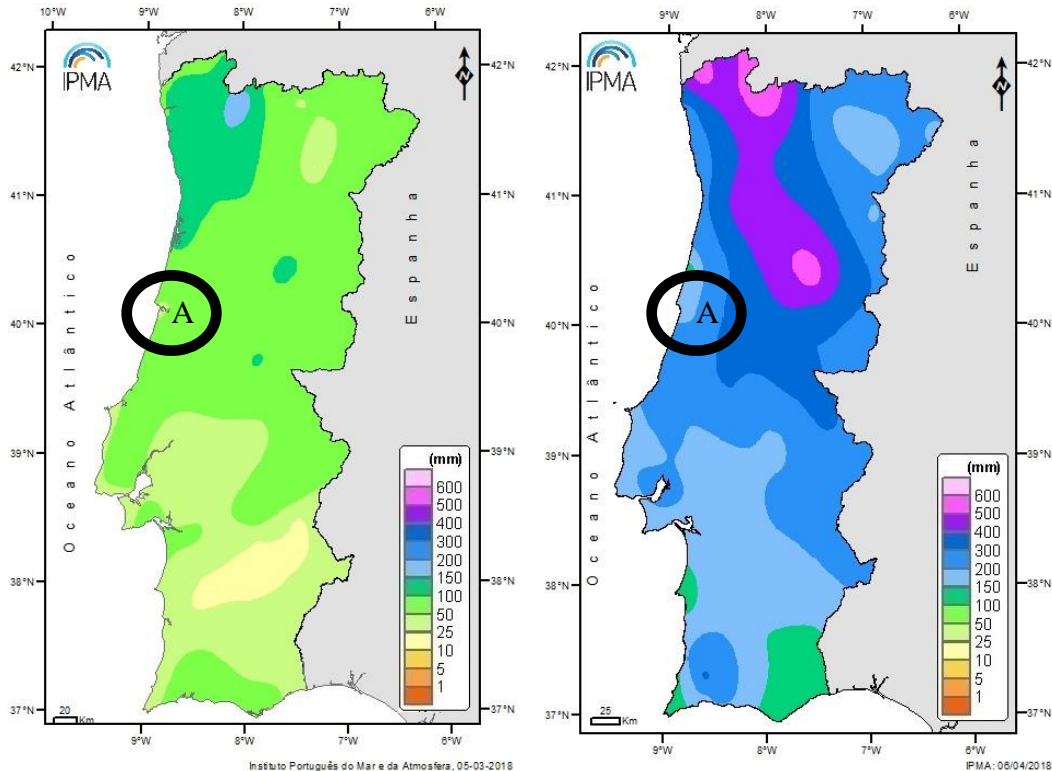


Figura 3.2 – Precipitação Total para os meses de Fevereiro e Março de 2018 em mm (A) Seleção engloba a região da Quinta do Canal e do Pranto (adaptado de IPMA@2018)

Verificou-se que no mês de Fevereiro houve menos precipitação comparativamente com o mês de Março. Na zona do Baixo Mondego a precipitação esteve no intervalo de 25-50 mm em Fevereiro e 150-200 mm em Março. Os valores da precipitação em Março são bastante superiores daí o mês ter sido caracterizado como extremamente chuvoso e em contrapartida o mês de Fevereiro como seco pelo facto dos valores de precipitação serem muito baixos, comparando com os valores normais.

3.4 Metodologia

O esquema na Figura 3.3 tem como objetivo sistematizar a metodologia aplicada para que no final se possa avaliar a dimensão da inundação nos campos de arroz do Baixo Mondego ocorrida na Primavera de 2018.

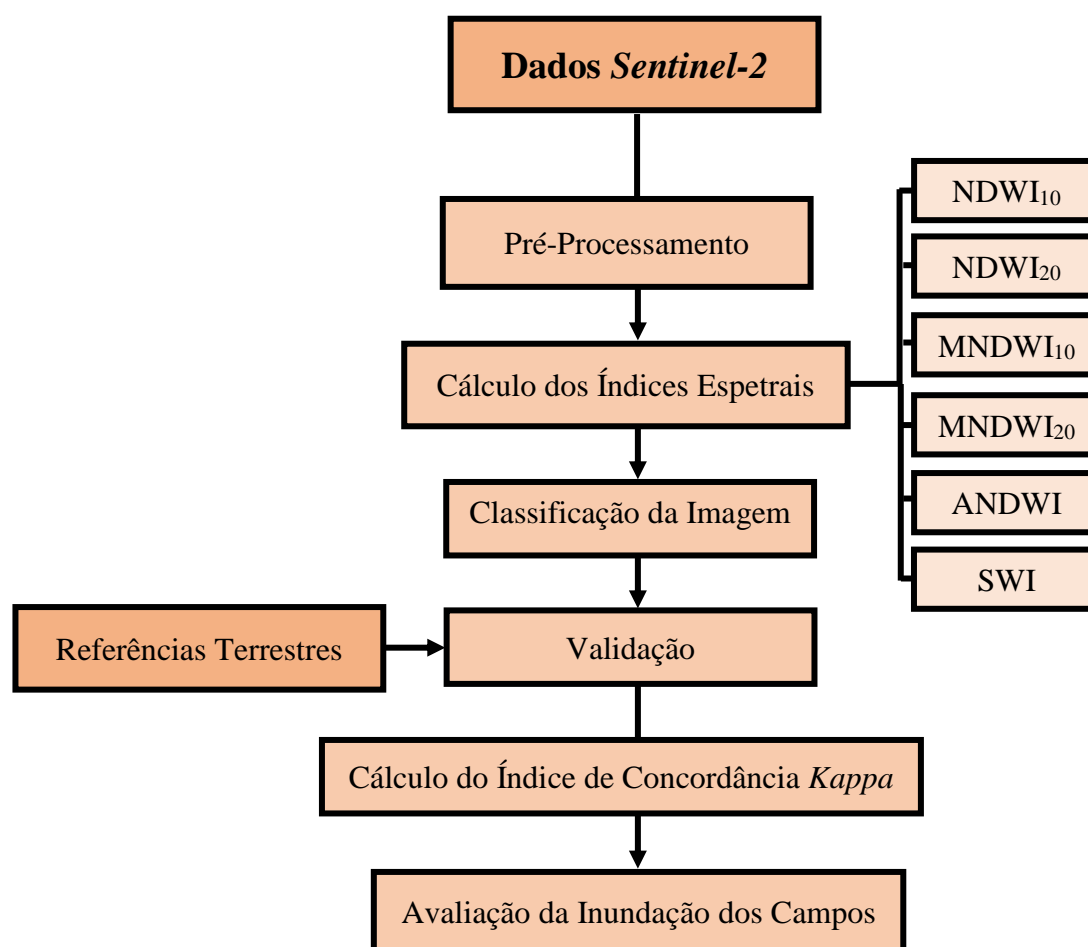


Figura 3.3 - Metodologia detalhada da área em estudo

As imagens do satélite *Sentinel-2* disponíveis foram descarregadas do *site* “Copernicus” (<https://scihub.copernicus.eu>) uma vez que o mesmo possui acesso livre. Obtiveram-se as imagens das áreas de estudo, Quinta do Canal e Pranto, para os dias selecionados do estudo, dia 24 de Fevereiro de 2018 e para o dia 21 de Março de 2018. Como foi visto anteriormente, o dia 24 de Fevereiro pertenceu a um período seco e o dia 21 de Março a um intervalo de tempo muito chuvoso. Selecionaram-se as imagens de nível 2A, as quais já se encontravam corrigidas para a atmosfera.

O passo seguinte passou pelo pré-processamento das imagens. As imagens obtidas possuem uma elevada extensão espacial sendo muito pesadas. Através do extra “Semi-Automatic Classification Plugin” instalado no QGIS fez-se o *download* de “granules” os quais ainda possuíam uma área considerável apesar de já terem uma área menor e serem menos pesados. Em seguida foram recortadas as diversas bandas da imagem pela área de interesse para que a área dos “granules” fosse menor.

As imagens obtidas pelos dois sensores multiespectrais de alta resolução para os dias em estudo foram inseridas no QGIS.

Para o cálculo dos índices de água, as bandas que possuíam uma resolução espacial de 20 m por 20 m tiveram de sofrer uma reamostragem para ficarem na resolução de 10 m por 10 m, para que o cálculo dos valores do $MNDWI_{10}$ e $ANDWI$ pudesse ser executado. Para o cálculo do valor de $MNDWI_{20}$ foi feito o inverso, a banda espectral que possuía uma resolução espacial de $10 \times 10 \text{ m}^2$ teve de ser reamostrada para ficar na forma de $20 \times 20 \text{ m}^2$.

Depois de executada a reamostragem das bandas, as imagens obtidas pelos dois sensores multiespectrais de alta resolução foram todas inseridas no programa QGIS assim como as áreas da Quinta do Canal e do Pranto que já se encontravam definidas. O passo seguinte consistiu na introdução da fórmula que permitiu o cálculo de cada um dos índices, onde depois de executado o passo, se procedeu à criação da imagem colorida que permite uma melhor perceção daquilo que se está a observar, devido às características obtidas pertencerem a diferentes regiões do visível. Tendo os valores dos índices e as imagens coloridas foram gerados os histogramas para cada um dos índices calculados e para cada uma das áreas individualmente.

Em seguida, voltou a utilizar-se a imagem obtida anteriormente, ou seja, a imagem colorida criada após a introdução da fórmula que permitiu calcular os índices de água, e obrigou-se que a mesma fosse superior a zero utilizando a ferramenta do QGIS “calculadora de rasters”, para que na imagem apenas aparecesse aquilo que corresponde a água. O passo seguinte consistiu em dar cor à imagem, i.e. transformá-la numa imagem colorida, como já tinha sido feito no outro caso.

Nesta fase já se reuniam as condições para executar o cálculo dos parâmetros estatísticos (contagem, soma, média, mediana, desvio padrão, mínimo, máximo e variância). Para a obtenção dos parâmetros estatísticos foi utilizada a imagem que só possuía água. O parâmetro estatístico que nos fornece as informações que permitem retirar conclusões da quantidade de água presente nos solos é a média. Ao índice de água $mNDWI_{10}$ calculado associou-se uma das áreas, Quinta do Canal, e em seguida para o mês de Fevereiro obtiveram-se os parâmetros estatísticos. Usando novamente o mesmo índice, para o mesmo mês, mas para a área do Pranto, calcularam-se os parâmetros estatísticos. Este raciocínio foi aplicado para o dia 24 de Fevereiro e 21 de Março de 2018, para todos os

índices de água calculados e para cada uma das áreas, Quinta do Canal e Pranto, como foi referido anteriormente.

Seguiu-se a fase da classificação da imagem, onde se efetuou um recorte da área da Quinta do Canal e do Pranto, isoladamente, para posteriormente, utilizando 3 classes definidas (Quadro 3.1), proceder-se à sua classificação.

Quadro 3.1 – Classes definidas para a fase de classificação da imagem

Classes	Intervalos	Classificação
1ª Classe	[-1.0,-0.2]	Solo
2ª Classe	[-0.2,0.2]	Solo húmido/inundado
3ª Classe	[0.2,1.0]	Massa de água

A 2ª Classe, definida como “solo húmido/inundado”, foi utilizada quando não se percebia se a superfície do terreno possuía água ou se era solo, ou seja, funciona como classificação intermédia entre o solo e a água (ou seja, pixéis em que coexiste a presença de superfície de solo e de água).

Neste trabalho, os valores limite das classes identificadas no Quadro 3.1 foram aplicados a todos os índices de água investigados. Esta decisão conduziu à simplificação da utilização dos índices de água.

Para terminar o processo executou-se a validação dos resultados obtidos comparando as imagens já classificadas com as referências terrestres, ou seja, com imagens de satélite. Depois de validadas as imagens obteve-se a matriz de confusão, calculando-se, em seguida, o índice de concordância *Kappa*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do presente capítulo são apresentados os principais resultados da aplicação da deteção remota na monitorização de inundações na área da Quinta do Canal e do Pranto. Começa-se por apresentar as imagens obtidas no programa QGIS para os índices de água calculados, em seguida apresentam-se os histogramas, efetua-se uma análise aos valores médios, à precisão do utilizador e para terminar observam-se os resultados do índice de concordância *Kappa*.

4.1 Índices de água

O programa QGIS através das suas funcionalidades permitiu o cálculo dos índices de água: NDWI₁₀, NDWI₂₀, MNDWI₁₀, MNDWI₂₀, ANDWI e SWI. Aquando do seu cálculo, como havia sido referido anteriormente, o programa cria imagens nas quais é possível avaliar o estado do solo, mais especificamente a percentagem de cobertura da superfície do solo na área de estudo por água (i.e. áreas alagadas/inundadas).

Em seguida, apresentam-se as imagens obtidas para cada um dos índices, no dia 24 de Fevereiro de 2018 e 21 de Março de 2018, para a área da Quinta do Canal e do Pranto.

Na Figura 4.1 e na Figura 4.2 encontram-se as imagens obtidas para o índice de água NDWI₁₀, para os dias 24 de Fevereiro de 2018 e 21 de Março de 2018, respetivamente. Na coluna à esquerda observam-se as imagens para o mapeamento do índice e na coluna à direita as imagens classificadas com base nas três classes apresentadas no Quadro 3.1.

Na Figura 4.3 e na Figura 4.4 apresentam-se as imagens obtidas para a Quinta do Canal e para o Pranto para o dia 24 de Fevereiro e 21 de Março, respetivamente, para o índice de água NDWI₂₀.



Figura 4.1 – Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice NDWI₁₀, 24 de Fevereiro de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto

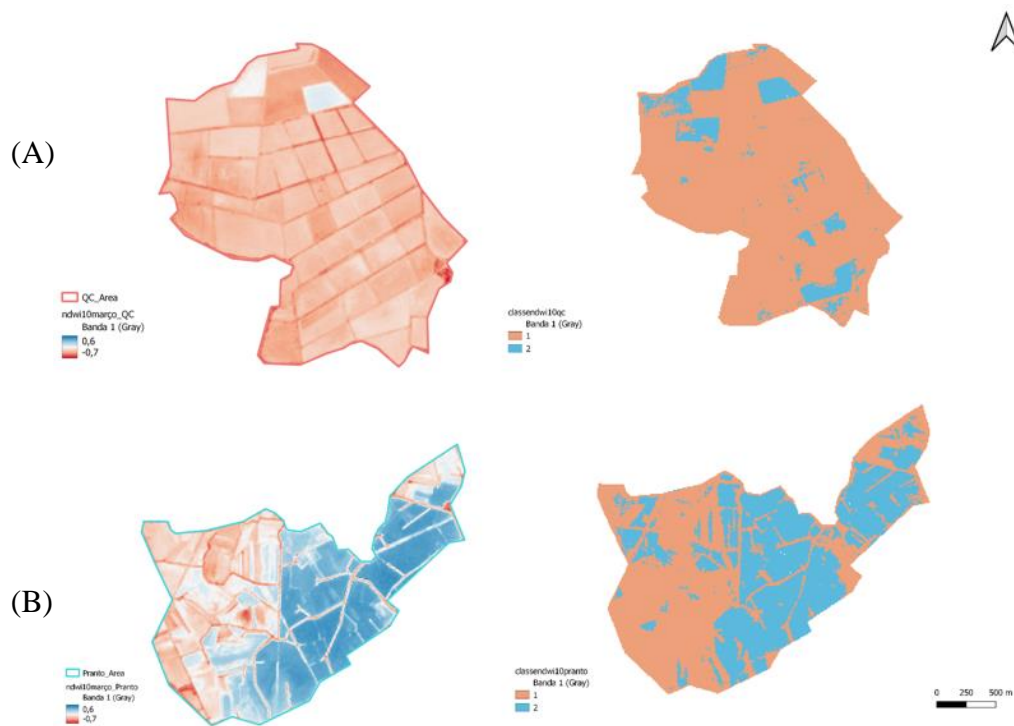


Figura 4.2 - Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice NDWI₁₀, 21 de Março de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto

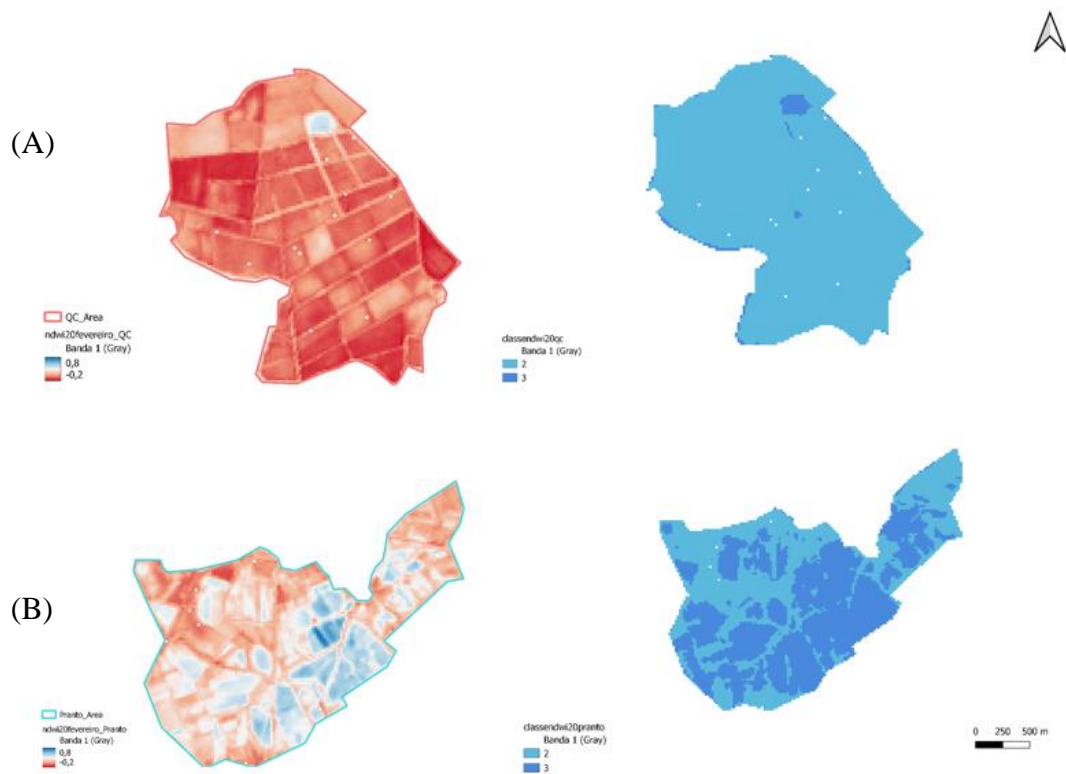


Figura 4.3 - Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice NDWI₂₀, 24 de Fevereiro de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto

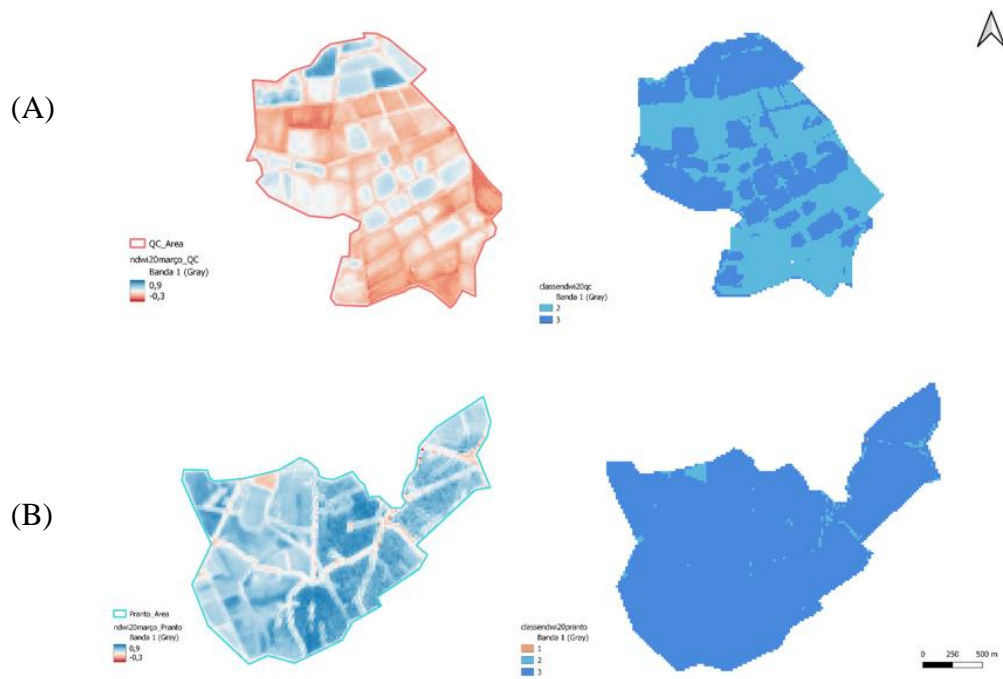


Figura 4.4 - Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice NDWI₂₀, 21 de Março de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto

As imagens obtidas através do programa QGIS para o índice de água MNDWI₁₀ encontram-se na Figura 4.5 e na Figura 4.6.

Na Figura 4.7 e na Figura 4.8 observam-se as imagens obtidas para o índice de água MNDWI₂₀ para a área da Quinta do Canal e do Pranto.

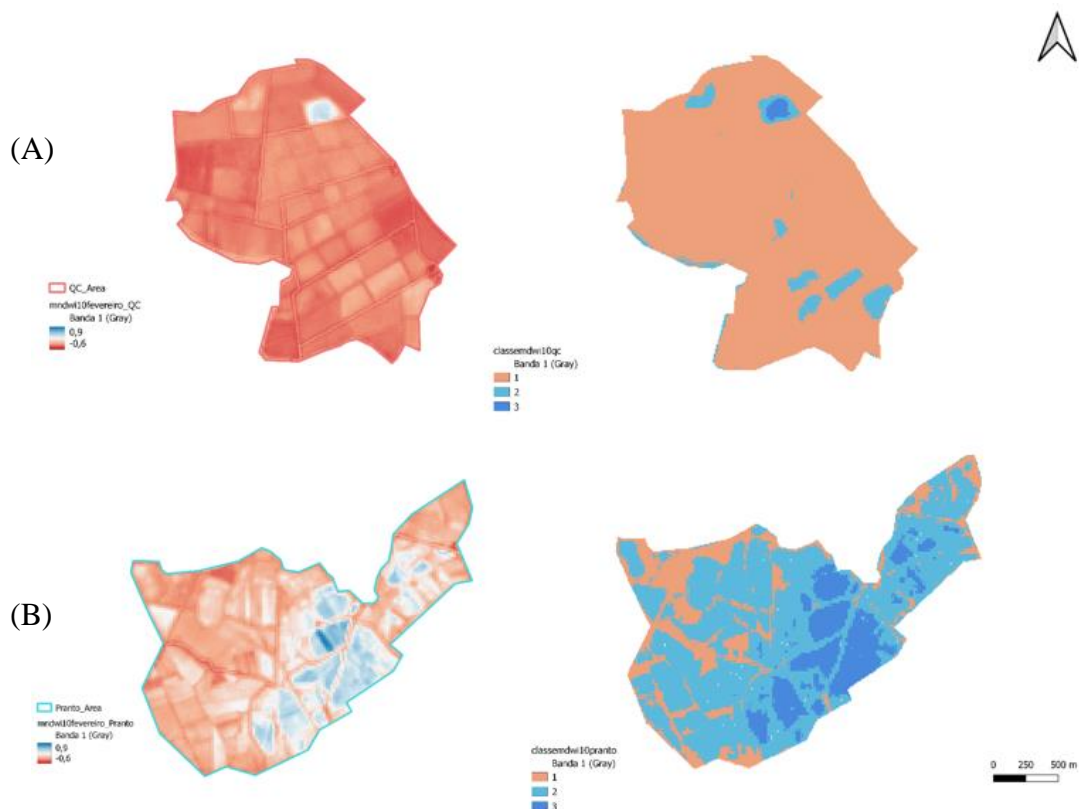


Figura 4.5 - Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice MNDWI₁₀, 24 de Fevereiro de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto

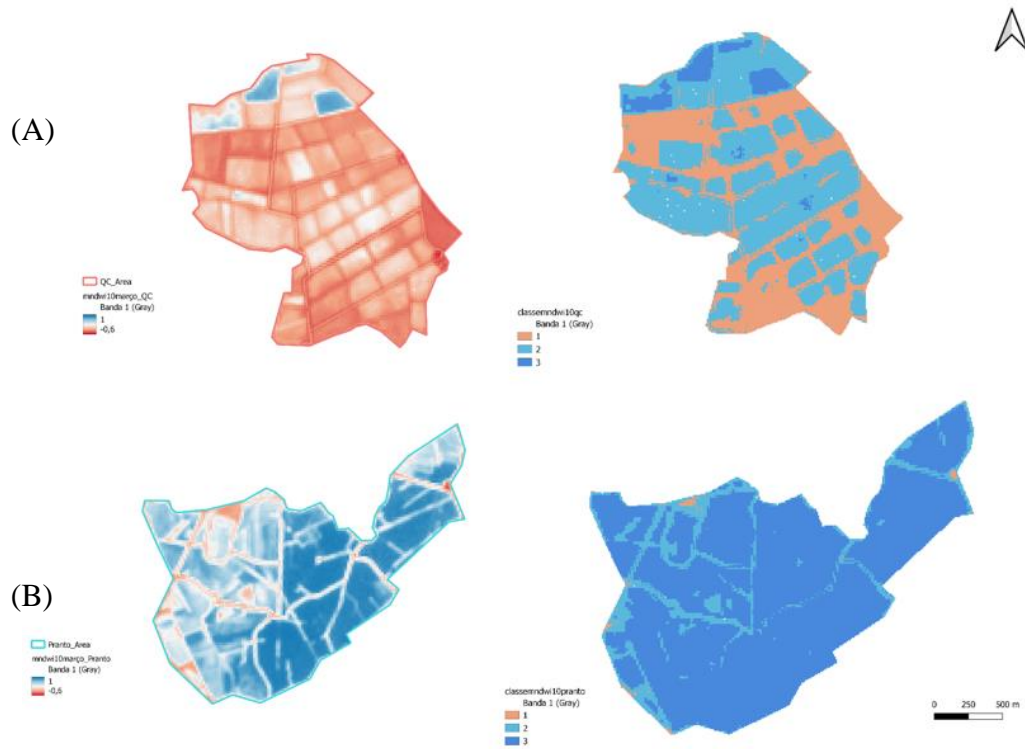


Figura 4.6 - Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice MNDWI₁₀, 21 de Março de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto

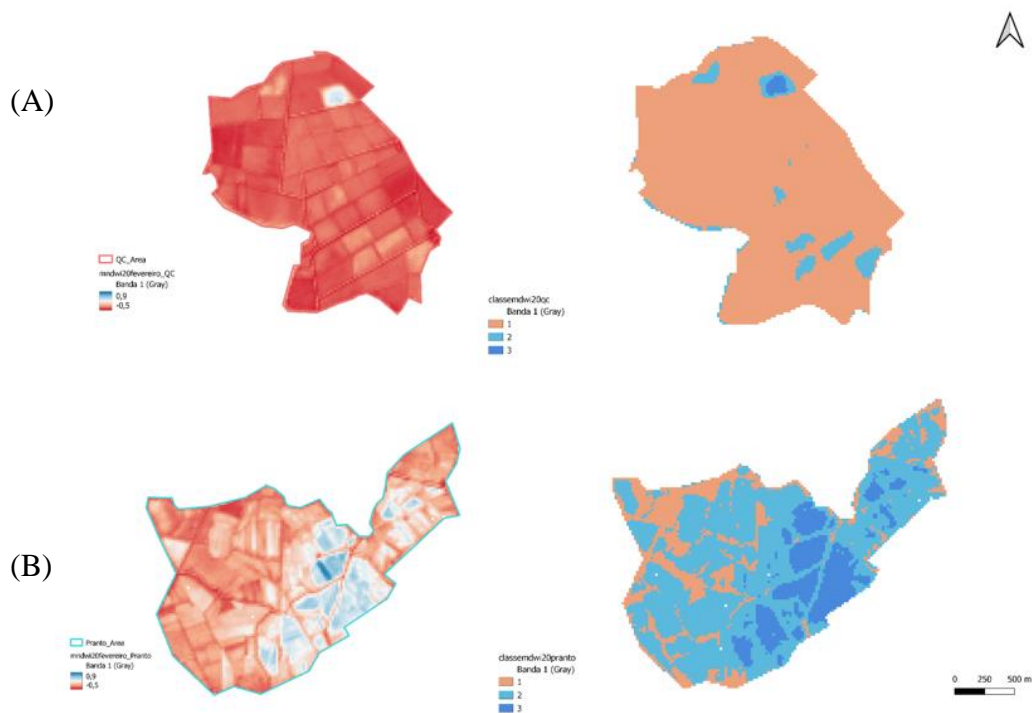


Figura 4.7 - Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice MNDWI₂₀, 24 de Fevereiro de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto

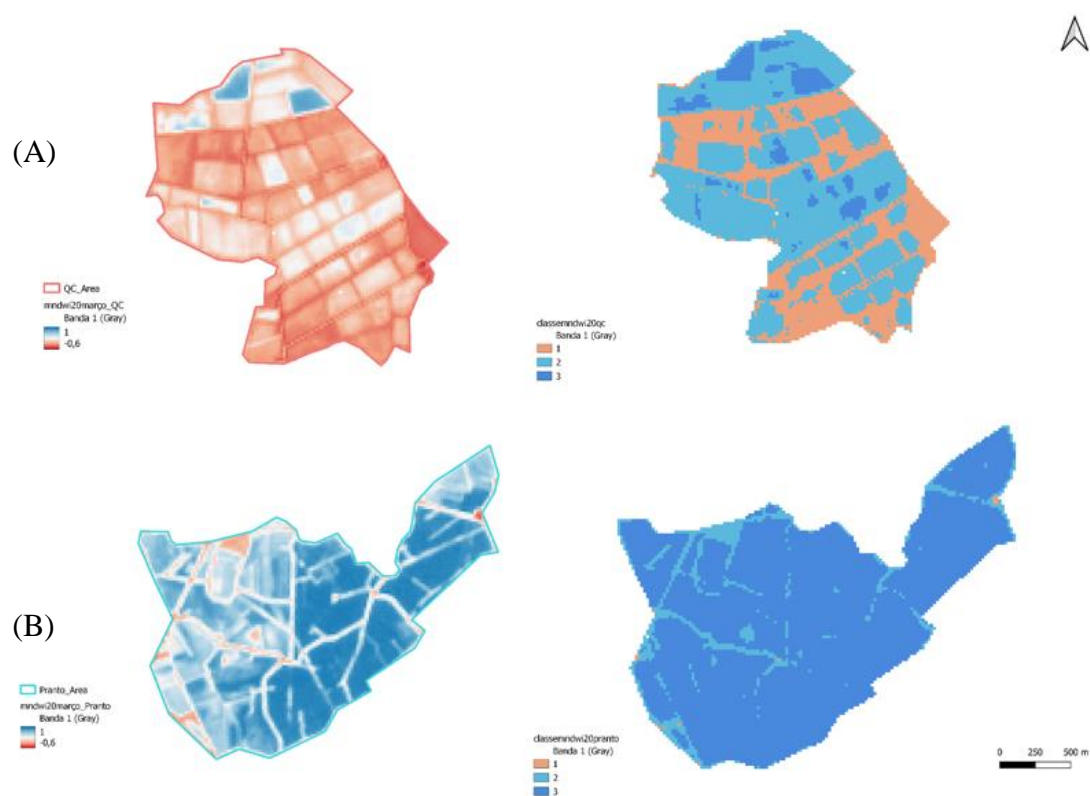


Figura 4.8 - Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice MNDWI₂₀, 21 de Março de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto

Quase a terminar apresentam-se a Figura 4.9 e a Figura 4.10 onde se encontram representadas as imagens dos índices de água ANDWI, para o dia 24 de Fevereiro de 2018 e 21 de Março de 2018, respetivamente.

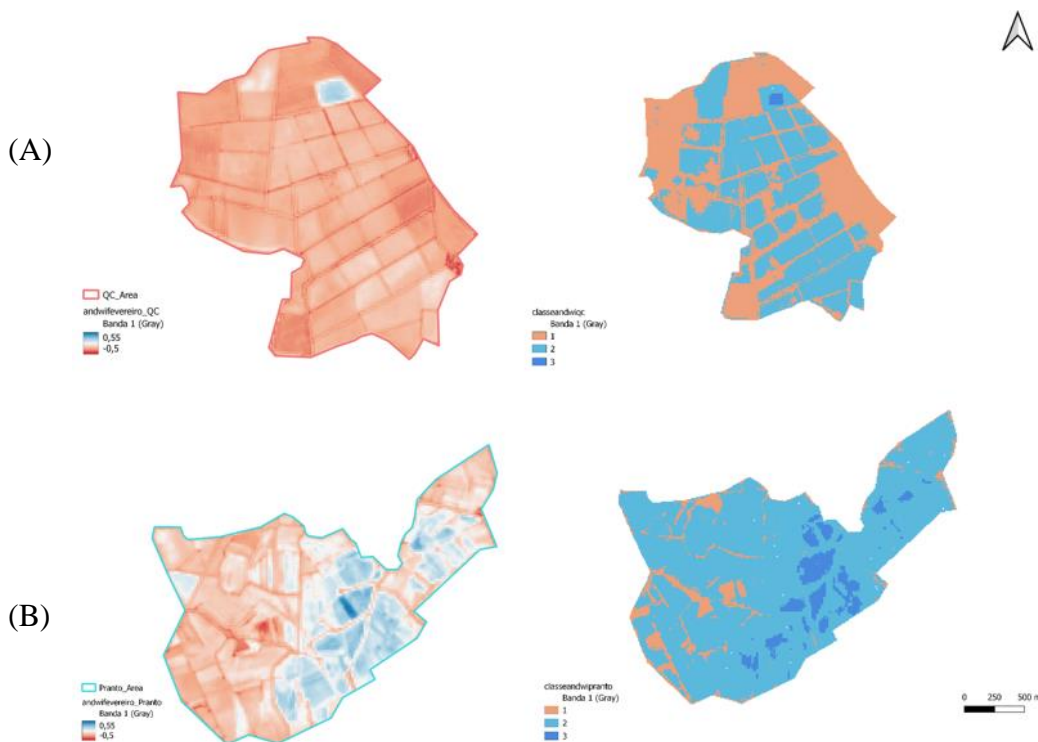


Figura 4.9 - Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice ANDWI, 24 de Fevereiro de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto

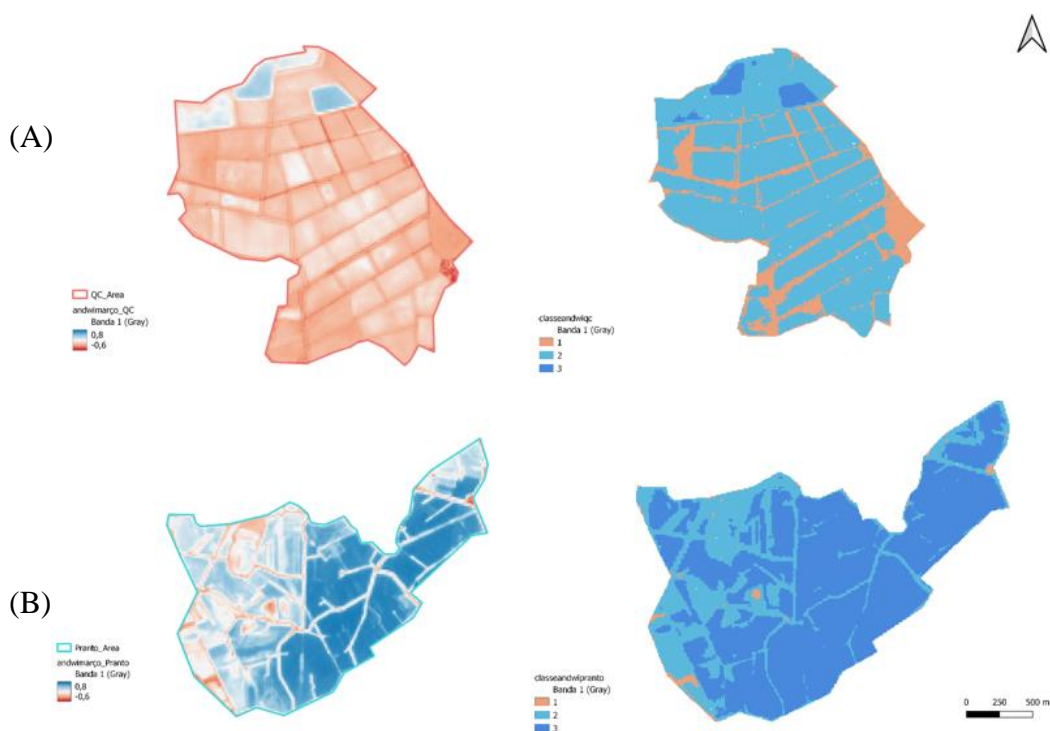


Figura 4.10 - Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice ANDWI, 21 de Março de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto

Por fim, apresentam-se na Figura 4.11 e na Figura 4.12 as imagens do índice de água SWI, para as duas áreas em estudo, Quinta do Canal e Pranto, dia 24 de Março de 2018 e 21 de Março de 2018.

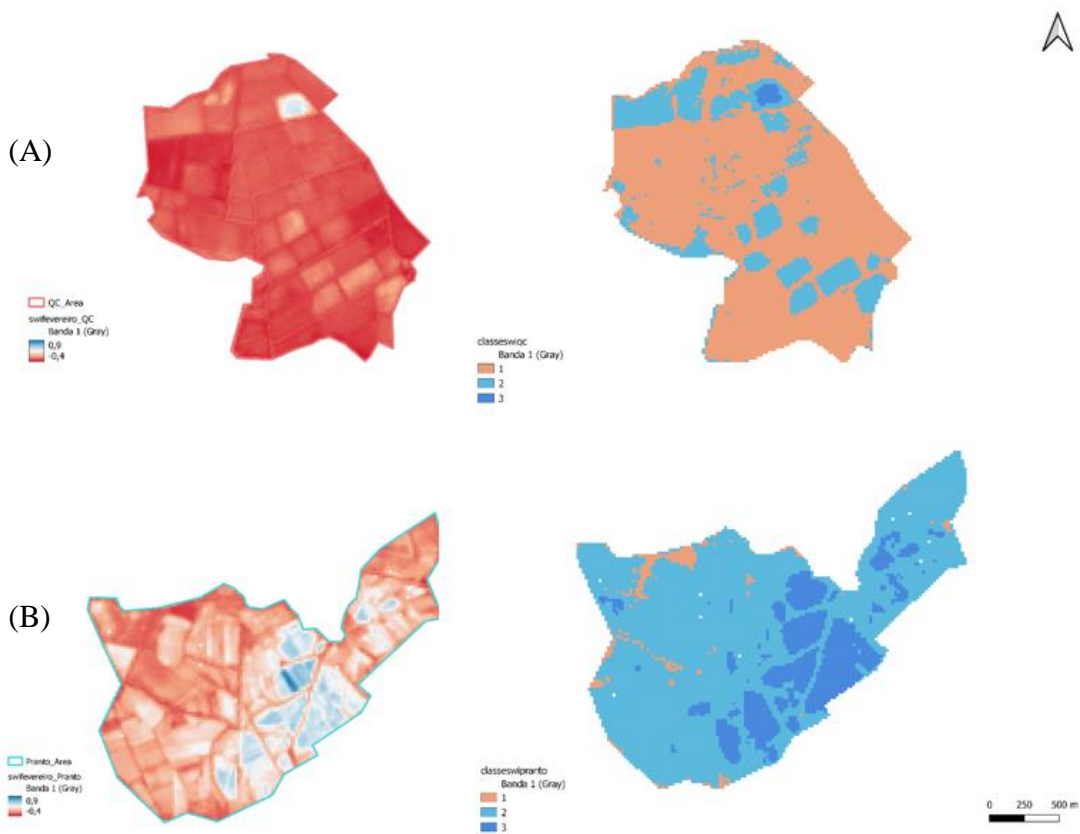


Figura 4.11 - Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice SWI, 24 de Fevereiro de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto

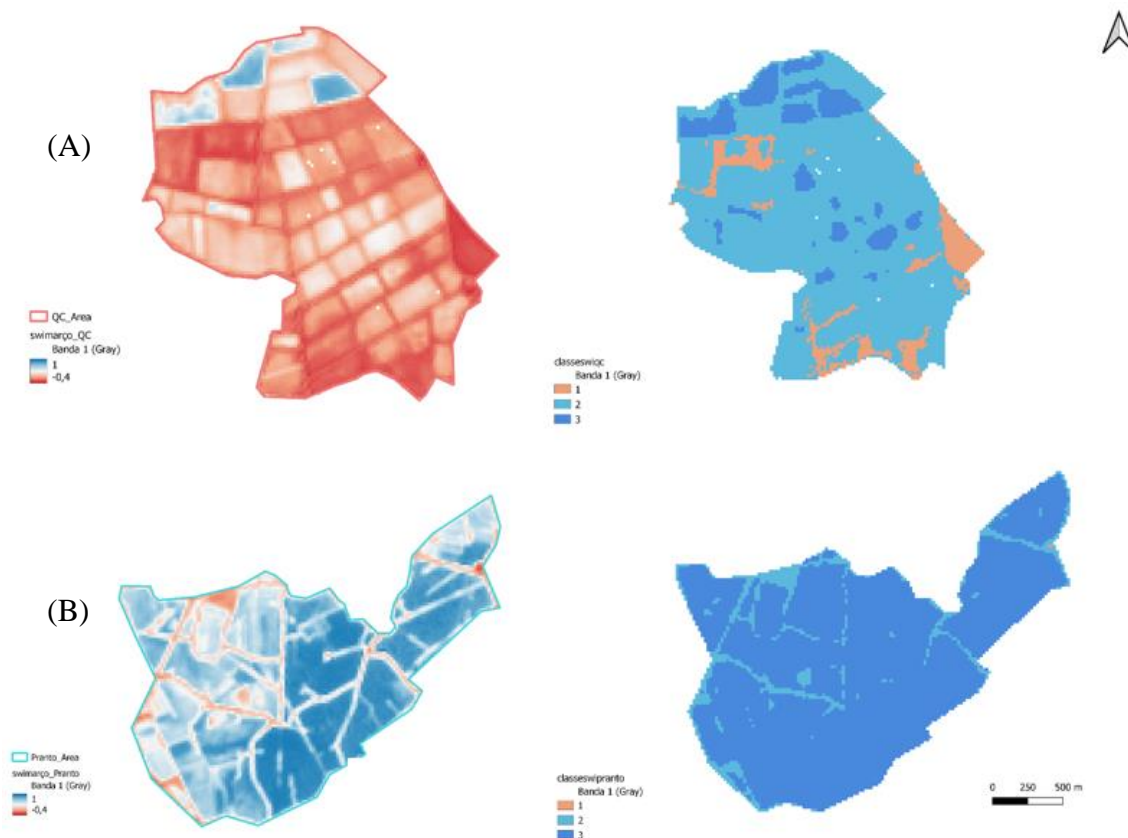


Figura 4.12 - Imagens obtidas através do QGIS por classes para o índice SWI, 21 de Março de 2018 (A) Quinta do Canal e (B) Pranto

Analisando as figuras anteriormente apresentadas facilmente se percebe que na Figura 4.2, Figura 4.4, Figura 4.6, Figura 4.8, Figura 4.10 e na Figura 4.12 se encontra uma maior quantidade de água na Quinta do Canal e no Pranto, facto que se justifica pelo período que engloba o dia 21 de Março de 2018 ser mais chuvoso comparativamente com o dia 24 de Fevereiro de 2018 que pertenceu a um período de seca.

Verifica-se também que a Quinta do Canal possui uma maior percentagem da superfície do solo onde se identifica presença de água do que o Pranto. Este facto é justificado pela drenagem de água no solo uma vez que a água escoada das cotas mais elevadas para as cotas mais baixas e o Pranto possui diferentes cotas no terreno originando uma distribuição não uniforme da água comparando com a Quinta do Canal que se encontra essencialmente à mesma altitude.

4.2 Histogramas

Um histograma é um modelo de gráfico estatístico que permite a medição de uma determinada realidade e mede a distribuição de uma dada frequência, ou seja, o número de vezes que um acontecimento se repete, face a uma variável, que neste caso de estudo corresponde aos valores dos índices de água calculados para as áreas da Quinta do Canal e do Pranto, isoladamente, e para os dias 24 de Fevereiro de 2018 e 21 de Março de 2018. Os histogramas foram obtidos utilizando o *software* QGIS, o qual os gerou automaticamente selecionando o comando que permitia a sua elaboração.

Em seguida apresentam-se os histogramas do índice $NDWI_{10}$ calculados para os dois períodos de tempo em análise, Figura 4.13.

Os histogramas do índice $NDWI_{20}$ calculados podem ser observados na Figura 4.14.

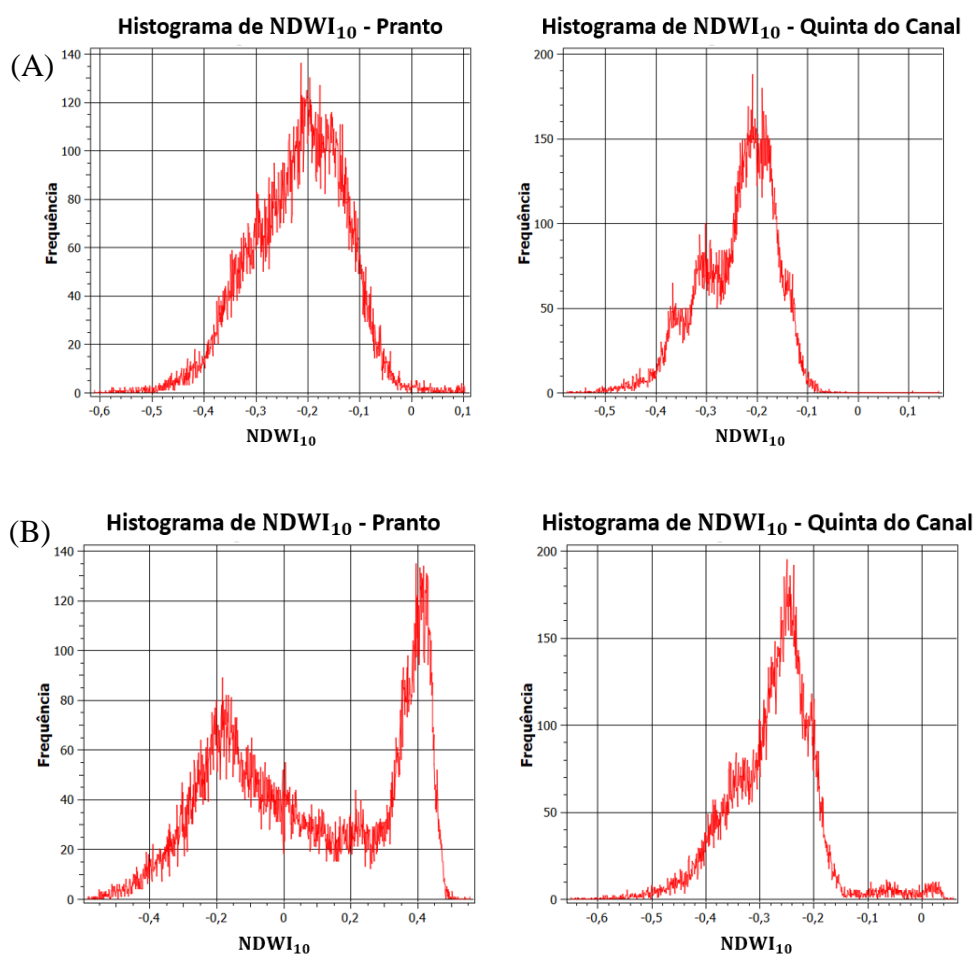


Figura 4.13 – Histogramas do índice $NDWI_{10}$ (A) 24 de Fevereiro de 2018 e (B) 21 de Março de 2018

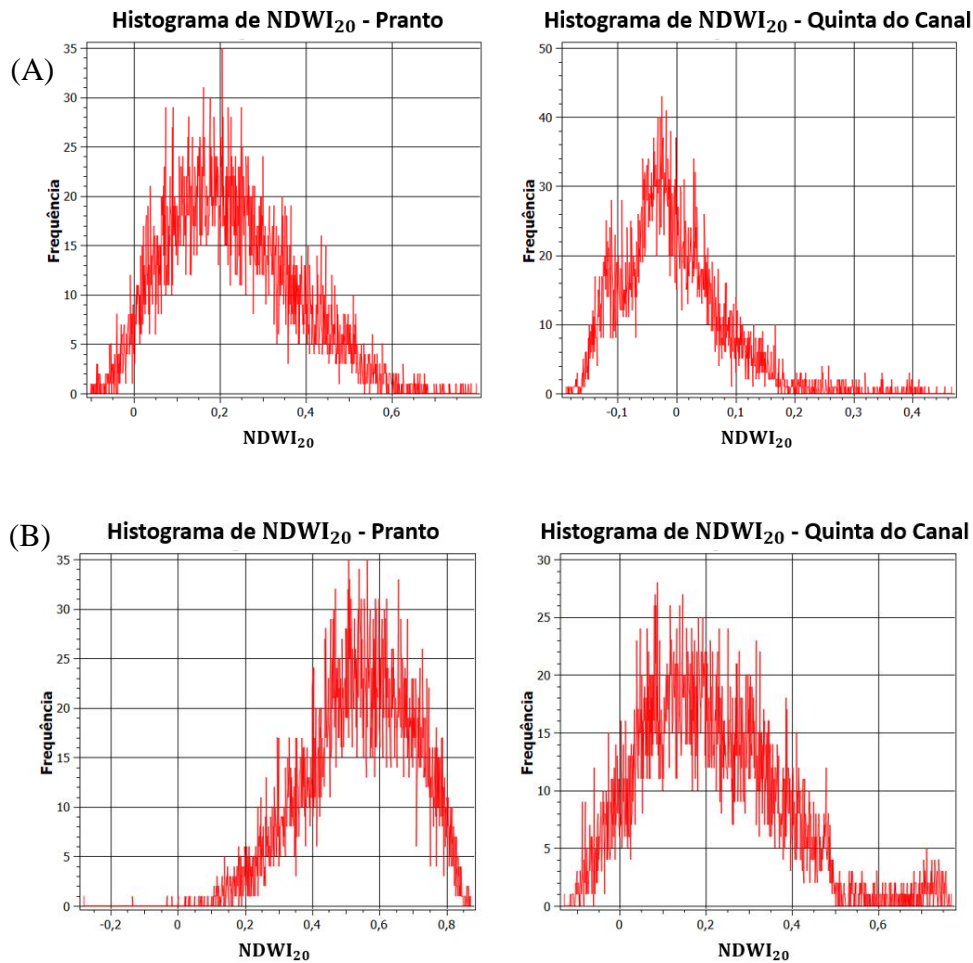


Figura 4.14 – Histogramas do índice NDWI₂₀ (A) 24 de Fevereiro de 2018 e (B) 21 de Março de 2018

Posteriormente, na Figura 4.15, apresentam-se os histogramas do índice MNDWI₁₀.

Os histogramas do índice MNDWI₂₀ calculados para os dois períodos de tempo em análise podem ser observados na Figura 4.16.

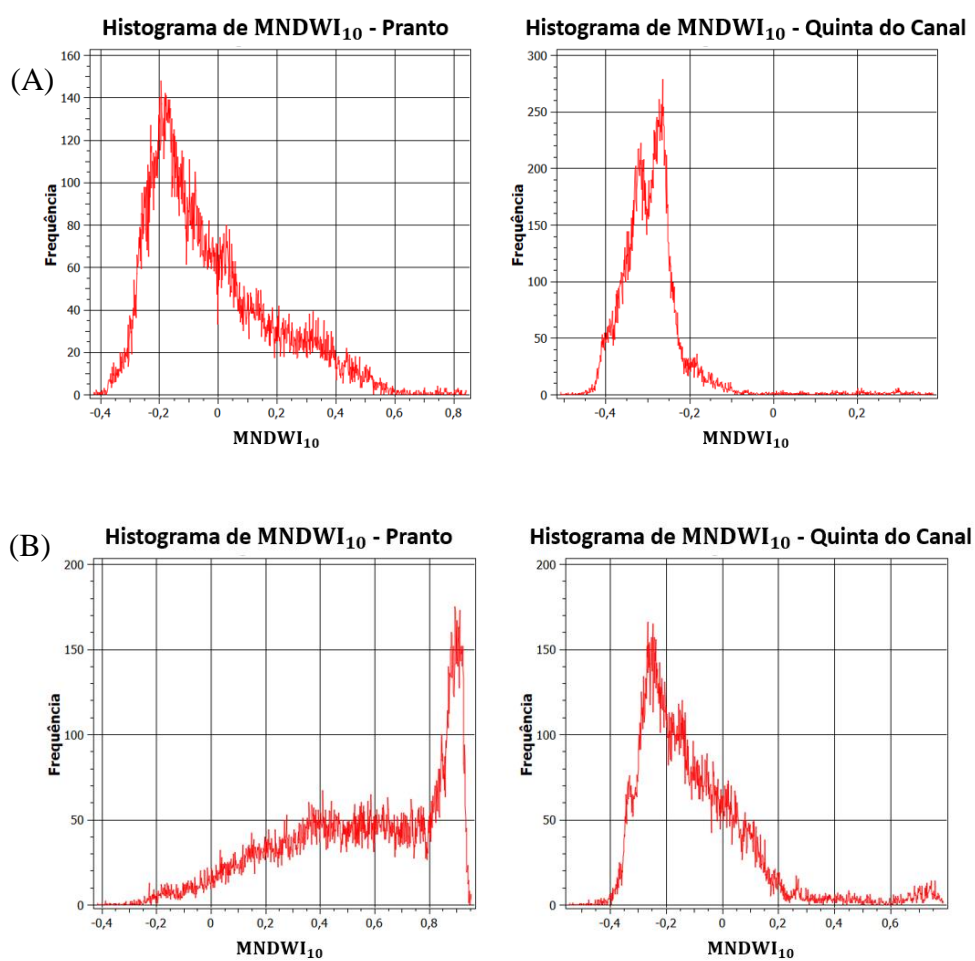


Figura 4.15 – Histogramas do índice MNDWI₁₀ (A) 24 de Fevereiro de 2018 e (B) 21 de Março de 2018

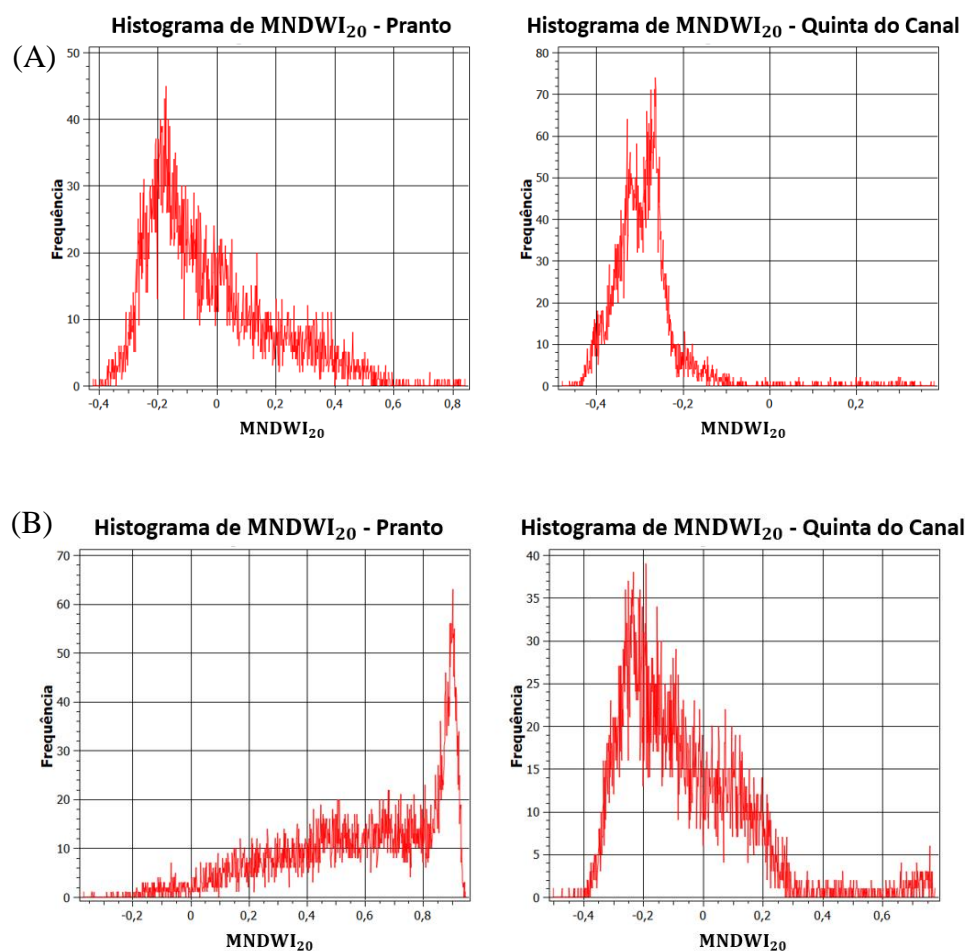


Figura 4.16 – Histogramas do índice MNDWI₂₀ (A) 24 de Fevereiro de 2018 e (B) 21 de Março de 2018

Na Figura 4.17, encontram-se representados os histogramas do índice ANDWI calculados para o dia 24 de Fevereiro de 2018 e 21 de Março de 2018.

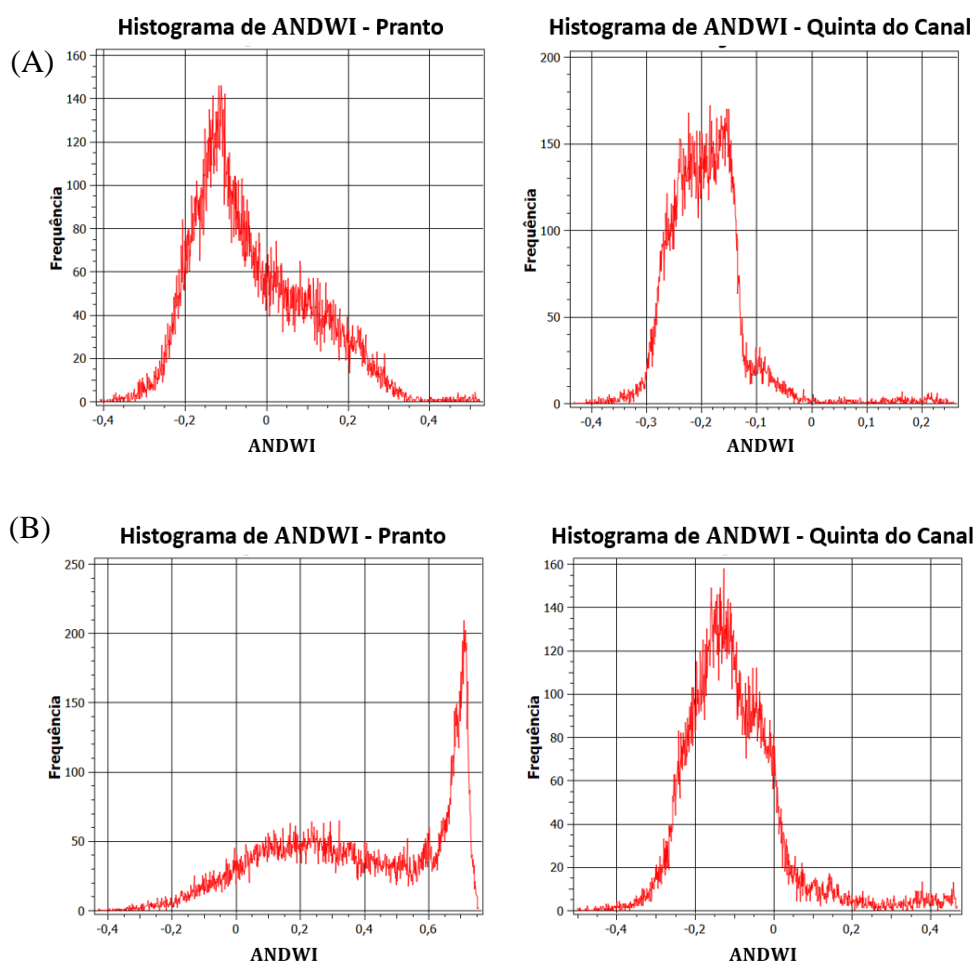


Figura 4.17 – Histogramas do índice ANDWI (A) 24 de Fevereiro de 2018 e (B) 21 de Março de 2018

Para terminar encontram-se representados na Figura 4.18, os histogramas do índice SWI calculados para os dois períodos de tempo em análise e para as áreas do Pranto e da Quinta do Canal.

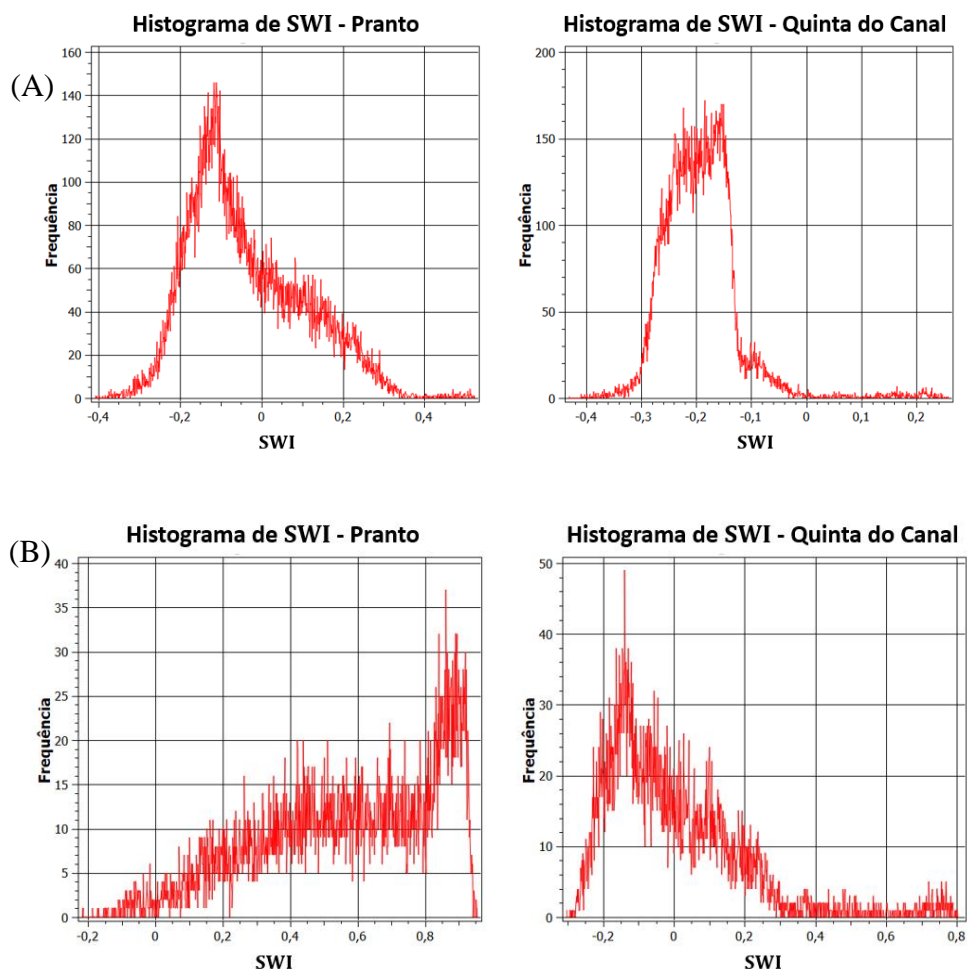


Figura 4.18 – Histogramas do índice SWI (A) 24 de Fevereiro de 2018 e (B) 21 de Março de 2018

Analisando os vários histogramas apresentados anteriormente, percebe-se que nos histogramas de 24 de Fevereiro de 2018, tanto para a área da Quinta do Canal como do Pranto os picos, onde se verificam maiores frequências, ocorrem abaixo do zero para todos os índices calculados exceto para o índice $NDWI_{20}$. As maiores frequências verificam-se abaixo de zero porque o terreno se encontra mais seco.

Em contrapartida, o dia 21 de Março de 2018 pertenceu a um período bastante chuvoso como tinha sido referido anteriormente. Deste modo, as frequências mais elevadas verificam-se acima de zero na área do Pranto para os diversos índices de água calculados, o que indica que existia bastante água nos campos. Na área da Quinta do Canal no dia 21 de Março de 2018, as maiores frequências ocorreram abaixo de zero com a exceção do índice $NDWI_{20}$ onde neste índice as maiores frequências ocorreram acima de zero. É de notar que embora na área da Quinta do Canal os valores das maiores frequências se

registaram abaixo de zero, estes valores são maiores comparando com o dia 24 de Fevereiro de 2018, exceto para o índice NDWI₁₀.

Conclui-se assim que os solos se encontravam com uma maior quantidade de água no dia 21 de Março de 2018, ainda que na Quinta do Canal as quantidades de água acumulada no solo fossem inferiores, facto que pode ser justificado por uma menor precipitação naquela área e pelo facto de se situar a cotas mais baixas originando a drenagem de água para o Pranto.

4.3 Valores Médios

Após o cálculo dos índices de água utilizando o programa QGIS, determinou-se o valor médio de cada um dos índices de água para as áreas de estudo da Quinta do Canal e do Pranto. Com o auxílio do *Excel* procedeu-se à elaboração do gráfico que consta na Figura 4.19.

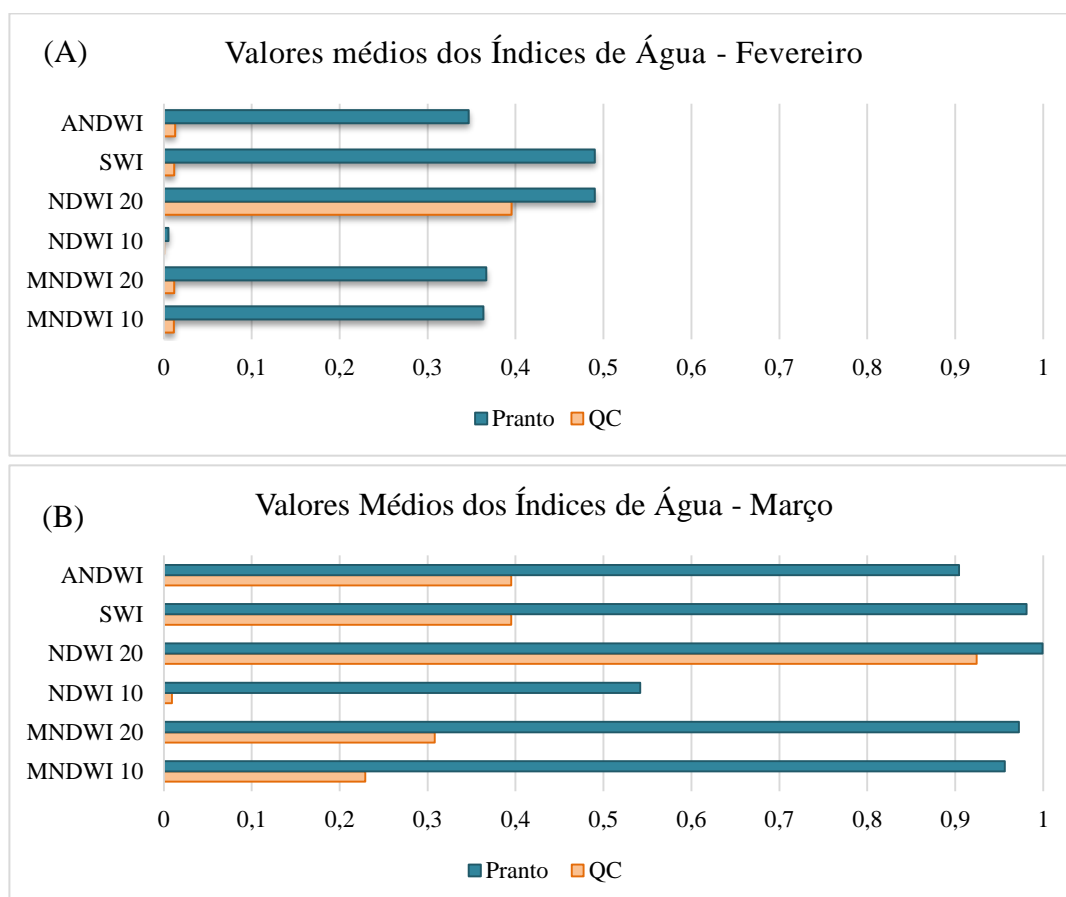


Figura 4.19 – Valores médios dos diversos índices de água para a área do Pranto e Quinta do Canal (A) 24 de Fevereiro de 2018 e (B) 21 de Março de 2018

Os valores médios encontram-se no intervalo entre 0 e 1, em que entre 0 e 0,2 o solo encontra-se húmido/inundado e no 1 existem massas de água na região em análise.

Da análise da Figura 4.19 é bastante notório que a área do Pranto é a que possui valores médios superiores. Verifica-se igualmente que é para o índice de $NDWI_{10}$ que se verificam os valores mais baixos, tanto na área do Pranto como na Quinta do Canal, facto que pode ser justificado, por exemplo, pelo facto do índice MNDWI fornecer à água valores mais positivos comparativamente com o índice NDWI, em virtude da banda do infravermelho médio absorver mais energia nas massas de água do que a banda do infravermelho próximo. Os valores mais estáveis, ou seja, que não apresentam tantas oscilações obtêm-se ao utilizar o índice $MNDWI_{10}$ e $MNDWI_{20}$, pelo que, olhando para os valores médios indicia que será o que apresenta melhores resultados, ou seja, é o índice de água que é mais sensível à presença de água na zona em estudo.

4.4 Precisão do Utilizador

A precisão do utilizador é obtida efetuando o cálculo entre o quociente do número de pixéis corretamente atribuídos à classe e o número de pixéis total atribuídos a essa mesma classe (Congalton e Green, 2009). Esta informação foi gerada automaticamente pelo *software* QGIS após a validação das imagens, sendo fornecida no Excel onde se encontrava a matriz de confusão.

Os resultados deste parâmetro foram retirados da matriz de confusão, a qual pode ser consultada nos Anexos, e apresentam-se no Quadro 4.1 para o dia 24 de Fevereiro de 2018 e no Quadro 4.2 para o dia 21 de Março de 2018.

Quadro 4.1 - Resultados da Precisão do Utilizador para o dia 24 de Fevereiro de 2018

24 de Fevereiro de 2018						
Satélite <i>Sentinel-2</i>						
	$NDWI_{10}$	$NDWI_{20}$	$MNDWI_{10}$	$MNDWI_{20}$	ANDWI	SWI
Quinta do Canal	0,857	0,786	0,909	0,939	0,818	0,667
Pranto	0,821	0,821	0,909	0,879	0,818	0,788

Quadro 4.2 - Resultados da Precisão do Utilizador para o dia 21 de Março de 2018

21 de Março de 2018						
Satélite <i>Sentinel-2</i>						
	NDWI ₁₀	NDWI ₂₀	MNDWI ₁₀	MNDWI ₂₀	ANDWI	SWI
Quinta do Canal	0,929	0,786	0,939	0,968	0,848	0,970
Pranto	0,714	0,727	0,879	0,788	0,758	0,667

Observando os valores das tabelas acima verifica-se que o índice SWI é aquele que apresenta valores mais baixos, ainda que para o dia 21 de Março para a área da Quinta do Canal apresente um valor bastante elevado de 0,970. Os índices que apresentam os valores mais elevados são os índices MNDWI₁₀ e MNDWI₂₀ em que na área da Quinta do Canal se observam valores superiores a 0,90 em ambos os períodos de tempo. Na área do Pranto os valores da precisão do utilizador para estes índices são igualmente elevados.

4.5 Índice de Concordância *Kappa*

O índice de concordância *Kappa* fornece uma base para comparar os dados classificados e os de referência e, desta forma, averiguar se os mesmos se encontram em concordância. Através do valor do índice obtido utiliza-se o Quadro 2.2 para verificar qual o desempenho da classificação.

Os valores do índice de concordância *Kappa* foram calculados aplicando a equação (7). Para a sua aplicação foi necessário utilizar a matriz de confusão de cada um dos índices, para a área da Quinta do Canal e do Pranto, para o dia 24 de Fevereiro de 2018 e 21 de Março de 2018. As matrizes de confusão para os dias em análise encontram-se nos Anexos.

Em seguida, mostra-se um exemplo de como o valor do índice de concordância *Kappa* para o índice NDWI₁₀, área do Pranto, dia 24 de Fevereiro de 2018, foi obtido. Utilizando a Tabela A.1 presente nos Anexos, começou-se por calcular o valor de k_1 e em seguida o valor de k_2 , aplicando a equação (8) e (9).

$$k_1 = \frac{16 + 7}{18} = 0,821429$$

$$k_2 = \left(\frac{17}{28} \times \frac{20}{28}\right) + \left(\frac{11}{28} \times \frac{8}{28}\right) = 0,545918$$

Pelo que se obtém o valor de k de 0,607, aplicando a equação (7).

No Quadro 4.3 e no Quadro 4.4 encontram-se os valores do índice de concordância *Kappa* obtidos para o dia 24 de Fevereiro de 2018 e 21 de Março de 2018, respetivamente, e o correspondente desempenho da classificação, obtido utilizando o Quadro 2.1.

Quadro 4.3 - Resultados do Índice de Concordância *Kappa* para o dia 24 de Fevereiro de 2018

24 de Fevereiro de 2018						
Satélite Sentinel-2						
	NDWI ₁₀	NDWI ₂₀	MNDWI ₁₀	MNDWI ₂₀	ANDWI	SWI
Quinta do Canal	0,674	0,382	0,830	0,885	0,683	0,392
	Bom	Razoável	Muito Bom	Muito Bom	Bom	Razoável
Pranto	0,607	0,632	0,838	0,770	0,709	0,628
	Bom	Bom	Muito Bom	Bom	Bom	Bom

Quadro 4.4 - Resultados do Índice de Concordância *Kappa* para o dia 21 de Março de 2018

21 de Março de 2018						
Satélite Sentinel-2						
	NDWI ₁₀	NDWI ₂₀	MNDWI ₁₀	MNDWI ₂₀	ANDWI	SWI
Quinta do Canal	0,825	0,432	0,895	0,946	0,738	0,944
	Muito Bom	Moderado	Muito Bom	Muito Bom	Bom	Muito Bom
Pranto	0,3	0,548	0,794	0,623	0,553	0,448
	Razoável	Moderado	Bom	Bom	Moderado	Moderado

O índice de água MNDWI₁₀ obteve os valores do índice de concordância *Kappa* mais elevados nos dias considerados neste estudo, ainda que na área do Pranto no dia 21 de

Março de 2018 o maior valor se tenha verificado ao utilizar o índice SWI. Este mesmo índice, com a resolução espacial de 20 metros, ou seja, o $MNDWI_{20}$ apresentou também resultados classificados como muito bons comparando com os resultados globais. Os valores do índice de concordância *Kappa* mais baixos obtiveram-se com o índice de água SWI para o dia 24 de Fevereiro de 2018 e com o índice de água $NDWI_{20}$ para o dia 21 de Março de 2018.

No geral verifica-se que os índices de água $NDWI_{10}$, $NDWI_{20}$ e SWI são os que apresentam o pior desempenho de classificação, ainda que não estejam no mesmo patamar de classificação como é facilmente observável no Quadro 4.3 e no Quadro 4.4, apresentando-se o índice de água $MNDWI_{10}$ e $MNDWI_{20}$ com os resultados mais concordantes, permitindo deste modo avaliar com maior rigor a dimensão das inundações nos campos de arroz.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste estudo foi efetuada uma análise comparativa do desempenho dos índices de água para descrever as condições do terreno nos campos de arroz, mais precisamente na zona do Baixo Mondego, Quinta do Canal e Pranto.

A ferramenta de deteção remota utilizada foi o satélite multiespectral *Sentinel-2*, o qual faz parte de uma missão que permite a observação da Terra através de dois satélites, o *Sentinel-2A* e o *Sentinel-2B*. Esta missão permite a aquisição de dados multiespectrais obtidos em bandas espectrais com uma resolução de 10 ou 20 metros. A diferença entre a utilização da resolução de 10 ou 20 m está no tamanho do pixel.

As bandas obtidas do *Sentinel-2* foram recolhidas para área que englobava a Quinta do Canal e o Pranto, para o dia 24 de Fevereiro de 2018 e 21 de Março de 2018, as quais pertenciam a um período de pré e pós cheia, respetivamente.

O *software* QGIS, ferramenta de sistema de informação geográfica que permite visualizar, editar e analisar dados georreferenciados, foi o que proporcionou o cálculo dos índices de água na Quinta do Canal e no Pranto para os dois períodos em estudo. Os índices de água foram calculados utilizando as bandas espectrais adequadas em que o índice de água $NDWI_{10}$ e $MNDWI_{10}$ foram calculados utilizando uma resolução de 10 m e o índice $NDWI_{20}$, $MNDWI_{20}$, $ANDWI$ e SWI utilizando uma resolução espacial de 20 m.

Depois de efetuado o cálculo de cada um dos índices de água referidos anteriormente obtiveram-se os histogramas e alguns parâmetros estatísticos. Os histogramas permitem observar para cada uma das áreas e dias em estudo, qual o valor que se repete mais em cada índice de água. De entre os vários parâmetros estatísticos calculados, destaca-se o valor médio uma vez que, pelo facto de possuir valores no intervalo entre 0 e 1, mostra se o índice de água em estudo revela a presença de água ou não e em que proporção média. Deste estudo verificou-se que na área agrícola do Pranto existe uma maior área inundada comparativamente com a área inundada na Quinta do Canal.

Para a área da Quinta do Canal e do Pranto, dias 24 de fevereiro de 2018 e 21 de março de 2018, e para cada um dos índices de água calculados, após a validação das imagens com o recurso às referências terrestres, obteve-se um ficheiro em *Excel* onde se encontravam os resultados que permitem avaliar a precisão. Nesse ficheiro existiam os resultados obtidos para a precisão do utilizador e a matriz de confusão.

O índice SWI, tanto para o dia 24 de Fevereiro de 2018 como para o dia 21 de Março de 2018, era o que possuía os valores mais baixos quando analisada a precisão do utilizador. Em contrapartida, os índices de água MNDWI₁₀ e MNDWI₂₀ eram aqueles que possuíam os valores mais elevados de precisão do utilizador.

Foi com o recurso às tabelas de confusão que, utilizando as equações adequadas, se obtiveram os valores do índice de concordância *Kappa*. Os valores mais baixos do índice de concordância *Kappa* foram atingidos ao utilizar os índices de água NDWI₂₀ e SWI, enquanto os valores mais concordantes, e deste modo superiores, foram obtidos ao utilizar os índices de água MNDWI₁₀ e MNDWI₂₀.

Analisando todos os resultados apresentados anteriormente, verifica-se que o índice de água que melhor se aplica em campos agrícolas na região do Baixo Mondego para avaliar as condições do terreno antes da época de cultivo de arroz, mais precisamente na Quinta do Canal e no Pranto, é o índice de água MNDWI, tanto com a sua resolução espacial de 10 ou 20 m. O objetivo de utilizar as duas resoluções espaciais de 10 e 20 metros foi comparar os dados obtidos.

É de notar que os resultados obtidos na identificação das classes utilizando os vários índices são diferentes caso fossem considerados valores limites das classes em função dos índices, indo ao encontro das diferenças entre eles reveladas pelos histogramas.

O satélite Sentinel-2 é uma ferramenta de deteção remota com bastante importância e que deveria ser mais utilizado. Apesar de algumas das limitações dos processos deste tipo de deteção remota (p.e. impossibilidade de obter imagens diárias, presença de nuvens que inviabiliza a sua utilização) este satélite permite obter imagens com uma resolução considerável e que, com o tratamento adequado, pode ajudar na avaliação da extensão das inundações nos campos agrícolas do Baixo Mondego. Estas informações fornecidas antes da época de cultivo dão uma ajuda adicional para a época seguinte. A metodologia

descrita pode facilmente ser aplicada aos terrenos com culturas, sem grandes alterações. A aplicação desta metodologia durante a época de cultivo permite uma melhor perceção do estado do solo, avaliando, desta forma, a extensão da inundação na área da Quinta do Canal e do Pranto.

Sabe-se ainda muito pouco acerca dos índices de água, pelo que, no futuro deveria existir mais algum estudo nesta temática. O maior desafio ao longo desta dissertação foi encontrar informação acerca dos mesmos, principalmente acerca do índice de água SWI.

É de salientar que existem outros índices de água que não foram estudados porque seria impossível abranger todos num trabalho e estudo limitado como é o caso desta dissertação.

No futuro seria interessante aplicar outros índices de água nesta zona de estudo, e, eventualmente, a outras condições, para avaliar qual o seu comportamento na avaliação da extensão das inundações.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Portuguesa do Ambiente (2021). *Monitorização e Avaliação*. Acedido em: 25,4,2022, em: <https://apambiente.pt/agua/monitorizacao-e-avaliacao>.

Arvor, D., Daher, F. R. G., Briand., D., Dufour, S., Rollet, A. J., Simoes, M. e Ferraz, R. P. D. (2018). Monitoring Thirty Years of Small Water Reservoirs Proliferation in the Southern Brazilian Amazon with Landsat Time Series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **145**: 225-237.

Bie, W., Fei, T., Liu., X., Liu, H. e Wu, G. (2020). Small water bodies mapped from Sentinel-2 MSI (MultiSpectral Imager) imagery with higher accuracy. *International Journal of Remote Sensing*, **41**: 7912-7930.

Catalão, J. (2013). *Apontamentos de Princípios e Aplicações de Detecção Remota*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Ceccato, P., Flasse, S. e Grégoire, J.M. (2002). Designing a Spectral index to Estimate Vegetation Water Content from Remote Sensing Data. *Remote Sensing Environ*, **82**: 198-207.

CCRS (2015). *Fundamentals of Remote Sensing*. Canada, pp. 5-22. ISBN: 978-600-459-647-3.

Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, **1**: 37-46.

Congalton, R.G. e Green, K. (2009). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. 2ª Edição. CRC PRESS. Boca Raton, Estados Unidos da América.

Congedo, L. (2021). *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*. Itália, pp. 2-227.

de Lima, I.P., Jorge, R.G. e de Lima, J.L.M.P. (2021). *Remote Sensing Monitoring of Rice Fields: Towards Assessing Water Saving Irrigation Management Practices*. *Frontiers in Remote Sensing*, 2, 762092. <https://doi.org/10.3389/frsen.2021>.

EOS@ (2022). *Sensoriamento remoto: Conceito e Aplicações*. Acedido em: 18,4,2022, em: <https://eos.com/pt/blog/sensoriamento-remoto/>.

Fernandes, J. (2017). *Detecção Remota e Processamento de Imagem*. Lisboa, pp. 10-77.

Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt R. e Proud, S.R. (2014). Automated Water Extraction Index: A New Technique for Surface Water Mapping Using Landsat Imagery. *Remote Sensing of Environment*, **140**: 23-35.

Fonseca, A. e Fernandes, J. (2004). *Detecção remota*. 1ª Edição. LIDEL. Lisboa, Portugal. ISBN: 972-757-292-8.

GIS Geography@ (2021). *Sentinel 2 Bands and Combinations*. Acedido em: 10,4,2022, em: <https://gisgeography.com/sentinel-2-bands-combinations/>.

Gonçalves, J.M. e de Lima, I.P. (2018). Improving Water Productivity in Irrigated Agriculture: Challenges from Climate Change and New Water Resources Paradigms. Em: *Theory and Practice of Climate Adaptation*. Editors F. Alves, W. Leal Filho e U. Azeiteiro. Springer, Cham, 347-361.

GoogleEarth@ (2022) *Google Earth*. Portugal. Disponível em:
<https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r>.

Gu, Y., Brown, J.F., Verdin, J.P. e Wardlow, B. (2007). *A Five-Year Analysis of MODIS NDVI and NDWI for Grassland Drought Assessment over the central Great Plains of the United States*. *Geophysical Research Letters*, 34, L06407. UK.

Haibo, Y., Zongmin, W., Hongling., Z. e Guo, Y. (2011). Water Body Extraction Methods Study Based on RS and GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 10: 2619-2624.

Halder, B. e Bandyopadhyay, J. (2022). Delineation of geospatial índices based water bodies' and vegetation change mapping using Sentinel-2 imagery in Canning blocks of south 24 parganas district, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 25: 2352-9385.

Howell, T.A. (2001). Enhancing Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture. *Agron. J.*, 93: 281-289.

Huang, C., Chen, Y., Zhang., S. e Wu, J. (2018). Detecting, Extracting, and Monitoring Surface Water from Space Using Optical Sensors: A Review. *Reviews of Geophysics*, 56: 333-360.

IPMA@ (2018) *Instituto Português do Mar e da Atmosfera*. Portugal. Disponível em:
<https://www.ipma.pt/pt/index.html>.

Jiang, W., Ni, Y., Pang, Z., He, G., Fu, J., Lu, J., Yang, K., Long, T. e Lei, T. (2020). A new índice for identifying water body from Sentinel-2 satellite remote sensing imagery. *XXIV ISPRS Congress*, 3: 10-5194.

Koppen, W. e Geiger (1936). *The Climates of North America*. R. HANDBUCH DER KLIMATOLOGIE. Berlim.

Ksenak, L., Pukanska, K., Bartos., K. e Blistan, P. (2022). *Assessment of the Usability of SAR and Optical Satellite Data for Monitoring Spatio-temporal Changes in Surface Water: Bodrog River Case Study*. ADRIANA BRUGGEMAN. Suíça.

Landis, J.R. e Koch, G.G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, **33**: 159-174.

Lira, C., Amorim, A., Silva, A.N. e Taborda, R. (2016). *Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite*. DGRM. Lisboa, Portugal. ISBN: 978-989-99601-5-2.

Mather, P.M. e Koch, M. (2011). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction*. 4ª Edição. WILEY-BLACKWELL. Chichester, UK. ISBN: 978-0-470-74239-6.

McFeeters, S.K. (1996). The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. *International Journal of Remote Sensing*, **17**: 1425-1432.

Mello, F. D. e Oldivo, A.D. (2016). Recursos hídricos: Poluição, escassez, qualidade microbiológica e química da água. *Colloquium Vitae*, **8**: 36-42.

Mendia, H.C.M. (1883). *A cultura do Arroz no distrito de Coimbra. Relatório dos Trabalhos da Comissão nomeada por Portaria de 16 de Setembro de 1882 apresentado a Sua Excellencia o Senhor ministro das Obras Públicas*. IMPRENSA NACIONAL. Lisboa, Portugal.

Neto, M.M.S. (1997). *Terra e Conflito. Região de Coimbra 1700-1834*. PALIMAGE EDITORES. Viseu, Portugal. ISBN: 978-97292-0-4.

Normile, D. (2008). Reinventing Rice to Feed the World. *Science*, **321**: 330-333.

Palmer, S.C.J., Kutser, T. e Hunter., P.D. (2015). Remote Sensing of Inland Waters: Challenges, Progress and Future Directions. *Remote Sensing of Environment*, **157**: 1-8.

Pereira, L.A. (1989). *Gestão da Rega do Arroz*. Tese de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 201 pp.

Rad, A.M., Kreitler, J. e Sadegh, M. (2021). Augmented Normalized Difference Water Index for improved surface water monitoring. *Environmental Modelling and Software*, **140**: 1364-8152.

Richards, J.A. e Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. 4ª Edição. SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG. Alemanha. ISBN: 978-3-540-29711-6.

Robinson, I.S. (2010). *Discovering the Oceans from Space: The unique applications of satellite oceanography*. SPRINGER PRAXIS BOOKS/ GEOPHYSICAL SCIENCE. Chichester, UK. ISBN: 978-3-540-68322-3.

Rodrigues, L.N. (2017). Quantidade de água utilizada na agricultura irrigada: certezas e incertezas nas estimativas. *ABID*, **114**: 47-53.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. e Deering, D.W. (1973). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the Third ERTS Symposium*, **1**: 309-317.

Quartaroli, C.F., Vicente, L.E. e Araujo, L.S. (2014). *Sensoriamento Remoto*. Brasília, pp. 61-79. ISBN: 978-85-7035-321-4.

Santos, J.F. e Freitas, V. (2011). *APROVEITAMENTO HIDROAGRÍCOLA DO BAIXO MONDEGO. Actualidade e desafios futuros*. Coimbra, Portugal.

Sentinel@ (2022). *Caracterização das bandas espectrais e resolução espacial*. Acedido em: 19,5,2022, em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>.

Serban, C., Maftai, C. e Dobrica, G. (2022). Surface Water Change Detection via Water Indices and Predictive Modeling Using Remote Sensing Imagery: A Case Study of Nuntasi-Tuzla Lake, Romania. *Water* **2022**, 14, 556.

Serrano, J., Shahidian, S. e Silva, J.M. (2019). Evaluation of Normalized Difference Water Index as a Tool for Monitoring Pasture Seasonal and Inter-Annual Variability in a Mediterranean Agro-Silvo-Pastoral System. *Water* **2019**, 11, 62.

Soleimani, H., Abbasnia, A., Yousefi., M., Mohammadi, A. A. e Khorasgani, F. C. (2018). Data on Assessment of Groundwater Quality for Drinking and Irrigation in Rural Area Sarpol-e Zahab City, Kermanshah Province, Iran. *Data in Brief*, **17**: 148-156.

Sousa, A.M. e Silva, J.R. (2011). *Fundamentos Teóricos de Detecção Remota*. Évora, pp. 4-57.

Vaquinhas, I. (1991). *Violência, justiça e sociedade rural: os campos de Coimbra, Montemor-o-Velho e Penacova de 1858 a 1918*. Coimbra, Portugal.

Venâncio, P. (2016). *Aplicação da Detecção Remota à Cartografia geológica da Região de Viseu*. Acedido em: 13,4,2022, em: <https://www.qgis.pt/detecao-remota-com-o-qgis/>.

Walter, M., Marchezan, E. e Avila, L.A. (2008). *Arroz: Composição e Características Nutricionais*. FITOTECNIA. Brasil.

Wikipedia@ (2022). *Distritos de Portugal*. Acedido em: 23,3,2022, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Distritos_de_Portugal.

Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, **27**: 3025-3033.

Yu, J., Hu, S., Wang, J., Wong, G. K., Li, S., Liu, B., et al. (2002). A Draft Sequence of the rice Genome (*Oryza Sativa* L. Ssp. *Indica*). *Science*, **296**: 79-92.

ANEXO A – TABELAS DE CONFUSÃO PARA O DIA 24 DE FEVEREIRO DE 2018

Tabela A.1 – Tabela de confusão do índice NDWI₁₀ para a área do Pranto

		NDWI ₁₀ - Pranto		
		Classified values		
		1	2	Total
Thematic raster classes	1	16	4	20
	2	1	7	8
	Total	17	11	28

Tabela A.2 - Tabela de confusão do índice NDWI₁₀ para a área da Quinta do Canal

		NDWI ₁₀ - QC		
		Classified values		
		1	2	Total
Thematic raster classes	1	17	3	20
	2	1	7	8
	Total	18	10	28

Tabela A.3 - Tabela de confusão do índice NDWI₂₀ para a área do Pranto

		NDWI ₂₀ - Pranto		
		Classified values		
		2	3	Total
Thematic raster classes	2	8	0	8
	3	5	15	20
	Total	13	15	28

Tabela A.4 - Tabela de confusão do índice NDWI₂₀ para a área da Quinta do Canal

		NDWI ₂₀ - QC		
		Classified values		
		2	3	Total
Thematic raster classes	2	19	1	20
	3	5	3	8
	Total	24	4	28

Tabela A.5 - Tabela de confusão do índice MNDWI₁₀ para a área do Pranto

		MNDWI ₁₀ - Pranto			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	7	1	0	8
	2	2	18	0	20
	3	0	0	5	5
	Total	9	19	5	33

Tabela A.6 - Tabela de confusão do índice MNDWI₁₀ para a área da Quinta do Canal

		MNDWI ₁₀ - QC			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	20	0	0	20
	2	1	7	0	8
	3	0	2	3	5
	Total	21	9	3	33

Tabela A.7 - Tabela de confusão do índice MNDWI₂₀ para a área do Pranto

		MNDWI ₂₀ - Pranto			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	4	0	1	5
	2	0	6	2	8
	3	0	1	19	20
	Total	4	7	22	33

Tabela A.8 - Tabela de confusão do índice MNDWI₂₀ para a área da Quinta do Canal

		MNDWI₂₀ - QC			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	20	0	0	20
	2	2	6	0	8
	3	0	0	5	5
	Total	22	6	5	33

Tabela A.9 - Tabela de confusão do índice ANDWI para a área do Pranto

		ANDWI - Pranto			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	5	0	0	5
	2	3	14	3	20
	3	0	0	8	8
	Total	8	14	11	33

Tabela A.10 - Tabela de confusão do índice ANDWI para a área da Quinta do Canal

		ANDWI - QC			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	17	3	0	20
	2	1	6	1	8
	3	0	1	4	5
	Total	18	10	5	33

Tabela A.111 - Tabela de confusão do índice SWI para a área do Pranto

		SWI - Pranto			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	4	1	0	5
	2	0	6	2	8
	3	0	4	16	20
	Total	4	11	18	33

Tabela A.12 - Tabela de confusão do índice SWI para a área da Quinta do Canal

		SWI - QC			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	16	1	3	20
	2	3	3	2	8
	3	2	0	3	5
	Total	21	4	8	33

Nota: Os números 1, 2 e 3 nas Tabelas abaixo significam solo, solo húmido/inundado e água, respetivamente.

ANEXO B – TABELAS DE CONFUSÃO PARA O DIA 21 DE MARÇO DE 2018

Tabela B.1 - Tabela de confusão do índice NDWI₁₀ para a área do Pranto

		NDWI ₁₀ - Pranto		
		Classified values		
		1	2	Total
Thematic raster classes	1	16	4	20
	2	4	4	8
Total		20	8	28

Tabela B.2 - Tabela de confusão do índice NDWI₁₀ para a área da Quinta do Canal

		NDWI ₁₀ - QC		
		Classified values		
		1	2	Total
Thematic raster classes	1	19	1	20
	2	1	7	8
Total		20	8	28

Tabela B.3 - Tabela de confusão do índice NDWI₂₀ para a área do Pranto

		NDWI ₂₀ - Pranto			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	4	0	1	5
	2	0	7	1	8
	3	0	7	13	20
Total		4	14	15	33

Tabela B.4 - Tabela de confusão do índice NDWI₂₀ para a área da Quinta do Canal

		NDWI ₂₀ - QC		
		Classified values		
		2	3	Total
Thematic raster classes	2	18	2	20
	3	4	4	8
	Total	22	6	28

Tabela B.5 - Tabela de confusão do índice MNDWI₁₀ para a área do Pranto

		MNDWI ₁₀ - Pranto			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	5	0	0	5
	2	1	7	0	8
	3	1	2	17	20
	Total	7	9	17	33

Tabela B.6 - Tabela de confusão do índice MNDWI₁₀ para a área da Quinta do Canal

		MNDWI ₁₀ - QC			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	18	0	2	20
	2	0	8	0	8
	3	0	0	5	5
	Total	18	8	7	33

Tabela B.7 - Tabela de confusão do índice MNDWI₂₀ para a área do Pranto

		MNDWI ₂₀ - Pranto			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	4	1	0	5
	2	1	5	2	8
	3	0	3	17	20
	Total	5	9	19	33

Tabela B.8 - Tabela de confusão do índice MNDWI₂₀ para a área da Quinta do Canal

		MNDWI₂₀ - QC			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	19	0	1	20
	2	0	8	0	8
	3	0	0	5	5
	Total	19	8	6	33

Tabela B.9 - Tabela de confusão do índice ANDWI para a área do Pranto

		ANDWI - Pranto			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	5	0	0	5
	2	1	3	4	8
	3	0	3	17	20
	Total	6	6	21	33

Tabela B.10 - Tabela de confusão do índice ANDWI para a área da Quinta do Canal

		ANDWI - QC			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	3	0	2	5
	2	0	17	3	20
	3	0	0	8	8
	Total	3	17	13	33

Tabela B.11 - Tabela de confusão do índice SWI para a área do Pranto

SWI - Pranto	
Classified values	

		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	3	2	0	5
	2	0	6	2	8
	3	1	6	13	20
	Total	4	14	15	33

Tabela B.12 - Tabela de confusão do índice SWI para a área da Quinta do Canal

		SWI - QC			
		Classified values			
		1	2	3	Total
Thematic raster classes	1	4	0	1	5
	2	0	8	0	8
	3	0	0	20	20
	Total	4	8	21	33

Nota: Os números 1, 2 e 3 nas Tabelas abaixo significam solo, solo húmido/inundado e água, respetivamente.