



Inventário hortícola da região do Oeste com recurso a imagens de satélite

Luís Carlos Marques Ribeiro

Mestrado em Engenharia Geográfica

Trabalho de Projeto orientado por:
Prof. Dr. João Catalão Fernandes e Prof. Dra. Ana Cristina Navarro Ferreira

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Inventário hortícola da região do Oeste com recurso a imagens de satélite

Luís Carlos Marques Ribeiro

Mestrado em Engenharia Geográfica

Trabalho de Projeto orientado por:
Prof. Dr. João Catalão Fernandes e Prof. Dra. Ana Cristina Navarro Ferreira

Agradecimentos

Na realização do presente projeto, contei com o apoio direto e indireto de múltiplas pessoas e instituições às quais estou profundamente grato, pelo que quero deixar expresso os meus agradecimentos:

Aos meus orientadores, Professor Doutor João Catalão e a Professora Doutora Ana Navarro por todo o acompanhamento prestado ao longo deste projeto. Agradeço o apoio e disponibilidade de ambos para resolver os problemas que foram surgindo, juntamente com as sugestões e críticas que foram essenciais para a conclusão deste projeto.

Ao Horto Carreiras Sociedade Agricultura de Grupo *Lda* e ao Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, I. P. - IFAP pela cedência de alguns dados imprescindíveis para a realização deste projeto.

A todos os professores de Licenciatura e Mestrado em Engenharia Geográfica pelo conhecimento transmitido ao longo destes anos.

A todos os amigos e colegas que de alguma forma contribuíram na elaboração deste projeto, pelo companheirismo, força e apoio. Para não correr o risco de não enumerar algum não vou mencionar ninguém, aqueles a quem este agradecimento se dirige sabê-lo-ão, desde já os meus agradecimentos.

Tendo consciência que sozinho nada disto teria sido possível, não poderia deixar de agradecer a minha mãe pelo apoio económico, pela força e carinho e também a minha irmã e sua família pela coragem e carinho ao longo da minha vida académica.

À minha namorada por ter estado ao meu lado nesta caminhada, pela paciência, motivação, incentivo, amizade e ajuda prestada durante a elaboração deste projeto. A ela dedico este trabalho!

A todos o meu sincero e profundo **Muito Obrigado!**

Resumo

A agricultura desempenha um importante papel na economia mundial sendo o conhecimento dos recursos agrícolas o objetivo primordial para a grande maioria dos países. Sendo a agricultura gerida para uma grande complexidade de objetivos, a recolha de informação constitui uma tarefa complexa, só possível com a realização de inventários agrícolas. Neste projeto pretende-se, com recurso a tecnologias de deteção remota, a identificação de culturas hortícolas numa base anual ao longo do seu ciclo de crescimento. Para tal, vai ser desenvolvida uma abordagem baseada na identificação de objetos espectrais homogéneos obtidos por segmentação da imagem de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e a posterior análise do seu comportamento ao longo de um ano. Para o efeito serão usadas imagens adquiridas pelo satélite Sentinel-2 com uma resolução temporal de 5 dias e uma resolução espacial de 10 metros. O pressuposto desta abordagem consiste na possibilidade de estabelecer uma correlação espacial entre o ciclo fenológico das hortícolas e as variações temporais do NDVI para cada objeto espectral. A análise da série temporal do NDVI permite discriminar as espécies vegetais de folha persistente (e.g. floresta) das restantes espécies sazonais com ciclo vegetativo bem identificado no tempo. Nesta última categoria estão incluídas todas as espécies agrícolas de regadio cuja identificação é efetuada por correlação entre o ciclo anual do NDVI e o ciclo vegetativo de cada espécie. Nesta análise são incluídos os parâmetros que caracterizam cada cultura, tais como a duração do ciclo fenológico, a data do início do ciclo, a intensidade do NDVI, a textura da parcela e a assinatura espectral da espécie. Como resultado é obtido um mapa com a identificação das parcelas com uma probabilidade elevada de corresponderem a hortícolas. Através da análise dos resultados é possível concluir que esta abordagem permite identificar prováveis áreas de cultura hortícola, uma vez que a exatidão do algoritmo ronda os 50% no que diz respeito a áreas de sobreposição e uma exatidão de 80% em relação à identificação de parcelas hortícolas com um mínimo de 1 píxel. A metodologia foi testada numa exploração agrícola em colaboração com a empresa Systerra, Lda.

Palavras-chaves: Análise multitemporal, Deteção Remota, NDVI, Culturas hortícolas, Sentinel-2.

Abstract

Agriculture has an important role in the world economy and the knowledge about the agricultural resources is the primary objective for the vast majority of countries. Since agriculture is managed for a vast complexity of objectives, the information's collection is a complex task that is only possible with the creation of agricultural inventories. This project objective is the identification of horticultural crops on an annual basis, through its growth cycle, with the use of remote sensing technologies. For this, an approach based on the identification of homogeneous spectral objects, obtained by segmentation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) image and the subsequent analysis of its behavior over a year, will be developed. For this purpose, the images acquired by the Sentinel-2 satellite will be used with a temporal resolution of 5 days and a spatial resolution of 10 meters. The assumption of this approach is the possibility of establishing a spatial correlation between the phenological cycle of horticultural crops and temporal variations of NDVI for each spectral object. The NDVI time series analysis allows the identification of persistent leaf species (e.g forest) of the remaining seasonal species with a well - identified vegetative cycle. In the latter set are included all irrigated agricultural species whose identification is made by correlation between the annual NDVI cycle and the vegetative cycle of each species. In this analysis are included the parameters that characterize each crop, such as the duration of the phenological cycle, the date of the beginning of the cycle, the intensity of the NDVI, the texture of the parcel and the spectral signature of the species. As a result, a map with the identification of plots with a high likelihood of corresponding to a horticulture crop is obtained. Through the analysis of the results weit is possible to conclude that this approach allows to identify probable areas of horticultural culture, since the accuracy of the algorithm is around 50% with respect to overlapping areas and approximately 80% in relation to the identification of horticultural parcels with a minimum of 1 pixel. The methodology was tested in collaboration with Systerra, *Lda*.

Keywords: Multitemporal analysis, Remote Detection, NDVI, Horticultural crops, Sentinel-2.

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	x
Acrónimos	xi
1. Introdução	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS	1
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO DE PROJETO	2
2. Estado de Arte	3
3. Conceitos teóricos	6
3.1. DETEÇÃO REMOTA	6
3.2. ASSINATURA ESPECTRAL	7
3.2.1. <i>Caracterização espectral da vegetação</i>	8
3.2.2. <i>Deteção de alteração</i>	9
3.2.3. <i>Índice de Vegetação da Diferença Normalizada</i>	10
3.3. MISSÃO SENTINEL-2.....	11
3.3.1. <i>Visão geral</i>	11
3.3.2. <i>Produtos</i>	12
4. Dados e Metodologia	14
4.1. ÁREA DE ESTUDO	14
4.2. DADOS UTILIZADOS	15
4.3. METODOLOGIA.....	17
4.3.1. <i>Extração de informação vetorial</i>	19
4.3.2. <i>Extração de informação das imagens</i>	19
4.3.3. <i>Classificação temporal píxel a píxel</i>	21
5. Resultados e Discussão	23
5.1. COMPORTAMENTO FENOLÓGICO DAS CULTURAS	23
5.1.1. <i>Análise das imagens NDVI</i>	25
5.1.2. <i>Máscara com zonas prováveis de conter ocupação hortícola</i>	29
5.2. RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO PÍXEL A PÍXEL	31
5.3. VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS	39

6. Conclusões e Perspetivas futuras.....	44
Referências bibliográficas	46
Anexos.....	50
ANEXO A – INFORMAÇÃO VETORIAL.....	50
ANEXO B – RESULTADOS DA VALIDAÇÃO	52

Lista de Figuras

FIGURA 3.1. RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA. (ADAPTADO DE BAIO E MATOS, 2007).....	6
FIGURA 3.2. ASSINATURAS ESPECTRAIS DE DIFERENTES SUPERFÍCIES. (ADAPTADO RICHARDS E JIA, 1999).....	7
FIGURA 3.3. CARACTERÍSTICAS DA RESOLUÇÃO ESPETRAL DA VEGETAÇÃO	8
FIGURA 3.4. VALORES OBTIDOS PARA O NDVI PARA UMA MESMA PLANTA EM CONDIÇÕES DISTINTAS (ADAPTADO DE WEIR E HERRING, 2000)	10
FIGURA 3.5. CONFIGURAÇÃO ORBITAL DOS SATÉLITES DUPLOS SENTINEL-2 (ADAPTADO DE DRUSCH ET AL., 2012) ...	11
FIGURA 3.6. GRÁFICO DE PROCESSAMENTO DE NÍVEL 1 (ADAPTADO DE DRUSCH ET AL., 2012)	13
FIGURA 4.1. ÁREA DE ESTUDO (DIVISÕES ADMINISTRATIVAS DA CARTA ADMINISTRATIVA OFICIAL DE PORTUGAL – CAOP).....	14
FIGURA 4.2. VALORES DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA E TEMPERATURA MÉDIA DAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS ENTRE 1981 E 2010 PARA A ESTAÇÃO DE SANTARÉM (ADAPTADO DE IMPA, 2017)	15
FIGURA 4.3. PARCELAS HORTÍCOLAS DISPONIBILIZADAS PELA HORTO CARREIRAS LDA.....	17
FIGURA 4.4. FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA UTILIZADA.....	18
FIGURA 4.5. A) IMAGEM COM VALORES DE MÉDIA DO NDVI B) IMAGEM COM VALORES DE MÉDIA DO DESVIO PADRÃO DO NDVI.....	21
FIGURA 4.6. SUBÁREA UTILIZADA PARA A CLASSIFICAÇÃO PÍXEL A PÍXEL DELIMITADA PELO POLÍGONO A COR PRETA	22
FIGURA 5.1. A) EVOLUÇÃO TEMPORAL DO NDVI NUMA PARCELA COM PLANTAÇÃO DE NABIÇAS SEGUIDA DE COENTROS. B) EVOLUÇÃO TEMPORAL DO NDVI NUMA PARCELA COM PLANTAÇÃO DE COENTROS SEGUIDA DE ESPINAFRES. C) EVOLUÇÃO TEMPORAL DO NDVI NUMA PARCELA COM PLANTAÇÃO DE ESPINAFRES SEGUIDA DE COENTROS. D) EVOLUÇÃO TEMPORAL DO NDVI NUMA PARCELA COM PLANTAÇÃO DE ESPINAFRES SEGUIDA DE COENTROS. E) EVOLUÇÃO TEMPORAL DO NDVI NUMA PARCELA COM PLANTAÇÃO DE NABIÇA SEGUIDA DE NABIÇA. F) EVOLUÇÃO TEMPORAL DO NDVI NUMA PARCELA COM PLANTAÇÃO DE NABIÇA SEGUIDA DE NABIÇA	24
FIGURA 5.2. A) EVOLUÇÃO TEMPORAL DO NDVI EM ZONAS URBANAS, B) EVOLUÇÃO TEMPORAL DO NDVI EM ZONAS DE FLORESTA, C) EVOLUÇÃO TEMPORAL DO NDVI EM ZONAS DE POMAR, D) EVOLUÇÃO TEMPORAL DO NDVI EM ZONAS SOLO NU	25
FIGURA 5.3. EVOLUÇÃO DE ABRIL A DEZEMBRO PARA A PARCELA, MAIS A ESQUERDA REPRESENTADO A AZUL, QUE CORRESPONDE AO GRÁFICO DA FIGURA 5.1A E PARA A PARCELA, MAIS A DIREITA REPRESENTADO A AZUL, QUE CORRESPONDE AO GRÁFICO DE FIGURA 5.1B, AS PARCELAS A VERMELHO CORRESPONDEM A OUTRAS PARCELAS EXISTENTES NO ESTUDO.....	26
FIGURA 5.4. EVOLUÇÃO DE ABRIL A DEZEMBRO PARA A PARCELA, MAIS A ESQUERDA REPRESENTADO A AZUL, QUE CORRESPONDE AO GRÁFICO DA FIGURA 5.1C E PARA A PARCELA, MAIS A DIREITA REPRESENTADO A AZUL, QUE CORRESPONDE AO GRÁFICO DE FIGURA 5.1D, AS PARCELAS A VERMELHO CORRESPONDEM A OUTRAS PARCELAS EXISTENTES NO ESTUDO.....	27
FIGURA 5.5. EVOLUÇÃO DE ABRIL A DEZEMBRO PARA A PARCELA, MAIS A ESQUERDA REPRESENTADO A AZUL, QUE CORRESPONDE AO GRÁFICO DA FIGURA 5.1E E PARA A PARCELA, MAIS A DIREITA REPRESENTADO A AZUL, QUE	

CORRESPONDE AO GRÁFICO DE FIGURA 5.1F, AS PARCELAS A VERMELHO CORRESPONDEM A OUTRAS PARCELAS EXISTENTES NO ESTUDO.....	28
FIGURA 5.6. COMPORTAMENTO DAS CULTURAS EM ANÁLISE (MÉDIA DO NDVI E DESVIO PADRÃO DO NDVI)	30
FIGURA 5.7. MÁSCARA REPRESENTATIVA COM ZONAS PROVÁVEIS DE CONTER OCUPAÇÃO HORTÍCOLA. OS PIXÉIS A PRETO SERÃO ELIMINADOS DO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO DE HORTÍCOLAS	31
FIGURA 5.8. FICHEIRO DE SAÍDA QUE CONSISTE NA LOCALIZAÇÃO DO PÍXEL COM PROBABILIDADE DE SER HORTÍCOLA..	31
FIGURA 5.9. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO CICLO HORTÍCOLA COM REPRESENTAÇÃO DOS PARÂMETROS UTILIZADOS ..	32
FIGURA 5.10. A) PIXÉIS IDENTIFICADOS COMO HORTÍCOLAS DE ACORDO COM OS PARÂMETROS DO TESTE T16, B) AGREGAÇÃO DOS PIXÉIS DO TESTE T16	33
FIGURA 5.11. A) PIXÉIS IDENTIFICADOS COMO HORTÍCOLAS DE ACORDO COM OS PARÂMETROS DO TESTE T15, B) AGREGAÇÃO DOS PIXÉIS DO TESTE T15, C) PIXÉIS IDENTIFICADOS COMO HORTÍCOLAS DE ACORDO COM OS PARÂMETROS DO TESTE T14, D) AGREGAÇÃO DOS PIXÉIS DO TESTE T14.....	34
FIGURA 5.12. A) PIXÉIS IDENTIFICADOS COMO HORTÍCOLAS DE ACORDO COM OS PARÂMETROS DO TESTE T13, B) AGREGAÇÃO DOS PIXÉIS DO TESTE T13, C) PIXÉIS IDENTIFICADOS COMO HORTÍCOLAS DE ACORDO COM OS PARÂMETROS DO TESTE T12, D) AGREGAÇÃO DOS PIXÉIS DO TESTE T12.....	35
FIGURA 5.13. A) PIXÉIS IDENTIFICADOS COMO HORTÍCOLAS DE ACORDO COM OS PARÂMETROS DO TESTE T11, B) AGREGAÇÃO DOS PIXÉIS DO TESTE T11, C) PIXÉIS IDENTIFICADOS COMO HORTÍCOLAS DE ACORDO COM OS PARÂMETROS DO TESTE T10, D) AGREGAÇÃO DOS PIXÉIS DO TESTE T10.....	36
FIGURA 5.14. A) RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO PÍXEL A PÍXEL PARA A ZONA DO RIBATEJO TESTE T16, B) RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO PÍXEL A PÍXEL PARA A ZONA DO RIBATEJO TESTE T15, C) RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO PÍXEL A PÍXEL PARA A ZONA DO RIBATEJO TESTE T14, D) RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO PÍXEL A PÍXEL PARA A ZONA DO RIBATEJO TESTE T13, E) RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO PÍXEL A PÍXEL PARA A ZONA DO RIBATEJO TESTE T12, F) RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO PÍXEL A PÍXEL PARA A ZONA DO RIBATEJO TESTE T11	37
FIGURA 5.15. RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO PÍXEL A PÍXEL PARA A ZONA DO RIBATEJO TESTE T10	38
FIGURA 5.16. PIOR RESULTADO PARA AS PARCELAS DE MILHO	40
FIGURA 5.17. MELHOR RESULTADO PARA AS PARCELAS DE ARROZ, B) PIOR RESULTADO PARA AS PARCELAS DE ARROZ	41
FIGURA 5.18. MELHOR RESULTADO PARA AS PARCELAS DE TOMATE, B) PIOR RESULTADO PARA AS PARCELAS DE TOMATE	42
FIGURA 5.19. MAPA COM A IDENTIFICAÇÃO DAS PARCELAS COM UMA PROBABILIDADE ELEVADA DE CORRESPONDEREM A HORTÍCOLAS	43
FIGURA A.1. PARCELAS DE VALIDAÇÃO FORNECIDAS PELO IFAP	51

Lista de Tabelas

TABELA 3.1. INFORMAÇÃO DE BANDAS ESPECTRAIS SENTINEL-2	12
TABELA 4.1. DATAS DE AQUISIÇÃO DAS IMAGENS SENTINEL-2A UTILIZADAS NO PROJETO	15
TABELA 4.2. BANDAS DAS IMAGENS SENTINEL-2A UTILIZADAS NO PROJETO	16
TABELA 4.3. APLICAÇÕES INFORMÁTICAS E ETAPAS EM QUE FORAM UTILIZADAS.....	19
TABELA 4.4. ATRIBUTOS DA INFORMAÇÃO VETORIAL	19
TABELA 4.5. EXEMPLO DO FICHEIRO DE SAÍDA PROGRAMA MATLAB COM OS RESULTADOS OBTIDOS PARA A PARCELA 17	20
TABELA 5.1. VALORES DA MÉDIA E MÉDIA DO DESVIO PADRÃO PARA AS DIVERSAS CULTURAS CONSIDERADAS NO ESTUDO	29
TABELA 5.2. CARACTERÍSTICAS DAS CULTURAS.....	32
TABELA 5.3. PARÂMETROS PARA A CLASSIFICAÇÃO PÍXEL A PÍXEL.....	33
TABELA 5.4. VALOR TOTAL DE PONTOS E PARCELAS PARA A CLASSIFICAÇÃO PÍXEL A PÍXEL	38
TABELA 5.5. RESULTADOS DOS MÉTODOS DE VALIDAÇÃO PARA AS PARCELAS HORTÍCOLAS	39
TABELA 5.6. RESULTADOS DOS MÉTODOS DE VALIDAÇÃO PARA AS PARCELAS DE MILHO	40
TABELA 5.7. RESULTADOS DOS MÉTODOS DE VALIDAÇÃO PARA AS PARCELAS DE ARROZ	41
TABELA 5.8. RESULTADOS DOS MÉTODOS DE VALIDAÇÃO PARA AS PARCELAS DE TOMATE DE CULTURA PERMANENTE .	42
TABELA A.1. INFORMAÇÃO VETORIAL DAS PARCELAS	50
TABELA B.1 CONTAGEM DE PONTOS POR PARCELA	52
TABELA B.2 CONTAGEM DE ÁREA POR PARCELA ASSUMINDO QUE CADA PONTO CORRESPONDE A 10 M2 (TAMANHO DO PIXEL)	53

Acrónimos

DR	Deteção Remota
ETRS89/PT-TM06	European Terrestrial Reference System 1989/Portugal Transverse Mercator 2006
MSI	<i>MultiSpectral Instrument</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada)
REM	Radiação eletromagnética
S2	Sentinel-2
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SNAP	Sentinel Application Platform
WSG84	World Geodetic System 1984

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A discriminação de culturas constitui uma etapa crítica para a maioria dos sistemas de monitorização agrícola. A capacidade de identificar o tipo de cultura permite estimar a área ocupada por cada tipo de cultura e, portanto, calcular estatísticas relevantes, que fornecem informações essenciais para o controlo de culturas, o cálculo de subsídios e a previsão da produção agrícola [Blaes *et al.*, 2005].

A informação produzida a partir de Deteção Remota (DR) tem sido cada vez mais utilizada no estudo de ambientes naturais e seminaturais recorrendo a técnicas desde a interpretação visual até à aplicação de sofisticados métodos de extração de informação a partir de análises avançadas dos dados e de algoritmos estatísticos [Kohl *et al.*, 2006].

Nas últimas décadas, a tecnologia e os métodos utilizados em DR têm evoluído significativamente. Esta tecnologia apresenta um vasto rol de aplicações, sendo de salientar a sua utilização em estudos de vegetação. A DR a partir de imagens de satélite mostra-se especialmente adequada para a avaliação de alterações de cobertura do solo. A disponibilidade de imagens de satélites de alta resolução, como é o caso do Sentinel-2 (S2), abre novas possibilidades para a análise e a monitorização dos recursos agrícolas. Recorrendo a séries temporais de imagens de satélites e a sistemas de informação geográfica (SIG), é possível avaliar a dinâmica das alterações da cobertura do solo e por conseguinte, contribuir com ferramentas de suporte à gestão e ao planeamento de culturas hortícolas.

O propósito deste projeto surge com o intuito de explorar o potencial de imagens de DR para a monitorização de culturas hortícolas. Com base na resposta da vegetação à radiação eletromagnética (REM), consegue-se tirar partido desta relação e caracterizar as culturas agrícolas. Desta forma é possível distinguir as parcelas hortícolas e, conseqüentemente, criar um mapa que identifique com elevada probabilidade as parcelas hortícolas existentes numa determinada região.

1.2. Objetivos

A utilização da DR como auxílio na produção de inventários hortícolas tem demonstrado grande utilidade para a produção automática de cartografia à escala global, nacional e regional. A DR tem também tido um papel importante na deteção de alterações ocorridas no uso do solo. Assim sendo, este trabalho de projeto tem por objetivo desenvolver uma metodologia que permita inventariar os produtos hortícolas em cada ano agrícola com recurso a imagens do satélite Sentinel-2A (S2A). Para o efeito é efetuada uma análise multitemporal com recurso a imagens de satélite e a informação sobre as parcelas hortícolas. Com este projeto pretende-se estudar a fenologia das culturas através do Índice de Vegetação de Diferenças Normalizadas (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*), avaliar o comportamento das diferentes culturas hortícolas e verificar se é possível detetar as diferentes fases fenológicas. Este projeto foi desenvolvido em parceria com a empresa Systerra, Lda.

1.3. Estrutura do trabalho de projeto

No capítulo seguinte, capítulo 2, é apresentado o estado de arte, de modo a contextualizar a metodologia implementada neste projeto, assim como a descrição de alguns estudos já efetuados no âmbito do tema. De seguida, no capítulo 3, são definidos os princípios e fundamentos teóricos da DR.

O capítulo 4 descreve a área de teste, a informação utilizada para a realização do projeto e a metodologia desenvolvida. A apresentação e discussão dos resultados obtidos são feitas no capítulo 5. Por fim, no capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões do estudo e tecidas algumas sugestões para trabalhos futuros. Para além destes 6 capítulos, seguem-se as referências e ainda alguns anexos que incluem informação complementar.

2. Estado de Arte

As culturas hortícolas, constituídas por frutas, legumes, flores, especiarias, plantações e plantas medicinais, desempenham um papel significativo na economia, no emprego, na auto-suficiência nacional, na saúde, na alimentação e na segurança nutricional do país. Para uma melhor gestão das culturas existentes é necessário possuir uma base de dados atualizada e precisa, para o planeamento sistemático e tomada de decisão. A DR torna-se uma ferramenta avançada que auxilia a recolha e atualização de informação para o desenvolvimento de planos de gestão científica [Usha e Singh, 2013].

Os sistemas de DR, devido ao uso regular, sinóptico, multiespectral e temporal de uma área fornecem uma base de dados precisa sobre o comportamento espectral das culturas, bem como do seu ambiente de crescimento, ou seja, solo e atmosfera. Estes dados podem ser usados para uma série de aplicações, tais como a elaboração de inventários de colheita, a avaliação das condições de colheita, a elaboração de previsões de produção, a avaliação da qualidade da fruta, o cálculo do índice de área foliar, a deteção do crescimento e da saúde das culturas hortícolas, a avaliação de seca ou de danos de inundação, e a monitorização e gestão do solo [Sahai e Dadhwal, 1990; Min *et al.*, 2008a; Mondal e Basu, 2009].

Para a identificação precisa do uso do solo de áreas agrícolas a uma grande escala são necessárias imagens de DR com alta resolução espacial e temporal [Dusseux *et al.*, 2014]. As imagens obtidas pelos satélites S2, operado pela Agência Espacial Europeia, proporcionam uma melhoria significativa na cobertura espectral, na resolução espacial e na frequência de revisita comparativamente ao sistema de sensores Landsat [Drusch *et al.*, 2012].

A missão S2 oferece uma combinação sem precedentes da cobertura global sistemática da superfície terrestre, uma revisita de cinco dias no equador com as mesmas condições de visualização, uma alta resolução espacial e um amplo campo de visão para observações multiespectrais [Drusch *et al.*, 2012]. No total, os sensores têm 13 bandas espectrais, listadas como banda 1-8, 8a e 9-12, com uma resolução espacial de 10 m (banda 2, 3, 4 e 8), 20 m (banda 5, 6, 7, 8a, 11 e 12) e 60 m (banda 1, 9 e 10), as quais fornecem dados para aplicações de alta a média resolução [Richter *et al.*, 2012]. Potencialmente, a fusão das constelações Landsat e S2 aumentará a capacidade de mapear as plantações com uma resolução moderada numa abordagem económica numo futuro próximo [Torbick *et al.*, 2017]. No entanto, o posicionamento e o número de bandas espectrais do S2 foram definidos para oferecer um desempenho aumentado em comparação com as bandas equivalentes nos sensores SPOT e Landsat [D'Odorico *et al.*, 2013].

Detetar e caracterizar mudanças ao longo do tempo é o primeiro passo para compreender o mecanismo da mudança. A DR tem sido usada como um meio de detetar e classificar as mudanças na superfície terrestre ao longo do tempo [Coppin *et al.*, 2004]. Os sensores instalados a bordo dos satélites são adequados para esta tarefa, pois proporcionam medições consistentes e repetitivas numa escala espacial apropriada para capturar os efeitos de muitos processos que causam mudanças incluindo mudanças naturais (e. g., incêndios e ataques de insectos) e distúrbios antropogénicos (e. g., urbanização e agricultura) [Jim e Sader, 2005].

O uso de séries temporais de imagens de satélites para classificar a vegetação tem sido o tópico de muitas pesquisas ao longo do tempo, particularmente à medida que as capacidades temporais dos sistemas de satélites têm vindo a melhorar de forma consistente [Justice e Hiernaux, 1983; Atzberger e Eilers, 2011]. As séries multitemporais de dados óticos de resolução espacial média demonstram alta capacidade de caracterização de fenómenos ambientais, descrevendo tendências bem como eventos discretos de mudança. Estas séries foram utilizadas para mapear distúrbios florestais [Cohen et al., 2010] e corpos de água superficiais [Tulbure e Broich, 2013], para caracterizar a ocupação do solo [Zhue e Woodcock, 2014a] e na deteção de alteração da ocupação do solo [Olthof e Fraser, 2014].

As imagens de DR multitemporal e multiespectral têm sido extensivamente utilizadas para o reconhecimento de culturas nos últimos anos [Conrad et al., 2010; Yang et al., 2011], uma vez que as séries temporais de imagens de satélite são uma fonte de dados mais económica para a avaliação da cobertura do solo, como grandes áreas de culturas agrícolas [El Hajj et al., 2009].

Zillmann e Weichelt [2014] referem que a classificação de culturas é um fator chave na monitorização agrícola, que beneficia da análise multitemporal de imagens correspondentes ao seu período de crescimento, utilizando o comportamento fenológico distinto de diferentes culturas. Diversos estudos mostram a importância da análise multitemporal de imagens óticas para detetar variações fenológicas das culturas ao longo do ano [Yang et al., 2011; Zillmann e Weichelt, 2014]. No entanto, a resposta espectral de algumas culturas pode ser semelhante em determinados períodos, mas pode também mostrar diferenças durante a época de crescimento, permitindo a sua discriminação. As limitações à identificação de culturas com base em imagens de satélite estão relacionadas com fatores tais como, a semelhança da refletância de plantas de diferentes culturas, a variação de parcela a parcela da refletância da planta da mesma cultura e as mudanças no padrão da fenologia da cultura [Yang et al., 2011]

A DR tem mostrado a sua eficácia na produção de mapas precisos de uso e ocupação do solo para monitorizar as alterações em intervalos regulares através de dados multitemporais. A natureza dinâmica da agricultura, sazonalidade e a sua ocorrência em quase toda a parte constituem um forte incentivo para cientistas monitorizarem a agricultura a partir do espaço [Khan et al., 2010]. Karjalainen et al. [2008], McNairn et al. [2009], Long et al. [2013] verificaram que a utilização de imagens de várias datas possibilitam uma melhoria significativa na classificação de culturas mencionando a importância de análises multitemporais neste tipo de estudos. Long et al. [2013] referem ainda que os modelos multitemporais produzem melhores resultados do que dados de uma única data.

Os inventários de culturas baseados em DR, assim como a discriminação de culturas, baseiam-se na resposta espectral de várias culturas num espaço de características multidimensional produzido por diferentes faixas espectrais, ou no domínio do tempo ou em ambos os fatores, sendo influenciados pelas características dos sensores bem como pelas técnicas de reconhecimento de padrões [Dadhwal et al., 2002]. A disponibilidade de várias bandas espectrais permite uma exploração mais eficiente das características espectrais dos alvos, em conjunto com os modos de operação dos diversos sistemas de sensores.

A relação entre a informação dos satélites e as características das culturas é usualmente descrita a partir de índices de vegetação que fornecem informações sobre as condições de vegetação e permitem inferir quanto ao uso e cobertura do solo. Estes índices têm sido utilizados na monitorização e deteção de vegetação e na deteção de alterações da ocupação do solo [Khan *et al.*, 2010]. Os índices de vegetação, tais como o Índice de Vegetação de Diferenças Normalizadas (NDVI), ou as variáveis biofísicas, tais como o Índice de Área Foliar (LAI), podem ser usados para monitorizar o crescimento da vegetação e avaliar a cobertura do solo [Gao *et al.*, 2013; Wei, 2010].

Embora existam muitos índices de vegetação, o NDVI é o mais utilizado a nível global. Desenvolvido por Rouse *et al.* [1973], o NDVI é calculado a partir das refletâncias espectrais ao nível do topo da atmosfera das bandas de vermelho (ρ_{red}) e de infravermelho próximo (ρ_{nir}), sendo obtido através da divisão da diferença dos valores da refletância do infravermelho próximo e do vermelho da zona do visível do espectro eletromagnético, pela diferença entre os mesmos valores de refletância (Equação (1)).

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (1)$$

Na região do visível e do infravermelho, a interação da radiação eletromagnética (REM) com as culturas é influenciada pelo teor de clorofila e de água, enquanto que a geometria da cultura e as propriedades dielétricas influenciam a resposta na região do micro-ondas [Dadhwal *et al.*, 2002].

Estes comprimentos de onda são os mais sensíveis à absorção, reflexão e transmissão de energia da clorofila presente nas folhas e também à densidade de vegetação verde na superfície do solo. A junção destes dois comprimentos de onda (zona de baixa refletância com uma zona de alta refletância) permite obter o contraste máximo entre o solo e a vegetação [Warren *et al.*, 2005]. Lyon *et al.* [1998] calcularam sete índices de vegetação aplicados com base em imagens de diferentes datas para detetar alterações na cobertura do solo e comprovaram que a técnica de diferenças de NDVI manifestou ser a melhor na deteção de alteração da vegetação. Silva *et al.* [2009] aplicaram o NDVI numa análise multitemporal de vegetação, justificando a escolha deste índice pelo facto de ser um processo passível de automatização e pelos resultados serem obtidos rapidamente, relativamente a outras formas de deteção de alteração.

A fenologia de diferentes tipos de culturas e de outras estruturas de vegetação agrícola conduz a diferentes condições de aparência e, portanto, fornece um maior conteúdo de informação [Bargiel e Hermann, 2011]. Jönsson *et al.* [2002] estudaram o modo como a taxa de aumento de NDVI durante o início do ciclo se relaciona com a dinâmica da vegetação. Esta pode ser estimada a partir dos máximos e mínimos da primeira derivada dos valores de NDVI para cada ciclo de crescimento. White *et al.* [2006] utilizaram o sensor AVHRR para desenvolver técnicas de previsão em tempo real. Neste estudo foi analisado o comportamento fenológico de um grupo de píxeis sem recorrer ao ajustamento da série temporal, tendo sido concluído que sem usar ajustamento, a fenologia da superfície pode ser prevista com 7 dias de avanço com uma incerteza associada de 2 dias.

3. Conceitos teóricos

Neste capítulo procura-se demonstrar a interligação existente entre a utilização da DR e a produção de inventários hortícolas. Numa primeira parte, será feita uma breve introdução ao conceito de detecção remota, sucedendo a caracterização espectral da vegetação. Por fim, apresenta-se a missão S2.

3.1. Detecção Remota

Para Lillesand e Kiefer (1994), a DR é descrita como a arte e a ciência de obter informação de um objeto, área ou fenómeno através da análise de dados adquiridos por um instrumento que não está em contacto com o objeto, área ou fenómeno analisado. A aquisição de imagens baseia-se no facto de os objetos da superfície terrestre refletirem REM proveniente do Sol [Fonseca e Fernandes, 2004]. Os sensores para captar as imagens podem estar montados em aviões ou em satélites, adquirindo diferentes tipos de imagens que podem ter diferentes aplicações.

Um dos principais requisitos para a DR é a existência de uma fonte de energia para iluminar o alvo, esta energia encontra-se na forma de REM que liga os elementos intervenientes da DR. Esta REM consiste num campo elétrico que varia em magnitude na direção perpendicular à direção de deslocamento da radiação e um campo magnético orientado perpendicularmente ao campo elétrico (Figura 3.1) sendo que ambas se deslocam a velocidade da luz.

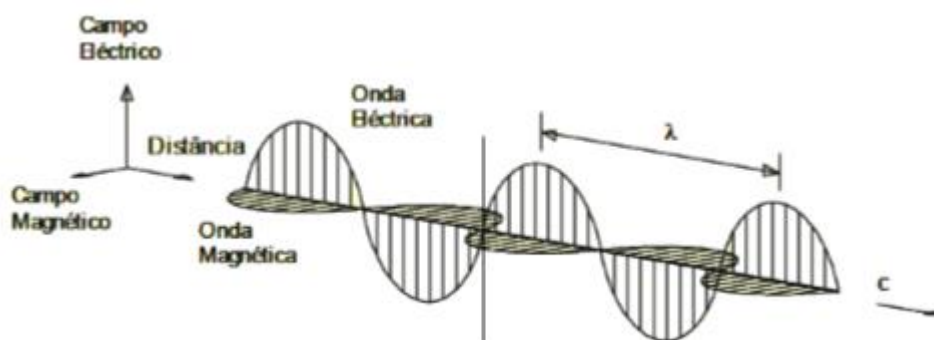


Figura 3.1. Radiação eletromagnética. (Adaptado de Baio e Matos, 2007)

As imagens de satélites diferem consoante o tipo de instrumentos que as captam. Estas variações podem ocorrer ao nível da resolução espectral, espacial, temporal e radiométrica:

- A resolução espectral é a capacidade do sensor definir intervalos de comprimentos de onda distintas. Quanto mais fina a resolução espectral mais estreito é o intervalo de comprimento de onda para uma determinada banda ou canal [Catalão, 2015]. Esta resolução envolve os seguintes parâmetros: (i) o número de bandas que o sensor possui; (ii) a largura do comprimento de onda das bandas; e (iii) a posição em que as bandas estão situadas no espectro eletromagnético.

- A resolução espacial é a menor área que pode ser representada na imagem correspondendo ao valor do GIFOV (*Ground-projected Instantaneous Field of View*). Quando só é possível observar elementos de grande dimensão, isto significa que a resolução é baixa por outro lado, quando objetos pequenos são detetados a resolução é elevada [Catalão, 2015].
- A resolução temporal é dada como o período de revisita, ou seja o tempo que demora o satélite a completar um ciclo orbital. A resolução temporal pode ser: (i) absoluta, se as imagens do mesmo local possuírem o mesmo ângulo de observação; (ii) relativa, se as imagens captadas por um satélite no mesmo local não possuírem o mesmo ângulo de observação.
- A resolução radiométrica descreve a capacidade de discriminar pequenas diferenças na energia numa dada imagem. Um sensor com grande a resolução radiométrica será mais sensível na deteção de pequenas diferenças na energia refletida. A resolução radiométrica de um sensor é proporcional à sua capacidade de deteção e registo de pequenas diferenças na energia [Catalão, 2015].

3.2. Assinatura espectral

Existem superfícies específicas, tais como rocha, água ou vegetação com um comportamento característico de reflexão ou de emissão da radiação eletromagnética que designamos por assinatura espectral. Esta assinatura espectral é influenciada por vários fatores, tais como as propriedades do material, topografia ou a modificação de radiação pela atmosfera [Richards and Jia, 1999]. Na Figura 3.2 podemos ver as assinaturas espectrais de alguns elementos da superfície terrestre. De notar o comportamento da relva, bem distinto de todos os outros elementos, com uma forte refletancia na região do infravermelho que permite identificar os elementos da vegetação de forma inequívoca usando os índices NDVI, anteriormente mencionado.

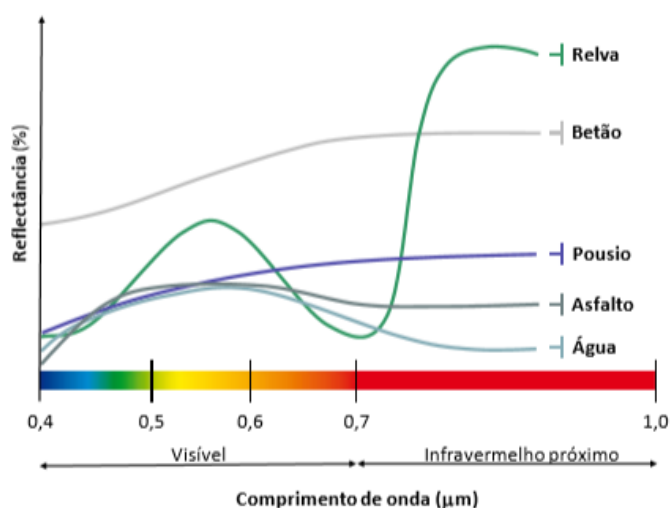


Figura 3.2. Assinaturas espectrais de diferentes superfícies. (Adaptado Richards e Jia, 1999)

De referir que a assinatura espectral dos materiais pode ser alterada pelas condições atmosféricas, pelas condições de iluminação, estação do ano e tipo de solo (no caso das plantas).

3.2.1. Caracterização espectral da vegetação

O comportamento espectral da vegetação caracteriza-se pelo aumento da refletância na zona do infravermelho próximo, entre 700 e 1200 nm (Figura 3.3). Esta refletância ocorre uma vez que as plantas absorvem essa energia da mesma forma que o fazem na região do visível. As plantas adaptaram-se para que não necessitassem de utilizar essa quantidade de energia do infravermelho próximo e simplesmente refletem-na ou transmitem-na para folhas subjacentes ou para o solo (Jensen, 2000).

As plantas necessitam de água para sobreviver e crescer. Sendo que a água é absorvida pela raiz e sobe até as folhas pelo caule. Quando a planta é regada ou quando chove, tem tendência para armazenar a maior quantidade de água de que é capaz, caso contrario, a quantidade de água na planta diminui com o passar do tempo ficando sem água no seu interior. Este aspeto é observado nas imagens de satélite, no sentido em que há uma grande relação entre a refletância da energia no infravermelho médio entre 1300 e 2500 nm e a quantidade de água presente numa planta, dando origem a dois picos de refletância aos 1600 e 2200 nm (Figura 3.3) (Jensen, 2000).

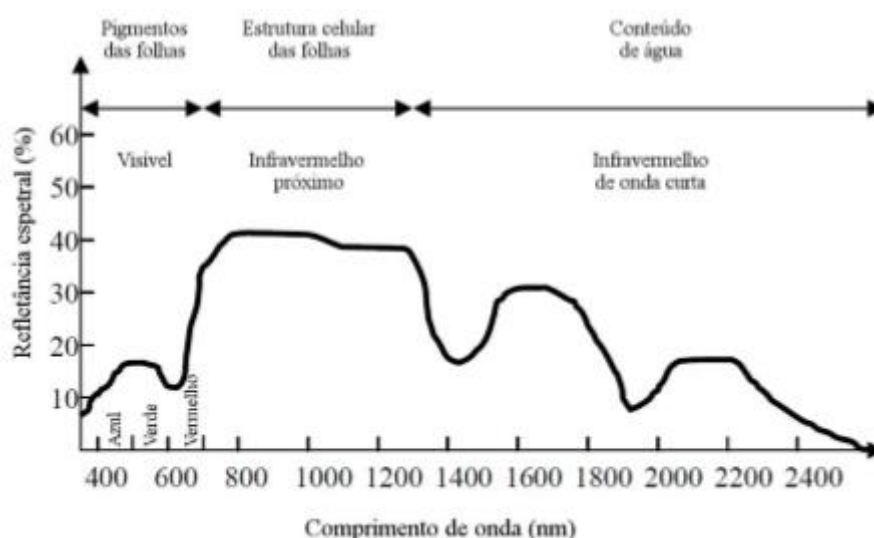


Figura 3.3. Características da resolução espectral da vegetação

É importante ter em consideração que nem todas as plantas funcionam da mesma maneira. Existem diferentes espécies de plantas e cada uma possui características diferentes. Mesmo as plantas da mesma espécie podem apresentar propriedades alteradas, devendo-se a fatores externos. Cada espécie absorve e reflete a luz de diferentes formas pois, têm características que faz com que os passos explicados anteriormente seja realizados de formas diferentes, ou seja, resulta em refletâncias de comprimentos de onda distintas, o que pode levar a identificação de diferentes espécies de flora utilizando imagens de satélites. Contudo, é possível que as plantas se encontrem doentes o que faz com que a refletância de comprimentos de ondas seja anómala comparativamente aos normais, sendo estes aspetos relevantes para o estudo do estado de saúde de determinada área de vegetação. Esta vegetação varia de acordo com outro fator de grande importância, a sazonalidade. As estações do ano

acontecem em períodos idêntico todos os anos, dependendo da estação do ano o comportamento da planta é diferente espectralmente, por exemplo, no inverno existe maior precipitação, a planta irá conter maior quantidade de água do que no verão, período do ano em que a chuva é comparativamente mais baixo, existindo maior refletância no infravermelho próximo no inverno do que no verão, no entanto, como no inverno existe maior precipitação, existe igualmente a presença de nuvens, o que afeta a captação de imagens da superfície terrestre. Existem plantas de folhas caduca, que não possuem folhas de inverno, e folhas permanentes, que possuem folhas todo o ano, este é mais um aspeto importante a ter em conta quando se estuda a vegetação com imagens de satélite uma vez que poderia ocorrer a identificação de uma área sem vegetação no inverno quando na realidade existe vegetação, mas, nessa altura do ano encontra-se sem folhas [Jensen, 2000].

Existem outro fatores que influenciam e diferenciam as características espectrais que um sensor capta relativamente à vegetação, todo isto na agricultura [Jensen, 2000], tais como, culturas plantadas com um intervalo de tempo entre si (por exemplo, de 10 dias) irão apresentar coberturas menos desenvolvidas que as outras, outro facto, se a cultura receber mais água que outra ir resultar na produção de biomassa, existindo diferenças nas coberturas das culturas; se uma cultura madurece mais cedo que outra (devido a fertilizantes ou poda); se a cultura apresentar um espaçamento ou orientação diferente de outra cultura e ainda se as coberturas das culturas forem diferentes entre si. Tendo em conta estes fatores, quando se realiza estudos multitemporais de vegetação é importante a escolha de imagens que combinem como o mesmo período do ano, minimizando diferenças espectrais da vegetação e obtendo melhores resultados.

3.2.2. *Deteção de alteração*

A deteção de alterações é um método de identificação de diferenças no estado de um objeto ou fenómeno através da observação em diferentes datas. Este método envolve a habilidade de quantificar os efeitos temporais usando dados multitemporais, sendo utilizados para varias aplicações como análises de alterações do uso solo, gestão de terrenos agrícolas, avaliação de desflorestamento, estudo de mudanças fenológicas da vegetação, mudanças sazonais na produção de pastagens, avaliação de danos, deteção de *stress* na vegetação, gestão de desastres e medições sobre o descongelamento de neve, análise das características termais do dia/noite e outras mudanças ambientais [Singh, 1989].

A deteção de alteração presume a existência de características que podem ser medidas e comparadas, diferenciar mudanças num objeto ou fenómeno é um processo utilizado no dia-a-dia de forma automática pelo Homem. Quando observamos algo, estamos a compará-lo (inconscientemente ou conscientemente) com uma ideia ou conceito que já existe na nossa mente. Assim sendo, a partir de imagens obtidas na mesma área e em diferentes períodos é possível fazer um estudo de deteção de alterações. Existem diversos métodos desde os mais simples baseados na análise ao nível do píxel, aos métodos mais complexos, baseadas na análise ao nível do objeto. A escolha do método depende da área de estudo e os objetivos dos mesmos.

A informação sobre alteração na superfície terrestre torna-se cada vez mais importante na monitorização local, regional e global. Para este projeto utilizou-se o índice de vegetação NDVI, que permite conhecer rapidamente o estado da vegetação. Com o NDVI pretende-se calcular variáveis (desvio padrão e média) que permitem identificar o comportamento das culturas hortícolas. A partir

das alterações identificadas numa parcela (com um tipo de cultura), procura-se descrever o seu comportamento ao longo da série temporal obtendo a característica da mesma.

3.2.3. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

O NDVI é utilizado em todo o mundo para fins como a avaliação de zonas de risco de incendio florestal, produção agrícola, monitorização das secas ou mapeamento do avanço da desertificação. Tornando-se o índice preferido para monitorizar a vegetação global, uma vez que permite compensar as condições de iluminação, a inclinação do terreno ou outros fatores externos [Lillesand *et al.*, 2004].

Este índice é especialmente usado para determinar a densidade de vegetação verde da cobertura do solo, através da análise dos comprimentos de onda da luz solar visível e do infravermelho próximo, refletido pela planta. Nas plantas, o pigmento de clorofila das folhas absorve vigorosamente a luz visível (0.4 – 0.7 µm) na fotossíntese, e a estrutura das folhas, reflete a luz do infravermelho próximo (0.7 – 1.1 µm). Quanto maior for a quantidade de folhas da planta maior será a reflectância no infravermelho (Figura 3.4).

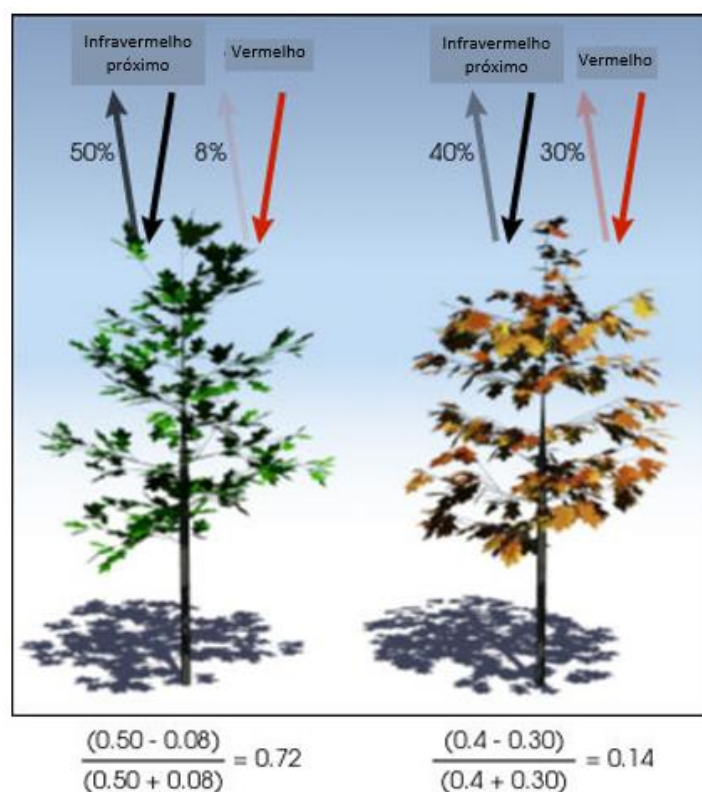


Figura 3.4. Valores obtidos para o NDVI para uma mesma planta em condições distintas (adaptado de Weir e Herring, 2000)

Na figura 3.3 é apresentado um exemplo do cálculo do NDVI para uma árvore saudável e uma árvore com pouca vegetação (doente). A árvore da esquerda, vegetação saudável, absorve a maior parte da luz do vermelho visível incidente e reflete grande parte da luz de infravermelho próximo. Por outro lado, a vegetação pouco saudável, árvore da direita, reflete mais a luz do vermelho visível e menos na luz do infravermelho próximo [Weir e Herring, 2000]. Em estudos de vegetação, as relações ou

diferenças entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo são geralmente utilizados para observação de áreas de vegetação, devido as diferenças das características de absorção e refletância da vegetação nessas bandas [Jensen, 2000].

3.3. Missão Sentinel-2

A missão S2 oferece continuidade aos serviços que dependem de observações óticas de resolução espacial de alta resolução espectral na superfície terrestre [Drusch *et al.*, 2012]. O S2 incorpora a tecnologia e a vasta experiência adquirida na Europa para sustentar o fornecimento operacional de dados para serviços de gestão de risco (inundações e incêndios florestais, subsidências e deslizamentos de terra), monitorização florestal e agrícola, segurança alimentar, sistemas de alerta rápida, gestão de água e proteção do solo, mapeamento urbano, riscos naturais e mapeamento terrestre para ajuda humanitária. O projeto da missão S2 proporciona um sistema operacional de observação da Terra multiespectral que complementa as observações dos satélites Landsat e SPOT e melhora a disponibilidade de dados aos utilizadores

3.3.1. Visão geral

O S2 é uma missão europeia de observação da Terra de imagens multiespectrais de alta resolução e com larga faixa de aquisição. A especificação da missão completa os satélites duplos que voam na mesma órbita, mas em fase de 180°, é projetada de modo a garantir uma frequência de revisita de 5 dias no equador. Transporta o sensor *MultiSpectral Instrument* (MSI) com 13 bandas espectrais: quatro bandas com a resolução de 10 m, seis bandas com a resolução de 20 m e três bandas com resolução de 60 m. A largura da faixa orbital é de 290 km (Figura 3.5). A combinação da faixa larga juntamente com o requisito de aquisição global contínuo com alta frequência de revisita, levará a geração diária de cerca de 1.6 TBytes de dados de imagem [Drusch *et al.*, 2012].

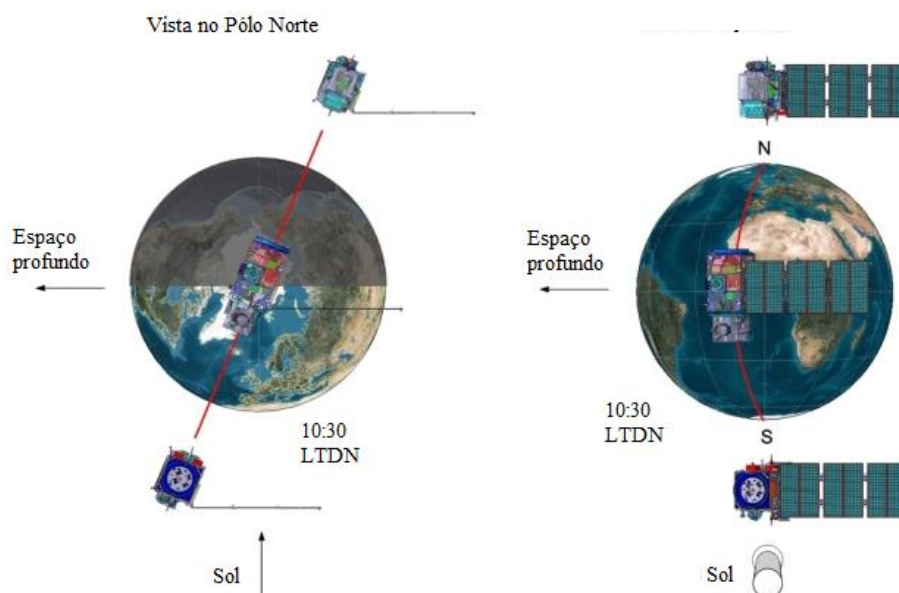


Figura 3.5. Configuração orbital dos satélites duplos Sentinel-2 (Adaptado de Drusch et al., 2012)

As 13 bandas espectrais desdobram-se do visível (VIS) e o infravermelho próximo (NIR) e o infravermelho de onda curta (SWIR) com diferentes resoluções espaciais variando de 10 a 60 m (Tabela 3.1). As quatro bandas com 10 m de resolução asseguram a compatibilidade com o SPOT 4 e 5 e respondem aos requisitos do utilizador para a classificação da cobertura do solo. A resolução de 20 m para seis bandas foi um requisito para outros parâmetros de Nível 2, consiste na classificação das cenas e correção atmosférica aplicada ao produto ortoimagem do Nível-1C. As bandas com 60 m são dedicadas principalmente para a correções atmosféricas, esta resolução é considerada adequada para capturar a variabilidade espacial dos parâmetros geofísicos atmosférico [Drusch *et al.*, 2012].

Tabela 3.1. Informação de bandas espectrais Sentinel-2

Resolução espacial (m)	Número da banda	Comprimento de onda (nm)	Resolução espectral (nm)
10	2	490	65
	3	560	35
	4	665	30
	8	842	115
20	5	705	15
	6	740	15
	7	783	20
	8a	865	20
	11	1610	90
	12	2190	180
60	1	443	20
	9	945	20
	10	1380	30

Com as suas 13 bandas espectrais, largura de faixa de 290 km e a frequência de revisita, o instrumento *MultiSpectral Instrument* (MSI) do S2 suporta uma ampla gama de estudos e programas de terra e reduz o tempo necessário para construir um arquivo de imagem europeia livre de nuvens. As bandas espectrais do S2 fornecerão dados para a classificação da cobertura/mudança de terra, correção atmosférica e separação de nuvens/neve.

3.3.2. Produtos

Como os objetivos da missão S2 destacam o potencial das séries temporais de dados, os produtos básicos de Nível 1 devem ser inscritos geometricamente e calibrados radiometricamente. Isto levou à seguinte definição de produto: os produtos de Nível 0 e Nível 1A que fornecem dados compactados e descompactado, respetivamente. Os dados de Nível 1B são radiâncias radiométricas corrigidas. O modelo geométrico físico é refinado usando os GCP disponíveis e anexados ao produto, mas não

aplicados. O produto de Nível 1C fornece uma refletância geo-codificada do topo da atmosfera (TOA) com um registo multiespectral e multidata de sub-píxel. O produto L1C é um mosaico de 100 x 100 km². Os utilizadores receberão tantos mosaicos, de modo a cobrir a área solicitada. Os produtos S2 seguem as recomendações da Garantia de Qualidade para Observação da Terra (QA4EO – *Quality Assurance for Earth Observation*) feitas pelo Comité de Satélites de Observação da Terra (CEOS – *Committee on Earth Observation Satellites*). A rastreabilidade de desempenho e os índices de qualidade radiométrica e geométrica serão fornecidos com os dados dos produtos auxiliares. Uma visão geral esquemática do processamento do Nível 1 (Figura 3.6) [Drusch *et al.*, 2012].

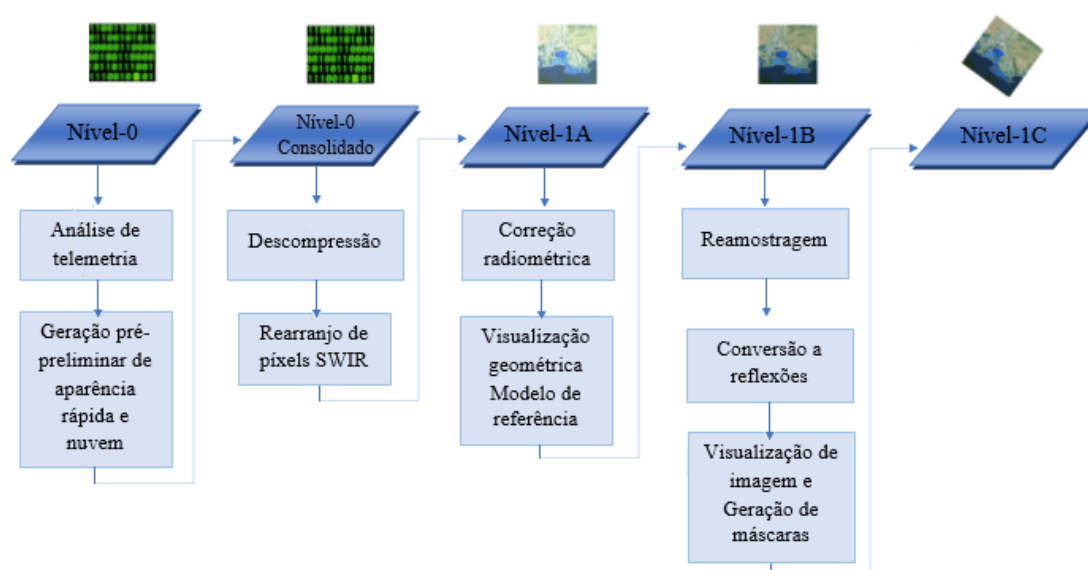


Figura 3.6. Gráfico de processamento de Nível 1 (Adaptado de Drusch et al., 2012)

4. Dados e Metodologia

A área de estudo, os dados e a metodologia utilizada neste trabalho de projeto serão descritos neste capítulo. Para além disso, será também descrita a metodologia utilizada e como foram realizadas as diversas etapas do projeto.

4.1. Área de estudo

A área de estudo é definida pela área abrangida pelos concelhos associados à Associação de Produtores de Hortícolas do Oeste, ou seja os concelhos de Lourinhã, Peniche, Sobral de Monte Agraço, Torres Vedras, Mafra e Loures (Figura 4.1).

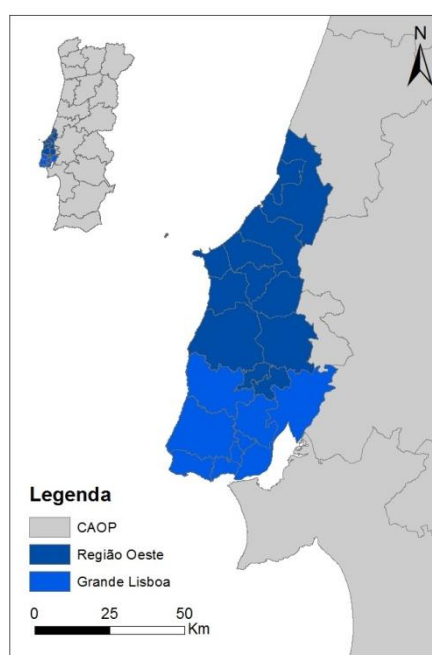


Figura 4.1. Área de estudo (Divisões administrativas da Carta Administrativa Oficial de Portugal – CAOP)

Na sub-região do Oeste predominam as áreas agrícolas (cerca de 50% do território) relativamente às áreas florestais (cerca de 25%). Nas áreas agrícolas do Oeste ocupam posição dominante a vinha, os pomares e as culturas anuais de regadio com, respetivamente, cerca de 41, 11 e 5 milhares de hectares [CCDRLVT, 2008].

A sua localização proporciona um clima extremamente agradável com temperaturas amenas ao longo do ano. A chuva é mais frequente no outono e no inverno, sendo os meses de abril a setembro os mais escassos a nível da precipitação. Na Figura 4.2 podemos ver que a temperatura máxima ronda os 24 °C nos meses de julho e agosto e com uma temperatura mínima de aproximadamente 11 °C nos meses de dezembro e janeiro. Relativamente à precipitação, os meses mais chuvosos são os de outubro, novembro, dezembro e janeiro.

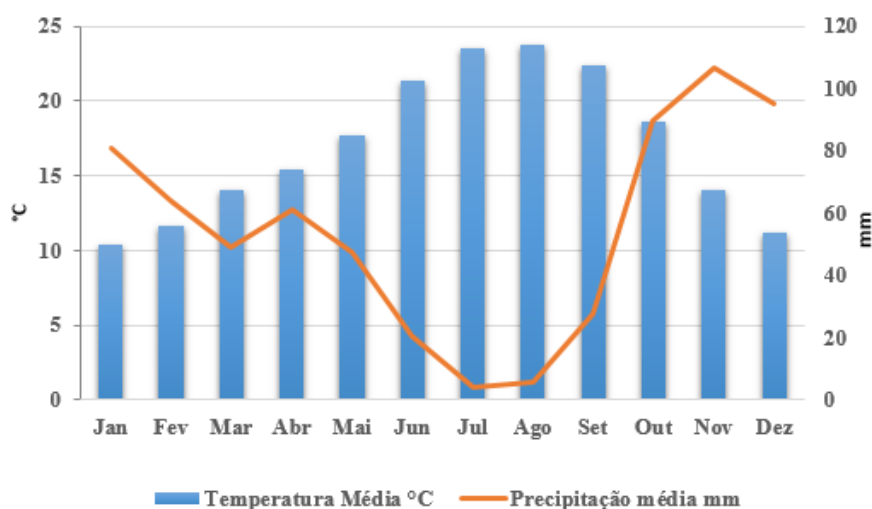


Figura 4.2. Valores de precipitação média e temperatura média das normais climatológicas entre 1981 e 2010 para a estação de Santarém (Adaptado de IMPA, 2017)

4.2. Dados utilizados

Para a análise da série temporal foram usadas imagens de satélite adquiridas em vinte e uma datas no período de abril a dezembro de 2016 (Tabela 4.1). As imagens foram adquiridas pelo satélite Sentinel-2, georreferenciadas no sistema UTM29N/WGS84, disponibilizadas gratuitamente pela ESA.

Tabela 4.1. Datas de aquisição das imagens Sentinel-2A utilizadas no projeto

Datas		
30 de abril de 2016	19 de julho de 2016	30 de setembro de 2016
20 de maio de 2016	29 de julho de 2016	13 de outubro de 2016
30 de maio de 2016	8 de agosto de 2016	30 de Outubro de 2016
15 de junho de 2016	21 de agosto de 2016	6 de dezembro de 2016
19 de junho de 2016	7 de setembro de 2016	9 de dezembro de 2016
29 de junho de 2016	17 de setembro de 2016	19 de dezembro de 2016
9 de julho de 2016	27 de setembro de 2016	26 de dezembro de 2016

As principais características das bandas das imagens utilizadas estão enumeradas na Tabela 4.2. Da informação adquirida pelo sensor do satélite foram utilizadas as bandas B2 (Azul), B3 (Verde), B4 (Vermelho) e B8 (Infravermelho Próximo) (Tabela 4.2).

Tabela 4.2. Bandas das imagens Sentinel-2A utilizadas no projeto

Banda	Comprimento de onda (μm)	Resolução Espacial (m)
B2 (Azul)	0.490	10
B3 (Verde)	0.560	
B4 (Vermelho)	0.665	
B8 (Infravermelho Próximo)	0.842	

Para além das imagens de satélite, a Horta Carreiras Sociedade Agricultura de Grupo *Lda* forneceu informação sobre as parcelas hortícolas (Figura 4.3) que consiste em informação vetorial (ficheiro *shapefile* do tipo polígono) dos anos 2015 a 2017, georreferenciado no sistema de coordenadas ETRS89/PT-TM06. As parcelas hortícolas apresentam uma área média de 3 245 m², com uma área mínima de 1 620 m² e uma área máxima de 4 750 m². Este ficheiro inclui ainda informação alfanumérica sobre as culturas produzidas em cada parcela assim como a data de plantação e a data de colheita (Anexo A). Estes dados foram utilizados para identificar as várias parcelas e assim analisar o comportamento fenológico das culturas.

Foi ainda disponibilizado pelo IFAP um ficheiro vetorial com um conjunto de parcelas agrícolas, donde foram selecionadas 4 parcelas de arroz com área média de 46.29 ha, 6 parcelas de tomate com área média de 69.50 ha e 3 parcelas de milho com área média de 52.95 ha (Anexo A). Estas parcelas foram usadas no processo de validação do algoritmo.

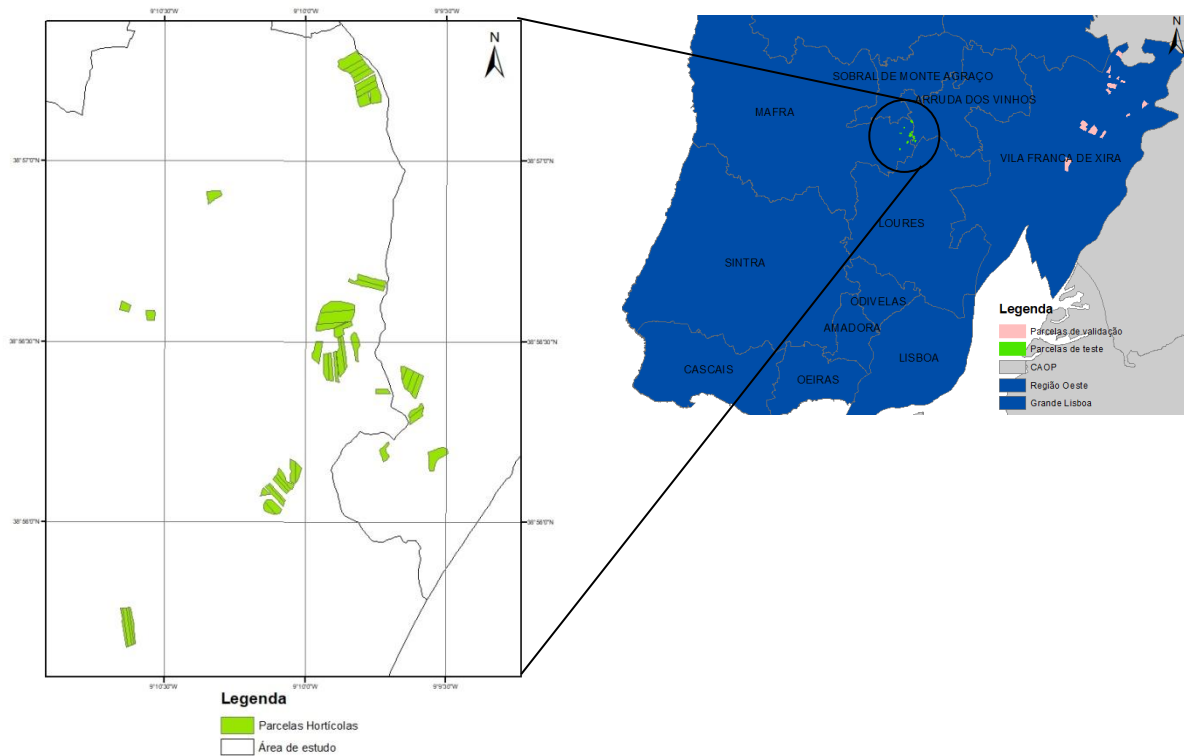
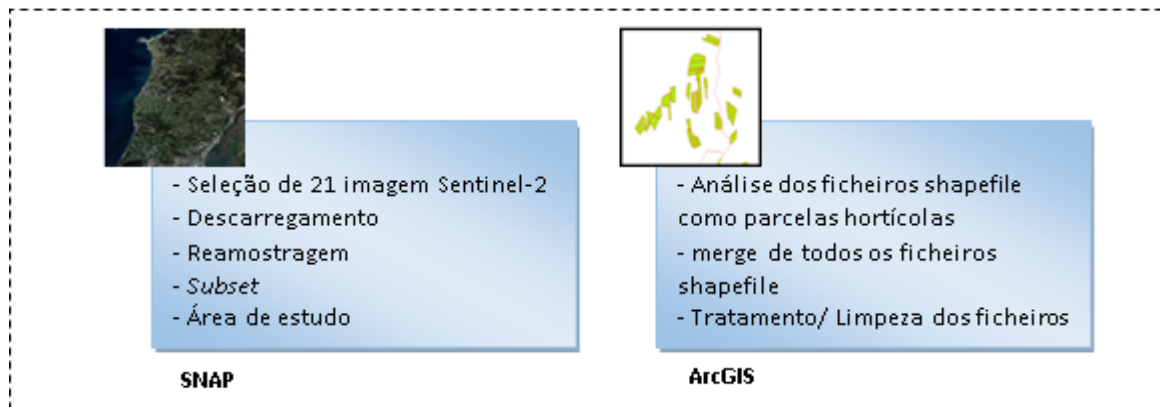


Figura 4.3. Parcelas hortícolas disponibilizadas pela Horto Carreiras Lda

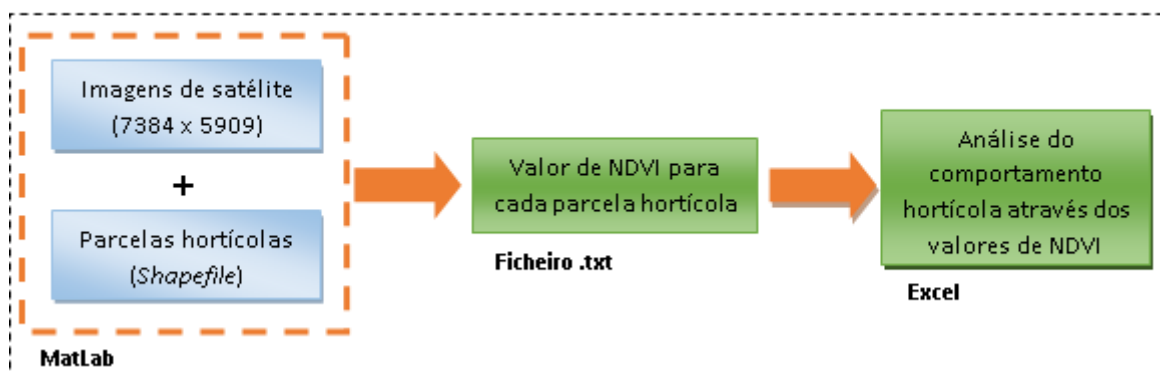
4.3. Metodologia

Neste projeto pretende-se, com recurso a tecnologias de DR, a identificação de culturas hortícolas numa base anual ao longo do seu ciclo de crescimento. Como as hortícolas são culturas de irrigação com um ciclo fenológico conhecido, ou passível de ser caracterizado no tempo para cada espécie hortícola, propomos uma metodologia baseada na análise, ao nível do píxel, da série temporal do NDVI. O pressuposto desta abordagem consiste na possibilidade de estabelecer uma correlação temporal entre o ciclo fenológico das hortícolas e as variações temporais do NDVI para cada píxel. A análise da série temporal do NDVI permite discriminar as espécies vegetais de folha persistente (e.g. floresta) das restantes espécies sazonais com ciclo vegetativo bem identificado no tempo. Nesta última categoria estão incluídas todas as espécies agrícolas de regadio cuja identificação é efetuada por correlação entre o ciclo anual do NDVI e o ciclo vegetativo de cada espécie. Nesta análise são incluídos os parâmetros que caracterizam cada cultura, tais como a duração do ciclo fenológico, a data do início do ciclo, a intensidade do NDVI, a textura da parcela e a assinatura espectral da espécie. A metodologia aplicada divide-se em 4 etapas: (1) o tratamento das imagens S2 e dos ficheiros vetoriais com as parcelas hortícolas, (2) o estudo da fenologia das culturas, (3) a análise da variabilidade temporal do NDVI píxel a píxel, e (4) a validação dos resultados obtidos (Figura 4.4).

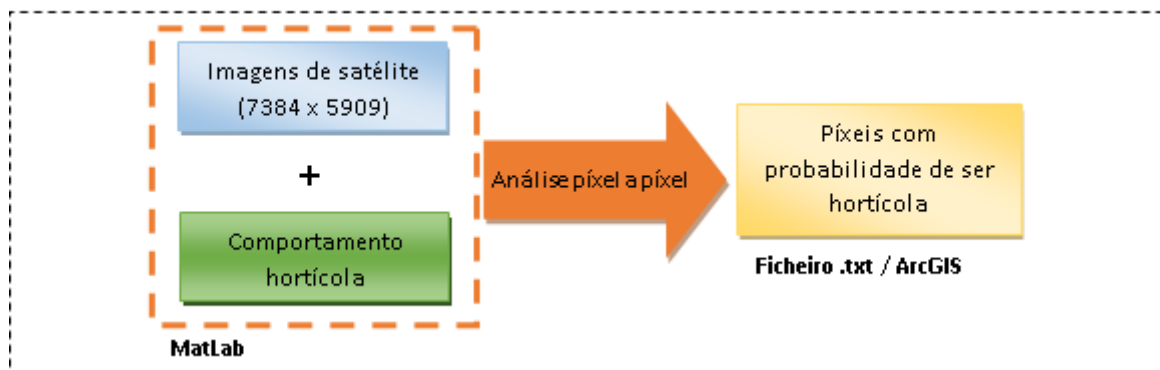
1ª Etapa



2ª Etapa



3ª Etapa



4ª Etapa

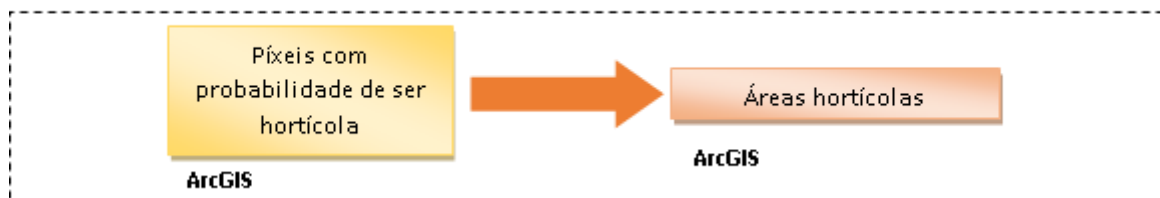







Figura 4.4. Fluxograma da metodologia utilizada

Para a realização deste estudo foram utilizadas diversas aplicações informáticas, nomeadamente, ESA SNAP®, ENVI 5.1®, ArcGIS 10.3.1®, MatLab R2014a, e Microsoft Excel 2013® (Tabela 4.3).

Tabela 4.3. Aplicações informáticas e etapas em que foram utilizadas

Aplicações informáticas	
	- Processamento das imagens Sentinel-2
	- Cálculo do NDVI das imagens Sentinel-2 - Máscara que representa zonas com maior probabilidade de serem hortícolas
	- Tratamento de dados vetoriais
	- Estudo fenológico das culturas hortícolas - Análise píxel a píxel
	- Estudo do comportamento de NDVI por cada parcela hortícola - Tratamento dos dados de validação

4.3.1. Extração de informação vetorial

A informação extraída dos dados vetoriais corresponde aos limites de parcelas hortícolas bem como a informação relativa à ocupação do solo, a data da plantação e data da colheita das hortícolas. (Tabela 4.4).

Tabela 4.4. Atributos da informação vetorial

Atributos	Descrição	Tipo de Variável
FID	Identificador de parcela	Numérico (<i>Double</i>)
Data Início	Data da plantação (dia, mês e ano)	Numérico (<i>Double</i>)
Data Fim	Data da colheita (dia, mês e ano)	Numérico (<i>Double</i>)
Cultura	Tipo de cultura	Texto

Esta informação encontrava-se dispersa por vários ficheiros vetoriais, pelo que foi necessário criar um ficheiro único com as culturas de interesse para este estudo. Após a análise desta informação, consideraram-se 47 parcelas, as quais correspondem a 4 culturas predominantes na região, sendo estas a nabiça, o nabo, os coentros e os espinafres.

4.3.2. Extração de informação das imagens

A informação extraída das imagens aplicou-se especialmente à caracterização dos vários períodos fenológicos das culturas ao longo do seu ciclo de crescimento com base no comportamento do NDVI ao longo da série temporal. Para estudar o comportamento fenológico das hortícolas, o primeiro procedimento efetuado foi calcular o valor de NDVI de cada parcela hortícola. Para o efeito foi

desenvolvido um programa em linguagem *MatLab* (Figura 4.4, 2ª Etapa). Este programa considera como dados de entrada o ficheiro vetorial com os limites das parcelas e as imagens S2 e com base na junção desta informação calcula o valor de NDVI para cada parcela ao longo da série temporal de imagens devolvendo um ficheiro com a informação do número da parcela, o número da imagem, o valor médio do NDVI e desvio padrão do NDVI para cada parcela em cada época de aquisição das imagens S2 (Tabela 4.5).

Tabela 4.5. Exemplo do ficheiro de saída programa *MatLab* com os resultados obtidos para a parcela 17 com cultura de nabiça e coentros

Parcela	Imagem	Média (NDVI)	Desvio Padrão (NDVI)
17	1	0.239	0.119
17	2	0.192	0.077
17	3	0.376	0.059
17	4	0.421	0.035
17	5	0.510	0.161
17	6	0.198	0.073
17	7	0.143	0.040
17	8	0.192	0.070
17	9	0.202	0.058
17	10	0.393	0.090
17	11	0.312	0.159
17	12	0.154	0.061
17	13	0.150	0.079
17	14	0.134	0.079
17	15	0.154	0.088
17	16	0.136	0.049
17	17	0.162	0.080
17	18	0.379	0.124
17	19	0.406	0.123
17	20	0.439	0.151
17	21	0.460	0.160

Para além do ficheiro de saída o programa cria também duas imagens, uma com os valores de média temporal do NDVI (Figura 4.5a) e outra como os valores de desvio padrão temporal (Figura 4.5b). Estas imagens serviram para criar uma máscara representativa de zonas com maior probabilidade de serem ocupadas por culturas hortícolas.

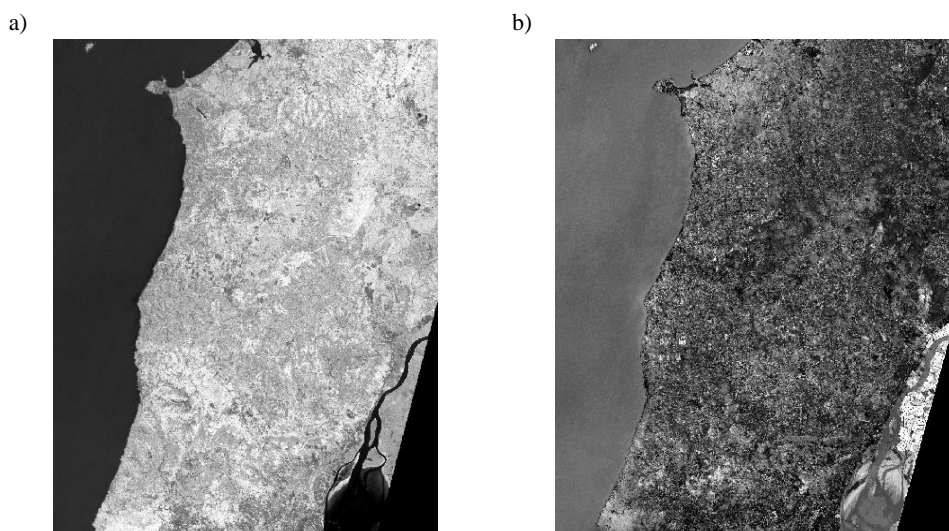


Figura 4.5. a) Imagem com valores de média do NDVI b) Imagem com valores de média do desvio padrão do NDVI

Com o objetivo de estudar a fenologia das culturas hortícolas foi necessário construir gráficos da evolução do NDVI ao longo da série temporal. Através da análise dos gráficos gerados a partir dos resultados do programa (Tabela 4.5), foi possível observar a evolução das culturas com base nos valores de NDVI para cada parcela. Dado que os valores de NDVI variam entre -1 e 1, os valores negativos representam nuvens ou água, os valores ao redor de zero representam solo nu ou ausência de vegetação, e quanto mais elevado for o valor de NDVI mais verde, densa e vigorosa se encontra a vegetação.

4.3.3. *Classificação temporal píxel a píxel*

A classificação temporal ao nível do píxel foi realizada por um programa desenvolvido para o efeito em linguagem *MatLab* (Figura 4.4, 3ª etapa). Consiste na análise de cada píxel ao longo da série temporal considerando alguns parâmetros (NDVI máximo, NDVI mínimo, período de tempo entre o NDVI mínimo e máximo), sendo os mesmos ponderados com base na análise do comportamento fenológico das culturas. Este programa tem como dados de entrada a série de imagens de satélite. Como se trata de um processo moroso e com elevado esforço computacional, restringiu-se a uma área mais restrita (Figura 4.6).



Figura 4.6. Subárea utilizada para a classificação píxel a píxel delimitada pelo polígono a cor preta

A partir dos dados de saída foi possível verificar os píxéis com elevada probabilidade de serem hortícolas (Figura 4.4, 4ª Etapa) e assim proceder a criação de possíveis áreas hortícolas. Para tal, foram agregados pontos contíguos que estivessem a uma dada distância inferior a 40 m formando assim polígonos com alta probabilidade de corresponderem a parcelas hortícolas (Figura 4.7).

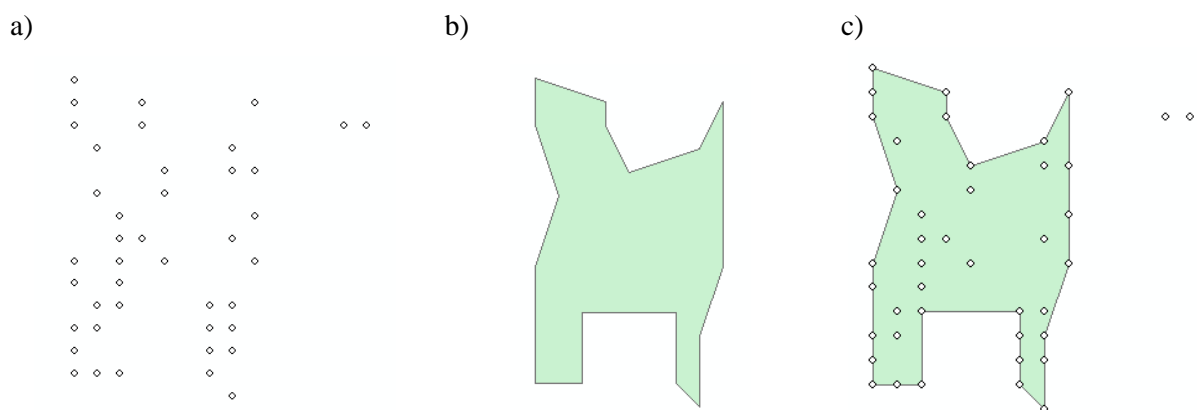


Figura 4.7. Exemplo da agregação dos pontos, a) pontos soltos, b) agregação dos pontos a uma dada distância 40 m, c) resultado da agregação com os pontos sobrepostos

5. Resultados e Discussão

No presente capítulo são apresentados os principais resultados da metodologia aplicada no estudo, nomeadamente o comportamento fenológico das culturas, o resultado da classificação pixel e pixel e a validação de resultados.

5.1. Comportamento fenológico das culturas

Na Figura 5.1 são apresentados os gráficos da evolução temporal de NDVI da amostra das parcelas para as quatro culturas estudadas. Verifica-se que o período de estudo abrange as fases fenológicas de plantação, crescimento, maturação e colheita das diferentes espécies hortícolas. À plantação está associado a um valor baixo de NDVI, enquanto que na fase do crescimento se observa um aumento gradual desse valor. Em relação à fase de maturação é notória a existência de valores máximos de NDVI, seguindo de um decréscimo acentuado que corresponde à colheita. Findo um ciclo fenológico, volta a repetir-se o padrão até haver nova colheita. A análise dos gráficos permite ainda identificar a data de plantação e de colheita, as quais estão assinaladas na Figura 5.1 com uma barra vermelha.

Em relação às culturas representadas na Figura 5.1, verifica-se que a maioria das parcelas apresentam um comportamento semelhante ao longo do período de estudo, excetuando a cultura de espinafres, na Figura 5.1d, e a cultura de nabiças, na Figura 5.1e, devido à existência de nuvens a cobrir essas parcelas aproximadamente a meio do seu ciclo fenológico. Analisando o comportamento dos gráficos verificamos que existem duas plantações por ano, logo a existência de dois máximos em cada gráfico. Podemos ainda observar que os limites estão bem definidos, por este comportamento, ao longo da série temporal e para todas as parcelas hortícolas. Podemos assim concluir que cada hortícola tem um ciclo de plantação/colheita de dois a três meses, sendo possível realizar duas a três culturas por ano.

De modo a verificar o comportamento do NDVI para outras ocupações do solo, foi realizado um estudo para zonas urbanas, florestas, pomares e solo nu, sendo utilizada a mesma metodologia. Como podemos observar na Figura 5.2a, que corresponde a zonas urbanas, o valor de NDVI mantém-se constante ao longo da série temporal apresentando valores próximos de 0 que como referido anteriormente corresponde a uma ausência de vegetação.

Na Figura 5.2b, tratando-se de área de floresta, constatamos que os valores de NDVI também se mantém constantes assim como nas zonas urbanas, mas com valores mais próximos de 1 o que significa presença de vegetação. Na Figura 5.2c, que representa a áreas de pomar, observamos que o valor de NDVI se mantém constante, existindo um máximo próximo de 1 que corresponde à fase de maturação. Por último, na Figura 5.2d, relativa a áreas de solo nu, como se pode observar existe máximo no inverno que corresponde ao despontar de vegetação por efeito da chuva e um mínimo no verão devido à ausência de precipitação. Comparando com parcelas hortícola vemos que o período entre máximo e mínimo é de seis meses, não havendo confusão com as hortícolas com um período máximo de 100 dias.

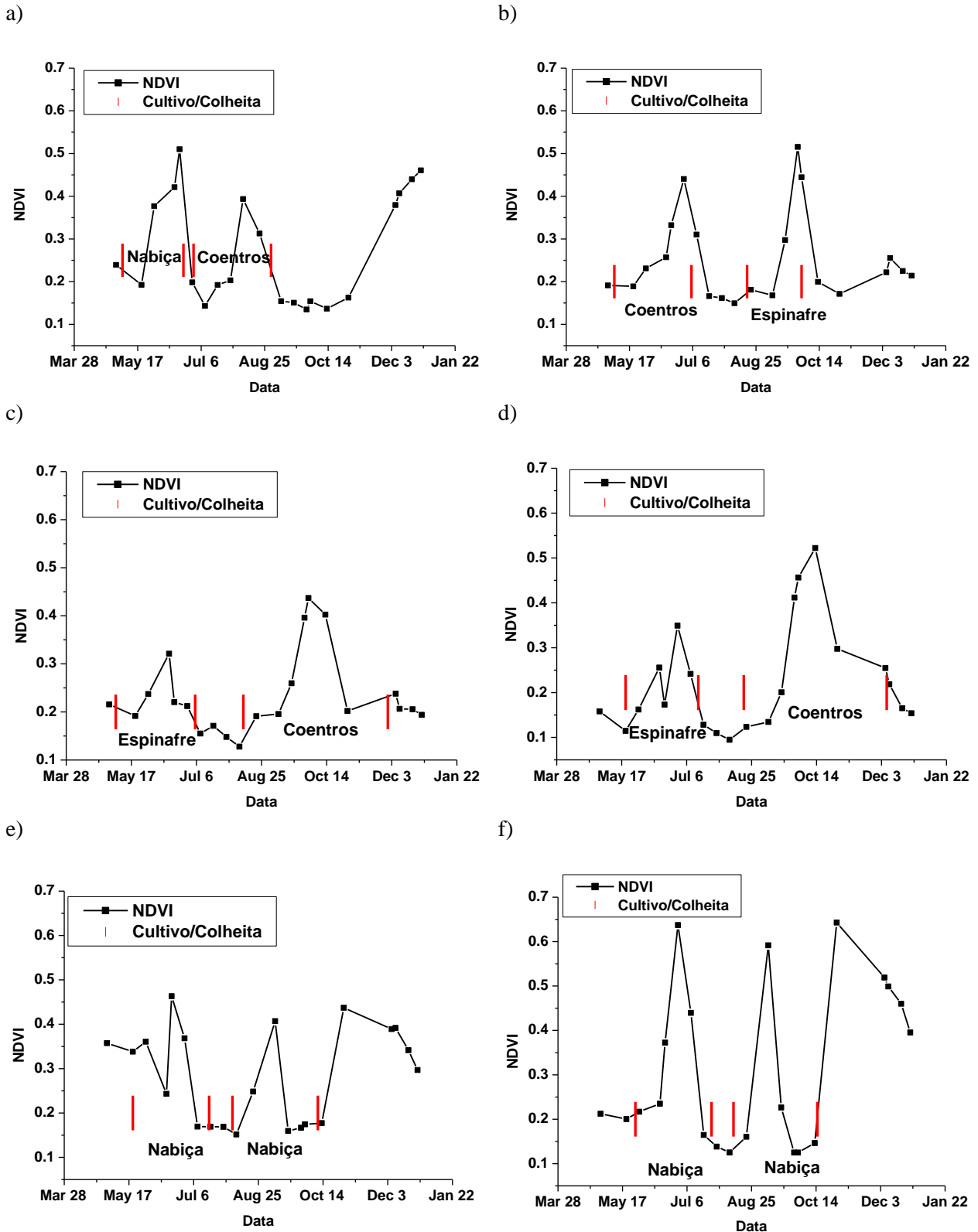


Figura 5.1. a) Evolução temporal do NDVI numa parcela com plantação de nabiças seguida de coentros. b) Evolução temporal do NDVI numa parcela com plantação de coentros seguida de espinafres. c) Evolução temporal do NDVI numa parcela com plantação de espinafres seguida de coentros. d) Evolução temporal do NDVI numa parcela com plantação de espinafres seguida de coentros. e) Evolução temporal do NDVI numa parcela com plantação de nabiça seguida de nabiça. f) Evolução temporal do NDVI numa parcela com plantação de nabiça seguida de nabiça

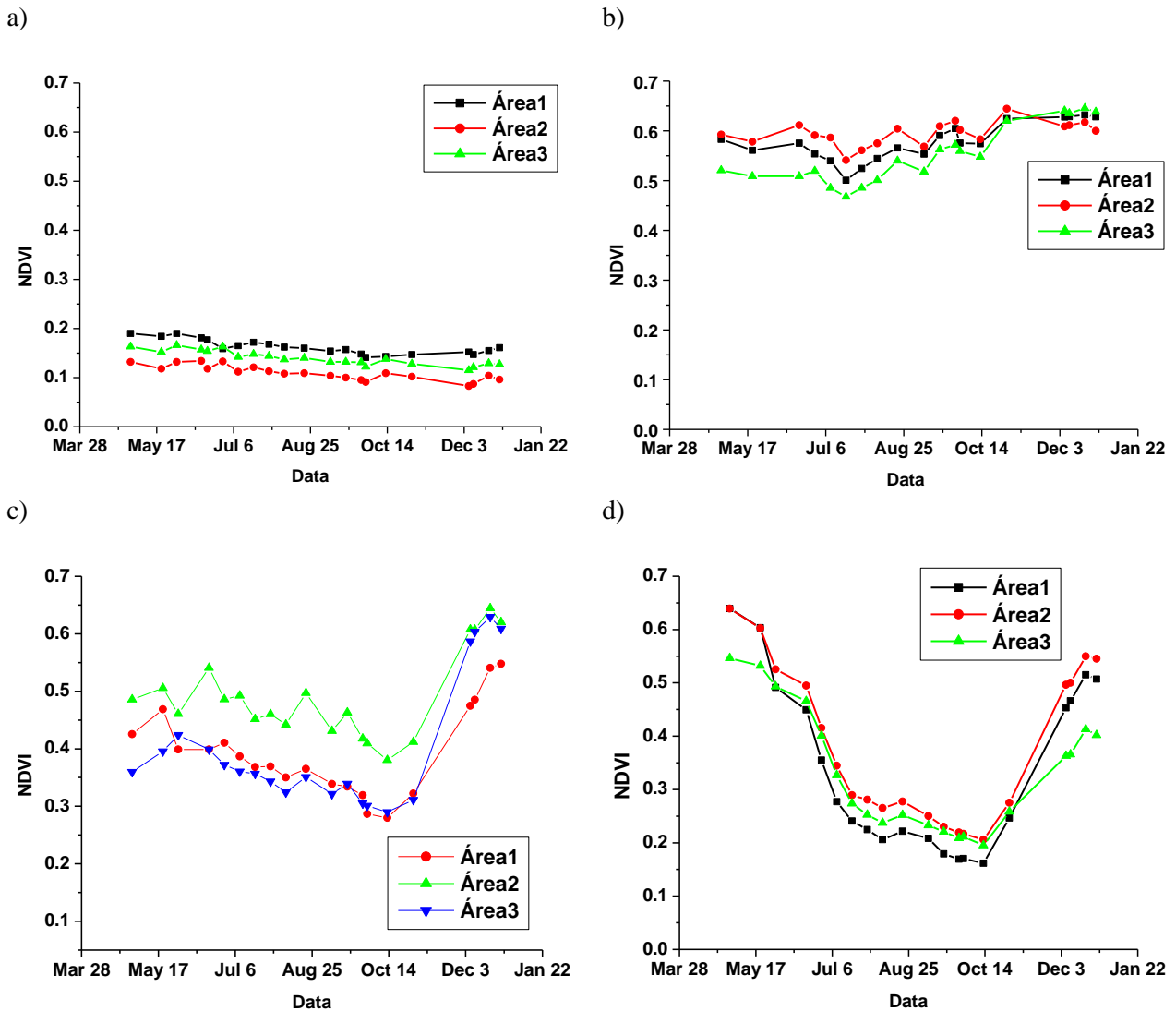


Figura 5.2. a) Evolução temporal do NDVI em zonas urbanas, b) Evolução temporal do NDVI em zonas de floresta, c) Evolução temporal do NDVI em zonas de pomar, d) Evolução temporal do NDVI em zonas solo nu

5.1.1. Análise das imagens NDVI

Para perceber melhor o comportamento de cada cultura, calculou-se as diferenças entre os índices de vegetação ao longo do ciclo fenológico com o propósito de detetar e qualificar as alterações ocorridas, ou seja, o aumento ou diminuição do índice de vegetação entre datas (Figura 5.3).

Na Figura 5.3 podemos observar que no início do ciclo ambas as parcelas apresentam tons de cinza mais escuros, correspondentes a valores baixos de NDVI, mas que ao longo do tempo os pixéis se vão tornando mais claros, apresentando os valores mais elevados de NDVI a 19 de junho, para a parcela mais à esquerda e a 29 de junho, para a parcela mais à direita, o que implica a presença de vegetação vigorosa.

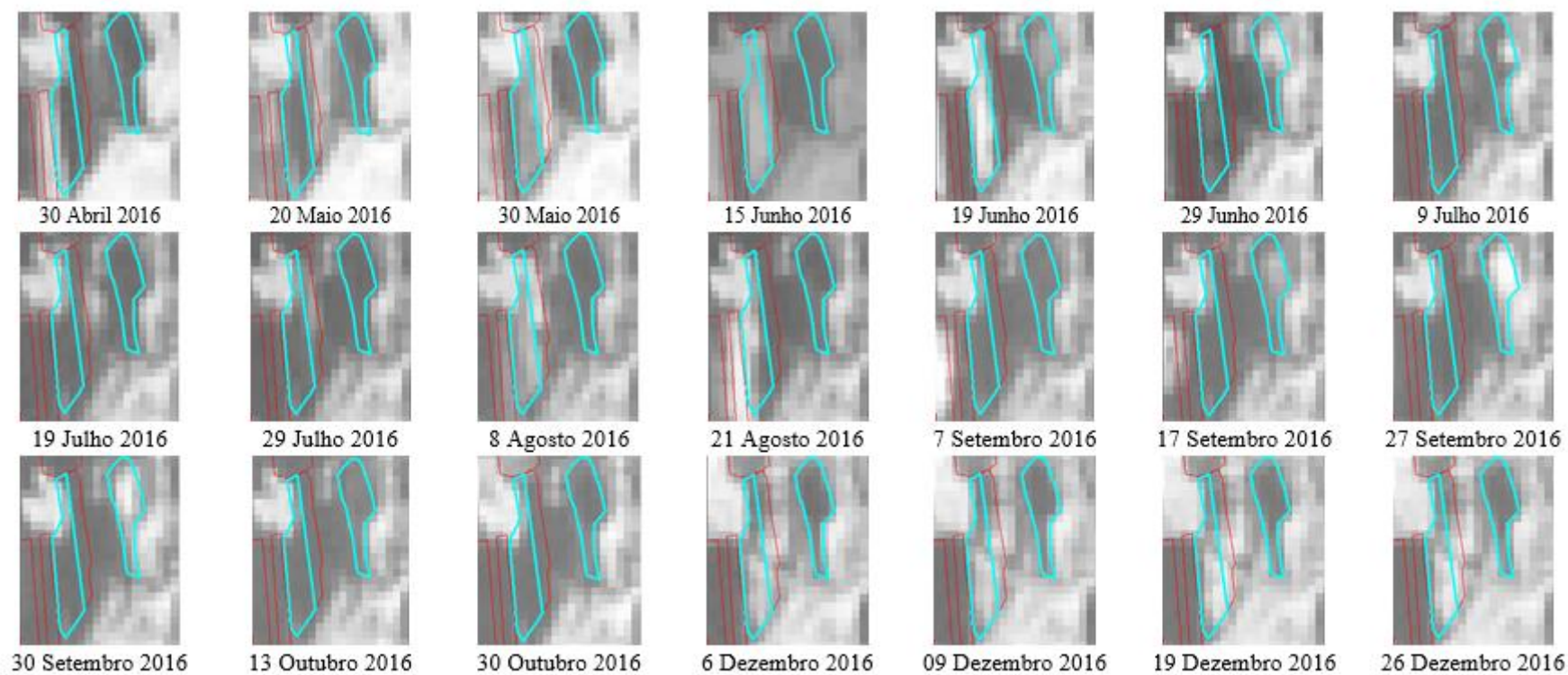


Figura 5.3. Evolução de abril a dezembro para as parcelas a azul, a da esquerda corresponde ao gráfico da Figura 5.1a (nabiça seguida de coentros) e a da direita corresponde ao gráfico de Figura 5.1b (coentros seguidos de espinafres). As parcelas a vermelho correspondem a outras parcelas existentes no estudo

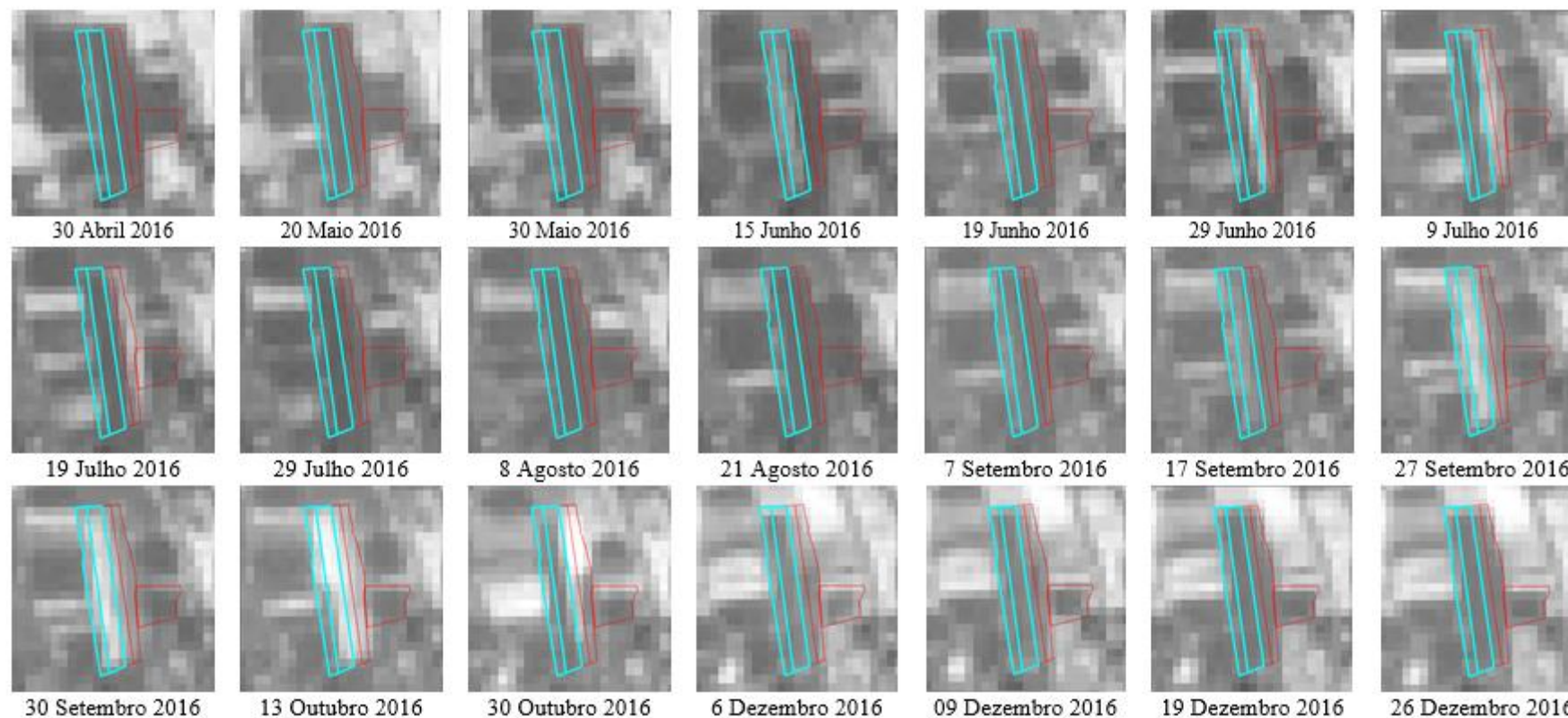


Figura 5.4. Evolução de abril a dezembro para as parcelas a azul, a da esquerda corresponde ao gráfico da Figura 5.1c (nabiça seguida de coentros) e a da direita corresponde ao gráfico de Figura 5.1d (coentros seguidos de espinafres). As parcelas a vermelho correspondem a outras parcelas existentes no estudo

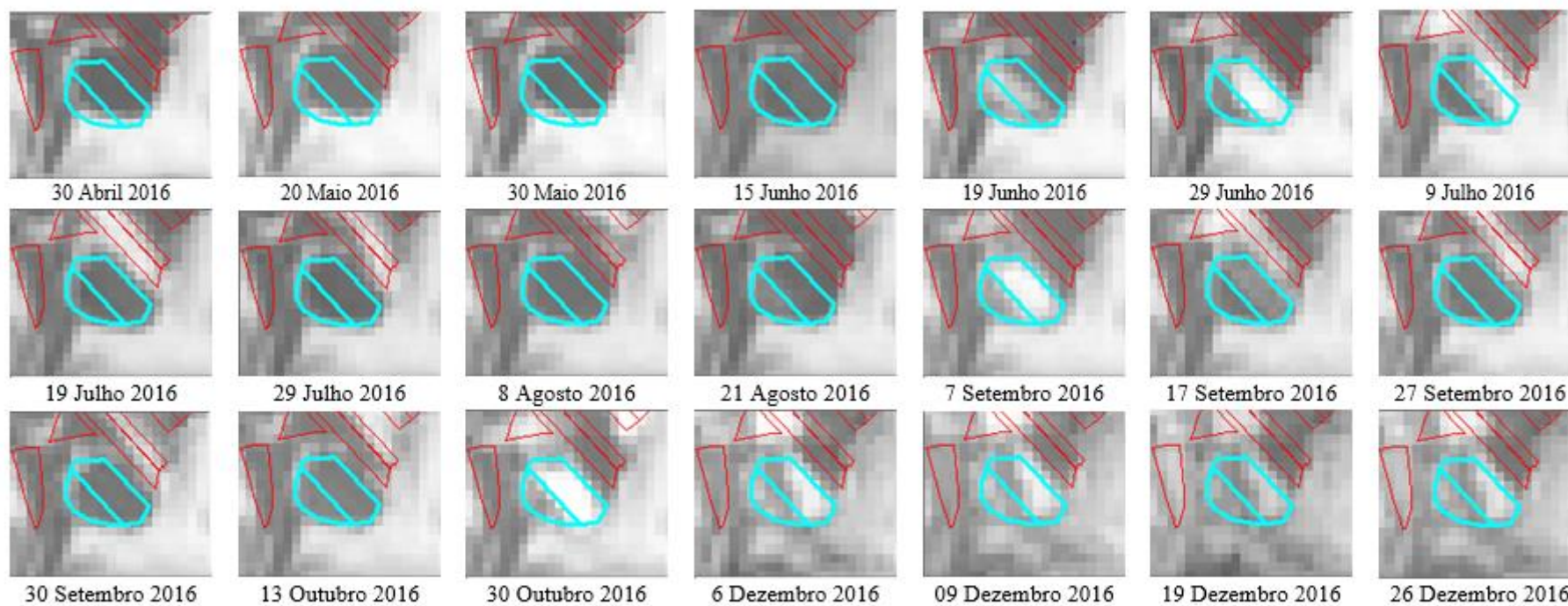


Figura 5.5. Evolução de abril a dezembro para as parcelas a azul, a da esquerda corresponde ao gráfico da Figura 5.1e (nabiça seguida de coentros) e a da direita corresponde ao gráfico de Figura 5.1f (coentros seguidos de espinafres). As parcelas a vermelho correspondem a outras parcelas existentes no estudo

Após estas datas, os valores de NDVI voltam a diminuir atingindo novamente valores máximos nos dias 8 de agosto e no dia 27 de setembro, respetivamente para a parcela mais à esquerda e mais à direita. Estas datas correspondem aos valores máximos nos gráficos da Figura 5.1a e Figura 5.1b, respetivamente. Nas Figura 5.4 e Figura 5.5 podemos observar o mesmo comportamento cíclico, embora as datas variem de cultura para cultura.

A utilização das diferenças de NDVI permite analisar a evolução deste índice ao longo da série temporal e conseqüentemente, compreender o comportamento da vegetação ao longo do seu ciclo de crescimento, pelo que podemos considerar que este método pode ser benéfico para diferenciar diversas classes de ocupação de solo.

5.1.2. Máscara com zonas prováveis de conter ocupação hortícola

Considerando que o objetivo deste estudo consiste na caracterização de culturas hortícolas, calculou-se o valor da média do NDVI e o valor de média do desvio padrão do NDVI para cada ocupação de solo, de modo a obter-se classes de ocupação de solo listadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Valores da média e média do desvio padrão para as diversas culturas consideradas no estudo

Classes de ocupação de solo	Média do NDVI	Média do Desvio Padrão do NDVI
Nabo	0.295	0.190
Nabiça	0.268	0.123
Coentros	0.250	0.128
Espinafres	0.215	0.102
Zonas urbanas	0.157	0.028
Floresta	0.574	0.045
Pomares	0.425	0.079
Solo nu	0.362	0.144

Com os valores da Tabela 5.1 foi criado um gráfico de média/desvio padrão para analisar a separabilidade das diferentes classes de ocupação do solo (Figura 5.6). Verifica-se que as zonas urbanas, pomares e florestas se diferenciam das outras culturas pelo seu desvio padrão. Para diferenciar facilmente o comportamento das culturas adicionou-se uma reta vermelha no gráfico. Desta forma, é possível diferenciar as culturas hortícolas pelo seu desvio padrão elevado ao contrário das zonas urbanas e florestas que apresentam um desvio padrão baixo. Com exceção do solo nu, esta reta separa as hortícolas das outras ocupações do solo predominantes na imagem.

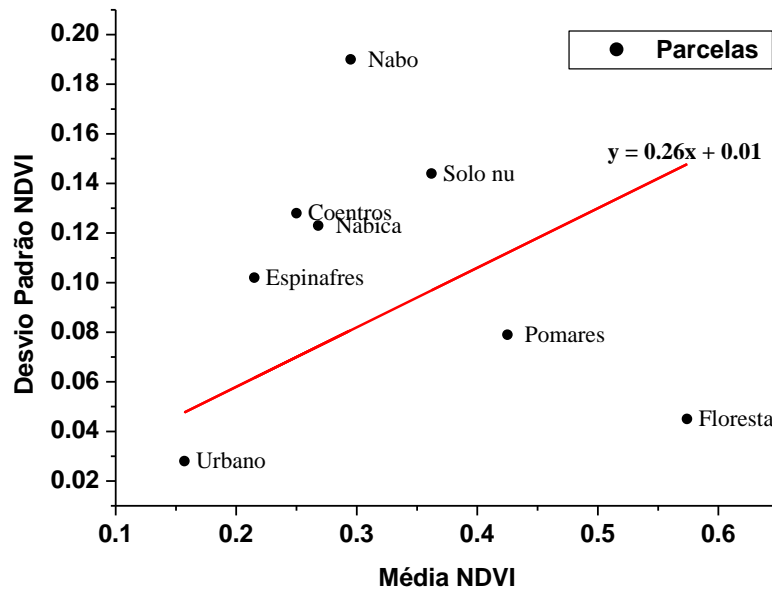


Figura 5.6. Comportamento das culturas em análise (média do NDVI e desvio padrão do NDVI)

De modo a criar uma máscara binária (de 0 e 1), estabeleceu-se a condição de se eliminarem da análise os valores médios de NDVI (Figura 4.5a) e do desvio padrão de NDVI (Figura 4.5b) iguais ou inferiores a 0.1. De seguida, definiu-se uma outra condição, que corresponde à reta no gráfico da Figura 5.6, e em que o valor do declive da reta, 0.26, representa a relação entre a média do NDVI e o desvio padrão do NDVI que permite diferenciar as hortícolas de outras ocupações de solo (exceto solo nu). Com esta condição eliminaram-se todas as parcelas que se encontravam abaixo da reta e que não correspondiam a culturas hortícolas.

Obtiveram-se assim três máscaras binárias, que em seguida foram usadas numa operação algébrica de soma de forma a obter uma matriz constituída pelos valores 0, 1, 2 e 3. Excluindo o valor 0, todos os restantes valores correspondem supostamente a culturas hortícolas. Concluídos estes passos obtemos uma máscara representativa de zonas prováveis de conter ocupação hortícola (Figura 5.7), sendo que o valor 3 corresponde a uma maior probabilidade de o píxel corresponder a uma cultura hortícola, uma vez que se verificaram cumulativamente os três critérios. Com esta máscara foram excluídos os píxeis que não correspondem a culturas hortícolas, reduzindo-se em 13% o número de píxeis a serem analisados posteriormente.

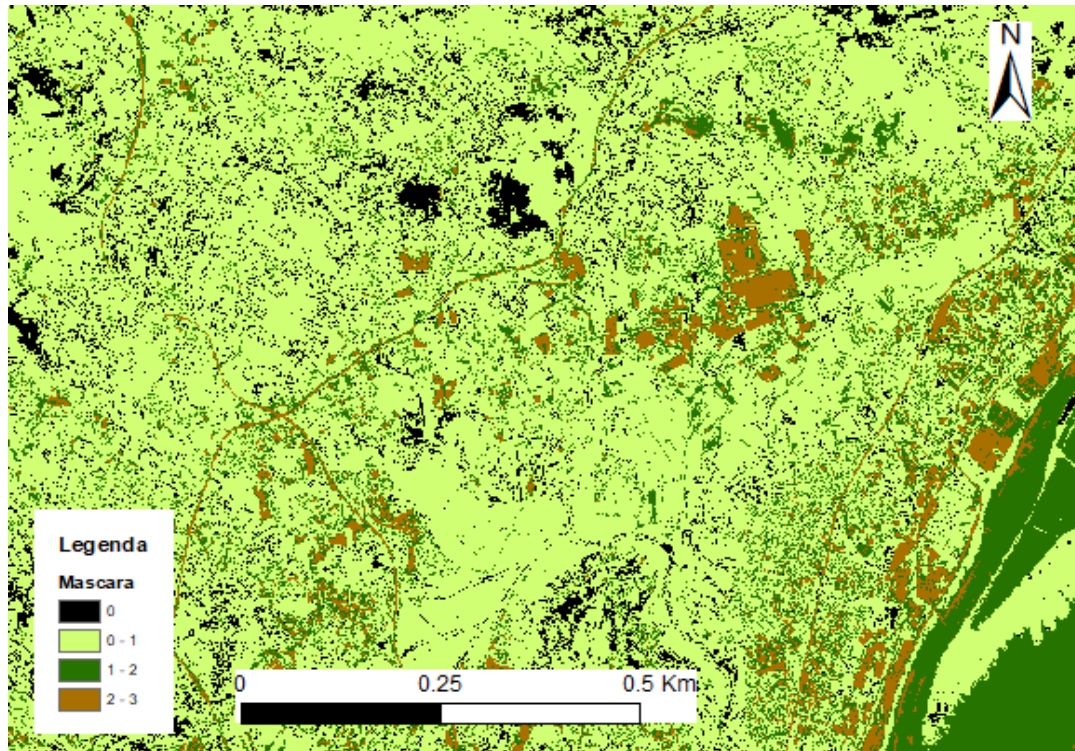


Figura 5.7. Máscara representativa com zonas prováveis de conter ocupação hortícola. Os pixéis a preto serão eliminados do processo de classificação de hortícolas

5.2. Resultado da classificação píxel a píxel

Depois da análise temporal do NDVI é gerado um ficheiro de saída que consiste num ficheiro de texto com a localização do píxel com probabilidade de ser hortícola (Figura 5.8), onde obtemos a localização em forma de linha e coluna assim como as coordenadas M e P dos pixéis com elevada probabilidade de serem hortícolas. Após a restrição obteve-se uma área média de aproximadamente 1 703.4 ha com elevada probabilidade de ser hortícola, na subárea delimitada a cor preta na Figura 4.6, a qual tem uma área total de 102583.027 ha.

FID	Shape *	Linha	Coluna	M	P
0	Point	4501	1427	464910	4319100
1	Point	4501	1429	464930	4319100
2	Point	4501	1606	466700	4319100
3	Point	4501	1619	466830	4319100
4	Point	4501	1635	466990	4319100
5	Point	4501	1733	467970	4319100
6	Point	4501	1767	468310	4319100
7	Point	4501	1809	468730	4319100
8	Point	4501	1845	469090	4319100
9	Point	4501	2576	476400	4319100
10	Point	4501	2577	476410	4319100

Figura 5.8. Ficheiro de saída que consiste na localização do píxel com probabilidade de ser hortícola

No terceiro passo foi analisada a série temporal do NDVI píxel a píxel procurando elementos característicos, identificando os valores médios de NDVI que caracterizam cada uma das fases do ciclo fenológico de uma dada cultura plantação, maturação e colheita das hortícolas. Os elementos característicos das hortícolas são apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. Características das culturas

Cultura	Média do NDVI			Ciclo (dias)
	Data plantação	Maturação	Data colheita	
Nabo	0.132	0.669	0.482	80.2
Nabiça	0.167	0.600	0.201	58.5
Coentros	0.169	0.531	0.297	70.8
Espinafres	0.162	0.408	0.231	61.1

Atendendo ao esquema da Figura 5.8 e aos parâmetros apresentados na Tabela 5.2, definimos 5 parâmetros para caraterizar as hortícolas: o NDVI máximo, correspondente à fase de maturação, o NDVI mínimo, correspondente à fase de plantação, variação do NDVI (dNDVI), ou seja, a diferença entre o número mínimo e máximo do ciclo vegetativo e número de dias do ciclo vegetativo, o qual é calculado como o número de dias entre o máximo do NDVI e o mínimo que o antecede.

A Figura 5.9 representa um ciclo vegetativo de uma cultura hortícola e podemos ver representados os parâmetros referidos anteriormente de uma forma gráfica para melhor compreensão.

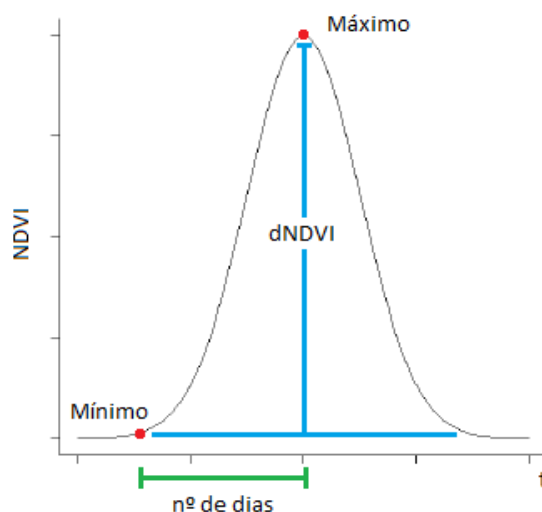


Figura 5.9. Representação gráfica do ciclo hortícola com representação dos parâmetros utilizados

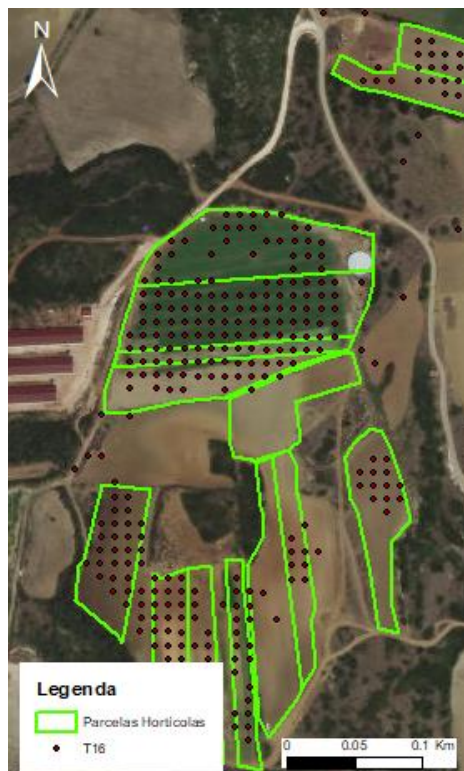
Definidos os parâmetros foi necessário realizar algumas experiências como podemos ver na Tabela 5.3. Realizaram-se 7 testes que consistiram em fazer variar os parâmetros, mas mantendo sempre o mesmo valor para o dNDVI. O parâmetro NDVI máximo varia entre 0.4 e 0.6, o parâmetro dia mínimo varia entre 30 e 40 dias (ciclo mínimo admissível para hortícolas) e o parâmetro dia máximo varia entre os 45 e os 60 dias. Nos testes 15 e 16 não foram considerados pixéis com series temporais com valor mínimo de NDVI inferior a 0.2.

Tabela 5.3. Parâmetros para a classificação pixel a pixel

Teste	Parâmetros				
	NDVI máximo	dNDVI	Dia mínimo	Dia máximo	NDVI mínimo
T10	0.4	0.4	30	45	-
T11	0.4	0.4	30	60	-
T12	0.4	0.4	40	60	-
T13	0.6	0.4	40	60	-
T14	0.5	0.4	40	60	-
T15	0.5	0.4	30	50	0.2
T16	0.5	0.4	30	60	0.2

O resultado da classificação pixel a pixel com os parâmetros definidos na Tabela 5.3 corresponde a pixels com maior probabilidade de serem culturas hortícolas. Nas figuras seguintes, que integram a Figura 5.10 a 5.13, exibem-se os polígonos que resultaram da agregação dos pontos, correspondentes aos pixels com maior probabilidade de serem hortícolas, que se encontravam a uma distância de 40 m. Esta distância foi definida com base no facto de as parcelas com culturas hortícolas terem dimensões mais reduzidas face às parcelas de culturas permanentes. Eliminaram-se ainda áreas inferiores a 4 m², por se considerarem áreas demasiado pequenas para culturas hortícolas.

a)



b)

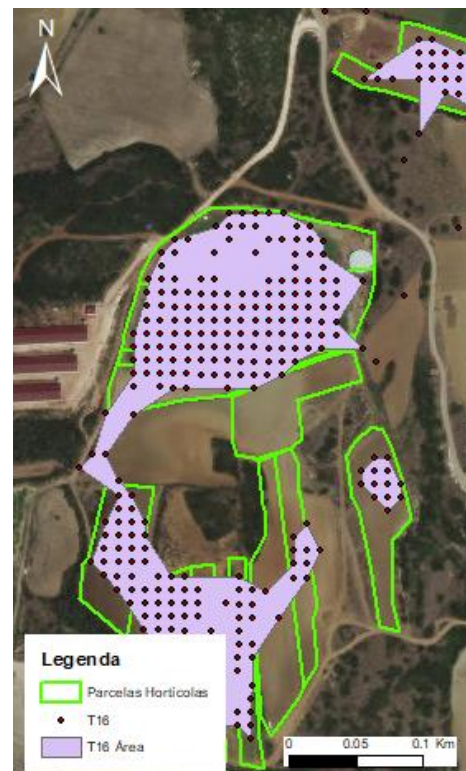


Figura 5.10. a) Pixels identificados como hortícolas de acordo com os parâmetros do teste T16, b) agregação dos pixels do teste T16

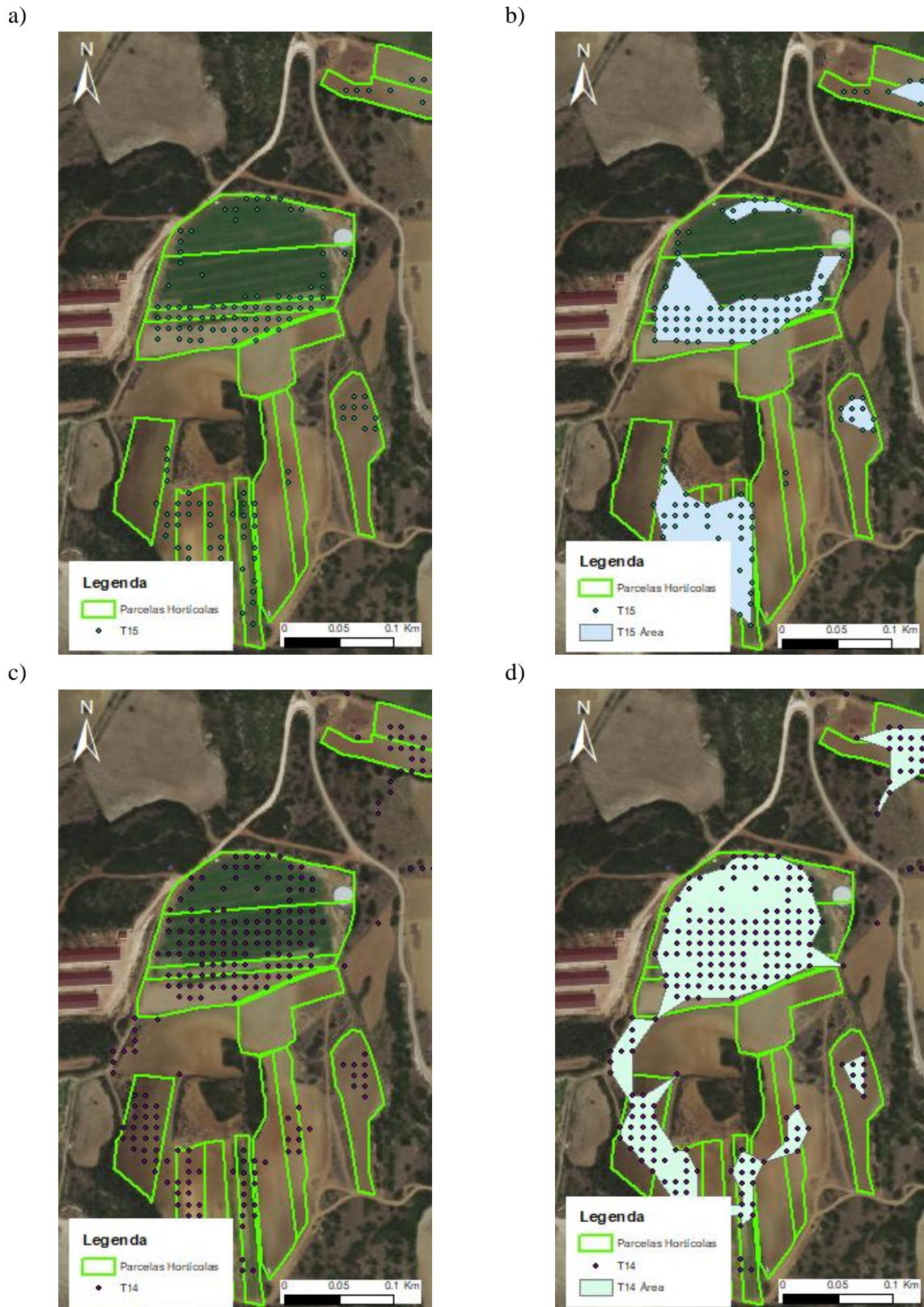


Figura 5.11. a) Pixéis identificados como hortícolas de acordo com os parâmetros do teste T15, b) agregação dos pixéis do teste T15, c) Pixéis identificados como hortícolas de acordo com os parâmetros do teste T14, d) agregação dos pixéis do teste T14

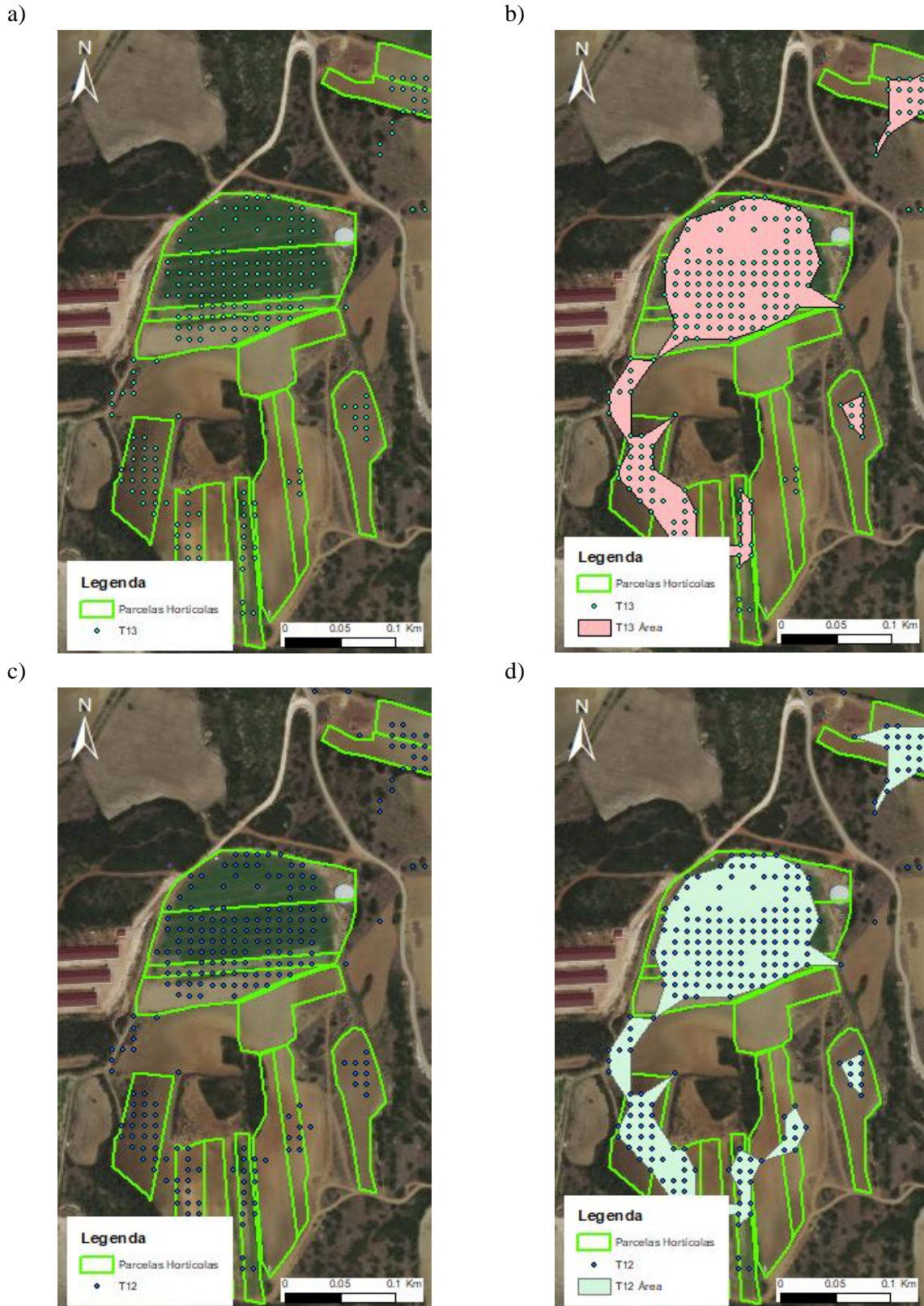


Figura 5.12. a) Pixéis identificados como hortícolas de acordo com os parâmetros do teste T13, b) agregação dos pixéis do teste T13, c) Pixéis identificados como hortícolas de acordo com os parâmetros do teste T12, d) agregação dos pixéis do teste T12

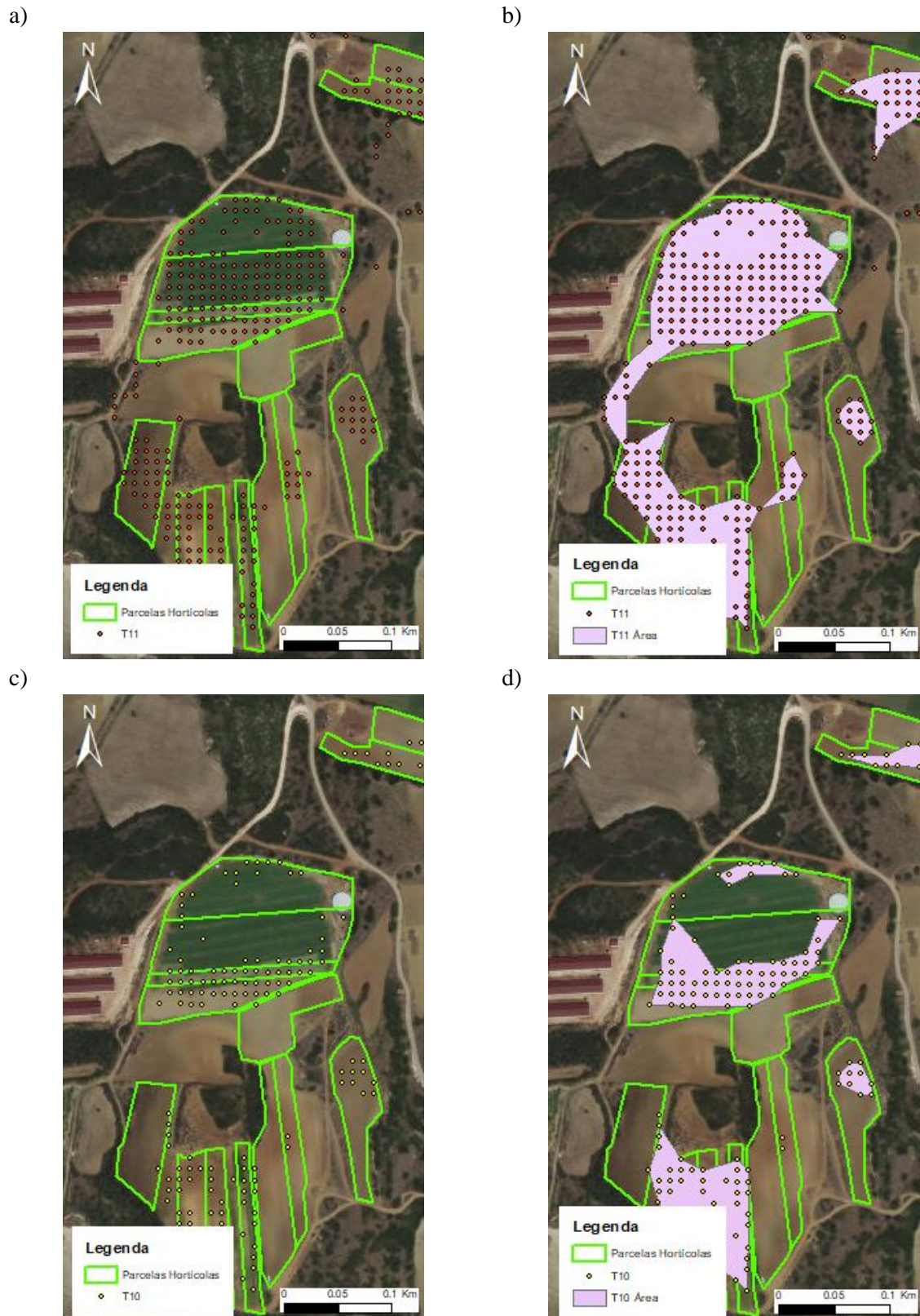


Figura 5.13. a) Pixéis identificados como hortícolas de acordo com os parâmetros do teste T11, b) agregação dos pixéis do teste T11, c) Pixéis identificados como hortícolas de acordo com os parâmetros do teste T10, d) agregação dos pixéis do teste T10

Analisando, em detalhe, o resultado da classificação píxel a píxel para a zona do Ribatejo (Figura 5.14 e Figura 5.15), podemos observar que as áreas de cultivo estão bem definidas pelos seus contornos.



Figura 5.14. a) Resultado da classificação píxel a píxel para a zona do Ribatejo teste T16, b) Resultado da classificação píxel a píxel para a zona do Ribatejo teste T15, c) Resultado da classificação píxel a píxel para a zona do Ribatejo teste T14, d) Resultado da classificação píxel a píxel para a zona do Ribatejo teste T13, e) Resultado da classificação píxel a píxel para a zona do Ribatejo teste T12, f) Resultado da classificação píxel a píxel para a zona do Ribatejo teste T11



Figura 5.15. Resultado da classificação píxel a píxel para a zona do Ribatejo teste T10

Analisando a Tabela 5.4 podemos verificar que o teste 11 devolve mais pixéis identificados como possível hortícolas e consequentemente mais polígonos (parcelas), e que o teste 10 e o 15 são os que apresentam resultados menos aceitável por identificarem um número muito reduzido de polígonos, tal como se pode observar na Figura 5.14 e Figura 5.13b respetivamente. Analisado os testes 15 e 16, em que foi considerado um parâmetro adicional, constatamos que no segundo se obtiveram melhores resultados, com se pode observar na Figura 5.13a.

Tabela 5.4. Valor total de pontos e parcelas para a classificação píxel a píxel

Teste	Nº total de Pixéis	Nº total de Parcelas
T10	135199	877
T11	257133	3966
T12	171264	3314
T13	157754	2859
T14	170335	3300
T15	114779	745
T16	214201	2514

5.3. Validação dos resultados

Nesta secção são validados os resultados obtidos no âmbito da classificação das culturas hortícolas. Esta validação consistiu em verificar a área total dos polígonos identificados que intersetava com as parcelas hortícolas conhecidas, obtendo-se assim a área total de culturas hortícolas resultante de cada um dos testes efetuados. Outro método de validação consistiu na contagem do número de pixéis por parcela (Anexo B), calculando a área ocupada pelos pixéis, assumindo que a resolução geométrica do píxel é 10 m (área de 100 m²).

Analisando a Tabela 5.5. podemos observar que o método desenvolvido consegue detetar zonas hortícolas, uma vez que o número total de parcelas com pelo menos um ponto é superior a 85%, para a maioria dos testes, exceto para o teste 13, sendo que em 2 testes (T11 e T16) se obteve um valor de 100%.

Observando o resultado das áreas totais de interceção, concluímos que os melhores resultados foram obtidos nos testes 11 e 16, com 43% e 46%, respetivamente, o mesmo acontecendo com o resultado a área resultante da contagem de pontos, sendo que neste segundo caso as percentagens são ligeiramente superiores, com valores de 48% e 45%, respetivamente (Tabela 5.5). Podemos ainda concluir que as percentagens de ambos os métodos são muito próximas para os restantes testes.

Tabela 5.5. Resultados dos métodos de validação para as parcelas hortícolas (15.22 ha de área total)

Teste	Área total de interceção com parcelas		Número total de parcelas com no mínimo 1 ponto		Área total por parcela assumindo que cada ponto corresponde a 100 m ²	
	ha	%	Nº parcelas / Nº pontos	%	ha	%
T16	7.01	46%	47/47	100%	7.36	48%
T15	3.58	24%	47/41	87%	3.45	23%
T14	4.40	29%	47/42	89%	4.99	33%
T13	3.73	25%	47/40	85%	4.52	30%
T12	4.39	29%	47/42	89%	5.01	33%
T11	6.61	43%	47/47	100%	6.82	45%
T10	3.60	24%	47/41	87%	3.48	23%

De modo a justificar a metodologia utilizada, foram usados dados de validação que consistem noutro tipo de cultura, tais como milho, arroz e tomate de cultura permanente. Foram utilizados os mesmos métodos de validação para comparar com os resultados obtidos anteriormente.

Analisado a Tabela 5.6 podemos observar que a percentagem de áreas identificada é baixa o que faz com que o método seja válido, uma vez que apenas identifica um número reduzido de parcelas de milho como sendo culturas hortícolas. Vemos ainda que os resultados dos dois métodos são muito semelhantes, sendo que qualquer teste constitui um bom indicador.

Tabela 5.6. Resultados dos métodos de validação para as parcelas de milho (52.95 ha de área total)

Parcelas de Milho						
Teste	Área total de interceção com parcelas		Número total de parcelas com no mínimo 1 ponto		Área total por parcela assumindo que cada ponto corresponde a 100 m ²	
	ha	%	Nº parcelas / Nº pontos	%	ha	%
T16	3.48	6%	9/4	44%	3.41	6%
T15	2.22	4%	9/6	67%	1.96	4%
T14	1.51	2%	9/2	22%	1.71	3%
T13	1.49	2%	9/3	33%	1.64	3%
T12	1.51	2%	9/2	22%	1.71	3%
T11	3.79	7%	9/2	22%	3.54	7%
T10	2.28	4%	9/6	67%	1.96	4%

Na Figura 5.16 podemos observar o pior resultado do obtido para as parcelas de milho, ainda assim nesta figura podemos observar que o milho foi considerado uma cultura não hortícola, o que revela que embora a percentagem seja a mais alta possa-se considerar um bom indicador.

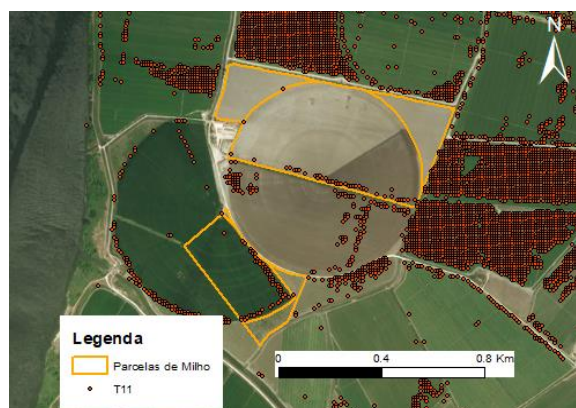


Figura 5.16. Pior resultado para as parcelas de milho

Considerando as parcelas de arroz (Tabela 5.7), reparamos que os valores não foram os melhores uma vez que deveriam ser idênticos aos obtidos para as parcelas de milho. Podemos constatar que o teste 15 foi o que proporcionou o melhor resultado, sendo que o pior resultado resultou do teste 11.

Tabela 5.7. Resultados dos métodos de validação para as parcelas de arroz (148 ha de área total)

Parcelas de Arroz						
Teste	Área total de interceção com parcelas		Número total de parcelas com no mínimo 1 ponto		Área total por parcela assumindo que cada ponto corresponde a 100 m ²	
	ha	%	Nº parcelas / Nº pontos	%	ha	%
T16	67.98	45%	25/22	88%	55.94	38%
T15	9.80	6%	25/15	60%	9.46	6%
T14	34.01	22%	25/19	76%	27.91	19%
T13	33.03	22%	25/17	68%	27.07	18%
T12	34.43	23%	25/20	80%	27.98	19%
T11	70.22	70%	25/20	80%	61.84	42%
T10	43.77	29%	25/20	80%	40.69	27%

Analisando a Figura 5.17 podemos ver uma grande diferença entre o melhor resultado a) e o pior resultado b), uma vez que a diferença entre as percentagens do pior e do melhor resultado é elevada, mais de 60%. Podemos ainda observar que o método confunde parcelas hortícolas com parcelas de arroz, o que pode dever-se ao facto de a cultura se encontrar em fase de maturação fase essa em que estas culturas hortícolas apresentam um comportamento semelhante ou devido a uma possível classificação incorreta das parcelas de arroz.

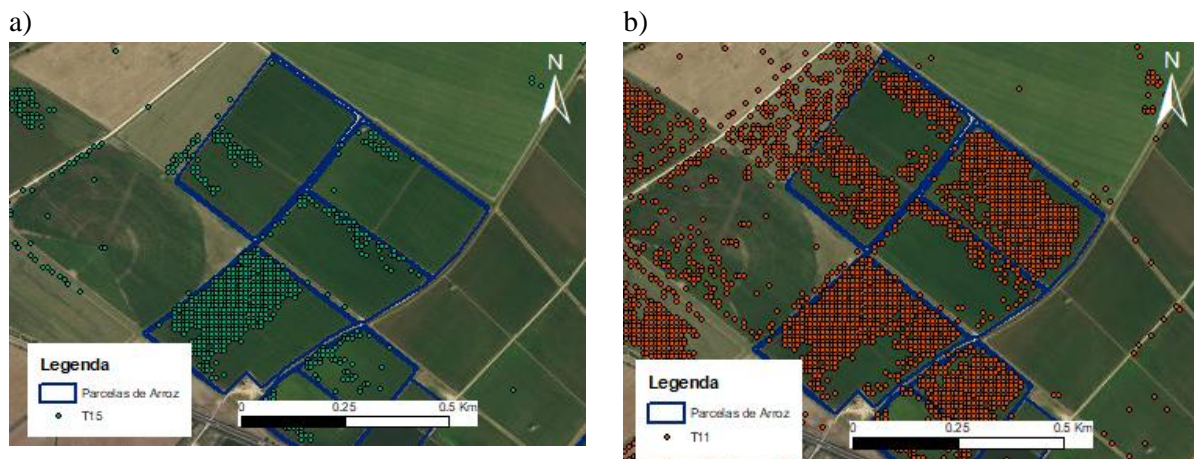


Figura 5.17. Melhor resultado para as parcelas de arroz, b) Pior resultado para as parcelas de arroz

Por fim podemos ver os resultados obtidos para as parcelas de tomates (Tabela 5.8), tendo sido obtidos resultados satisfatórios para todos os testes.

Tabela 5.8. Resultados dos métodos de validação para as parcelas de tomate (69.5 ha de área total)

Parcelas de Tomate						
Teste	Área total de interceção com parcelas		Número total de parcelas com no mínimo 1 ponto		Área total por parcela assumindo que cada ponto corresponde a 100 m ²	
	ha	%	Nº parcelas / Nº pontos	%	ha	%
T16	8.67	12%	12/5	42%	15.77	23%
T15	8.75	12%	12/3	25%	8.31	12%
T14	8.51	12%	12/5	42%	7.27	10%
T13	8.32	11%	12/5	42%	7.1	10%
T12	8.51	12%	12/5	42%	7.27	10%
T11	15.79	22%	12/7	58%	15.56	22%
T10	8.66	12%	12/6	50%	8.33	12%

No entanto, o pior resultado corresponde ao teste 11 que identifica incorretamente uma maior percentagem de culturas de tomate como sendo culturas hortícolas, tal como se pode verificar na Figura 5.18.

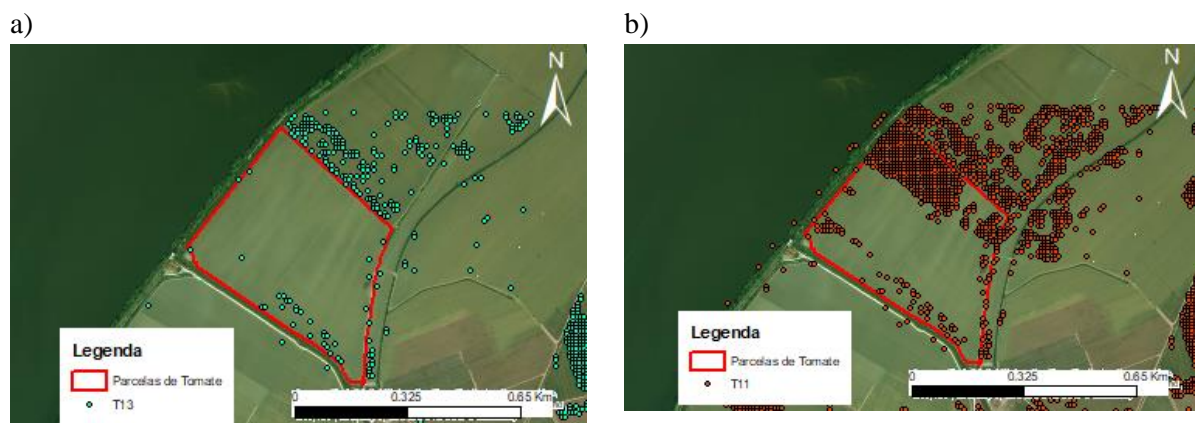


Figura 5.18. a) Melhor resultado para as parcelas de tomate, b) Pior resultado para as parcelas de tomate

Explorando todos os resultados obtidos, podemos considerar que o teste 16 é o mais adequado para a identificação das parcelas com uma probabilidade elevada de corresponderem a culturas hortícolas uma vez que obteve-se um exatidão de 46%, embora possa existir confusão com parcelas de arroz. Na Figura 5.19 estão representadas as parcelas identificadas pela metodologia desenvolvida como sendo hortícolas.

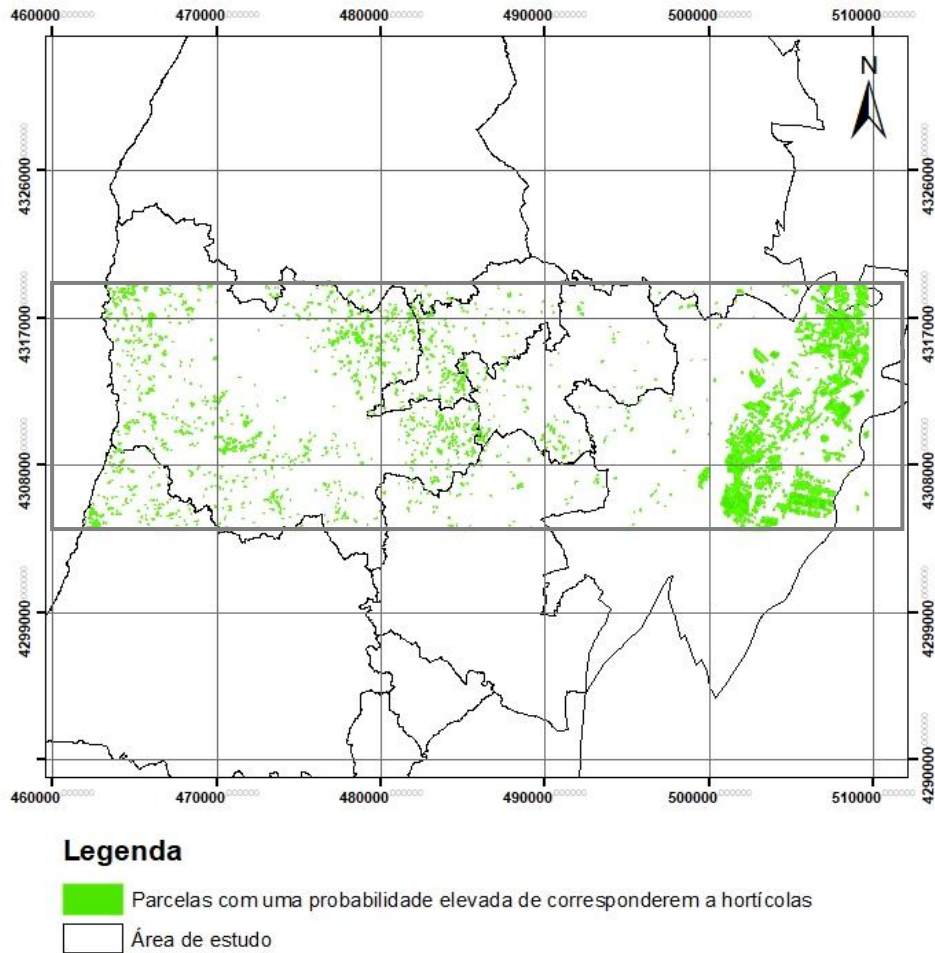


Figura 5.19. Mapa com a identificação das parcelas com uma probabilidade elevada de corresponderem a hortícolas

6. Conclusões e Perspetivas futuras

Neste projeto foram aplicados métodos de DR com o objetivo de desenvolver uma metodologia que permita inventariar culturas hortícolas em cada ano agrícola. Para tal, foi necessário extrair informação das imagens de satélite para a caracterização fenológica de vários tipos de culturas hortícolas, estudar o ciclo vegetativo dessas culturas e identificar os pixéis da imagem que apresentavam uma elevada probabilidade de corresponderem a culturas hortícolas.

A partir dos objetivos propostos para a concretização do presente projeto, foi possível mostrar a utilidade da DR em estudos de deteção de alterações na ocupação do solo. Assim, com este estudo foi possível identificar alterações da vegetação, ocorridas nas áreas de culturas hortícolas na Região do Oeste, ao longo do seu ciclo de crescimento.

Usando o índice de vegetação NDVI foi possível analisar a evolução ao longo do tempo, e consequentemente identificar as diferentes fases fenológicas das culturas e assim verificar que as culturas hortícolas têm um comportamento muito semelhante, o que levou a criar condições para uma análise ao nível do píxel. Os resultados obtidos indicam que as imagens do satélite Sentinel-2 podem fornecer informação útil para a identificação de culturas hortícolas, tendo uma resolução espectral e temporal adequada para o efeito.

Foi possível identificar parcelas hortícolas com uma exatidão não superior a 50% considerando o valor da área de sobreposição e uma precisão superior a 80% considerando a identificação de parcelas hortícolas com um mínimo de 1 ponto. Considerando o teste 16 como o que devolve o melhor resultado, obtivemos um erro de omissão de 54% para as parcelas hortícolas, o que significa que o método identificou corretamente pouco menos de metade da área efetiva de hortícolas. No entanto, para as parcelas de milho e de tomate permanente, os resultados obtidos foram positivo uma vez que se obteve um erro de comissão reduzido de 6% e 12%, respetivamente, o que significa que o método identificou corretamente a maior parte destas parcelas como não sendo hortícolas. Os resultados obtidos para as parcelas de arroz apresentam um erro de comissão de 45%, este resultado que pode dever-se eventualmente ao facto de as parcelas de arroz apresentarem um comportamento semelhante ao das culturas hortícolas.

Atendendo à dimensão das parcelas hortícolas na região do Oeste (inferior a 0.5 ha) e à resolução do píxel do Sentinel-2 (100 m²), conclui-se que muito dificilmente será possível utilizar as imagens deste satélite para esta finalidade na região do Oeste ou regiões com um nível de fragmentação da propriedade elevado. No entanto, verificámos a eficácia na deteção de outras culturas na região do Ribatejo onde a propriedade agrícola é de dimensão média superior a 1 ha. Quanto à metodologia desenvolvida, os resultados mostram ser promissores, especialmente considerando a perspetiva de utilização de imagens com uma maior resolução espacial.

O projeto desenvolvido pretende, por um lado, demonstrar a aplicabilidade da metodologia desenvolvida e, por outro lado, ser um contributo para o desenvolvimento de novos estudos na área da DR na Região do Oeste. Importa referir que a metodologia aqui apresentada não se restringe apenas a esta região, podendo se aplicada a outras áreas de estudo.

Este estudo pode ser alvo de uma investigação posterior utilizando, por exemplo, a combinação dos dois satélites Sentinel-2, aumentando assim a resolução temporal das séries temporais para 5 dias, a utilização de mais parâmetros para a classificação píxel a píxel, e ainda a utilização de um maior número de parcelas com culturas hortícolas que permitam uma validação fidedigna ou ainda criando outra metodologia que permita classificar melhor o comportamento fenológico das culturas hortícolas, usando outros índices de vegetação.

Referências bibliográficas

- Atzberger, C., & Eilers, P. H. C. (2011). A time series for monitoring vegetation activity and phenology at 10-daily time steps covering large parts of South America. *International Journal of Digital Earth*, 4(5), 365–386.
- Bargiel, D., & Herrmann, S. (2011). Multi-temporal land-cover classification of agricultural areas in two European regions with high resolution spotlight TerraSAR-X data. *Remote Sensing*, 3(5), 859–877.
- Blaes, X., Vanhalle, L., & Defourny, P. (2005). Efficiency of crop identification based on optical and SAR image time series. *Remote Sensing of Environment*, 96 (3–4), 352–365.
- Catalão, J. (2013) Apontamentos de Princípios e Aplicações de Detecção Remota. Texto não publicado, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo - CCDRLVT (2008). Plano Regional de Ordenamento do Território do Oeste e Vale do Tejo: Diagnostico Estratégico.
- Cohen, W. B., Yang, Z., & Kennedy, R. (2010). Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 2. TimeSync - Tools for calibration and validation. *Remote Sensing of Environment*, 114(12), 2911–2924.
- Conrad, C., Fritsch, S., Zeidler, J., Rücker, G., Dech, S. (2010). Per-field irrigation crop classification in arid Central Asia using SPOT and ASTER data. *Remote Sensing*, 2(4), 1035-1056.
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E. (2004). Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9), 1565–1596.
- D’Odorico, P., Gonsamo, A., Damm, A., & Schaepman, M. E. (2013). Experimental evaluation of sentinel-2 spectral response functions for NDVI time-series continuity. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51(3), 1336–1348.
- Dadhwal, V. K., Singh, R. P., Dutta, S., & Parihar, J. S. (2002). Remote sensing based crop inventory: A review of Indian experience. *Tropical Ecology*, 43(1), 107–122.
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA’s Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36.

-
- Dusseux, P., Corpetti, T., Hubert-Moy, L., & Corgne, S. (2014). Combined use of multi-temporal optical and Radar satellite images for grassland monitoring. *Remote Sensing*, 6(7), 6163–6182.
- El Hajj, M., Bégué, A., Guillaume, S., & Martiné, J. F. (2009). Integrating SPOT-5 time series, crop growth modeling and expert knowledge for monitoring agricultural practices - The case of sugarcane harvest on Reunion Island. *Remote Sensing of Environment*, 113(10), 2052–2061.
- Fraser, R., Olthof, I., Kokelj, S., Lantz, T., Lacelle, D., Brooker, A., Schwarz, S. (2014). Detecting Landscape Changes in High Latitude Environments Using Landsat Trend Analysis: 1. Visualization. *Remote Sensing*, 6, 11533–11557.
- Gao, S., Niu, Z., Huang, N., & Hou, X. (2013). Estimating the Leaf Area Index, height and biomass of maize using HJ-1 and RADARSAT-2. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 24(1), 1–8.
- Heumann, B. W., Seaquist, J. W., Eklundh, L., & Jönsson, P. (2007). AVHRR derived phenological change in the Sahel and Soudan, Africa, 1982-2005. *Remote Sensing of Environment*, 108 (4), 385–392.
- IMPA (2017). <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/018/> acedido em Maio de 2017.
- Jin, S., & Sader, S. A. (2005). MODIS time-series imagery for forest disturbance detection and quantification of patch size effects. *Remote Sensing of Environment*, 99(4), 462–470.
- Jönsson, P., & Eklundh, L. (2002). Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(8), 1824–1832.
- Karjalainen, M., Kaartinen, H., & Hyypä, J. (2008). Agricultural Monitoring Using Envisat Alternating Polarization. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74, 117–126.
- Khan, M. R., de Bie, C. A. J. M., van Keulen, H., Smaling, E. M. A., & Real, R. (2010). Disaggregating and mapping crop statistics using hypertemporal remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(1), 36–46.
- Long, J., Lawrence, R., Greenwood, M. C., Marshall, L., & Miller, P. R. (2013). Object-oriented crop classification using multitemporal ETM+ SLC-off imagery and random forest. *GIScience & Remote Sensing*, 50(4), 418–436.
- McNairn, H., Champagne, C., Shang, J., Holmstrom, D., & Reichert, G. (2009). Integration of optical and Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery for delivering operational annual crop inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(5), 434–449.
- Min, M., Ehsani, R., & Salyani, M. (2008). Dynamic accuracy of GPS receivers in citrus orchards. *Applied Engineering in Agriculture*.

-
- Mondal, P., & Basu, M. (2009). Adoption of precision agriculture technologies in India and in some developing countries: Scope, present status and strategies. *Progress in Natural Science*, 19(6), 659–666.
- Myneni, B., Forrest, G., Sellers, J., & Marshak, L. (1995). The Interpretation of Spectral Vegetation Indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2), 481–486.
- Panda, S., Martin, J., & Hoogenboom, G. (2011). Blueberry crop growth analysis using climatologic factors and multi-temporal remotely sensed imagery. *Institute of Environmental*
- Richards, J. ., & Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis*.
- Rouse, J. W., Hass, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium*, 1, 309–317.
- Singh, A. (1989). Review Article: Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10(6), 989–1003.
- Torbick, N., Chowdhury, D., Salas, W., & Qi, J. (2017). Monitoring rice agriculture across myanmar using time series Sentinel-1 assisted by Landsat-8 and PALSAR-2. *Remote Sensing*, 9(2).
- Tulbure, M. G., & Broich, M. (2013). Spatiotemporal dynamic of surface water bodies using Landsat time-series data from 1999 to 2011. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 79, 44–52.
- Usha, K., & Singh, B. (2013). Potential applications of remote sensing in horticulture-A review. *Scientia Horticulturae*, 153, 71–83.
- Warren, G., & Metternicht, G. (2005). Agricultural Applications of High-Resolution Digital Multispectral Imagery. *Photogramm Eng Remote Sensing*, (March).
- Wei, X. (2010). Biomass Estimation: A Remote Sensing Approach. *Geography Compass*, 4(11), 1635–1647.
- White, M. A., & Nemani, R. R. (2006). Real-time monitoring and short-term forecasting of land surface phenology. *Remote Sensing of Environment*, 104(1), 43–49.
- Yang, C., Everitt, J. H., & Murden, D. (2011). Evaluating high resolution SPOT 5 satellite imagery for crop identification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(2), 347–354.
- Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2014). Automated cloud, cloud shadow, and snow detection in multitemporal Landsat data: An algorithm designed specifically for monitoring land cover change. *Remote Sensing of Environment*, 152, 217–234.

Zillmann, E., & Weichelt, H. (2014). Crop identification by means of seasonal statistics of RapidEye time series. 2014 The 3rd International Conference on Agro-Geoinformatics, Agro-Geoinformatics 2014.

Anexos

Anexo A – Informação vetorial

Tabela A.1. Informação vetorial das parcelas

ID	NOME	DATA INICIO	DATA FIM	ÁREA (ha)	CULTURA
0	AM-Américo / 2016 / Nabiça / S18	05/05/2016	22/06/2016	0.4749	Nabiça
1	AM-Américo / 2016 / Coentros / S26	30/06/2016	30/08/2016	0.4749	Coentros
2	AMP-Américo Pequeno / 2016 / Coentros / S18	05/05/2016	05/07/2016	0.3744	Coentros
3	AMP-Américo Pequeno / 2016 / Espinafres / S33	18/08/2016	30/09/2016	0.3744	Espinafres
4	MN-Manias / 2016 / Espinafre / S18	05/05/2016	05/07/2016	0.2408	Espinafres
5	MN-Manias / 2016 / Coentros / S32	11/08/2016	30/11/2016	0.2408	Coentros
6	MN-Manias / 2016 / Espinafre / S21	20/05/2016	15/07/2016	0.3852	Espinafres
7	MN-Manias / 2016 / Coentros / S33	19/08/2016	07/12/2016	0.3852	Coentros
8	R-Ribeira / 2016 / Nabiça / S20	23/09/2016	07/11/2016	0.1619	Nabiça
9	R-Ribeira / 2016 / Nabiça / S31	05/08/2016	10/10/2016	0.1619	Nabiça
10	R-Ribeira / 2016 / Nabiça / S21	27/05/2016	25/07/2016	0.3099	Nabiça
11	R-Ribeira / 2016 / Nabiça / S32	11/08/2016	15/10/2016	0.3099	Nabiça

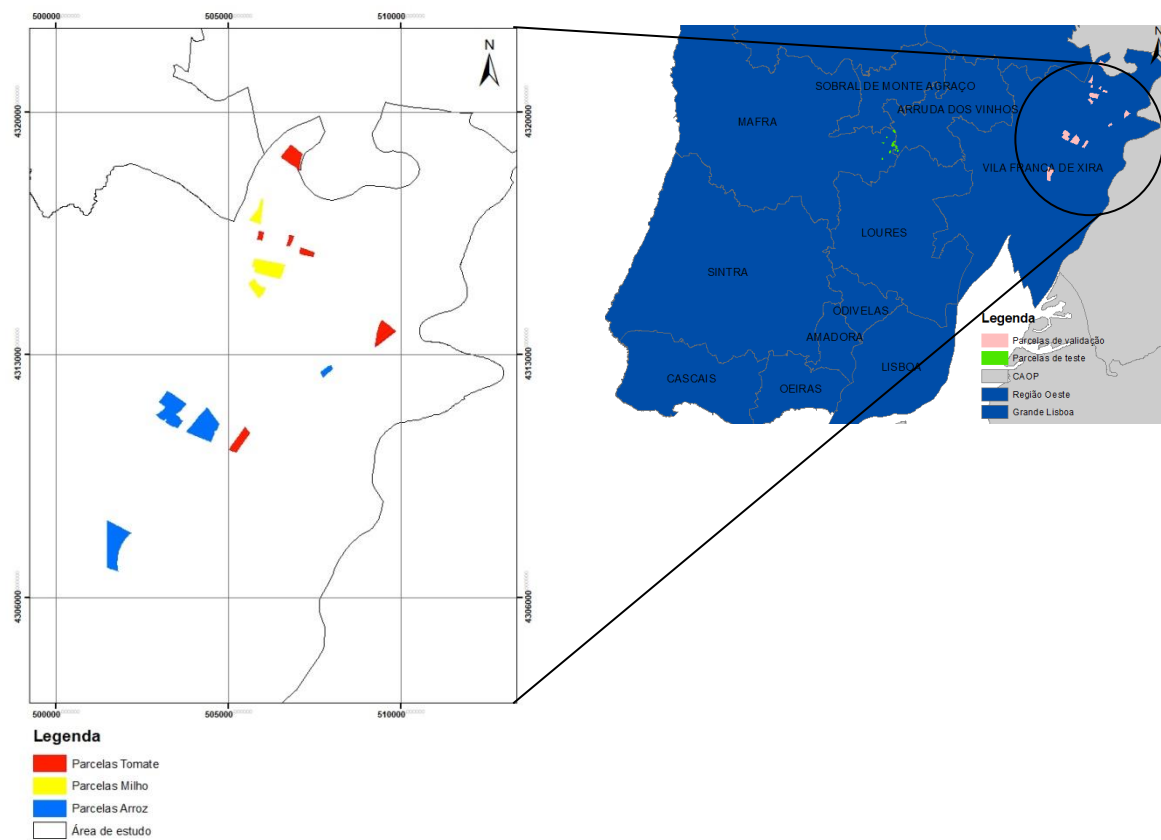


Figura A.1. Parcelas de validação fornecidas pelo IFAP

Anexo B – Resultados da Validação

Tabela B.1 Contagem de pontos por parcela

Parcela	P16	P15	P14	P13	P12	P11	P10
0	30	13	17	15	17	30	13
1	8	0	9	9	9	9	0
2	2	0	2	2	2	2	0
3	11	4	8	7	8	11	4
4	11	2	11	11	11	11	2
5	24	6	17	13	17	20	6
6	4	2	3	2	3	3	2
7	7	2	6	4	6	7	2
8	15	11	11	11	11	15	11
9	28	0	28	26	28	28	0
10	11	6	9	9	9	11	6
11	11	11	8	8	8	11	11
12	28	15	7	7	7	22	15
13	21	3	15	15	15	18	3
14	9	9	4	2	4	9	9
15	2	2	0	0	0	2	2
16	13	10	9	9	9	13	10
17	5	2	3	0	3	5	2
18	17	12	6	3	6	17	12
19	5	3	2	2	2	5	3
20	4	1	4	3	4	4	1
21	3	3	0	0	0	3	3
22	16	14	0	0	00	14	14
23	6	3	4	4	4	5	3
24	21	8	19	19	19	26	11
25	27	12	16	14	16	21	13
26	7	2	5	5	5	7	2
27	10	9	1	1	1	10	9
28	10	10	9	7	9	11	11
29	30	16	30	28	31	31	17
30	24	16	20	19	20	24	16
31	6	5	5	5	5	6	5
32	8	1	7	7	7	8	1
33	2	1	1	0	1	2	1
34	24	2	22	22	22	23	2
35	3	0	3	1	3	3	0
36	23	13	0	0	0	13	13
37	10	3	7	3	7	10	3
38	10	1	1	1	1	2	1
39	11	7	7	6	7	11	7
40	42	41	36	33	36	40	39
41	11	10	2	2	2	12	10
42	33	14	30	27	30	32	14
43	14	7	0	0	0	7	7
44	21	0	12	12	12	12	0
45	88	33	73	69	74	86	32
46	10	0	10	9	10	10	0

Tabela B.2 Contagem de área por parcela assumindo que cada ponto corresponde a 10 m2 (tamanho do pixel)

Parcela	P16	P15	P14	P13	P12	P11	P10
0	3000	1300	1700	1500	1700	3000	1300
1	800	0	900	900	900	900	0
2	200	0	200	200	200	200	0
3	1100	400	800	700	800	1100	400
4	1100	200	1100	1100	1100	1100	200
5	2400	600	1700	1300	1700	2000	600
6	400	200	300	200	300	300	200
7	700	200	600	400	600	700	200
8	1500	1100	1100	1100	1100	1500	1100
9	2800	0	2800	2600	2800	2800	0
10	1100	600	900	900	900	1100	600
11	1100	1100	800	800	800	1100	1100
12	2800	1500	700	700	700	2200	1500
13	2100	300	1500	1500	1500	1800	300
14	900	900	400	200	400	900	900
15	200	200	0	0	0	200	200
16	1300	1000	900	900	900	1300	1000
17	500	200	300	0	300	500	200
18	1700	1200	600	300	600	1700	1200
19	500	300	200	200	200	500	300
20	400	100	400	300	400	400	100
21	300	300	0	0	0	300	300
22	1600	1400	0	0	0	1400	1400
23	600	300	400	400	400	500	300
24	2100	800	1900	1900	1900	2600	1100
25	2700	1200	1600	1400	1600	2100	1300
26	700	200	500	500	500	700	200
27	1000	900	100	100	100	1000	900
28	1000	1000	900	700	900	1100	1100
29	3000	1600	3000	2800	3100	3100	1700
30	2400	1600	2000	1900	2000	2400	1600
31	600	500	500	500	500	600	500
32	800	100	700	700	700	800	100
33	200	100	100	0	100	200	100
34	2400	200	2200	2200	2200	2300	200
35	300	0	300	100	300	300	0
36	2300	1300	0	0	0	1300	1300
37	1000	300	700	300	700	1000	300
38	1000	100	100	100	100	200	100
39	1100	700	700	600	700	1100	700
40	4200	4100	3600	3300	3600	4000	3900
41	1100	1000	200	200	200	1200	1000
42	3300	1400	3000	2700	3000	3200	1400
43	1400	700	0	0	0	700	700
44	2100	0	1200	1200	1200	1200	0
45	8800	3300	7300	6900	7400	8600	3200
46	1000	0	1000	900	1000	1000	0