



**INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO**

Cristiano Emanuel Alves Rodrigues de Barros

**Monitorização das Unidades Agroecológicas do Alto Minho  
através da análise de séries temporais**

Dissertação de Mestrado  
Engenharia Agrónómica

Cristiano Emanuel Alves Rodrigues de Barros

Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, 2021



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO

Cristiano Emanuel Alves Rodrigues de Barros

Monitorização das Unidades Agroecológicas do Alto Minho  
através da análise de séries temporais

Dissertação de Mestrado  
Engenharia Agrónómica

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor Doutor Joaquim Mamede Alonso

Cristiano Emanuel Alves Rodrigues de Barros

Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, 2021

*As doutrinas expressas neste  
documento são da exclusiva  
responsabilidade do autor*

## **Agradecimentos**

A elaboração desta dissertação é o culminar dos últimos 5 anos académicos e, não teria sido possível sem o apoio de alguns intervenientes. Assim sendo, pretendo agradecer a todos os que sempre me apoiaram e contribuíram para a realização e concretização de mais uma etapa na minha formação, o Mestrado em Engenharia Agronómica.

Em primeiro agradecer à minha família, por todo o cuidado e ajuda desde o primeiro dia em que iniciei este percurso. Aos meus pais por todo o amor, apoio e incentivo. Aos meus irmãos por todos os conselhos e força que me deram ao longo de todos estes anos. Aos meus avôs que sempre quiseram que eu terminasse o curso para ingressar da melhor forma no mercado de trabalho.

Quero agradecer ao Professor Doutor Joaquim Alonso, meu orientador, pela paciência, ajuda, conselhos e orientação, ao longo de todo o projeto.

Aos meus colegas de gabinete CIGESA, Renato Silva e Nuno Mouta por toda a motivação, ajuda e paciência.

Por fim, agradecer à minha namorada que sempre me incentivou para seguir o ensino superior e me ajudou naquilo que precisei.

Muito obrigado a todos

## Índice

1. Introdução.....	1
2. Aplicação da deteção remota na evolução fenométrica em parcelas de vinha.....	3
2.1. Deteção remota .....	3
2.2. Conceito, aplicações e ferramentas da fenómica .....	5
2.3. Fenómica no apoio á viticultura de precisão.....	6
2.3.1. Aplicação e ferramentas da fenómica.....	9
2.4. Características satélite Sentinel-2 .....	10
2.5. Aplicação e tratamento imagens Sentinel-2.....	13
2.6. Índices de vegetação aplicados à vinha .....	15
2.7. Série temporais na análise de índices e dinâmicas de vegetação.....	17
2.8. Fenologia da vinha na definição de terroirs vitivinícolas .....	20
3. Materiais e métodos .....	25
3.1. Materiais .....	25
3.1.1. Área de estudo .....	25
3.1.2. Informação das parcelas agrícolas em experimentação.....	26
3.2. Recolha e processamento de dados.....	29
3.2.1. Imagens de satélite.....	29
3.2.2. Cálculo dos índices de vegetação .....	31
3.3. Zonagem bioclimática.....	33
3.4. Extração e desenvolvimento de uma série temporal de índices de vegetação .	35
3.5. Definição de unidades homogéneas de padrões de vegetação no Alto Minho	36
3.6. Unidades de vegetação homogéneas como suporte à zonagem.....	37
4. Apresentação e análise de resultados .....	38
4.1. A região do Alto Minho e as sub-regiões do Lima e Monção-Melgaço.....	38
4.2. Evolução dos índices de vegetação das áreas de vinha por sub-região .....	41
4.3. Evolução dos índices de vegetação das áreas de vinha por unidade bioclimática	53
4.4. Classificação multitemporal das áreas de vinha .....	57
5. Considerações finais.....	60
6. Referências bibliográficas .....	62

## **RESUMO**

As plataformas de satélite de detecção remota fornecem informações temporais e espaciais úteis para a viticultura, com um interesse crescente no seu uso. Este estudo tem como objetivo identificar as possibilidades de, com imagens do satélite Sentinel-2 disponíveis gratuitamente e com tempos de revisita frequentes, monitorizar o crescimento da vinha à escala regional, em duas sub-regiões do Alto Minho, durante o período vegetativo do ano 2019.

A metodologia utilizada baseia-se na utilização de informação multiespectral e ferramentas de análise disponíveis no ArcGis para estudo de variáveis espaciais, e na utilização da linguagem de programação R orientada para a modelação e análise de dados.

A primeira abordagem deste trabalho baseia-se no desenvolvimento metodológico para a modelação da dinâmica fenológica da vinha a partir do cálculo de Índices de Vegetação (IV) com dados fornecidos pelo satélite Sentinel-2 (S2). Uma segunda abordagem é realizada a partir da sua aplicação a parcelas vitícolas seleccionadas na sub-região do Lima e sub-região Monção Melgaço, onde inicialmente foi aplicado o algoritmo de classificação para a caracterização edafoclimática da região, tendo como principal objetivo a alocação de parcelas vitícolas aos diferentes contextos edafoclimáticos definidos para a região do Alto Minho.

Os resultados revelaram que efetivamente é possível monitorizar unidades agroecológicas do Alto Minho através da análise de séries temporais, embora com algumas limitações técnicas (devido a resolução espacial) e antropogénicas (práticas culturais).

**Palavras-chave:** Detecção Remota, Fenologia, Monitorização, Sentinel-2, Séries Temporais

## **ABSTRACT**

Remote sensing satellite platforms provide useful temporal and spatial information for viticulture, with a growing interest in their use. The objective of this study is to identify the possibilities, with images from the Sentinel-2 satellite available free of charge and with frequent revisit times, to monitor the growth of the vine at a regional scale, in two sub-regions of the Alto Minho, during the growing season of the year 2019.

The methodology used is based on the use of multispectral information and analysis tools available in ArcGis for the study of spatial variables, and on the use of the R programming language aimed at modeling and analyzing data.

The first approach of this work is based on the methodological development for modeling the phenological dynamics of the vineyard from the calculation of Vegetation Indices (IV) with data provided by the Sentinel 2 (S2) satellite. A second approach is based on its application to selected vineyard plots in the Lima sub-region and Monção Melgaço sub-region, where the classification algorithm was initially applied for the edaphoclimatic characterization of the region, with the main objective of plot allocation to the different edaphoclimatic contexts defined for the Alto Minho region.

The results revealed that it is effectively possible to monitor the Alto Minho agroecological units through the analysis of time series, although with some technical (due to spatial resolution) and anthropogenic (cultural practices) limitations.

**Keywords:** Remote Sensing, Phenology, Monitorization, Sentinel-2, Time Series

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

GPS - Global Positioning System

GIS - Geographic Information System

IV – Índices de Vegetação

NDVI –Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

LAI – Índice de Área Foliar

SA - Área de Superfície

AF – Área Foliar

VT - Vitis Vinífera

ESA- Agência Espacial Europeia (European Space Agency)

EU- União Europeia

MSI - MultiSpectral Instrument

AOT- Aerossol Optical Thickness,

DEM- Modelo Digital de Elevação

SNAP- SeNtinel Application Platform

SCL- Scene Classification

DDV- Vegetação densa escura

APDA- Algoritmo de absorção diferencial pré-corrigido

fAPAR- Fração de radiação fotossinteticamente absorvida

UAV – Unidades Agroecológicas Vitivinícolas

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 2. 1 Resolução espectral das bandas dos dados do satélite Sentinel-2 .....	12
Quadro 3. 1 Software utilizado para processamento de dados .....	29
Quadro 3. 2 Ordem cronológica das datas das imagens de satélite utilizadas para o estudo.....	30
Quadro 3. 3 Listagem e descrição índices vegetação .....	31
Quadro 4. 1 Informação relativa às parcelas de amostragem.....	40

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 Elementos principais do processo de detecção remota (adaptado de Tindall, 2006).....	3
Figura 2. 2 Comparação entre o comprimento de onda, frequência e energia no espectro eletromagnético. Fonte: NASA's Imagine the Universe.....	4
Figura 2. 3 Bandas Espectrais Sentinel-2. Fonte: CESBIO, 2020.....	11
Figura 2. 4 Em cima. : Bandas originais Sentinel-2 a 10 m, 20 m e 60 m, Em baixc : Bandas com super resampling a 10 m, com o método DSen2. Fonte: Charis Lanaras, 2018. ....	15
Figura 2. 5 Parâmetros de sazonalidade. Fonte: Eklundh; Jönsson (2012).....	18
Figura 2. 6 Família das Vitáceas Fonte: (Reynier, 2004).....	20
Figura 2. 7 Ciclo vegetativo da Vinha. (Fonte: Reynier, 2004). Legenda: 1: Abrolhamento; 2: Pintor; 3: Final do Crescimento .....	22
Figura 2. 8 Acumulação de graus vegetativos vs ciclo vegetativo Fonte: (H. Fraga , 2014).....	24
Figura 3. 1 Enquadramento da área de estudo.....	25
Figura 3. 2 Áreas/parcelas selecionadas para o estudo.....	26
Figura 3. 3 Pacotes e script utilizado no cálculo dos IV's. ....	33
Figura 3. 4 Unidades agroecológicas vitivinícolas de referência .....	35
Figura 3. 5 Ilustração sobre o uso da ferramenta Cell Statistics.....	37
Figura 4. 1 Mapa com informação relativa a Altimetria e Declive .....	39
Figura 4. 2 Mapa dos valores médios do NDVI no Alto Minho .....	41
Figura 4. 3 Índice de diferença normalizada da vegetação (NDVI) para as sub-regiões	42
Figura 4. 4 Mapa dos valores médios do EVI no Alto Minho.....	43
Figura 4. 5 Enhanced Vegetation Index (EVI) para as sub-regiões. ....	44
Figura 4. 6 Mapa dos valores médios do LAI no Alto Minho.....	45
Figura 4. 7 Índice de área foliar (LAI) para as sub-regiões.....	46
Figura 4. 8 Mapa dos valores médios do MCARI no Alto Minho .....	47
Figura 4. 9 Índice de Absorção de Clorofila Modificado em Refletância (MCARI) para as sub-regiões. ....	48
Figura 4. 10 Mapa dos valores médios do MTCI no Alto Minho .....	49
Figura 4. 11 Índices de vegetação para clorofila (MTCI) para as sub-regiões.....	50
Figura 4. 12 Mapa dos valores médios do PSRI no Alto Minho.....	51

Figura 4. 13 Índice de Refletância de Senescência das Plantas (PSRI) para as sub-regiões.....	52
Figura 4. 14 Unidades Agroecológicas Vitivinícolas onde existe vinha.....	53
Figura 4. 15 Leaf Area Index (LAI) das áreas de vinha por unidade bioclimática .....	54
Figura 4. 16 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) das áreas de vinha por unidade bioclimática.....	55
Figura 4. 17 Enhanced Vegetation Index (EVI) das áreas de vinha por unidade bioclimática. ....	55
Figura 4. 18 Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI) das áreas de vinha por unidade bioclimática.....	56
Figura 4. 19 MERIS Terrestrial Chlorophyll Index (MTCI) das áreas de vinha por unidade bioclimática.....	56
Figura 4. 20 Plant Senescence Reflectance Index (PSRI) das áreas de vinha por unidade bioclimática. ....	57
Figura 4. 21 Mapa representativo do ISOcluster dos vários índices. ....	58
Figura 4. 22 Comportamento fenométrico do NDVI na parcela. ....	59

## 1. Introdução

A otimização dos recursos agrícolas, aumento do potencial de produtividade, bem como o controlo dos processos de degradação do solo (ex: erosão), pode ser realizada através da monitorização da cultura no campo, com o objetivo de compreender a variabilidade espacial local (tempo e espaço) com alta resolução. No caso das culturas com alta rentabilidade, como é o caso da vinha, a capacidade de tratar e acompanhar o seu comportamento espacial durante o ciclo vegetativo representa uma oportunidade que permite melhorar a produtividade e rentabilidade do agricultor preservando simultaneamente a saúde ambiental (Brook et al., 2020).

No entanto sendo um dos setores mais sensíveis ao clima é previsível que se enfrentem novos desafios e oportunidades, tais como as alterações climáticas e a mudança de paradigma, como a inovação tecnológica aplicada à agricultura, que permitirá a racionalização de custos e a redução do desperdício (Malheiro et al., 2010)

O surgimento da Viticultura de Precisão envolve o desenvolvimento e a adoção de técnicas de gestão da variabilidade temporal e espacial das parcelas, com o objetivo principal de otimizar a rentabilidade e a qualidade da unidade de produção, bem como a redução dos impactos ambientais (Cook et al., 1998).

O Alto Minho agrega duas das nove sub-regiões da Região Demarcada dos Vinhos Verdes: i) Monção e Melgaço, onde as castas utilizadas tradicionalmente são as Alvarinho (branca), Pedral e Alvarelhão (tinta); e ii) Lima, onde as castas brancas mais utilizadas são as Loureiro, Arinto e Trajadura e as castas tintas são a Vinhão e a Borraçal (Mota, 2010).

A deteção remota tem uma grande capacidade para determinar os estados fenológicos da vinha. As imagens de satélite permitem efetuar uma amostragem com um custo reduzido e com uma resolução temporal razoável sobre um grande número de regiões. Esta ferramenta baseia-se na capacidade que os sensores têm de quantificar discriminadamente os distintos comprimentos de onda refletidos por um objeto, sendo possível produzir índices a partir das imagens recolhidas, possibilitando assim quantificar e qualificar a variabilidade presente numa determinada parcela (Ortega & Esser, 2002).

Para este estudo, as imagens utilizadas foram adquiridas pelos satélites Sentinel-2, cujos sensores, produzem imagens multiespectrais caracterizadas por treze bandas espectrais distintas (Drusch et al., 2012). Ao combinar os diferentes valores de refletância

relacionados às diferentes bandas, podem ser obtidos parâmetros que resumem toda a informação multiespectral. Esses parâmetros são conhecidos como índices espectrais. Entre eles, encontram-se os Índices de Vegetação que permitem identificar a presença da vegetação na superfície terrestre e a sua variação (Spisni et al., 2012).

O objetivo geral desta dissertação pretende avaliar os padrões da vegetação e fenologia da vinha à escala regional como meio de validação da zonagem agroecológica.

Numa primeira fase pretendemos avaliar a capacidade que as imagens do satélite SENTINEL-2 têm para prever o desenvolvimento da fenologia da vinha e analisar o comportamento espectral da vegetação em duas sub-regiões das Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

Outro objetivo é fornecer os primeiros conhecimentos sobre a capacidade de utilizar as imagens do Sentinel-2 para monitorizar o desenvolvimento fenológico da vinha durante uma época vegetativa completa. Tentaremos:

- i) Estabelecer os padrões espaciais de vegetação interanual, em particular da vinha à escala regional utilizando técnicas de classificação multitemporal;
- ii) Avaliar razões de natureza biofísica, ocupação e uso do solo que justifiquem o padrão espacial observado;
- iii) Relacionar a zonagem agroecológica para a vinha com os padrões vegetativos através dos resultados obtidos por diferenciação multitemporal.

## 2. Aplicação da detecção remota na evolução fenométrica em parcelas de vinha

### 2.1. Detecção remota

A Detecção Remota é um conjunto de técnicas que permite adquirir, processar e analisar informação sobre um objeto ou fenómeno pela análise de dados, captados por sistemas de satélite ou meios aéreos. As imagens possuem informação geográfica sobre o material vegetal que mantém contacto direto ou não com a superfície terrestre, captada sob a forma de energia ou radiação eletromagnética refletida ou emitida por esse material ou objetos nela existentes (Oliveira de Sousa & Marques da Silva, 2011).

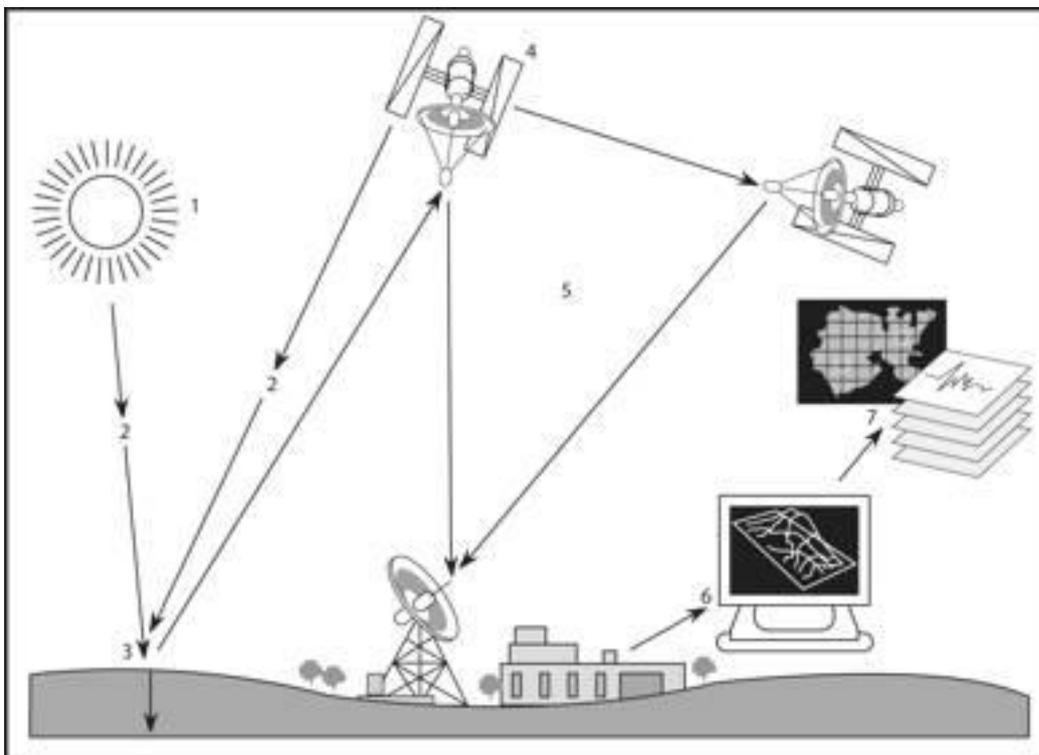


Figura 2. 1 Elementos principais do processo de detecção remota (adaptado de Tindall, 2006). Legenda: 1. Fonte de iluminação 2. Radiação 3. Interação com o objeto 4. Registo/ gravação 5. Transmissão 6. Receção e processamento 7. Interpretação/ análise/ aplicação.

Nos últimos anos tem-se convertido numa ferramenta indispensável em múltiplos domínios da nossa sociedade, revelando-se especialmente útil para fornecer dados espaciais que, de outra forma, seriam difíceis de obter. Estes dados permitem determinar a composição e natureza da superfície do terreno desde escalas locais a globais e avaliar as mudanças através da análise de imagens capturadas em diferentes períodos temporais. (Read & Torrado, 2009).

No processo de aquisição de imagens, os instrumentos de detecção remota utilizados são frequentemente categorizados como sensores ativos ou sensores passivos. Os sensores ativos, emitem a sua própria energia para iluminar o alvo e são compostos por um gerador e recetor de sinal. Estes sensores geram o seu próprio sinal, que é subsequentemente calculado quando refletido de volta pela superfície da Terra. Por outro lado, os sensores passivos medem a energia solar que é refletida ou emitida a partir de objetos na superfície da Terra. A maioria deste tipo de sensor, depende da energia do sol para iluminar o alvo e, portanto, não precisam de uma fonte de energia própria, no entanto uma vez que a maioria destes sensores opera nos comprimentos de onda visível e infravermelho, são significativamente afetados pelo clima e pela cobertura de nuvens (Horning, 2018).

Segundo Sousa & Marques da Silva (2011), a luz ou de uma forma geral a radiação eletromagnética, é uma forma de energia que é transferida num certo período, de um ponto para o outro. A descrição da radiação eletromagnética passa, portanto, por um aspeto energético e um aspeto temporal. A radiação eletromagnética apenas é perceptível (visível, sensível, mensurável) assim que colidir com uma determinada superfície.

Na detecção remota existem duas particularidades de maior interesse da radiação eletromagnética, o comprimento de onda e a frequência. Entende-se por comprimento de onda ( $\lambda$ ), o comprimento de um ciclo de onda, que pode ser medido como a distância entre cristas de onda, por outro lado, a frequência refere-se ao seu número de ciclos (CCRS, 2020).

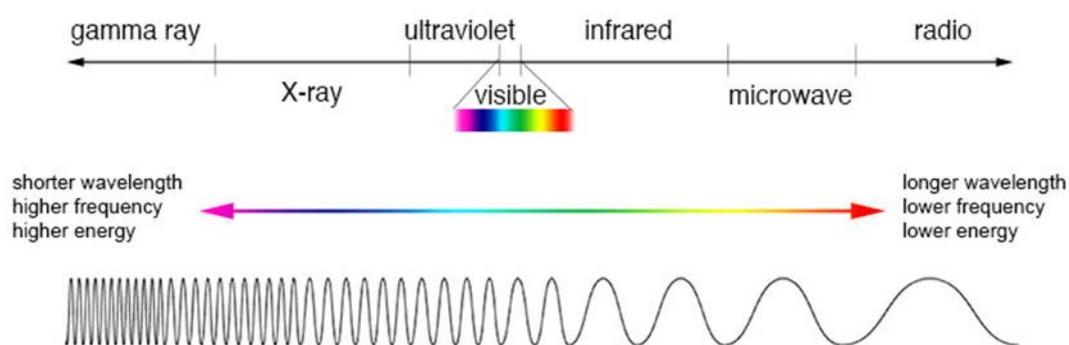


Figura 2. 2 Comparação entre o comprimento de onda, frequência e energia no espectro eletromagnético. Fonte: NASA's Imagine the Universe.

O espectro eletromagnético é dividido em subintervalos, designados de bandas espectrais, que servem para classificar a radiação eletromagnética. Os vários sensores

multiespectrais que captam a radiação são concebidos para adquirir informação em bandas muito estreitas do espectro eletromagnético (Fonseca & Fernandes, 2004).

Segundo Fonseca e Fernandes (2004), na detecção remota, o fenómeno mais interessante a ser estudado é a reflexão pelos alvos, porque a maior parte dos sensores óticos registam a radiação refletida pela superfície terrestre ou os seus elementos.

A clorofila presente nas folhas da vegetação absorve a radiação nos comprimentos de onda no vermelho e azul, refletindo em maior quantidade comprimentos de onda verde e infravermelho. Quando o teor de clorofila da vegetação está no máximo existe uma maior absorção dos comprimentos de onda vermelhos e maior reflexão de infravermelho, no entanto quando existem quantidades reduzidas de clorofila nas folhas, há uma menor absorção e proporcionalmente mais reflexão dos comprimentos de onda vermelhos (CCRS, 2020).

As técnicas de detecção remota e modelação permitem o monitorizar, quantificar e prever em grande escala diferentes fenómenos (por exemplo, uso e cobertura do solo, biodiversidade, impactos das mudanças climáticas) que ocorrem na superfície em diferentes resoluções espaciais e temporais (Nordberg & Evertson, 2003). Sendo a integração de dados de detecção remota multiespectral e multitemporal com o conhecimento local e modelos de simulação, uma mais valia para identificar e monitorizar uma ampla variedade de características relacionadas à agricultura (Oliver et al., 2010).

## **2.2. Conceito, aplicações e ferramentas da fenómica**

A fenologia corresponde às características intrínsecas de um determinado objeto, permitindo através dos seus atributos deduzir características físicas, químicas e biológicas da vegetação. A fenómica no fundo é a extração da fenologia.

O desenvolvimento de modelos de previsão fenológica é apresentado como uma ferramenta útil para planear praticas de viticultura, colheita, vulnerabilidades contra pragas ou a seleção das variedades mais adequadas de acordo com as características da área (Prats-Linàs & Marsal, 2017).

A fenologia da vegetação terrestre é altamente sensível à variabilidade e mudanças climáticas (Martínez & Gilabert, 2009). Devido à crescente preocupação com os possíveis efeitos das alterações climáticas na agropecuária, aumentaram os estudos científicos com a intenção de desenvolver sistemas que possibilitem a previsão dos possíveis impactos na

fenologia das plantas e no desenvolvimento de estratégias que ajudem a mitigar os possíveis efeitos nas produtividades. Neste contexto, os modelos de previsão fenológica revelam-se uma ferramenta útil no planeamento de práticas adequadas. A aplicação dos modelos, combinado com as projeções das variáveis climáticas e cenários de alterações climáticas, permite prever e avaliar quais as possíveis consequências no desenvolvimento da fenologia das culturas e, conseqüentemente, nas necessidades anuais de água e outros nutrientes (Prats-Linàs & Marsal, 2017).

As tecnologias de deteção remota que monitorizam a superfície terrestre, com altas resoluções espaciais e temporais têm sido muito utilizadas na aquisição de dados e análise da fenologia da vegetação (Xin et al., 2020).

Os sensores baseados na fenometria das plantas são parte essencial e integrante de uma abordagem holística da fenómica para abordar as complexas interações genótipo x ambiente x monitorização em pesquisas fundamentais e aplicadas em programas de melhoramento, agricultura de precisão e agricultura digital. Enquanto a maioria dos métodos não invasivos foi desenvolvida para aplicações da fenómica de alto rendimento sob condições controladas, o número crescente de aplicações em campo oferece novos desafios e geralmente requer soluções especializadas (Roitsch et al., 2019).

### **2.3. Fenómica no apoio á viticultura de precisão.**

É imprescindível à introdução de tecnologias modernas para o aumento das produções, disponibilização de informação para possibilitar uma melhor decisão na gestão agrícola, permitindo reduzir os custos nos químicos e fertilizantes através de uma aplicação mais eficiente, criando registos agrícolas mais precisos, aumentar a margem de lucro ao mesmo tempo que diminui a poluição. Por outras palavras, agricultura com precisão, de forma a otimizar *inputs* e *outputs* (Seelan et al., 2003).

Na agricultura de precisão, a capacidade de monitorizar a variabilidade do crescimento da cultura ao longo do ciclo de desenvolvimento e aplicar práticas que potenciem o rendimento da cultura é uma das aplicações mais importantes da deteção remota, em particular das imagens de satélite de alta resolução (Zhang et al., 2020).

A fenologia vegetal tradicional tem como base as observações de campo do ciclo vegetativo anual de aparecimento de folhas, floração, frutificação, coloração das folhas e queda das folhas, mas agora também podem ser usados instrumentos equipados em

satélites. As observações de satélite têm a vantagem de avaliar características espectrais espaço-temporais contínuas da vegetação em grande escala, com resolução de centímetros até centenas de metros quadrados. Normalmente, os dados de satélite são usados para determinar o início e o fim da estação de crescimento da vegetação (Shen et al., 2015).

O uso de novas tecnologias tem um forte impacto não só agricultura como também tem impactos ambientais, a viticultura está entre os setores agrícolas com mais avanços tecnológicos porque a produção de vinhos de alta qualidade oferece uma considerável margem de lucro aos produtores (Andújar et al., 2019).

Através dos tempos, os sistemas de produção agrícola beneficiaram da incorporação de avanços tecnológicos, inicialmente desenvolvidos para outras indústrias. A era industrial trouxe a mecanização e fertilizantes sintéticos, a era tecnológica ofereceu a engenharia genética e agora a era da informação traz o potencial para a Agricultura de Precisão (“Australian Centre for Precision Agriculture,” n.d.)

A agricultura de precisão é uma área específica em que a monitorização fenológica específica da cultura desempenha um papel importante no apoio à agricultura de precisão, como fertilização, irrigação, entre outras aplicações, além de servir como um indicador de produtividade da cultura. É por isso um sistema agropecuário integrado de tecnologias de informação e produção, criado para aumentar a longo prazo, *site-specific* e a produção agropecuária no seu todo, no que respeita a eficiência, produtividade e lucro enquanto minimiza impactos não intencionais na vida selvagem e meio ambiente (“Australian Centre for Precision Agriculture,” n.d.). É uma abordagem integrada, estandardizada internacionalmente, orientada para uma agricultura sustentável, procurando não só uma utilização eficiente de recursos, mas também uma diminuição da incerteza nas decisões de gestão (Schellberg et al., 2008).

A utilização destas tecnologias tem seguido uma de duas direções. Uma delas é totalmente baseada em mapas de informação e a outra em sensores em tempo real. A principal distinção entre estratégias apoiadas em mapas e sensores é a análise de dados e interpretação. Com o mapa de aplicação de taxa variável como base, o produtor deve recolher e analisar dados de entrada para um algoritmo de resposta esperada para a cultura e, em seguida, transferir a esta indicação para um aplicador de taxa variável. A abordagem baseada no sensor utiliza sensores para medir a colheita e/ou propriedades do solo em tempo real à medida que o aplicador se desloca através do campo.

As tecnologias da Agricultura de Precisão têm sido aplicadas principalmente para aumentar a produção das culturas. Estas tecnologias são extensíveis à gestão dos recursos naturais, tanto na exploração agrícola, como em escalas mais amplas. Esta competência ampliada da tecnologia de precisão, apropriadamente denominada conservação de precisão, enfatiza a sustentabilidade dos recursos do solo e água em sistemas agrícolas e naturais, não apenas para os benefícios agrícolas, mas também para a proteção do ambiente. Para esse efeito, a conservação de precisão é um conceito inclusivo que recorre à investigação e tecnologia para o mapeamento da variação biológica e físico-química no solo, a fim de auxiliar as decisões de gestão adequadas para essa variação, sob uma perspectiva espaciais e temporais (Cabot et al., 2006).

A monitorização da vegetação, seja através da observação *in situ* ou deteção remota, requer dados sobre o estado atual da vegetação e das condições oferecidas pelo ambiente imediato, como solo, clima e atividades humanas. O estado atual das plantas inclui aspetos como a quantidade de biomassa, qualidade, estado fenológico, nível de produtividade e alterações em cada um destes aspetos desde um determinado registo anterior.

A dinâmica fenológica dos ecossistemas terrestres reflete a resposta da biosfera da Terra à dinâmica inter e intra-anual do clima. Devido à cobertura sinótica e disponibilidade temporal que o satélite proporciona, os dados de deteção remota possuem um potencial significativo que permite monitorizar a dinâmica da vegetação desde escalas regionais a globais. Nos últimos anos, têm sido desenvolvidos uma série de métodos para determinar o momento do abrolhamento e senescência da vegetação (ou seja, o início e o final da fase de desenvolvimento) utilizando séries temporais de índices de vegetação (Zhang et al., 2003).

O ciclo anual fenológico da vegetação conhecido através da deteção remota é caracterizado por quatro fases chave de transição, que definem os principais períodos fenológicos da vegetação, em escalas de tempo anuais. Estas fases de transição são: - abrolhamento, momento em que se inicia o ciclo vegetativo; - maturidade, fase em que os índices de área foliar são máximos; - senescência, momento em que a atividade fotossintética e a área verde da folha começam a diminuir rapidamente; - repouso vegetativo, período em que a atividade fisiológica se aproxima de zero. Devido à complexidade espacial, temporal e ecológica desses processos, os métodos mais simples para monitorização através de deteção remota revelam-se incertos (Zhang et al., 2003).

Aqui, utilizamos um método, que adapta os dados dos índices de vegetação a uma função logística do tempo. Com base nesta função, conseguimos identificar as quatro datas de transição definidas acima.

Através da monitorização, conseguimos analisar diversos aspetos sobre a vegetação, os quantitativos como índices de áreas foliares, níveis de crescimento e produtividade de biomassa e os aspetos qualitativos, como níveis de humidade, nutrientes, clorofila e estado sanitário das culturas. Quando se utiliza esta técnica, monitoriza-se a distribuição e evolução da vegetação, assim como a sua distribuição no espaço e no tempo. Monitorizar é fazer uma avaliação contínua no tempo e implica a produção de series temporais normalizadas, com análise de diferenças e tendências.

### **2.3.1. Aplicação e ferramentas da fenómica.**

O desenvolvimento de modelos de previsão fenológica é apresentado como uma ferramenta útil para planejar praticas de viticultura, colheita, vulnerabilidades contra pragas ou a seleção das variedades mais adequadas de acordo com as características da área (Prats-Linàs & Marsal, 2017).

A fenologia da vegetação terrestre é altamente sensível à variabilidade e mudanças climáticas (Martínez & Gilabert, 2009). Devido à crescente preocupação com os possíveis efeitos das alterações climáticas na agropecuária, aumentaram os estudos científicos com a intenção de desenvolver sistemas que possibilitem a previsão dos possíveis impactos na fenologia das plantas e no desenvolvimento de estratégias que ajudem a mitigar os possíveis efeitos nas produtividades.

Neste contexto, os modelos de previsão fenológica revelam-se uma ferramenta útil no planeamento de práticas adequadas. A aplicação dos modelos, combinado com as projeções das variáveis climáticas e cenários de alterações climáticas, permite prever e avaliar quais as possíveis consequências no desenvolvimento da fenologia das culturas e, consequentemente, nas necessidades anuais de água e outros nutrientes (Prats-Linàs & Marsal, 2017).

As tecnologias de deteção remota que monitorizam a superfície terrestre, com altas resoluções espaciais e temporais têm sido muito utilizadas na aquisição de dados e análise da fenologia da vegetação (Xin et al., 2020).

Os sensores baseados na fenometria das plantas são parte essencial e integrante de uma abordagem holística da fenómica para abordar as complexas interações *genótipo x ambiente x monitorização* em pesquisas fundamentais e aplicadas em programas de melhoramento, agricultura de precisão e agricultura digital. Enquanto a maioria dos métodos não invasivos foi desenvolvida para aplicações da fenómica de alto rendimento sob condições controladas, o número crescente de aplicações em campo oferece novos desafios e geralmente requer soluções especializadas (Roitsch et al., 2019).

A fenómica no fundo é a extração da fenologia. A fenologia corresponde às características intrínsecas de um determinado objeto, permitindo através dos seus atributos deduzir características físicas, químicas e biológicas da vegetação.

#### **2.4. Características satélite Sentinel-2**

Na deteção remota temos acesso a uma diversidade de plataformas que nos permitem captar e visualizar imagens de um determinado alvo e, embora se possam utilizar plataformas terrestres e aeronaves, os satélites continuam a fornecer a grande parte das imagens de deteção remota utilizadas atualmente. Os satélites têm várias características únicas que os tornam particularmente úteis para captar informações da superfície da Terra (CCRS, 2020).

O Sentinel 2 está integrado numa missão europeia de imagens multiespectrais de alta resolução, designada por Copernicus, sendo que todas as imagens dos satélites Sentinel e toda a informação produzida no âmbito dos serviços Copernicus serão partilhados com base numa política de livre acesso e isento de custos. O Sentinel-2A foi lançado a 23 de junho de 2015 e o Sentinel-2B seguido a 7 de março de 2017 (DGT, 2020).

O programa Copernicus da União Europeia é o maior programa de observação da Terra. As observações são sistemáticas, globais, repetitivas e garantidas por pelo menos 15 anos e as missões foram implementadas pela Agência Espacial Europeia. A missão Sentinel-2 é o componente ótico, com uma resolução temporal de 5 dias devido a dois satélites, o Sentinel-2A (lançado em 2015) e Sentinel-2B (lançado em 2017) (Drusch et al., 2012).

A missão Sentinel-2A tem uma órbita quase-polar e dispõe de um sensor MSI (MultiSpectral Instrument) com 13 bandas espectrais, com baixa resolução espacial, de 10, 20 ou 60 metros, dependendo da banda, e uma resolução temporal de 5 dias, com um satélite, e de 5 dias com dois satélites operacionais (S-2A e S-2B) (Cesbio, 2020). Cada

imagem do satélite Sentinel-2 tem uma dimensão de 100 por 100 km, com 12 bits por pixel, garantindo a continuidade de aquisição de dados das missões SPOT e Landsat, destacando-se pela maior resolução espectral e espacial que apresenta (Bergsma & Almar, 2020)

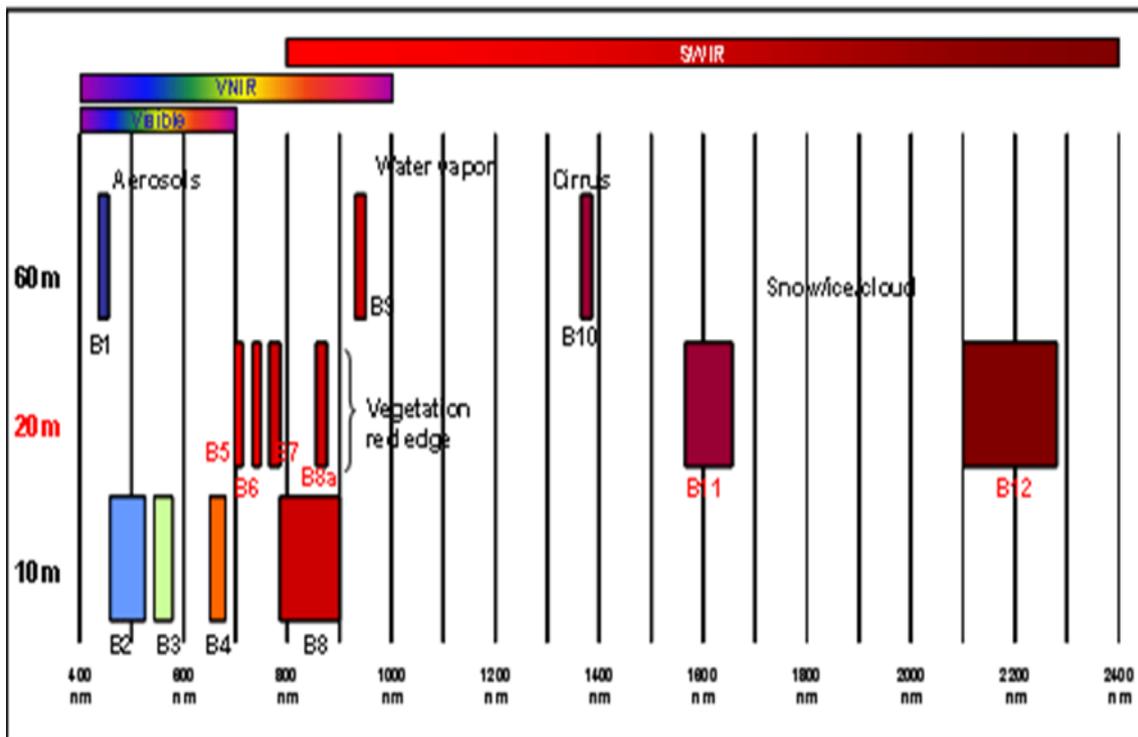


Figura 2. 3 Bandas Espectrais Sentinel-2. Fonte: CESBIO, 2020

Outra característica importante de uma imagem de satélite é a sua resolução, no entanto devemos considerar outros atributos. Cada sistema de detecção remota tem quatro resoluções associadas e o termo resolução pode-se definir como uma medida de capacidade do sistema ótico para distinguir sinais de proximidade espacial e similaridade espectral (Oliveira de Sousa & Marques da Silva, 2011).

O SENTINEL-2 possui uma capacidade útil de instrumento ótico que recolhe imagens com 13 bandas espectrais: quatro bandas a 10 m, seis bandas a 20 m e três bandas e 60 m de resolução espacial, com alta resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal quando comparado a outros instrumentos semelhantes, sendo a largura da faixa orbital de 290 km (Ranghetti et al., 2020).

Quadro 2. 1 Resolução espectral das bandas dos dados do satélite Sentinel-2. Adaptado de ESA 2020.

<b>Resolução</b>	<b>Nº Banda</b>	<b>Nome da Banda</b>	<b>Comprimento de onda (nm)</b>	<b>Principais Aplicações</b>
<b>10 m</b>	B2	<i>Blue</i>	492.4	Sensível à senescência da vegetação, carotenoides, solo; Correção atmosférica (dispersão de aerossóis)
	B3	<i>Green</i>	559.8	Pico verde da vegetação, sensível à clorofila total da vegetação
	B4	<i>Red</i>	664.8	Máxima absorção da clorofila
	B8	NIR	832.8	Índice de área foliar (IAF)
<b>20 m</b>	B5	<i>Red-Edge 1</i>	704.1	Posição do RED-EDGE; consolidação de correções atmosféricas
	B6	<i>Red-Edge 1</i>	740.5	Posição do RED-EDGE; correção atmosférica
	B7	<i>Red-Edge 1</i>	782.8	Índice de área foliar (IAF)
	B11	<i>Swir 1</i>	1613.7	Deteção de solos
	B12	<i>Swir 2</i>	2202.4	Determinação da espessura ótica de aerossóis
<b>60 m</b>	B1	<i>Aerossol</i>	442.7	Correção atmosférica (dispersão de aerossóis)
	B9	<i>Water Vapor</i>	945.1	Correção atmosférica da absorção do vapor de água
	B10	<i>Cirrus</i>	1373.5	Deteção de cirros finos para correção atmosférica

A resolução corresponde ao tamanho de um objeto ou determinado detalhe que pode ser representado numa imagem. Uma maior resolução equivale a um tamanho de pixel inferior, fornecendo mais detalhes, onde qualquer detalhe que seja inferior ao tamanho do pixel, será combinado com a área circundante para formar um quadrado da dimensão

do pixel. Com base nesta informação, imagens com resolução de 10 m capturam mais detalhes fotográficos do que imagens com resolução de 60 m (Song et al., 2021).

## **2.5. Aplicação e tratamento imagens Sentinel-2**

As aplicações das imagens de satélite surgem em novos âmbitos muito regularmente, quer seja na monitorização ambiental, deteção de objetos, classificação da cobertura do solo ou na monitorização da vegetação, através de derivações fenológicas (Li et al., 2020; Zhang et al., 2020). No entanto, sofre limitações para estudos fenológicos, principalmente no que diz respeito às lacunas de dados inevitáveis decorrentes das zonas de sombras e distorções, uma vez que são obtidas obliquamente (característica dos sensores óticos) (Liasis & Stavrou, 2016).

O rápido desenvolvimento da tecnologia na deteção remota, permitiu também adquirir continuamente um número crescente de imagens de satélite (Li et al., 2020) e, estas imagens podem fornecer dados importantes sobre os padrões de crescimento da vegetação em grandes extensões espaciais assim como longos períodos de tempo e atualmente existem vários sensores, que disponibilizam imagens com uma diversidade de características espectrais, espaciais e temporais que têm sido utilizadas para a obtenção de índices de vegetação (Araya et al., 2018).

O registo de imagens através de sensores orbitais que cobrem grandes áreas da superfície terrestre permite a construção e análise de índices e séries temporais dos dados de vegetação. A observação e a análise deste tipo de dados podem apoiar no reconhecimento de padrões e na deteção de eventuais alterações ou anomalias associadas a perturbações antrópicas ou naturais (Kuplich et al., 2013; Misra et al., 2020).

É possível perceber que imagens de satélite podem fornecer dados importantes sobre os padrões de crescimento da vegetação em grandes extensões espaciais e longos períodos de tempo e atualmente existem vários sensores, que disponibilizam imagens com uma diversidade de características espectrais, espaciais e temporais que têm sido utilizadas para a obtenção de índices de vegetação (Araya et al., 2018).

Um dos sensores que tem sido amplamente utilizado para derivar dinâmicas fenológicas é o SENTINEL 2, que, devido à sua razoável resolução espacial e temporal permite caracterizar a fenologia da cultura. Addabbo (2016), refere que o Sentinel-2 tem a capacidade de apresentar dez vezes mais pixels quando comparado com outros satélites,

devido às suas características resolutivas, proporcionando assim maior eficiência na monitorização da vegetação.

Apesar destas vantagens, as imagens Sentinel-2 apresentam também alguns inconvenientes que, na viticultura e consoante as regiões vitícolas, podem limitar a utilização desta fonte de informação. Em primeiro, porque a resolução espacial das imagens varia de 10 a 60 m de acordo com as bandas, o que pode ser limitador para registar informações relevantes em campos de pequenas dimensões ou em campos com limites complexos, como aqueles comumente encontrados no Alto Minho. Outra limitação desta solução está na impossibilidade de obter pixels puros de vinha. As imagens do Sentinel-2 são necessariamente compostas por pixels mistos (vinha/ solo ou vinha / cobertura vegetal quando a entrelinha é composta por vegetação espontânea). Em segundo, dependendo do local em estudo, as condições de tempo nublado podem também ser uma grande preocupação, porque limitam o número de imagens utilizáveis (Devaux et al., 2019).

Através de um método recente, denominado DSen2, que captura implicitamente as estatísticas de todas as bandas assim como as suas correlações e em conjunto faz um super resampling as bandas com uma resolução de 20 m e 60 m para uma resolução de 10 m (Lanaras et al., 2018).

O DSEN 2 é um algoritmo de super resolução desenvolvido para aumentar a resolução de imagens de satélite. Usa uma técnica chamada *deep learning* para melhorar a qualidade de uma imagem. (Lanaras et al., 2018).

O algoritmo começa por dividir a imagem de baixa resolução em pequenas partes chamadas patches. Essas patches passam por uma rede neural conhecida como uma rede geradora. A rede geradora é treinada para aprender a reconstruir os patches a partir da sua representação em baixa resolução para uma representação em alta resolução (Lanaras et al., 2018).

Com o treino a esta rede neural, é possível gerar uma imagem de alta resolução a partir de uma imagem de baixa resolução. O algoritmo também usa uma rede discriminadora para ajudar a manter a coerência estrutural e estética da imagem gerada (Lanaras et al., 2018).

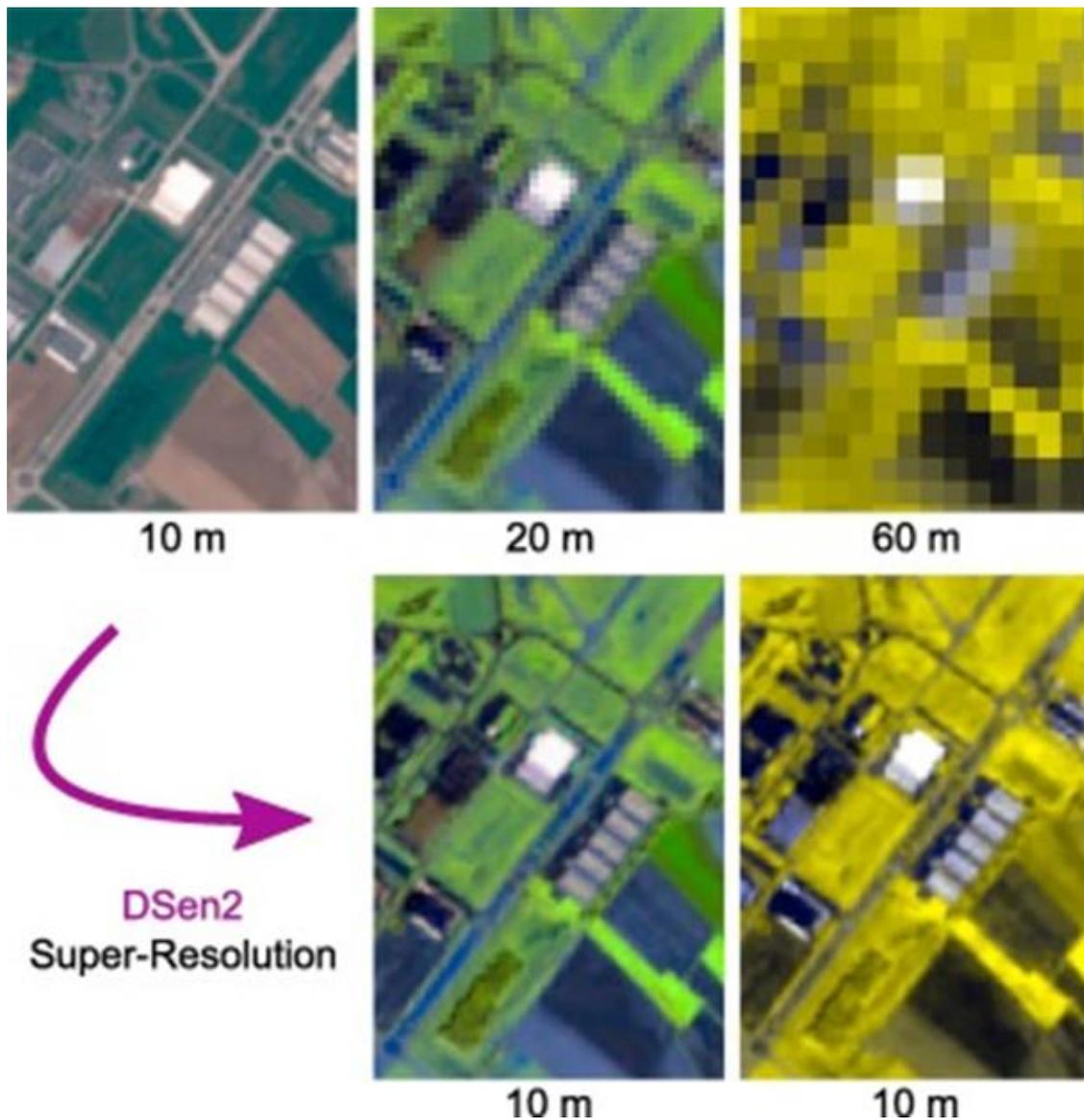


Figura 2. 4 Em cima. : Bandas originais Sentinel-2 a 10 m, 20 m e 60 m, Em baixc : Bandas com super resampling a 10 m, com o método DSen2. Fonte: Charis Lanaras, 2018.

## 2.6. Índices de vegetação aplicados à vinha

Os índices de vegetação são algoritmos bastante simples e eficazes desenvolvidos para avaliar quantitativa e qualitativamente a cobertura vegetal, vigor e dinâmica de crescimento. Estes índices conseguem fornecer insights extremamente úteis para aplicar na monitorização da vegetação à escala continental, regional e global (Xue & Su, 2017).

Os índices, são valores obtidos diretamente ou através de um quociente ou outra transformação de dados espectrais. São utilizados para correlacionar dados espectrais com parâmetros de vegetação e avaliar as atividades fotossintéticas da vegetação, como o índice de área foliar, biomassa, peso verde, peso seco, percentagem de coberto na

superfície da terra e produtividade, reduzindo os efeitos dos fatores externos, como a atmosfera e radiação (Zhou et al., 2020).

A aplicação destes índices de vegetação utiliza duas ou mais bandas espectrais sensíveis a diferentes características da planta que permitem obter informações mais úteis sobre o estado da vegetação do que a análise das bandas de forma individual. Os sensores do satélite Sentinel-2A e 2B, com a sua alta frequência temporal e resolução espacial, contribuíram de forma significativa para o conhecimento da vegetação nos últimos três anos (Knipper et al., 2020).

Segundo Marques da Silva (2011), um bom índice de vegetação deverá satisfazer determinados critérios:

- i. Realçar o sinal da vegetação;
- ii. Normalizar o efeito de sinais “não-verdes”, tais como solo e água;
- iii. Minimizar o efeito de variações externas, devidas à atmosfera e às geometrias de iluminação e observação;
- iv. Ser de aplicação generalizável no espaço e no tempo.

Calculando o quociente entre duas ou mais bandas espectrais distintas, a representação gráfica resultante, demonstra as variações nas curvas de resposta espectral, tendo em conta que a vegetação saudável tem uma maior reflexão na região do infravermelho próximo e absorção na região do visível. Os índices espectrais possibilitam uma melhor identificação de zonas com vegetação menos saudável, que apresentam baixa reflexão no infravermelho próximo (Oliveira de Sousa & Marques da Silva, 2011).

Os índices de vegetação de maneira geral realçam o comportamento espectral da vegetação presente na imagem correlacionando-se com os aspetos biofísicos como biomassa, Índice de Área Foliar (IAF), vigor da vegetação, cobertura do solo, atividade fotossintética, entre outros aspetos. Estes índices normalmente são utilizados para caracterizar a presença de vegetação fotossinteticamente ativa na superfície bem como a sua distribuição espaço-temporal a qual é inerente às condições climáticas e aos ciclos fenológicos anuais (Alvarenga & Moraes, 2014).

As imagens Sentinel-2 usadas de forma isolada em estudos fenológicos têm vantagens relativamente a outros sensores, no entanto, a sua maior vantagem está na alta disponibilidade e cobrimento de cada m<sup>2</sup> da superfície terrestre. Esta característica

aumenta a possibilidade de adquirir uma cobertura sem nuvens e, assim, capturar eventos fenológicos rápidos e de curta duração, embora, como sensor ótico, o Sentinel-2 terá sempre limitações em áreas com ampla cobertura de nuvens (Misra et al., 2020).

O Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) é um dos índices de vegetação mais utilizados na viticultura, com vantagens na avaliação através de satélite e na monitorização da cobertura vegetal da cultura (Jiang et al., 2006), sendo que para além deste existem outros que podem ser utilizados nessa monitorização.

Apesar das bandas disponíveis no instrumento multiespectral Sentinel-2, com excelentes recursos de deteção de vegetação, para além do índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) ou índice de vegetação melhorado (EVI) têm sido pouco explorados outros índices de vegetação que podem ser aplicados à viticultura (Misra et al., 2020).

### **2.7. Série temporais na análise de índices e dinâmicas de vegetação**

O frequente registo de imagens através de sensores orbitais que cobrem grandes áreas da superfície terrestre possibilita a construção e análise de séries temporais dos dados de vegetação. A observação e a análise das séries ajudam no reconhecimento de padrões e na deteção de possíveis alterações ou irregularidades associadas a perturbações antrópicas ou naturais (Kuplich et al., 2013).

A identificação fenológica dos ciclos ou padrões sazonais em séries temporais de índices de vegetação permite observar diferenças e efeitos das alterações climáticas ou ambientais nesses períodos. O conhecimento sobre a dinâmica fenológica dos ecossistemas e sistemas agrícolas associado a práticas culturais de conservação e manutenção, permitem antecipar ritmos de crescimento e produção, ampliando a hipótese de sucesso dessas ações (Martínez & Gilabert, 2009).

Uma série temporal define-se como qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo e pode ser classificada como contínua ou discreta. Na deteção remota, uma série temporal contínua pode ser apresentada numa série temporal discreta, através de observações que são realizadas em intervalos de tempo definidos. No caso das séries temporais com base no EVI e NDVI do sensor SENTINEL-2, faz-se o processamento dos valores de refletância da superfície recolhida a cada 5 dias, para que somente os melhores pixels sejam selecionados para formarem um índice de vegetação daquele intervalo de tempo. Desta maneira, os dados das séries temporais são uma ferramenta útil para

identificar e caracterizar as dinâmicas dos ecossistemas terrestres, em escala temporal (Zhang et al., 2013).

Várias investigações ligadas à vegetação, particularmente no âmbito da agricultura, utilizam séries temporais que permitem compreender o comportamento do fenómeno em estudo assim como para estimar fases fenológicas de cultivares, prever colheitas agrícolas, para avaliação temporal de uso e ocupação do solo como na quantificação das transformações ocorridas (Hutchinson et al., 2015).

O primeiro procedimento necessário para a sua utilização é definir o período temporal e o número de imagens em estudo. A segunda etapa define o tipo de filtro usado para suavizar o perfil espectro-temporal das imagens e, por fim, os parâmetros de sazonalidade são computados a fim de permitir selecionar quais as métricas de interesse (Yang et al., 2020).

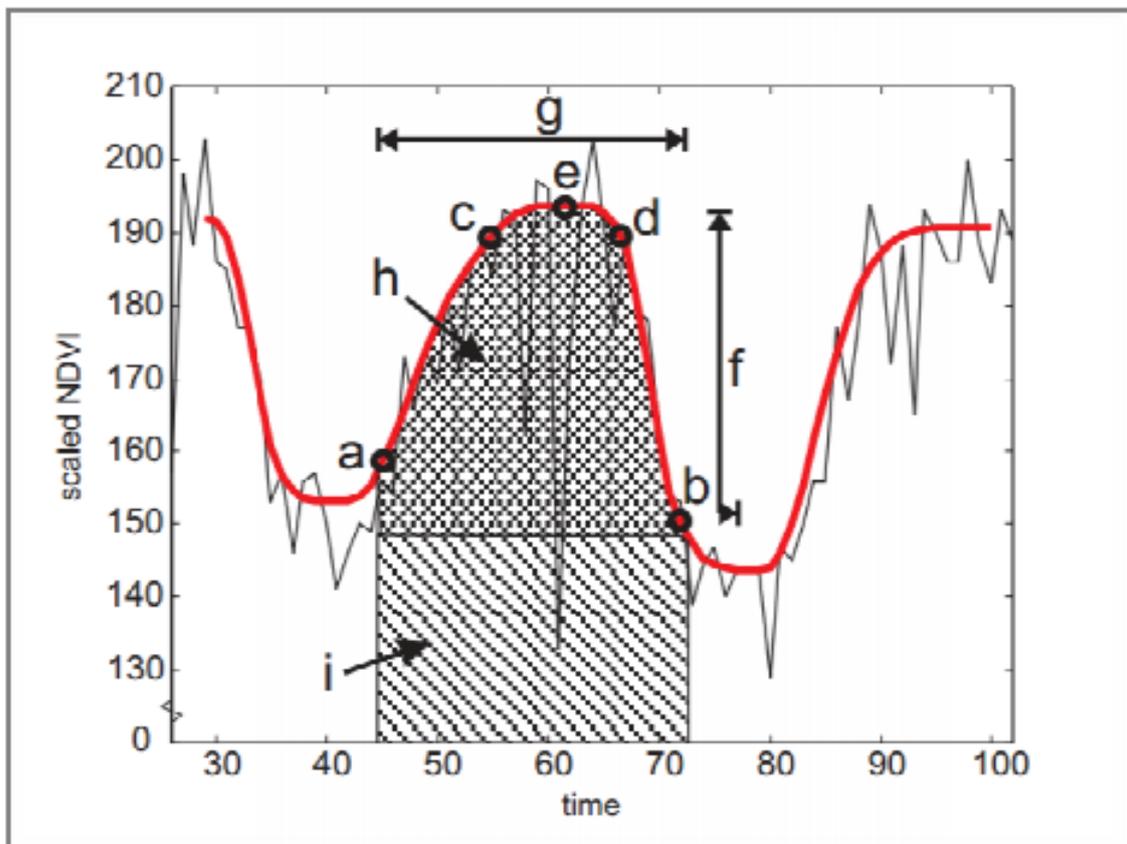


Figura 2. 5 Parâmetros de sazonalidade. Fonte: Eklundh; Jönsson (2012)

A explicação dos parâmetros fenológicos sazonais (Eklundh & Jönsson, 2012) está evidenciada a seguir:

- a) Início do ciclo da vegetação: tempo em que a borda esquerda da curva aumenta para um nível definido; medido a partir do nível mínimo à esquerda.
- b) Final do ciclo de vegetação: tempo em que a borda direita da curva diminui para um nível definido medido a partir do nível mínimo à direita.
- c) Comprimento do ciclo da vegetação: tempo entre o início e o final do período de crescimento;
- d) Nível base: média dos valores mínimos antes e após o período de crescimento;
- e) Período de pico vegetativo;
- f) Valor máximo: valor máximo do índice de vegetação para a função ajustada durante o ciclo da vegetação;
- g) Amplitude sazonal: diferença entre o valor máximo e o nível base;
- h) Pequeno valor integrado: área sob a curva da função ajustada entre o início e o fim do ciclo de vegetação, a partir do nível base.
- i) Grande valor integrado: área total sob a curva da função ajustada entre o início e o final do ciclo de vegetação;
- j) Taxa de crescimento no início do ciclo da vegetação: razão da diferença entre os níveis de 20% e 80% do lado esquerdo e a correspondente diferença de tempo;
- k) Taxa de senescência no final do ciclo da vegetação: valor absoluto da razão da diferença entre os níveis de 20% e 80% do lado direito e a correspondente diferença de tempo.

Para analisar e extrair informações dos perfis espectro-temporais de índices de vegetação deve-se definir o intervalo dos dados que varia do valor do índice, a amplitude que varia de 0 a 1 e definir o número de ciclos anuais.

As duas principais fontes de variação na maioria das séries temporais são a tendência e a variação sazonal, existindo, contudo, algumas variações cíclicas e flutuações irregulares que não se devem desprezar, de acordo com os especialistas desta área. Um comportamento muito importante é a tendência, que poderá ser definida como um comportamento de longo prazo da série temporal. Este tipo de variação está presente quando uma série exibe constantes crescimentos ou declínios, em sucessivos períodos de tempo (Xavier, 2016).

## 2.8. Fenologia da vinha na definição de terroirs vitivinícolas

A vinha pertence à família das Vitaceae e compreende uma vasta gama de espécies. O género *Vitis* está dividido em dois subgéneros, *Euvinis* e *Muscadinia* e, a *Vitis vinífera* pertence ao subgénero *Euvinis*.

Para além destas duas subfamílias, as Vitáceas dividem-se em 19 géneros, dos quais se destaca o género *Vitis*. É a este nível que se encontram as espécies e cultivares utilizadas na agricultura, sendo que nos outros géneros distinguem-se apenas algumas espécies ornamentais (Vivier & Pretorius, 2002).

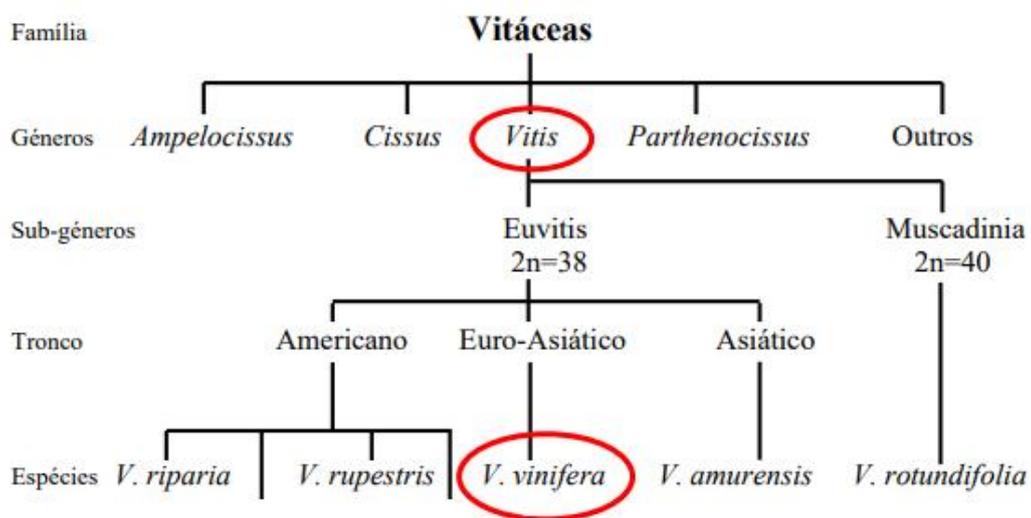


Figura 2. 6 Família das Vitáceas Fonte: (Reynier, 2004).

A vinha passa por várias etapas antes de alcançar o amadurecimento, sendo este ciclo responsável não só pela manutenção da planta, como também pela produção da uva. Este é dividido nas seguintes etapas (Sogrape Vinhos, 2014):

- i. Dormência: ocorre entre os meses de novembro a abril (Priori et al., 2019). A vinha depende da temperatura ambiente para suportar toda a atividade fisiológica que está na base do seu ciclo vegetativo. Após a vindima, com a diminuição da temperatura e as geadas de outono, a vinha vai deixando de ter as condições necessárias à sua atividade, o que promove o amarelecimento e a queda das folhas;
- ii. Choro: ocorre nos últimos dias de inverno ou no início da primavera (março a abril) e, representa o fim da época de repouso, manifestado pela perda de seiva através

dos cortes da poda. A rebentação da vinha depende da localização da vinha, mas, normalmente, os primeiros rebentos precisam de temperaturas médias de 12°C;

iii. Abrolhamento: a velocidade desta etapa depende do rigor das temperaturas invernais e da capacidade de aquecimento da atmosfera, ocorrendo, normalmente, entre abril e maio. Esta etapa representa o despertar fenológico da planta, onde os gomos dos nós deixados pela poda começam a inchar.

iv. Crescimento: depois das primeiras folhas estarem visíveis dá-se um período de expansão vegetativa com intensa atividade fisiológica. Esta expansão ocorre até à etapa “Pintor”;

v. Floração e frutificação: ocorre na metade final da primavera. Esta caracteriza-se pelo aparecimento das flores da vinha, compostas por estames e ovários;

vi. Pintor: é a etapa que marca o início da maturação e caracteriza-se pela mudança da cor do bago. Estes deixam de ser verdes e duros e passam a ter elasticidade e uma cor avermelhada, no caso das castas tintas, e, uma cor translúcida ou amarelada, nas castas brancas. O fenómeno referido é acompanhado pelo início da acumulação de açúcares e pela perda de acidez no bago e, é favorecido por temperaturas amenas e baixa humidade relativa;

vii. Atempamento e maturação: a partir do "pintor" inicia-se uma fase de amadurecimento, de 35 a 55 dias, durante a qual os bagos aumentam de tamanho e mudam de cor, adquirindo tonalidades douradas ou avermelhadas. A maturação é o ponto em que as uvas têm as características de açúcar e acidez ideais para a produção do vinho, varia de acordo com as condições climáticas, características da vinha e intenções do produtor.

Em contexto de alterações climáticas, o ciclo vegetativo da planta poderá sofrer alterações significativas, o que pode levar a problemas na manutenção da planta, como também na sua capacidade produtiva/qualitativa.

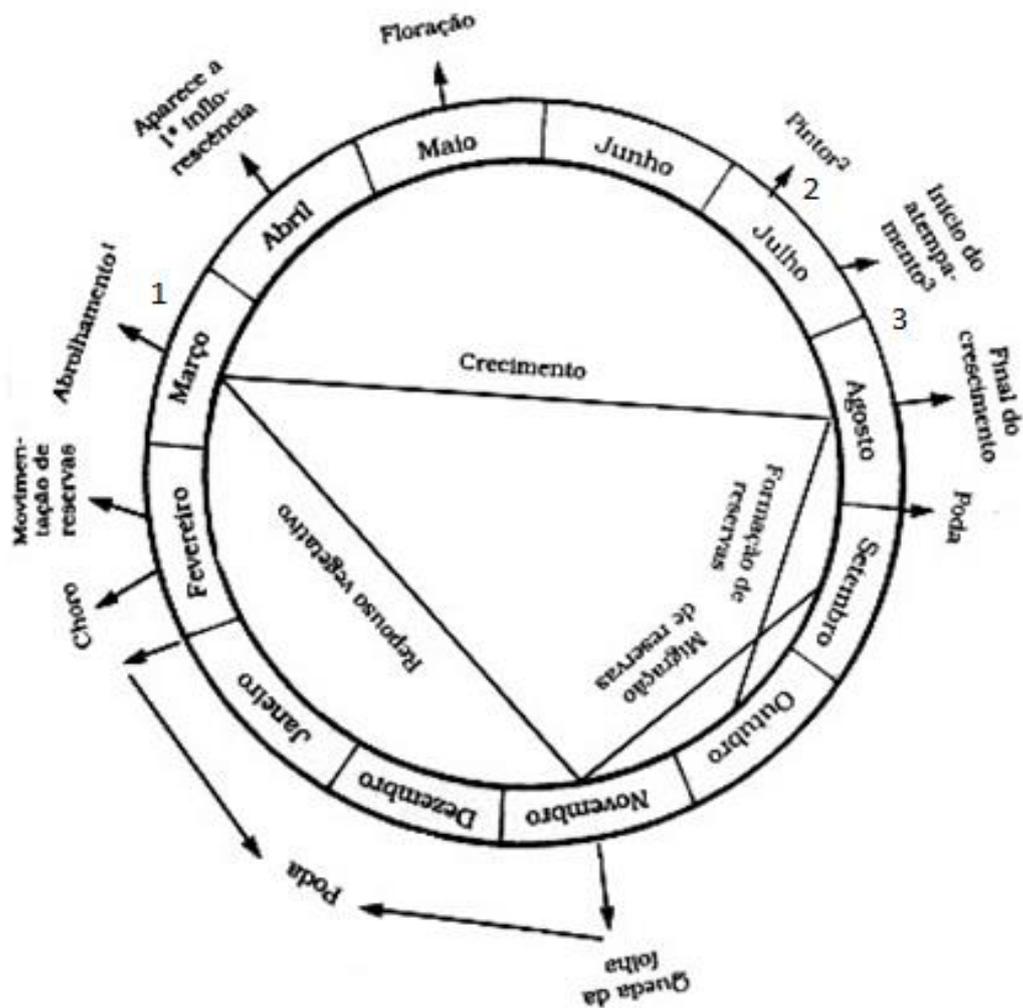


Figura 2. 7 Ciclo vegetativo da Vinha. (Fonte: Reynier, 2004). Legenda: 1: Abrolhamento; 2: Pintor; 3: Final do Crescimento

O desenvolvimento da vinha, a maturação da uva e os atributos sensoriais do vinho são muito influenciados pelo ambiente físico em que as plantas se desenvolvem. Na viticultura, as interações entre o ecossistema e as plantas são referidas como "Efeito Terroir".

Uma definição proposta pela Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV) refere: o Terroir é uma área geográfica única e delimitada para a qual existe um conhecimento coletivo da interação entre o ambiente físico e biológico e as práticas vitícolas aplicadas. A interação entre os vários fatores ambientais e culturais integrados no ecossistema vitivinícola fornece características únicas e cria um reconhecimento para os produtos dessa área (OIV, 2012; OIV, 2015). Neste quadro, o conceito de Terroir é

evolutivo, multidimensional e complexo, incluindo: i) o meio natural e biofísico (clima, topografia, geologia, vegetação e solo); ii) o material vegetal (porta-enxertos/castas), na sua relação com as práticas culturais; iii) o património e recursos culturais, aspetos sociais, organizacionais, económicos e mesmo políticos (Van Leeuwen et al., 2016; Vaudour et al., 2018).

A identificação e caracterização da unidade Terroir são os principais objetivos dos estudos de zonagem vitícola, de forma a delimitar as zonas que são suscetíveis de produzir uvas ou vinhos, de composição semelhante com características diferenciadoras. Por outro lado, a aplicação de metodologias de zonagem deve apoiar a tomada de decisão ao nível operacional nas várias fases de produção. Em abordagens tradicionais, a zonagem tem sido realizada através da avaliação do impacto de parâmetros únicos relacionados ao Terroir (Herrera Nuñez et al., 2011).

As novas tecnologias têm apoiado a pesquisa dos efeitos combinados de diversos parâmetros do Terroir. É o caso da geomática, que combina métodos de processamento de informações geodésicas e espaciais com tecnologias de processamento. A sua aplicação torna possível a recolha e análise de grandes quantidades de dados, sobre o desempenho da cultura e os atributos de áreas de produção individuais com alta resolução espacial (Herrera Nuñez et al., 2011; Lorenzo et al., 2013). Os ensaios de zonagem permitem identificar, não só os territórios de acordo com o seu potencial para produzir vinhos específicos, mas também, otimizar a gestão das vinhas para uma viticultura sustentável (Vaudour et al., 2018). Dentro da unidade de Terroir, o conhecimento pormenorizado de cada “parcela” e a sua constante monitorização permitem definir critérios fiáveis para a cultura (localização, orientação da vinha, definição de porta-enxertos, sistemas de condução) e restantes intervenções culturais (Lamb, 2003; Van Leeuwen et al., 2004).

O papel do clima no Terroir não pode ser entendido sem a consideração da casta. O tempo de maturação dos frutos em determinada situação está relacionado com as condições climáticas locais e precocidade fenológica da espécie (Figura 2. 3) (del-Moral-Martínez et al., 2016; Cornelis Van Leeuwen & Bois, 2018; Van Leeuwen & Seguin, 2006).

Nas regiões vitivinícolas tradicionais, os viticultores selecionaram e replicaram cultivares resistentes, com o intuito de obter variedades adaptadas às condições climáticas locais, potenciando a expressão do Terroir. Em regiões onde o fator limitante para a produção de vinhos de alta qualidade é a reduzida absorção de graus vegetativos, foram plantadas

variedades de maturação precoce. Em baixas latitudes, onde o clima é mais quente, foram plantadas variedades de maturação tardia, de forma a evitar o rápido amadurecimento das uvas, na parte mais quente do verão. Como resultado, na Europa, a colheita de uvas geralmente ocorre entre os dias 10 de setembro e 10 de outubro, apesar das enormes diferenças climáticas entre, por exemplo, o Mosel na Alemanha, Bordeaux na França e Alicante na Espanha (del-Moral-Martínez et al., 2016; Van Leeuwen & Bois, 2018; Van Leeuwen & Seguin, 2006).

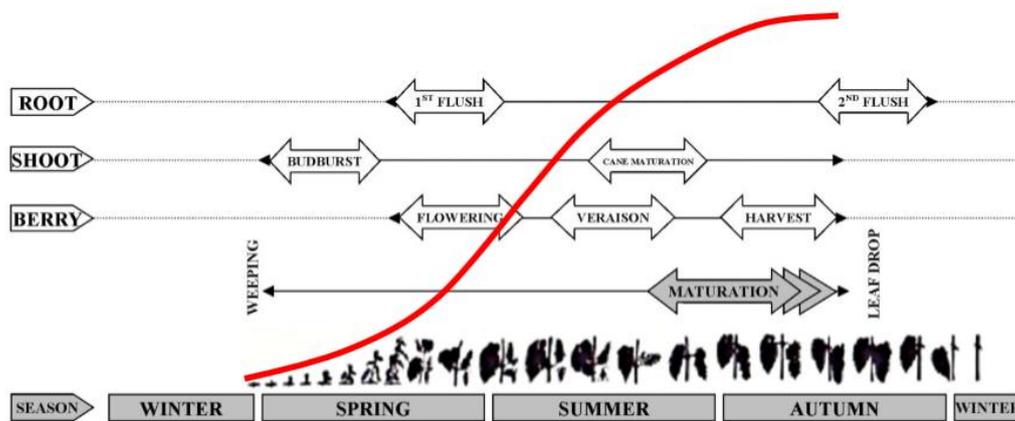


Figura 2. 8 Acumulação de graus vegetativos vs ciclo vegetativo Fonte: (H. Fraga , 2014)

Relativamente ao clima futuro, tendo em conta as alterações climáticas que se têm vindo a observar, espera-se que a emissão continuada de GEE provoque um aumento adicional da temperatura média global e, variadas alterações no sistema climático, que apenas uma substancial e sustentada redução de emissões poderia limitar (Malheiro et al., 2010).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Materiais

##### 3.1.1. Área de estudo

Este estudo está inserido na Região Demarcada dos Vinhos Verdes, no distrito de Viana do Castelo, mais especificamente na sub-região de Monção e Melgaço e sub-região do Lima. Para este estudo, consideram-se dados obtidos a partir de 8 parcelas distribuídas pelas seguintes freguesias: Calvelo, Cimo Vila, Correlhã, Gandra (Melgaço), Gondufe, Pias, Quinta da Amiosa e Refoios do Lima.

O Minho ou a região dos Vinhos Verdes situa-se a Noroeste de Portugal, no Entre-Douro-e-Minho, com cerca de 35.000 ha de vinha, segundo dados do INE. Tem como limites a norte o rio Minho (fronteira com a Galiza); a nascente e a sul zonas montanhosas que constituem a separação natural entre a influência Atlântica e a zona mais interior de características mediterrânicas; por último o Oceano Atlântico constitui o seu limite a poente. Em termos de área geográfica é a maior Região Demarcada Portuguesa, e uma das maiores da Europa.

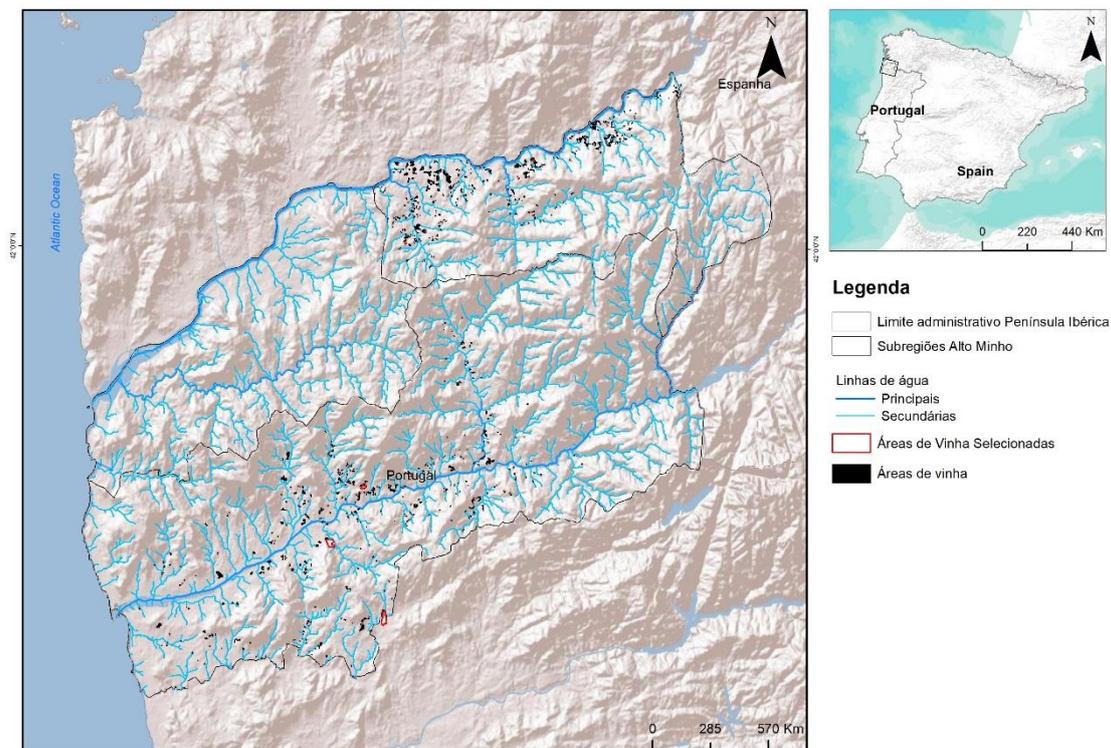


Figura 3. 1 Enquadramento da área de estudo

### 3.1.2. Informação das parcelas agrícolas em experimentação

Os dados relativos às parcelas agrícolas em estudo foram fornecidos pelo Centro de Informação Geográfica - ESA.

A informação referente às 8 parcelas agrícolas (instaladas entre 1993 e 2013) foi obtida através de um ficheiro vetorial com o sistema de referência Hayford-Gauss Datum 73, posteriormente transformado para o sistema de referência UTM29N/WGS84, utilizado na georreferenciação das imagens de satélite (figura 3.2). O ficheiro contém atributos que discriminam as castas de cada parcela, bem como idade, sistema de condução e tipo de solos (Quadro 3.1). Estes dados foram utilizados na identificação das parcelas possibilitando assim a análise do comportamento fenológico da cultura.

As parcelas agrícolas apresentam uma área média de 12.16 ha, correspondendo a sua área na totalidade a 12,5% do subset em estudo.

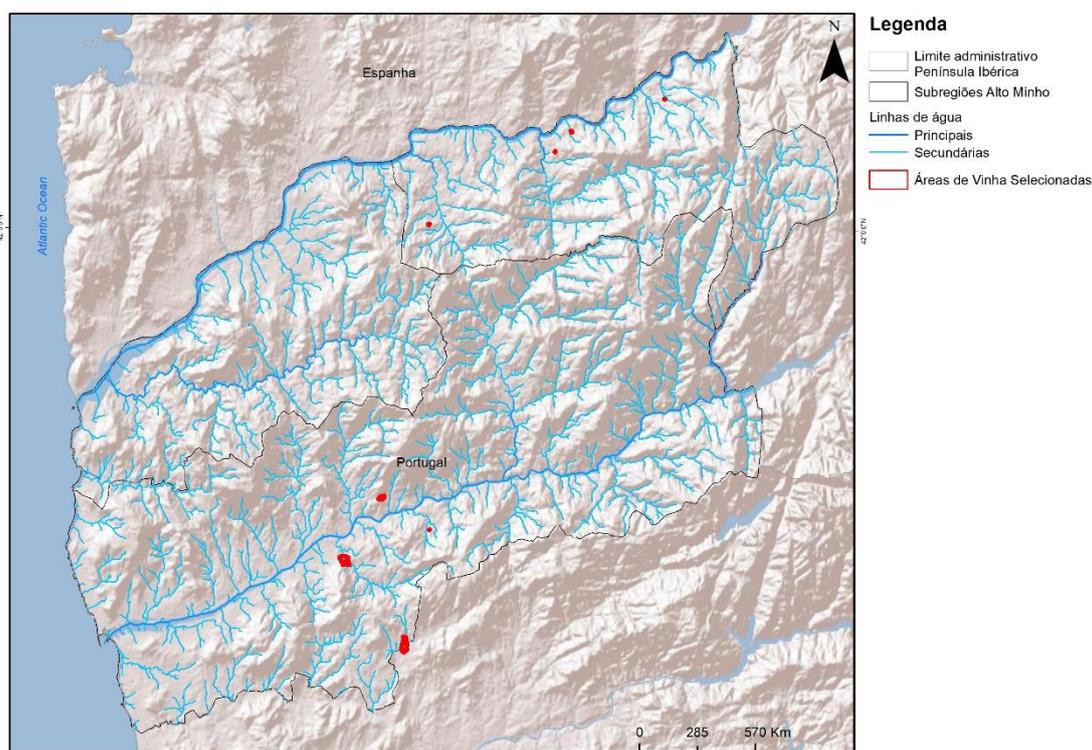


Figura 3. 2 Áreas/parcelas selecionadas para o estudo.

A informação relativa à ocupação cultural (vinha) das 8 parcelas agrícolas em estudo, representativas das duas sub-regiões, teve origem nos resultados das ações de controlo de campo, realizados no âmbito do projeto Terr@eno. No presente estudo pretende-se

confirmar, através de técnicas de deteção remota, as diferenças da cultura de vinha nestas parcelas, com base nos valores dos índices obtidos nas datas consideradas: os dados recolhidos apresentam a distribuição e representatividade das parcelas na região e por outro lado, a diversidade de idades, de castas, de sistemas de condução, compasso, disponibilidade e gestão da água/regadio (quadro 3.1).

Quadro 3. 1 Informação relativa às parcelas de amostragem.

Sub-região		Monção e Melgaço				Ponte de Lima			
<b>NOME DA PARCELA</b>		Frete Samarão	Cimo Vila	Quinta da Amiosa	Gandra	Sr. Rosas	Quinta da Casa de Barreiros	Sr. Araújo Lopes	Redolho
<b>FREGUESIA</b>		Pias – MN	Ceivães - MN	Messegães - MN	Prado - ME	Calvelo	Correlhã	Refoios do Lima	Gondufe
<b>COORDENADAS</b>	X	42,006125	42,063161	42,078294	42,104275	41,677366	41,745255	41,793591	41,768133
	Y	-8,509008	-8,378078	-8,360789	-8,264522	-8,533857	-8,598329	-8,555327	-8,506952
<b>ALTITUDE (m)</b>		122	90	76	178	170	51	98	126
<b>ÁREA (ha)</b>		1,08	0,5	1,24	0,4	1,4	0,84	1,2	0,42
<b>CASTA</b>		Alvarinho	Alvarinho	Alvarinho	Alvarinho	Loureiro	Loureiro	Loureiro	Loureiro
<b>PORTA-ENXERTO</b>		196-17	196-17	196-17	196-17	196-17	196-17	1103-P	196-17
<b>ANO INSTALAÇÃO</b>		2009	2012	2009	2010	2011	1993	1999	2013
<b>CONDUÇÃO</b>		Cordão simples retumbante	Cordão simples retumbante	Cordão simples retumbante	Cordão simples retumbante	Cordão simples ascendente	Cordão simples ascendente	Cordão simples ascendente	Cordão simples ascendente
<b>COMPASSO/ALTURA</b>		3x3	2,80x1,6	3x3/1,70	3x3	2,8x3	3x3		2,0x2,0
<b>ORIENTAÇÃO DAS LINHAS</b>		N/S	NE/SO	NO/SE	N/S	NO/SE	N/S	NE/SO	NO/SE
<b>EXPOSIÇÃO</b>		N/NO	O	O/NO	NO	SE	NO	NO	O
<b>COBERTURA DO SOLO</b>		Enrelvamento na entrelinha	Enrelvamento na entrelinha	Enrelvamento na entrelinha	Enrelvamento na entrelinha	Enrelvamento na entrelinha	Enrelvamento na entrelinha	Enrelvamento na entrelinha	Enrelvamento na entrelinha
<b>Classe de textura (0-50cm)</b>		franco-arenoso	franco-arenoso	franco-arenoso	franco-arenoso	franco-arenoso	franco-arenoso	franco-arenoso	franco-arenoso
<b>REGA</b>		Não	Rega gota a gota	Rega gota a gota	Não	Não	Não	Não	Gravidade
<b>GEOLOGIA</b>		Granito porfiroide de grão grosseiro a médio, biotítico	Granito de grão médio, leucocrático, de duas micas, apresentando raras restites de metassedimentos		Leuco granito de grão médio a fino, de duas micas, bastante heterogéneo, variando desde as fácies granito migmatíticas, até aos granitos com restites	Granito porfiroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro (Com transições para Xisto)	Granito de grão médio ou fino a médio	Granito porfiroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro	Granito porfiroide de grão grosseiro ou médio a grosseiro
<b>LITOLOGIA</b>		Granitos	Granitos	Xisto	Granitos	Xistos	Granitos	Granitos	Granitos
<b>SOLOS (100k)</b>		Regossolos	Antrossolos	Antrossolos	Antrossolos	Antrossolos	Antrossolos	Antrossolos	Antrossolos

### 3.2. Recolha e processamento de dados

A recolha e processamento dos dados exigiu a utilização de diversos softwares, nomeadamente ESA SNAP®, ANACONDA3, ArcGIS 10.5®, DSen2, RSudio, Microsoft® e Excel 365 (Quadro 3).

Quadro 3. 1 Software utilizado para processamento de dados

Função	Software
Processamento das imagens Sentinel-2;	ESA SNAP® ANACONDA3
Cálculo dos índices de vegetação;	
Tratamento de dados vetoriais (parcelas);	ArcGIS 10.4®
Cálculo de parâmetros estatísticos por parcela;	
Estudo do comportamento dos índices por parcela;	Excel 365
Tratamento estatísticos dos resultados das classificações;	
Cálculo e extração das séries temporais;	RSudio

#### 3.2.1. Imagens de satélite

Nesta dissertação as imagens utilizadas foram adquiridas pelo satélite Sentinel-2. Após consulta do site da ESA e analisadas as imagens adquiridas pelo Sentinel-2A e Sentinel-2B no ano de 2019, foram selecionadas 30 imagens com uma cobertura de nuvens inferior a 10%, para o período compreendido entre janeiro e outubro de 2019 que reúnem as condições necessárias à realização do estudo multitemporal. As imagens têm a mesma cobertura geográfica, ou seja, são sobreponíveis espacialmente. Na Tabela 2 estão listadas as datas das imagens.

A qualidade, disponibilidade gratuita e cobertura mundial fazem do Sentinel-2 uma ferramenta importante para a observação terrestre (atual e futura), o que motiva este trabalho.

Quadro 3. 2 Ordem cronológica das datas das imagens de satélite utilizadas para o estudo.

Data das imagens		
<b>8 Janeiro 2019</b>	28 Maio 2019	13 Agosto 2019
<b>14 Fevereiro 2019</b>	31 Maio 2019	16 Agosto 2019
<b>11 Março 2019</b>	29 Junho 2019	23 Agosto 2019
<b>19 Março 2019</b>	2 Julho 2019	31 Agosto 2019
<b>29 Março 2019</b>	14 Julho 2019	2 Setembro 2019
<b>20 Abril 2019</b>	17 Julho 2019	5 Setembro 2019
<b>28 Abril 2019</b>	19 Julho 2019	12 Setembro 2019
<b>5 Maio 2019</b>	22 Julho 2019	7 Outubro 2019
<b>13 Maio 2019</b>	1 Agosto 2019	10 Outubro 2019
<b>25 Maio 2019</b>	3 Agosto 2019	22 Outubro 2019

Os dados multiespectrais do Sentinel-2, fornecidos gratuitamente pelo Copernicus Open Access Hub georreferenciados no sistema UTM29N/WGS84., foram analisados e inseridos no fluxo de trabalho de classificação. Para cada uma das datas de aquisição selecionadas foram descarregadas imagens Sentinel-2A Nível 1C com 13 bandas (Quadro 4), cobrindo o período vegetativo completo da vinha. Para aumentar a precisão, apenas foi necessário garantir que estas abrangiam a área de estudo, não estando afetadas por nuvens nem evidenciando efeitos atmosféricos (nevoeiro ou neblina), possibilitando assim a análise multitemporal.

A correção atmosférica das imagens do Sentinel-2 foi realizada através da caixa de ferramentas de correção atmosférica Sen2cor, que é um algoritmo integrado na ferramenta Sentinel Application Platform (SNAP) versão 8.0.1. A ferramenta foi desenvolvida principalmente para imagens Sentinel (Novelli et al., 2016).

Usando o algoritmo de super resolução DSen2 (Lanaras et al., 2018), as bandas espectrais em 20 e 60 metros foram reamostradas para 10 metros através da versão python do Anaconda v3, para toda a imagem ficar com a mesma resolução geométrica.

### 3.2.2. Cálculo dos índices de vegetação

As bandas reamostradas foram agrupadas numa estrutura BSQ (Band sequencial), originando imagens com as combinações de bandas necessárias para o cálculo dos índices espectrais de vegetação, entre os quais: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Melhorado (EVI), Índice de Absorção de Clorofila Modificado na Refletância (MCARI), Índice de Clorofila Terrestre MERIS (MTCI), (PSRI) e o Índice de Área Foliar (LAI).

A razão para utilizarmos estes índices de vegetação justifica-se com a possibilidade de destacar os detalhes da cobertura vegetal na imagem e tornar a sua representação mais atraente visualmente. A determinação dos valores de cada índice para cada uma das datas de aquisição das imagens foi realizada através das fórmulas que se encontram no quadro 3.3.

Quadro 3. 3 Listagem e descrição índices vegetação

Índice	Fórmula	Descrição	Referência
NDVI	$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$	O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, com uma alta correlação com o crescimento e a produção da cultura.	Rouse, J., R. Haas, J. Schell, and D. Deering. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA (1973): 309-317.
EVI	$EVI = 2.5 * \frac{(B8-B4)}{(B8+6*B4-7.5*B2+1)}$	O Índice de Vegetação Melhorado é um índice de vegetação 'otimizado' projetado para aumentar o sinal de vegetação com sensibilidade melhorada nas regiões com altas quantidades de biomassa.	Huete, A., et al., 2002. "Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices." Remote Sensing of Environment 83:195–213.
MCARI	$MCARI = \frac{1-0.2*(B5-B3)}{(B5-B4)}$	O Índice de Refletância na Absorção de Clorofila Modificada consiste numa modificação do CARI e relaciona a banda de absorção de clorofila nos	Daughtry, C., et al. "Estimando a concentração de clorofila na folha do milho a partir da reflexão da folha e do dossel." Remote Sensing

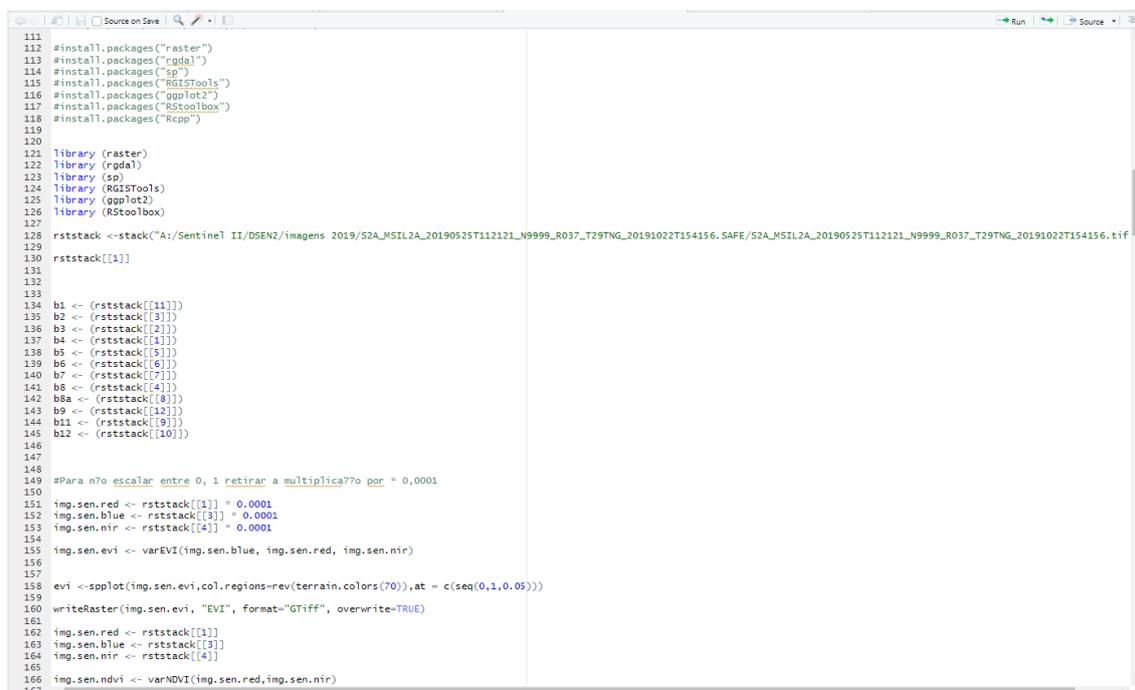
670 nm aos espectros de maior refletância entre os 550 nm e 700 nm. Indica a abundância de clorofila presente na vegetação.

<b>MTCI</b>	$MTCI = \frac{B6-B5}{B5-B4}$	O Índice de Clorofila Terrestre de Meris é uma medida da presença de vegetação verde e saudável. Foi otimizado para ser imune às condições atmosféricas e à refletância da superfície, fornecendo uma aproximação específica da fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida.	J. Dash, P. J. Curran, M. J. Tallis, G. M. Llewellyn, G. Taylor & P. Snoeij (2010) Validating the MERIS Terrestrial Chlorophyll Index (MTCI) with ground chlorophyll content data at MERIS spatial resolution, International Journal of Remote Sensing, 31:20, 5513-5532
<b>PSRI</b>	$PSRI = \frac{B4-B2}{B6}$	O Índice de Refletância da Senescência da Planta (PSRI) dá uma indicação do desenvolvimento da senescência na folha e do amadurecimento do fruto através da avaliação das mudanças na acumulação de carotenoides e a sua proporção com a clorofila.	Ren, Shilong & Chen, Xiaojie & An, Shuai. (2016). Assessing plant senescence reflectance index-retrieved vegetation phenology and its spatiotemporal response to climate change in the Inner Mongolian Grassland. International Journal of Biometeorology. 61. 10.1007/s00484-016-1236-6.
<b>LAI</b>	S2 SNAP Toolbox Biophysical Processor	O Índice de Área Foliar é uma variável adimensional, sendo definida como a área total de folha unilateral verde do tecido fotossintético por unidade de superfície terrestre.	Zheng, Guang & Moskal, L.. (2009). Retrieving Leaf Area Index (LAI) Using Remote Sensing: Theories, Methods and Sensors. Sensors (Basel, Switzerland). 9. 2719-45. 10.3390/s90402719.

A informação obtida das imagens aplicou-se especialmente à caracterização dos vários períodos fenológicos da vinha ao longo do seu ciclo de crescimento, com base no comportamento dos índices ao longo da série temporal.

O processamento das imagens e a obtenção dos índices de vegetação foram realizados no software RStudio, utilizando pacotes específicos e criando rotinas matemáticas que calcularam todos os índices.

O RStudio é um conjunto de ferramentas integradas num ambiente de desenvolvimento integrado para a linguagem “R” que inclui um console, editor e uma variedade de ferramentas para plotagem, visualização do histórico, limpeza e gestão do espaço e trabalho, utilizando os plugins, rgdal e raster (RStudio - RStudio, n.d.).



```
111
112 #install.packages("raster")
113 #install.packages("rgdal")
114 #install.packages("sp")
115 #install.packages("RGIStools")
116 #install.packages("ggplot2")
117 #install.packages("RStoolbox")
118 #install.packages("Rcpp")
119
120
121 library(raster)
122 library(rgdal)
123 library(sp)
124 library(RGIStools)
125 library(ggplot2)
126 library(RStoolbox)
127
128 rststack <- stack("A:/Sentinel II/DSENZ/imagens 2019/S2A_MS1L2A_20190525T112121_N9999_R037_T29TNG_20191022T154156_SAFE/S2A_MS1L2A_20190525T112121_N9999_R037_T29TNG_20191022T154156.tif")
129
130 rststack[[1]]
131
132
133
134 b1 <- (rststack[[1]])
135 b2 <- (rststack[[3]])
136 b3 <- (rststack[[2]])
137 b4 <- (rststack[[4]])
138 b5 <- (rststack[[5]])
139 b6 <- (rststack[[6]])
140 b7 <- (rststack[[7]])
141 b8 <- (rststack[[4]])
142 b8a <- (rststack[[8]])
143 b9 <- (rststack[[12]])
144 b11 <- (rststack[[9]])
145 b12 <- (rststack[[10]])
146
147
148
149 #Para n?o escalar entre 0, 1 retirar a multiplica??o por = 0,0001
150
151 img.sen.red <- rststack[[1]] * 0.0001
152 img.sen.blue <- rststack[[3]] * 0.0001
153 img.sen.nir <- rststack[[4]] * 0.0001
154
155 img.sen.evi <- varEVI(img.sen.blue, img.sen.red, img.sen.nir)
156
157
158 evi <- spplot(img.sen.evi,col.regions=rev(terrain.colors(70)),at = c(seq(0,1,0.05)))
159
160 writeRaster(img.sen.evi, "EVI", format="GTiff", overwrite=TRUE)
161
162 img.sen.red <- rststack[[1]]
163 img.sen.blue <- rststack[[3]]
164 img.sen.nir <- rststack[[4]]
165
166 img.sen.ndvi <- varNDVI(img.sen.red,img.sen.nir)
167
```

Figura 3. 3 Pacotes e script utilizado no cálculo dos IV's.

Neste trabalho, adotaram-se normas que utilizaram os pacotes raster, rgdal, dplyr e ggplot2. As funções projectRaster, crop e resample do pacote raster foram usadas para ajustar os dados de entrada.

### 3.3. Zonagem bioclimática

A potencial influência do clima sobre a quantidade e qualidade da produção vitivinícola pode ser analisada através de modelos espacialmente explícitos como índices bioclimáticos. As atuais e potenciais alterações climáticas questionam a definição de

terroirs, a dinâmica fenológica da vinha e a tipicidade dos vinhos com reflexos sociais, económicos, paisagísticos e ambientais regionais/locais (Silva, 2020).

Na região do Alto Minho o uso de dados climáticos de alta resolução (1 km) permitiu analisar a evolução climática entre o presente (1960-1990) e os cenários RCP<sup>1</sup>4.5 e RCP8.5 para dois períodos (2041-2070 e 2071-2100). Estes dados e procedimentos permitem analisar a evolução comparativa de diversos índices bioclimáticos, bem como, a definição e evolução de unidades homogéneas vitivinícolas num contexto de alterações climáticas através da integração de diversos elementos do terroir (clima, topografia e fisiografia). A metodologia utilizada é suportada nas orientações da Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV) que resulta numa zonagem multivariada através de uma análise de componentes principais e clustering espacial. No final foram definidas 12 unidades agroecológicas vitivinícolas e analisadas a sua alteração em termos espaciais e estatísticos (Silva, 2020).

Os resultados indicam uma potencial expansão das áreas adequadas de vinha, perda de locais de áreas atuais com condições ótimas para zonas demasiado quentes, alterações severas no regime hídrico natural. Estas alterações traduzem-se em mudanças significativas na geografia vitivinícola tradicional da região, estas alterações não se manifestam apenas na geografia e dispersão espacial das unidades, mas também na alteração das variáveis que as definem. Assim, é imperativo a implementação de estratégias e tecnologias produtivas para a mitigação e adaptação às alterações climáticas nomeadamente implicações nos riscos, quantidade, valor e custos de produção (Silva, 2020).

---

<sup>1</sup> RCP é a sigla para "Representative Concentration Pathway". É um conjunto de cenários desenvolvidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para simular possíveis trajetórias futuras de clima. Os cenários RCP variam desde um cenário de baixa significância (RCP2.6) até um cenário de alta significância (RCP8.5). Cada cenário tem um caminho específico para as alterações climáticas para o final do século.

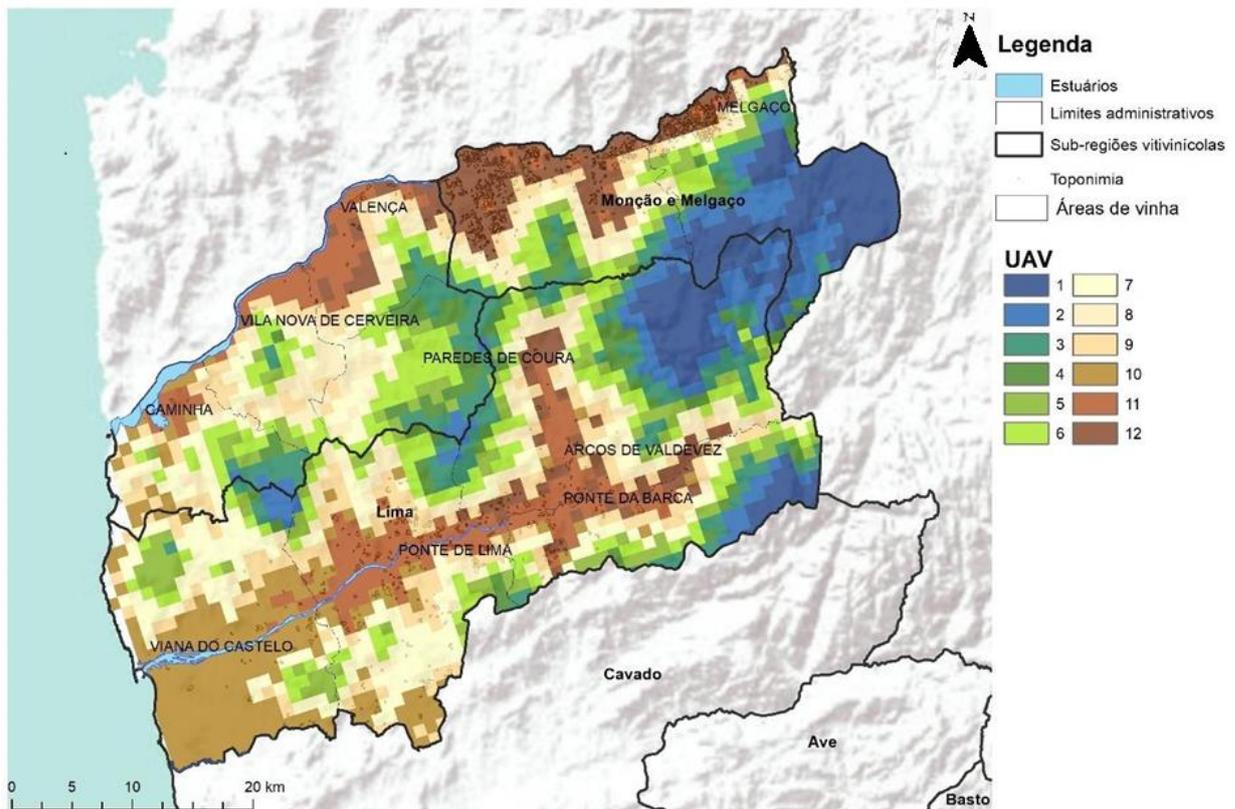


Figura 3. 4 Unidades agroecológicas vitivinícolas de referência, 1960-1990 (Silva, n/d).

As unidades agroecológicas vitivinícolas demonstram uma boa definição e não apresentam grandes variações na sua dimensão entre período de referência e cenários. No entanto, a distribuição espacial apresenta diferenças significativas, de destacar as alterações em ambas as sub-regiões.

Após a definição das unidades agroecológicas, realizou-se uma análise focal, com o objetivo de mensurar a variância por célula. Essa análise indica alterações dos agrupamentos das unidades agroecológicas vitivinícolas. Estas alterações acontecem, fundamentalmente, nas zonas de encosta e em zonas abrangidas por regimes microclimáticos.

Para efeitos práticos deste trabalho, utilizaram-se apenas as unidades onde existem efetivamente parcelas de vinha assinaladas.

### 3.4. Extração e desenvolvimento de uma série temporal de índices de vegetação

Com o aumento da disponibilidade de imagens multitemporais, várias ferramentas de software independentes foram desenvolvidas para analisar essas imagens. TIMESAT (Eklundh & Jönsson, 2012) e PhenoSat (Rodrigues et al., 2013) são dois desses pacotes

de software que analisam a curva temporal do índice de vegetação através da extração de parâmetros sazonais.

A análise da série temporal foi feita com base nos seis índices selecionados para o período em estudo (NDVI, EVI, LAI, MCARI, MTCI e PSRI), tendo em conta as imagens compreendidas entre janeiro de 2019 e outubro de 2019. Apenas foi necessário garantir que estas abrangiam a área de estudo, não estando afetadas por nuvens que não evidenciavam efeitos atmosféricos (nevoeiro ou neblina), possibilitando assim a análise multitemporal.

### **3.5. Definição de unidades homogéneas de padrões de vegetação no Alto Minho**

O delineamento de Unidades Agroecológicas Vitivinícolas (UAV) foi realizado através de uma análise de componentes principais (PCA) e posterior agrupamento geográfico multivariado, segundo a metodologia ISSO Cluster.

Primeiro, os valores variáveis de cada célula raster foram normalizados (de 0 a 1). Segundo, a metodologia incluiu as análises estatísticas multivariadas. A técnica ISO Cluster usa um procedimento de clustering de otimização iterativo modificado, também conhecido como técnica de meios de migração. O algoritmo separa todas as células no número especificado pelo usuário de grupos unimodais distintos no espaço multidimensional das bandas de entrada. O prefixo ISO do algoritmo de agrupamento de isolados é uma abreviação para “Iterative Self Organizing Data” de executar o agrupamento em cluster, este usa um processo no qual, durante cada iteração, todas as amostras são atribuídas a centros de clusters existentes e novos meios são recalculados para cada classe (ESRI, 2018). Assim, o algoritmo ISO cluster é um processo iterativo para calcular a distância euclidiana mínima ao atribuir cada célula candidata a um cluster (ESRI, 2018).

Após a definição das unidades homogéneas para todos os índices realizou-se uma análise de estatísticos focais no ‘ArcGis’. A ferramenta escolhida foi a “Cell Statistics”. A ferramenta “Cell statistics” baseia-se no cálculo de uma estatística por pixel de vários rasters. As estatísticas disponíveis são moda, máxima, média, mediana, mínima, desvio padrão (DP), soma, variedade e variância (a opção variância só se encontra disponível na consola python do ‘ArcGis’) (Figura 3. 4) (ESRI, 2018).

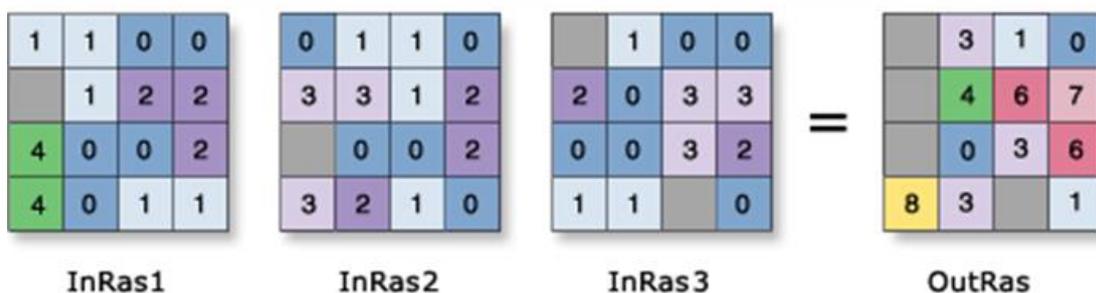


Figura 3. 5 Ilustração sobre o uso da ferramenta Cell Statistics. Fonte: (ESRI, 2018).

### 3.6. Unidades de vegetação homogêneas como suporte à zonagem

O objetivo fundamental das técnicas de viticultura de precisão é utilizar informação detalhada sobre as características biofísicas e o desempenho de uma vinha, em alta resolução espacial, como base para a gestão vitícola e tomadas de decisão. Antes de aparecer a viticultura de precisão, a variabilidade dentro das vinhas normalmente era gerida como "ruído" e muitas vezes passava despercebida. Por isso, o grupo de parâmetros envolvidos nesta variabilidade não pode ser explicado nem ligado entre si (Bramley & Hamilton, 2004; Cook & Bramley, 1998).

As Unidades de Vegetação Homogêneas são consideradas a melhor forma de integrar a influência combinada dos fatores ambientais que afetam determinado local. As unidades de vegetação são determinadas agrupando dados da parcela e depois comparando as unidades resultantes. O resultado é uma hierarquia de unidades.

A zonagem bioclimática é definida como uma ampla divisão das paisagens, classificada com base no clima principal e com influenciadores que impulsionam todos os padrões da vegetação de uma determinada área geográfica. As áreas de clima relativamente uniforme são chamadas de unidades bioclimáticas (Lorenzo et al., 2021).

Embora a resposta às mudanças climáticas possa variar, as vinhas que se encontram em áreas com mudanças significativas, onde é necessário mais esforço para se adaptar, estão mais expostas a essas mesmas mudanças. Em termos de unidade bioclimática, quanto mais rápida a velocidade de movimento da zona, mais provável é que as vinhas nessa unidade bioclimática percam seu habitat climático adequado no futuro. Com base nesta suposição, as unidades de vegetação homogêneas oferecem um suporte à zonagem (Choi et al., 2019).

## **4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS**

As tecnologias relacionadas aos sistemas de informações geográficas, em especial, aos sistemas de detecção remota, têm observado um desenvolvimento a velocidades muito rápidas. Processos que antes, absorviam uma enorme quantidade de tempo e precisavam de procedimentos com alto custo, como a monitorização de uma zona agrícola, atualmente podem ser realizados com o uso de drones e fotografias aéreas, por técnicos de determinadas áreas em conjunto com especialistas em SIG. Através dos índices de vegetação existentes torna-se possível observar e monitorizar as diferentes fases de desenvolvimento das culturas, assim como variadas características intrínsecas à sua evolução.

Diferenciar e identificar tipos de vegetação com um alto nível de confiança utilizando dados de detecção remota é possível quando existem séries de imagens com uma série de tempo suficientemente longa. Além disso, é necessária uma alta frequência temporal para cobrir e caracterizar os ciclos fenológicos específicos da cultura. A alta resolução espaço-temporal do Sentinel-2, consiste em dois satélites idênticos com 13 bandas espectrais e uma frequência de revisita combinada de no máximo 5 dias, é adequada para identificar tipos de vegetação e estudar a dinâmica da vegetação. Com base nestas imagens SENTINEL-2 foi possível produzir um conjunto de resultados que serão discutidos em grupo e individualmente.

Ao longo do presente capítulo são apresentados os principais resultados da metodologia aplicada neste estudo.

### **4.1. A região do Alto Minho e as sub-regiões do Lima e Monção-Melgaço**

O Minho ou a região dos Vinhos verdes situa-se a Noroeste de Portugal, no Entre-Douro-e-Minho, com cerca de 35.000 ha de vinha, segundo elementos do INE. Tem como limites a norte o rio Minho (fronteira com a Galiza); a nascente e a sul zonas montanhosas que constituem a separação natural entre a influência Atlântica e a zona mais interior de características mediterrânicas; por último o Oceano Atlântico constitui o seu limite a poente.

A maior parte da região assenta em formações graníticas, constituindo exceções duas estreitas faixas que a atravessam no sentido Noroeste-Sudeste, uma do silúrico, onde aparecem formações carboníferas e de lousa, e outra de xistos do arcaico. O solo tem, na

maior parte da região, origem na desagregação do granito. Caracteriza-se, regra geral, por apresentar pouca profundidade, texturas predominantemente arenosas a franco-arenosas (ligeiras), acidez naturalmente elevada e pobreza em fósforo.

As características climáticas da região em estudo resultam da sua posição geográfica, na zona ocidental do continente europeu, da proximidade ao Oceano Atlântico e, da forma e disposição dos principais conjuntos montanhosos do noroeste de Portugal. A relação entre clima e altitude indica que, a altitude e a temperatura, sejam inversamente proporcionais, ao contrário da precipitação, ou seja, com o aumento da altitude a temperatura diminui, facilitando assim, a condensação e, a consequente formação de precipitação (figura 4.1). Com o aumento de altitude, verifica-se uma maior amplitude dos descritores assim como, uma maior aleatoriedade climática (Lima, N., 2019).

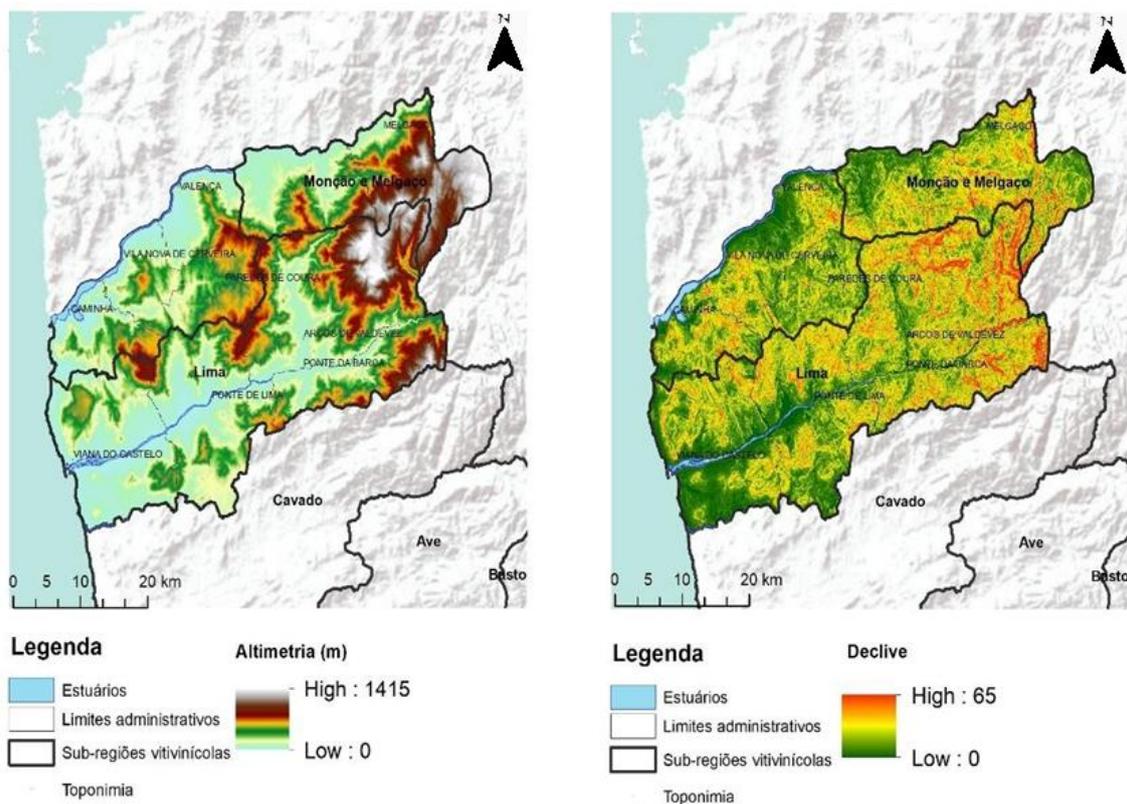


Figura 4. 1 Mapa com informação relativa a Altimetria e Declive. Fonte: Silva, 2020

A sub-região de Monção e Melgaço possui um microclima muito particular, com excelentes condições para as castas Alvarinho (branca) e Pedral (tinta). Este microclima caracteriza-se por invernos frios com precipitação intermédia, ao passo que os verões são bastante quentes e secos, o que denota uma influência atlântica limitada. A sub-região

desenvolveu-se à volta da margem sul do rio Minho numa zona de meia encosta. Os vinhos extremes da casta Alvarinho são o ex-libris da sub-região de Monção e Melgaço. A sub-região do Lima integra os concelhos de Ponte da Barca, Arcos de Valdevez, Viana do Castelo e Ponte de Lima. Em termos de amplitudes térmicas a sub-região do Lima está numa posição intermédia relativamente às restantes sub-regiões, no entanto, é onde a precipitação atinge valores mais altos. A altitude a que a vinha se encontra plantada é variável e aumenta do litoral para o interior, onde o relevo também é mais irregular, originando alguns microclimas no interior do vale do Lima, existindo por vezes referências a baixo Lima e alto Lima.

## 4.2. Evolução dos índices de vegetação das áreas de vinha por sub-região

O início do ciclo vegetativo da vinha normalmente é caracterizado por um baixo valor do NDVI com um aumento gradual ao longo do período de crescimento da planta e aumento da área foliar até atingir um máximo, designada fase de maturação. No entanto não foi aquilo que se observou em ambas as regiões, uma vez que o máximo de NDVI ocorre no mês de janeiro, altura em que a vinha não apresenta vegetação. De seguida deveria acontecer a fase de diminuição da atividade fotossintética a que corresponderia a diminuição rápida do valor do NDVI até valores na ordem dos 0.35, associada à fase de senescência. Todavia, voltamos a encontrar valores que não correspondem ao esperado, numa fase em que os valores deveriam baixar (final do ciclo em outubro), observa-se um aumento exponencial que poderá ser justificado com o ruído da vegetação espontânea.

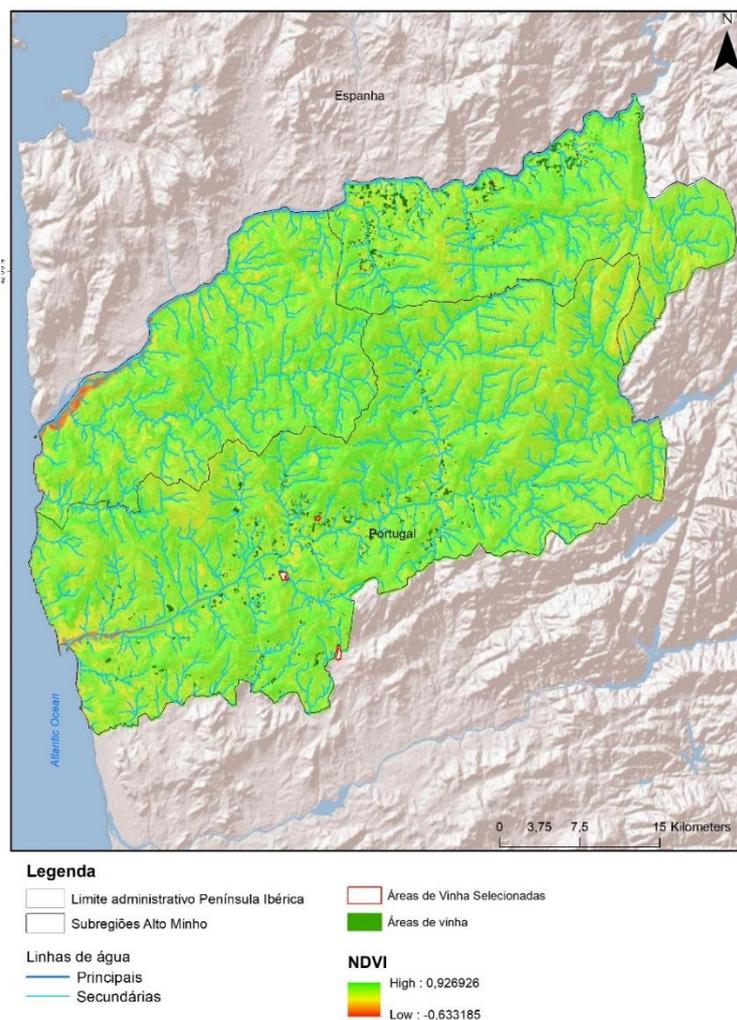


Figura 4. 2 Mapa dos valores médios do NDVI no Alto Minho

Conseguimos ainda registar uma diferença dos mínimos e máximos de NDVI para cada sub-região, revelando que existe uma disparidade no desenvolvimento fenológico da vinha, onde a sub-região do Lima apresenta valores superiores ao longo de todo o ciclo (figura 4.3).

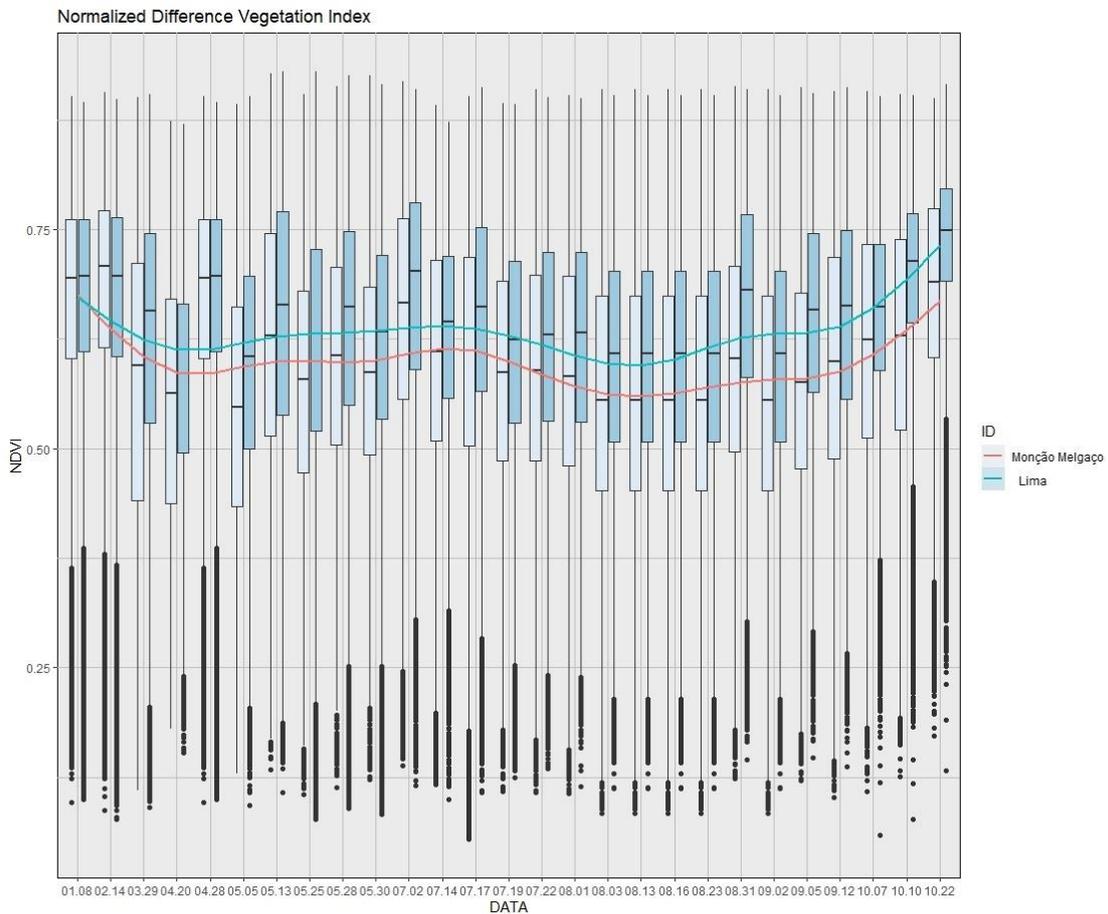


Figura 4. 3 Índice de diferença normalizada da vegetação (NDVI) para as sub-regiões

Ao analisar a série temporal do EVI, encontra-se com o passar do tempo, um comportamento aleatório dos seus valores médios. Este comportamento dinâmico observado é a resposta fenológica da vegetação analisada. Sendo que esta resposta varia no tempo consoante o espectro de reflexão da cobertura vegetal incidente nos sensores.

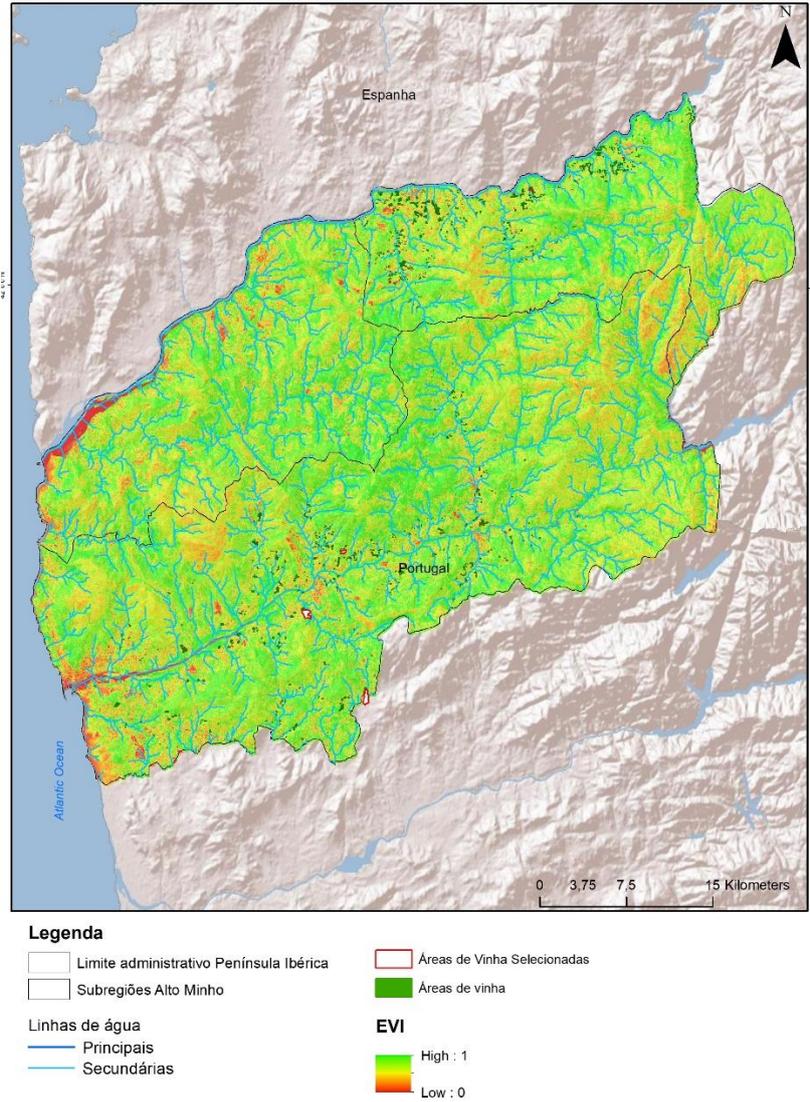


Figura 4. 4 Mapa dos valores médios do EVI no Alto Minho

O início e duração das distintas fases fenológicas variam nas duas sub-regiões. Analisando a figura 4.5, percebe-se por exemplo, que a sub-região do Lima alcança o valor máximo de EVI em finais de maio, enquanto na sub-região de Monção Melgaço se alcança no início de julho.

Verifica-se à semelhança do NDVI uma diferença constante entre as duas sub-regiões do valor mínimo e máximo deste índice.

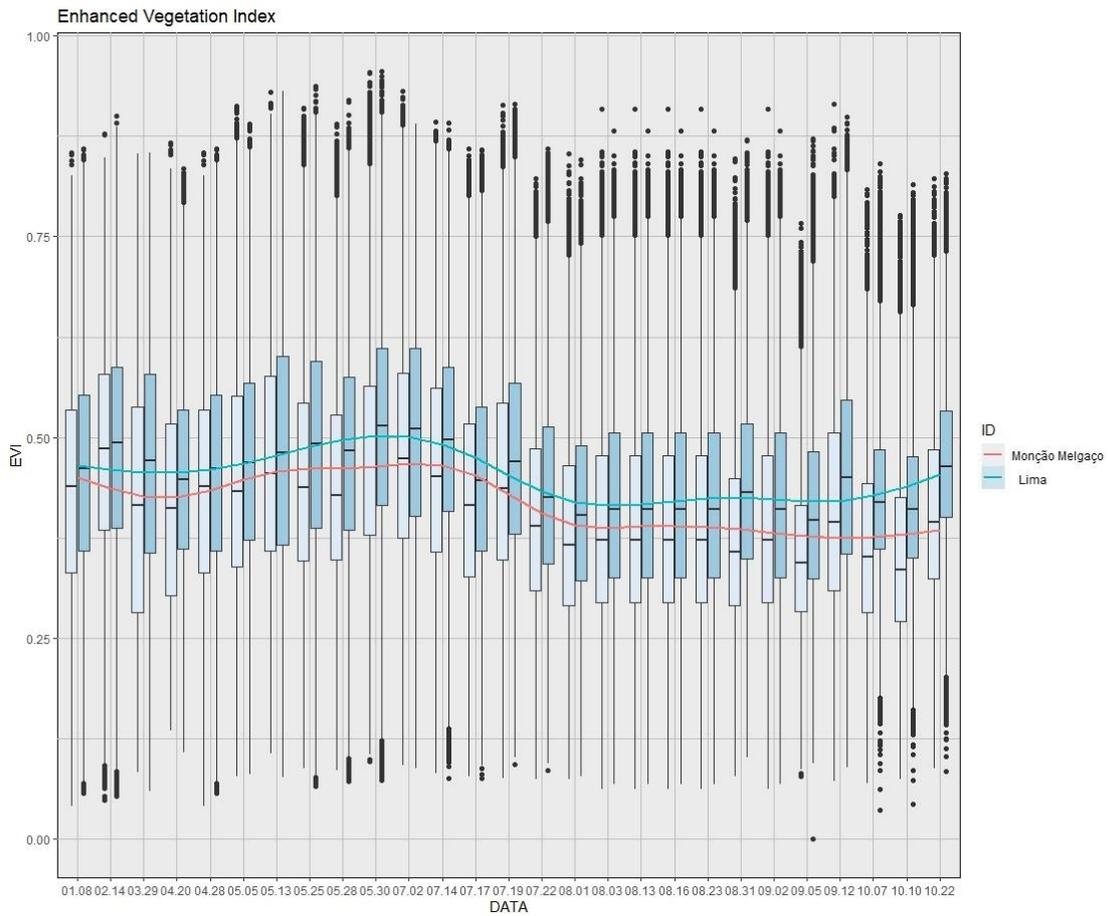


Figura 4. 5 Enhanced Vegetation Index (EVI) para as sub-regiões.

O índice de área foliar (LAI) constitui-se como uma boa forma de medir a área foliar e fornecer uma indicação da superfície fotossintética, apresentando uma alta correlação com o NDVI (Wang, 2008).

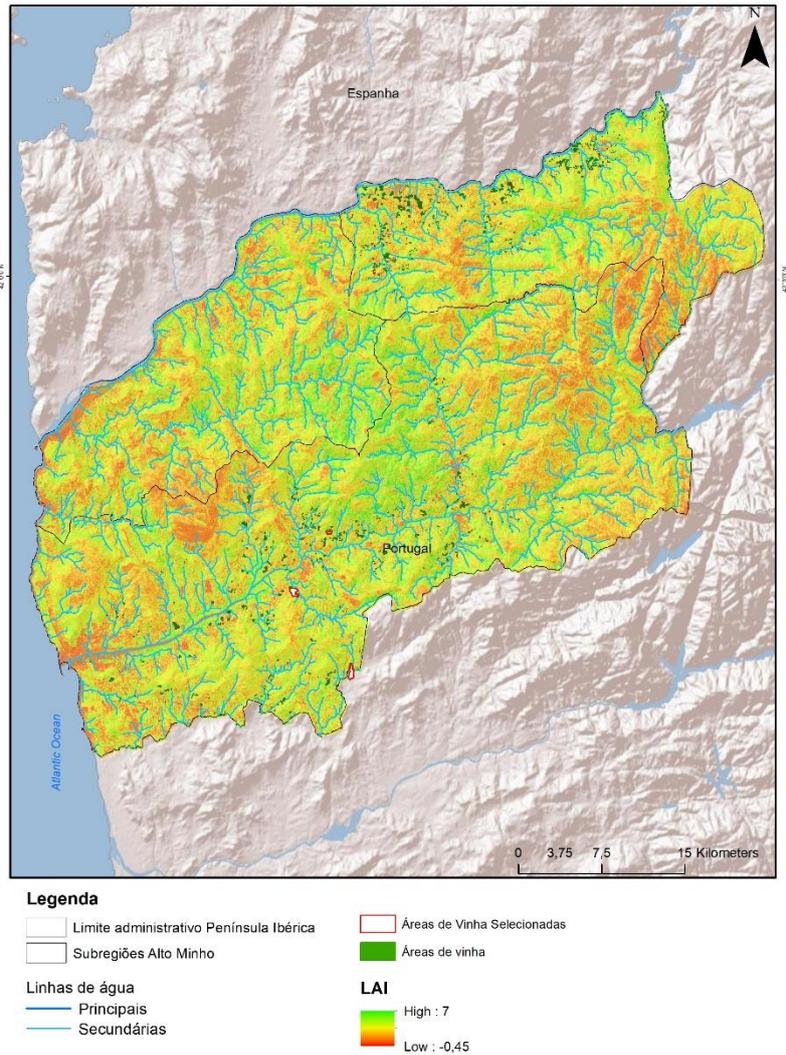


Figura 4. 6 Mapa dos valores médios do LAI no Alto Minho

Analisando o LAI nas duas sub-regiões percebemos que no Lima os valores são sempre superiores a Monção Melgaço durante todo o período de desenvolvimento, sendo que esta diferença se acentua na parte final do ciclo (figura 4.7).

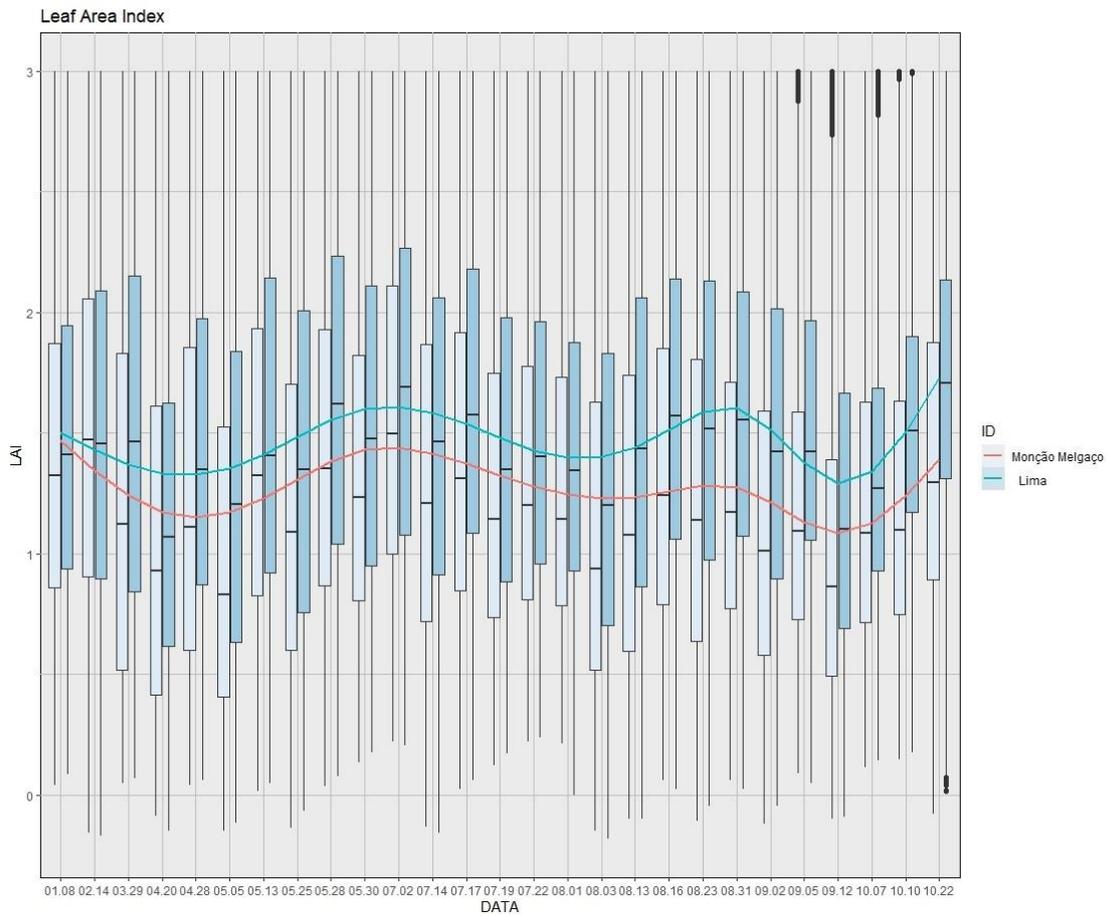


Figura 4. 7 Índice de área foliar (LAI) para as sub-regiões.

O Índice de Refletância na Absorção de Clorofila Modificado (MCARI) é o índice de vegetação diretamente relacionado com a concentração de clorofila na planta e ao índice de área foliar (LAI).

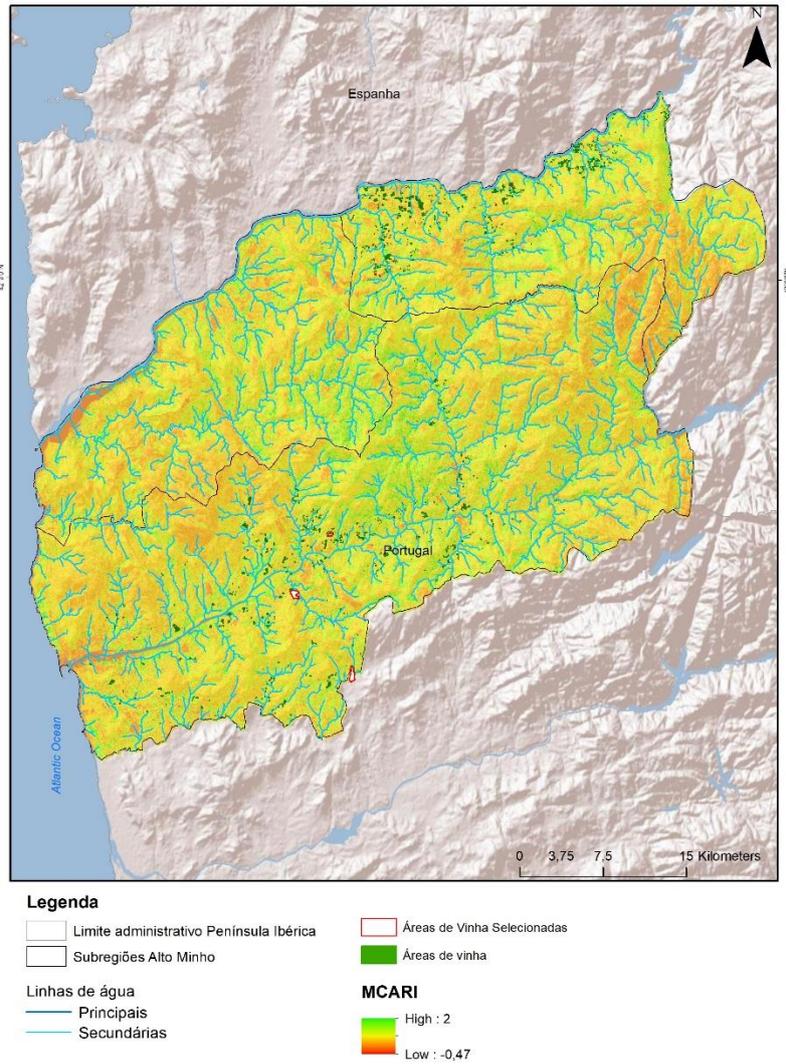


Figura 4. 8 Mapa dos valores médios do MCARI no Alto Minho

Conforme verificado na figura 4.9, o MCARI apresentou diferenças entre os valores mínimos e máximos entre as duas sub-regiões, assim como também diferem no período temporal em que atingem os valores máximos e mínimos.

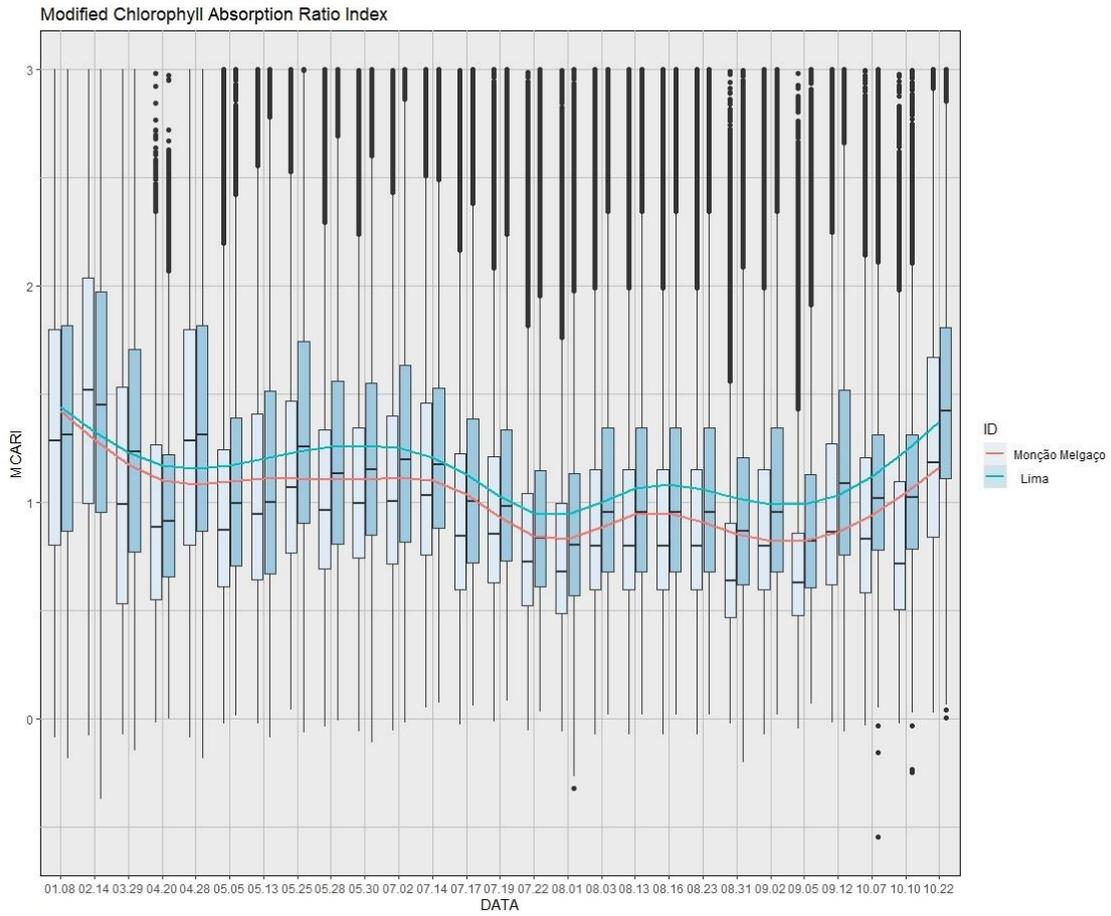


Figura 4. 9 Índice de Absorção de Clorofila Modificado em Refletância (MCARI) para as sub-regiões.

O índice de clorofila terrestre MERIS (MTCI) é mais sensível a altos valores de clorofila do que o NDVI.

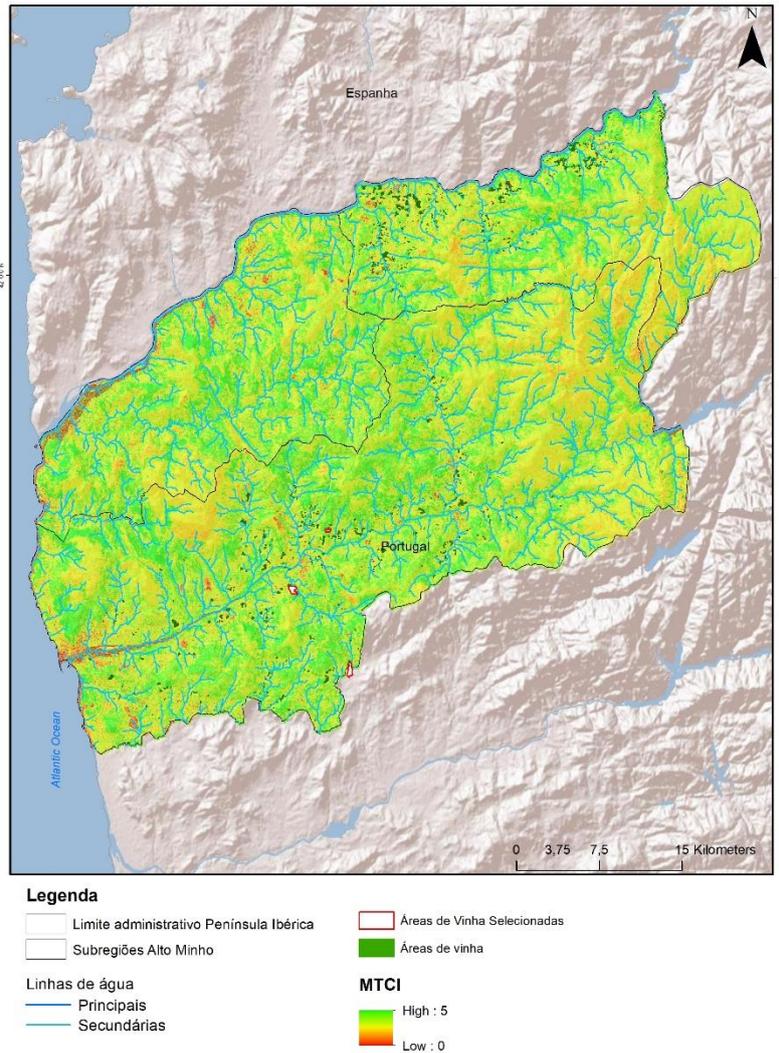


Figura 4. 10 Mapa dos valores médios do MTCI no Alto Minho

De todos os índices, este é aquele que apresentou uma menor diferença entre os valores mínimos e máximos entre as duas sub-regiões. Também é possível concluir que no final do ciclo os valores do Lima tendem a aumentar e em Monção Melgaço os valores tendem a diminuir (figura 4.6).

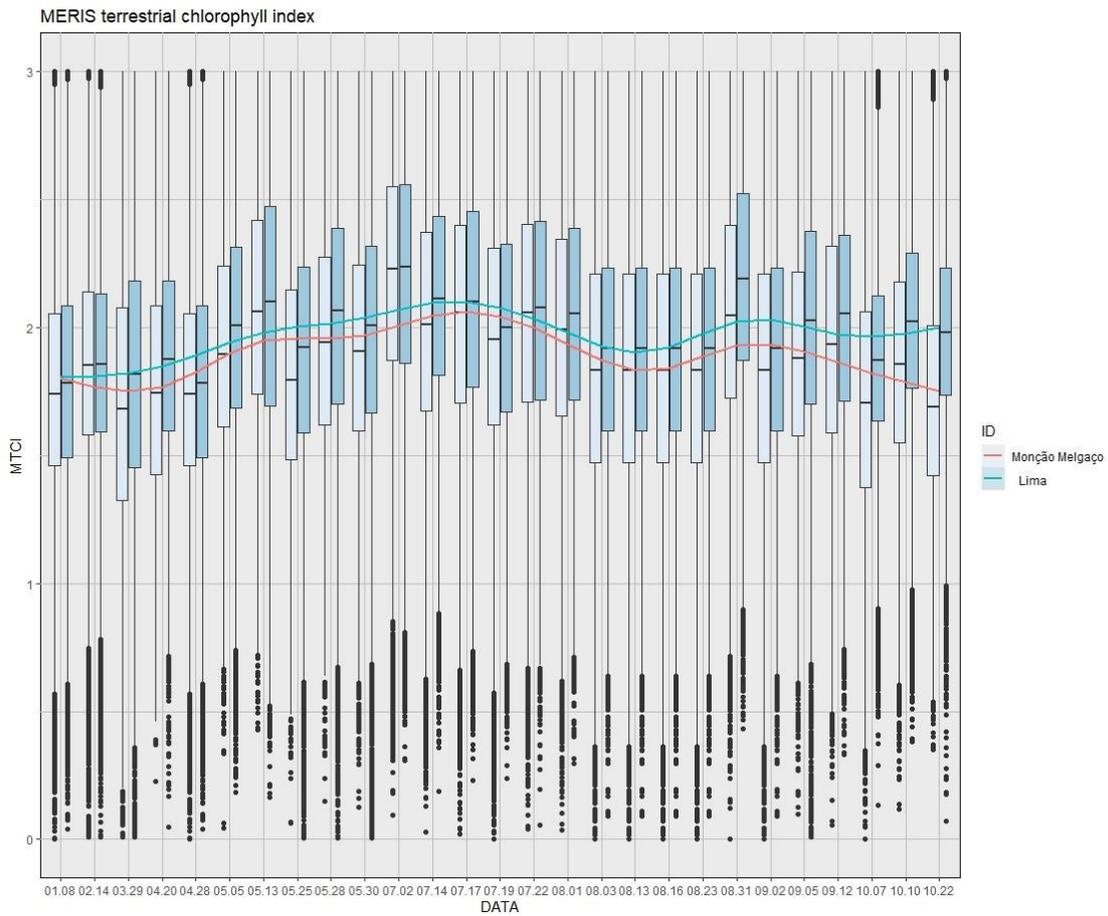


Figura 4. 11 Índices de vegetação para clorofila (MTCI) para as sub-regiões.

Os IV podem ser totalmente explorados em esquemas multitemporais, uma vez que os calendários fenológicos exclusivos permitem a sua discriminação precisa. A este respeito, o Índice de Refletância da Senescência da Planta (PSRI), permite formar assinaturas espectrais, sendo particularmente sensível à sua fase de senescência.

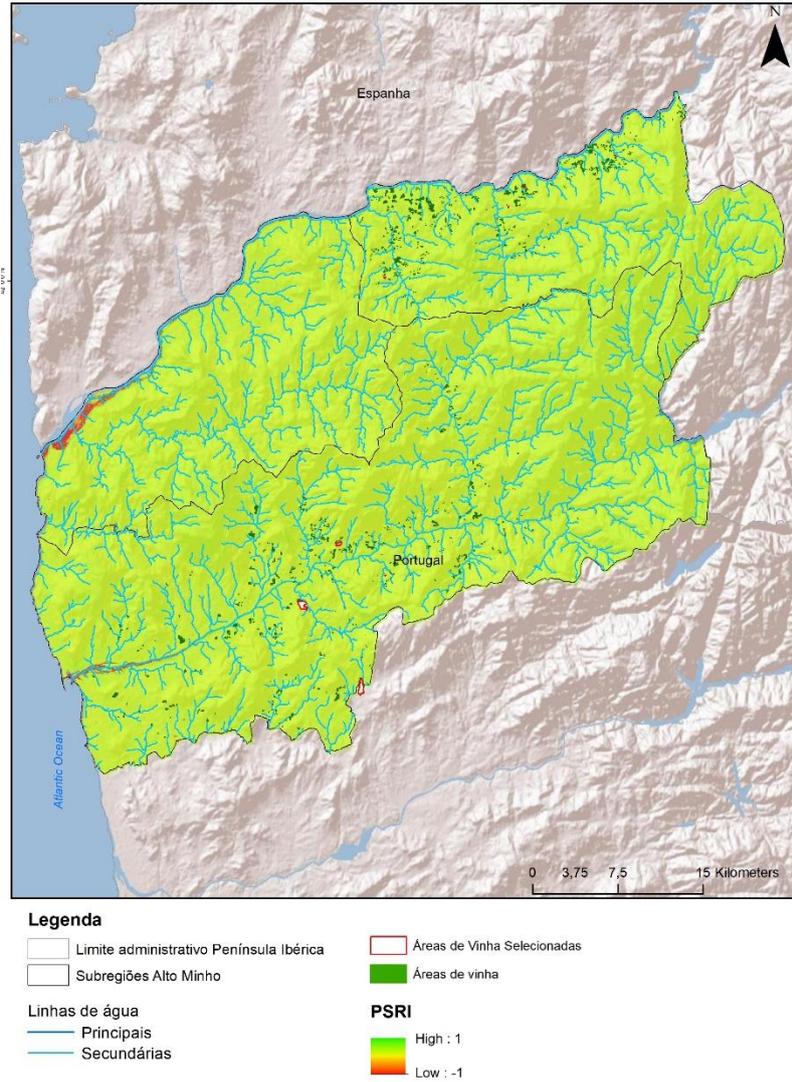


Figura 4. 12 Mapa dos valores médios do PSRI no Alto Minho

Inversamente ao que se verifica nos índices anteriores, no PSRI é a sub-região de Monção Melgaço que apresentou valores mais altos ao longo de todo o ciclo. Este era um resultado esperado, uma vez que nesta zona os valores de NDVI são inferiores.

Semelhante ao ocorrido com outros índices é a presença de ruídos nos valores originais de PSRI, que indicam a necessidade de suavizar as séries temporais (figura 4.13).

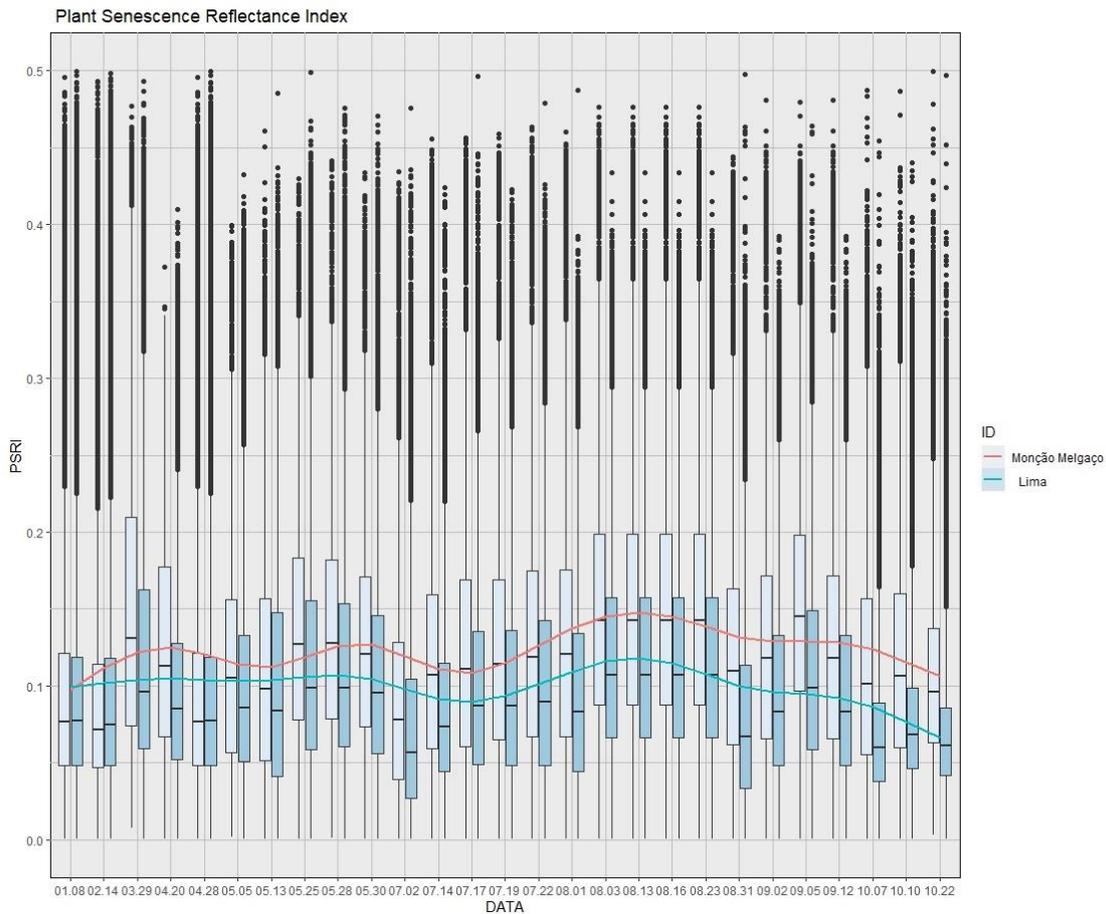


Figura 4. 13 Índice de Refletância de Senescência das Plantas (PSRI) para as sub-regiões.

Da análise aos gráficos concluímos que aquilo que era tendencialmente esperado, no fundo acaba por ser alterado considerando o tamanho médio do pixel (10 m) e consequentemente a cobertura da entrelinha. Ao mesmo tempo podemos ainda considerar a diversidade de sistemas de condução e produção existentes nas diversas parcelas de vinha.

Nas parcelas identificadas encontramos desde vinhas relativamente novas, em fase instalação, até vinha velhas e, consequentemente com uma grande disparidade nos compassos, castas e sistemas de condução.

No entanto, podemos dizer que independentemente dos índices de vegetação utilizados (NDVI, EVI, LAI, MCARI, MTCI, PSRI), estes revelam que existem diferenças significativas entre as vinhas localizadas no vale do Lima e no vale do Minho.

Concluimos ainda que, os valores são superiores na sub-região do Lima e onde apresentam menos variabilidade. Estas diferenças podem ser justificadas com o facto da

dispersão das vinhas na zona do Lima ser maior comparativamente a Monção Melgaço, onde observa uma concentração das parcelas, sendo por isso natural que os resultados no Lima apresentem uma menor amplitude.

Outro aspeto interessante, a explorar no futuro, é o facto de se verificar que a diferença destes valores se acentuam ao longo do ciclo vegetativo (ver Anexo I a Anexo VI).

### 4.3. Evolução dos índices de vegetação das áreas de vinha por unidade bioclimática

A análise dos índices de vegetação das áreas de vinha por unidade agroecológica vitivinícola, descritas acima no ponto 3.3, indicam diferenças de comportamento entre essas áreas homogéneas (figura 4.8).

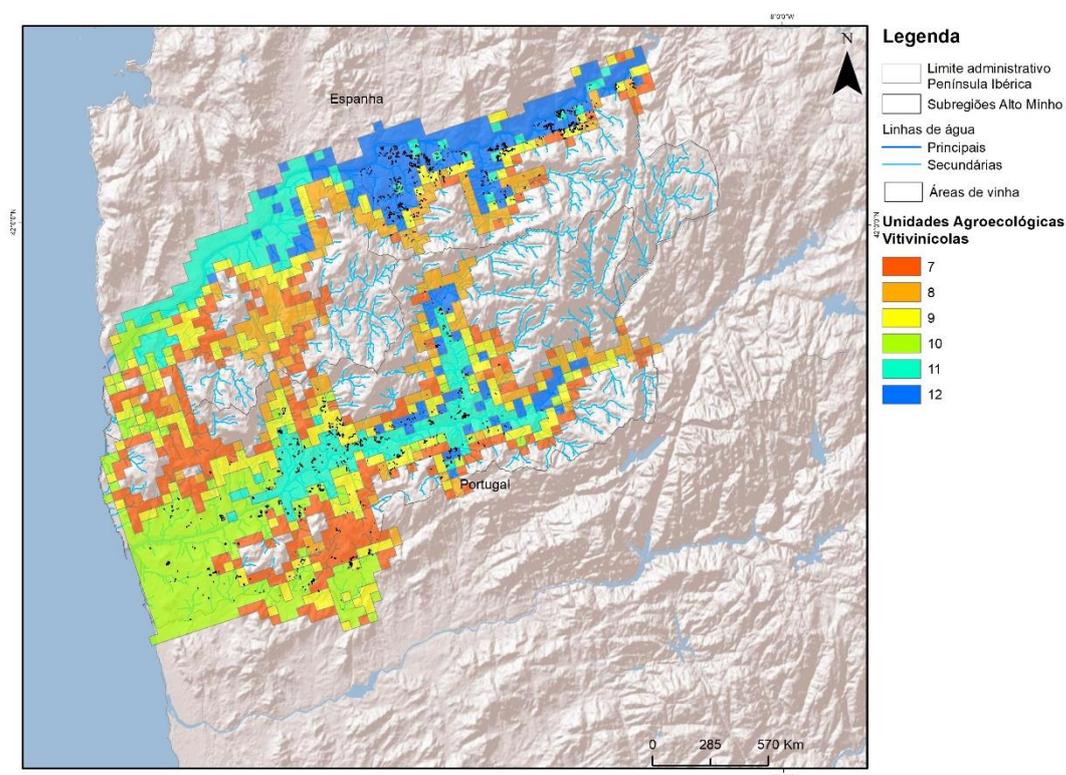


Figura 4. 14 Unidades Agroecológicas Vitivinícolas onde existe vinha.

No estudo, tratando-se de uma análise à vinha é compreensível que exista um comportamento similar das curvas entre as unidades. No entanto, tendo em conta este caracter geral podemos descrever que:

As unidades que apresentam valores superiores ao longo de todo o ciclo fenológico em cada índice calculado, são as UAV 7, UAV 8 e UAV 9.

Por outro lado, as unidades que apresentam valores inferiores ao longo do desenvolvimento fenológico para cada índice, são as UAV 12 e UAV 11, que correspondem a praticamente 100% das parcelas inseridas na sub-região de Monção Melgaço (figura 4.9 a 4.13).

Observa-se nas curvas dos índices abaixo apresentados (figura 4.9 a 4.13) que depois de se atingir um valor máximo no final de maio, acontece uma quebra nos valores e estes tendem a baixar até início de agosto, onde retomam novamente a subida. Este acontecimento pode-se justificar com o facto de existirem práticas culturais associadas a esta cultura nesta altura do ciclo, como por exemplo intervenções em verde, limpeza da entrelinha, entre outras. Logo depois de se atingir um novo pico no final de agosto, os valores tendem a baixar novamente até ao final do ciclo vegetativo da videira.

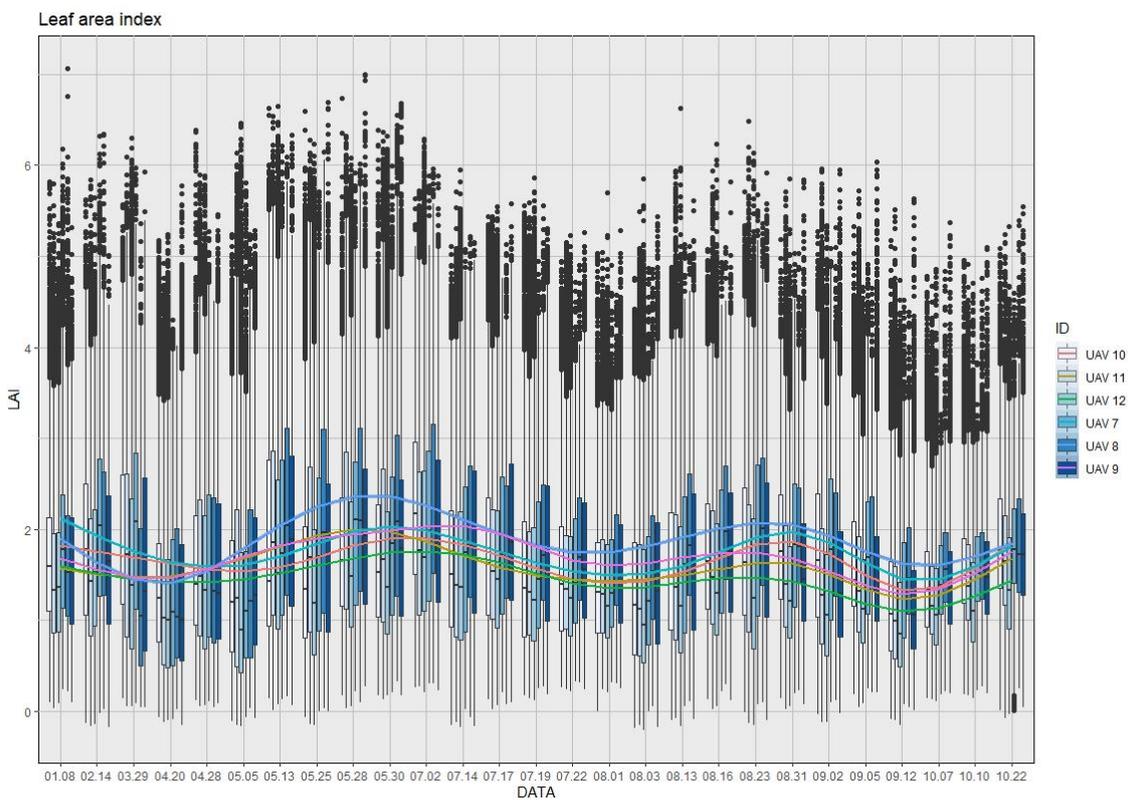


Figura 4. 15 Leaf Area Index (LAI) das áreas de vinha por unidade bioclimática

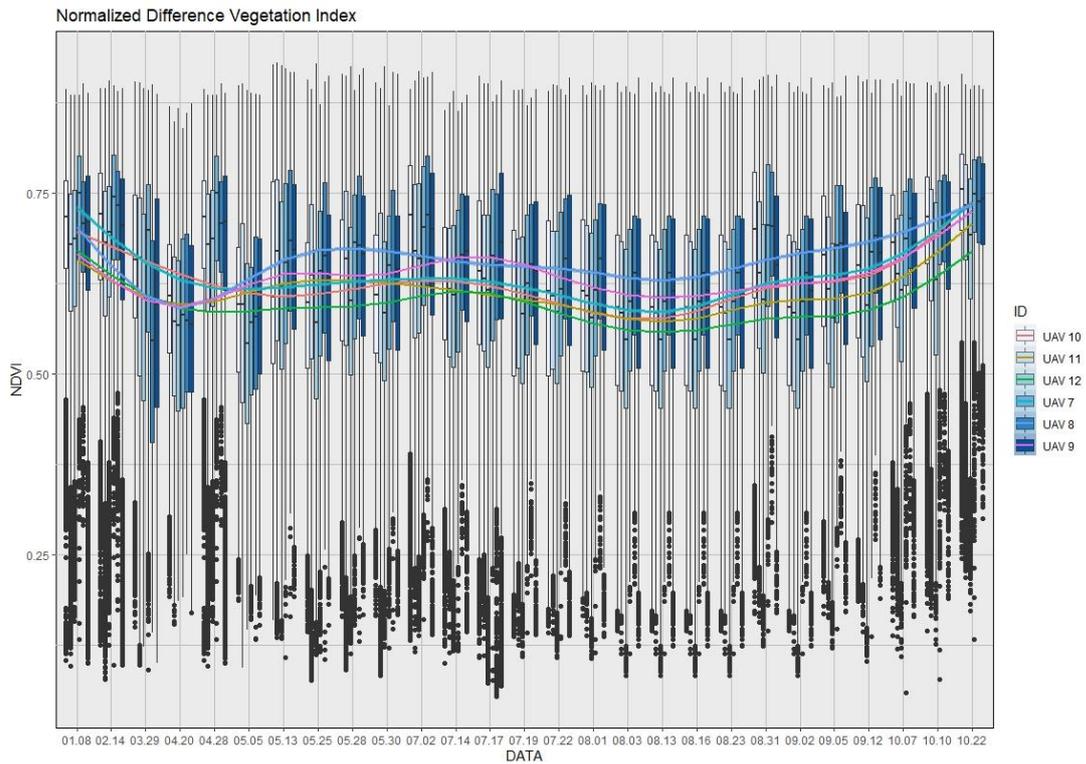


Figura 4. 16 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) das áreas de vinha por unidade bioclimática

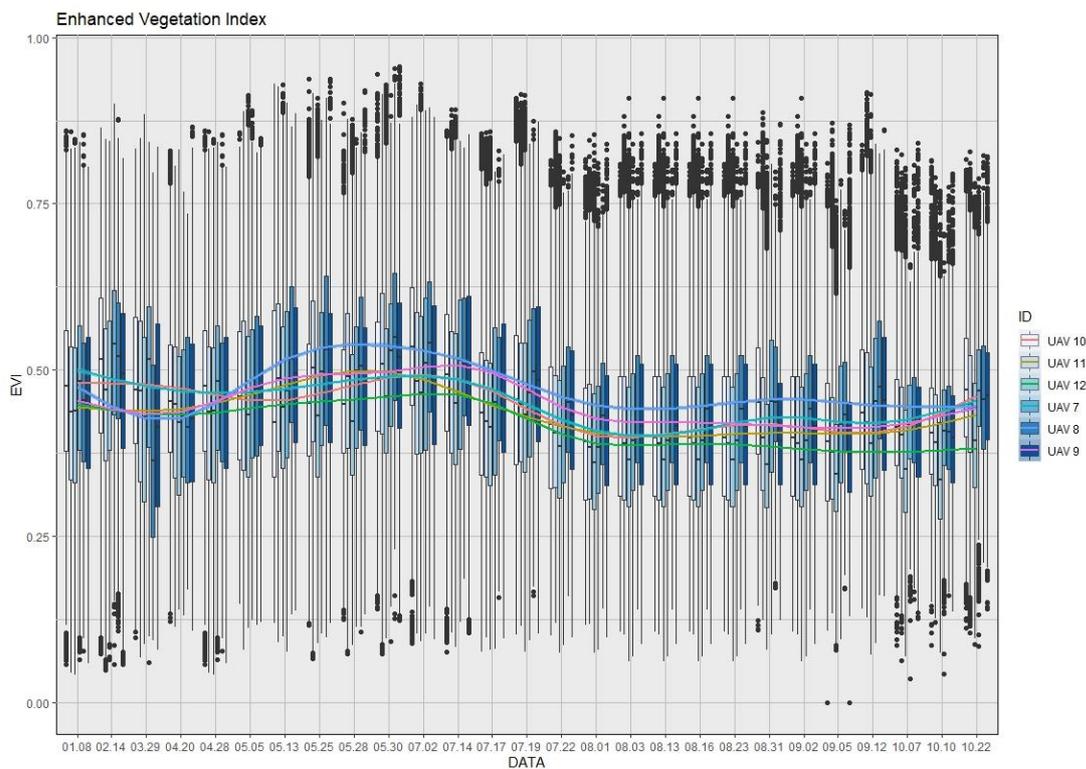


Figura 4. 17 Enhanced Vegetation Index (EVI) das áreas de vinha por unidade bioclimática.

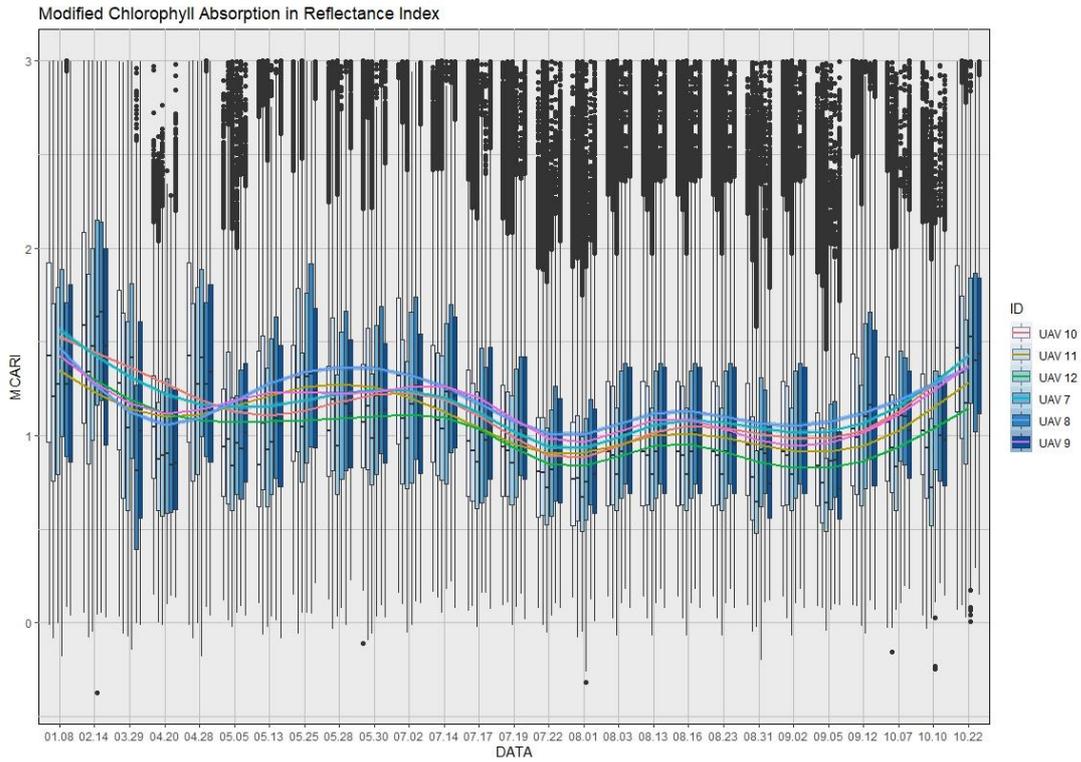


Figura 4. 18 Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI) das áreas de vinha por unidade bioclimática

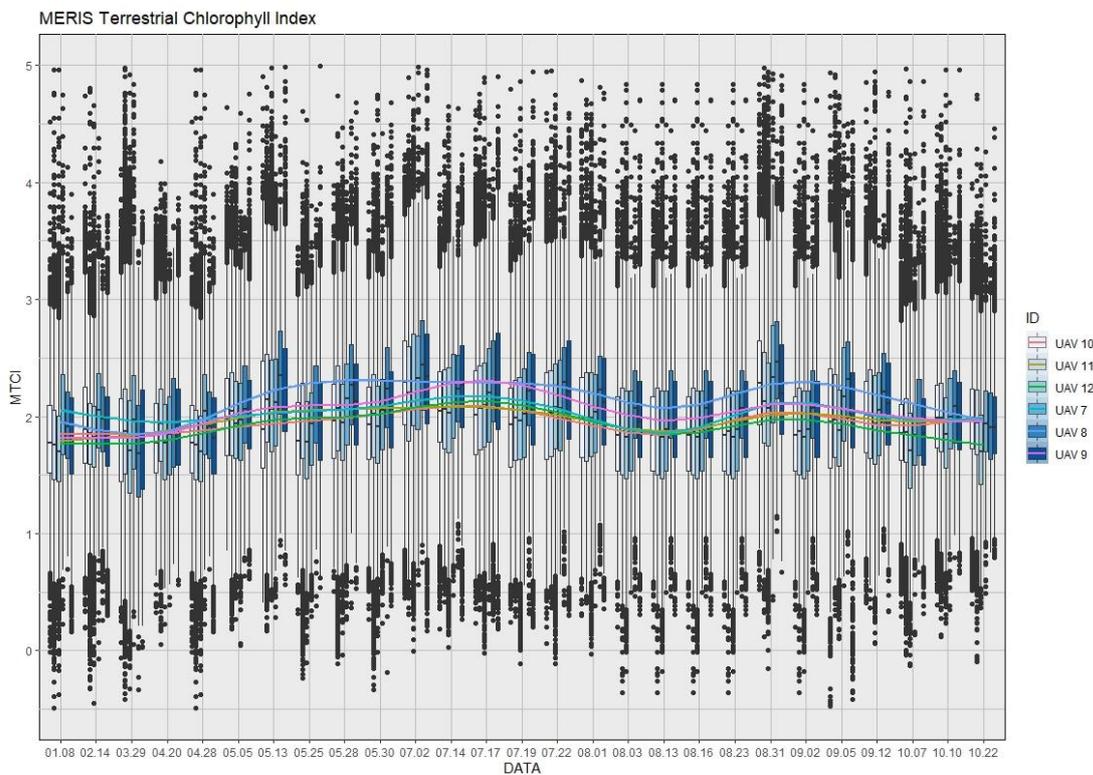


Figura 4. 19 MERIS Terrestrial Chlorophyll Index (MTCI) das áreas de vinha por unidade bioclimática.

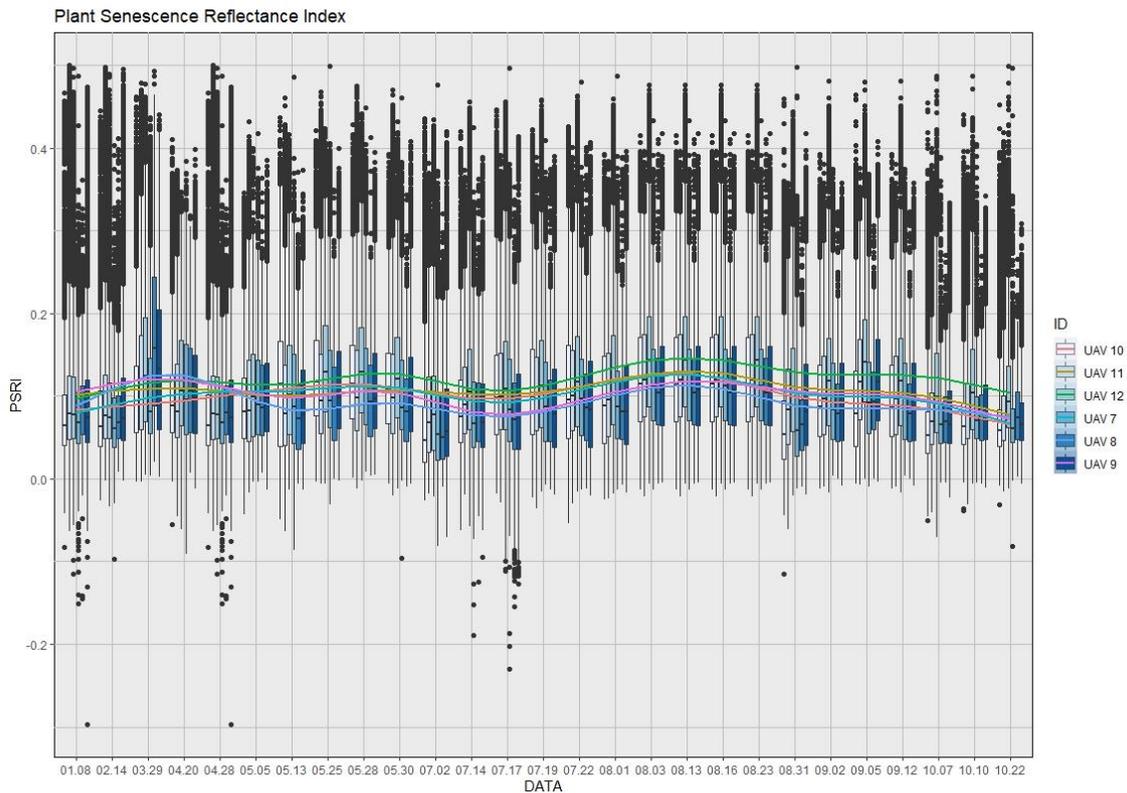


Figura 4. 20 Plant Senescence Reflectance Index (PSRI) das áreas de vinha por unidade bioclimática.

Tendo como base esta análise, verificou-se que existiram diferenças no desenvolvimento da vinha entre cada unidade natural (bacia) e sub-região (unidades vitivinícolas) (ver Anexo VII a Anexo XII).

#### 4.4. Classificação multitemporal das áreas de vinha

Quando as classificações são usadas para tomadas de decisão, é conveniente que não se apresentem apenas os resultados em termos de precisão, mas que também se forneça uma explicação do que está a acontecer dentro do classificador para mais tarde se interpretar e explicar os resultados.

No comportamento temporal entre sub-regiões e unidades agroecológicas vitivinícolas existem diferenças. E com esta classificação pretendeu-se perceber até que ponto este comportamento acaba por ter uma representação espacialmente explícita ao longo do tempo compreender se as diferenças expressas graficamente nas fenometrias podem também ser expressas em agregação espacial (figura 4.15).

A variação na topografia, mesmo que pequena, parece ser o principal fator de variação na fenologia. À escala regional, a topografia explica as diferenças em variáveis como características do solo, disponibilidade de água, temperatura do solo, nível do lençol freático e condições microclimáticas da vinha e a variabilidade dessas variáveis conduz à variabilidade espacial da fenologia (ver Anexo XIII a Anexo XVI).

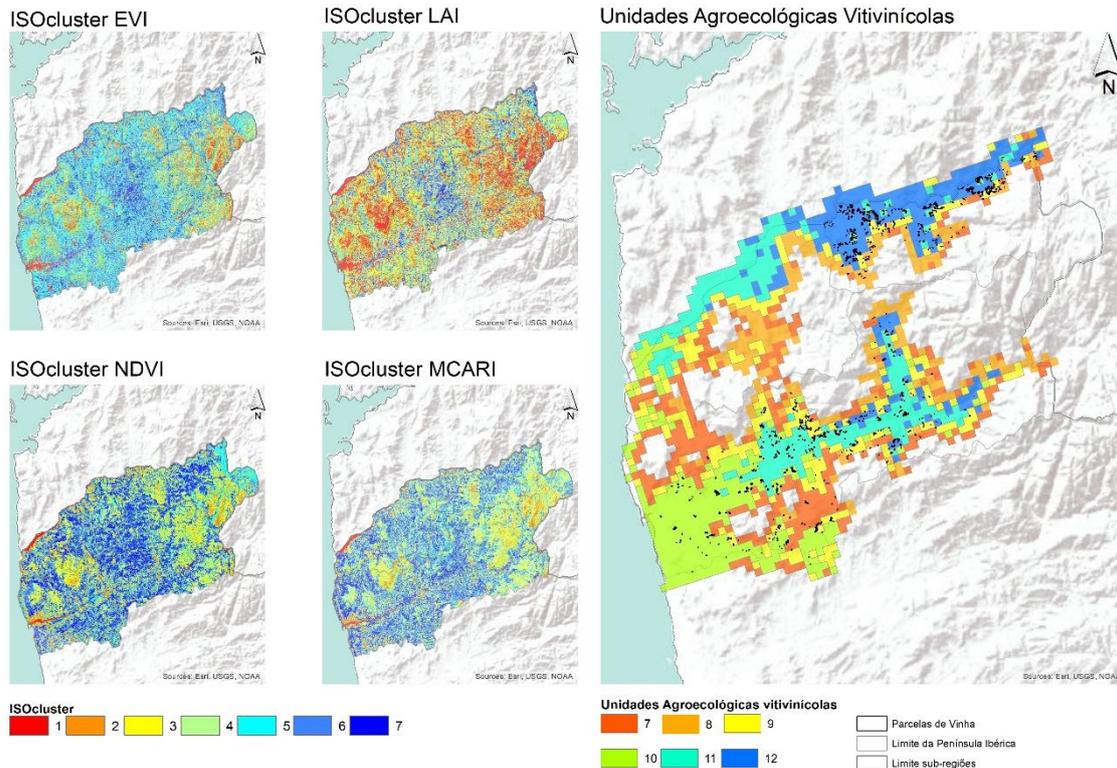


Figura 4. 21 Mapa representativo do ISOcluster dos vários índices.

Embora exista um comportamento fenométrico diferente dos diversos índices de vegetação e das diversas áreas de vinha dentro das duas sub-regiões, os algoritmos de classificação disponíveis e utilizados, não reconhecem separabilidade radiométrica que garanta um padrão de classificação entre as áreas de vinha à escala regional.

A definição de áreas com comportamento fenométrico multitemporal é somente reconhecida quando consideramos a vinha relativamente a outras classes e uso do solo. Este aspeto revela que à escala local/regional ainda existe uma proximidade radiométrica entre os diversos tipos de vinha que classificam áreas com comportamento multitemporal idêntico.

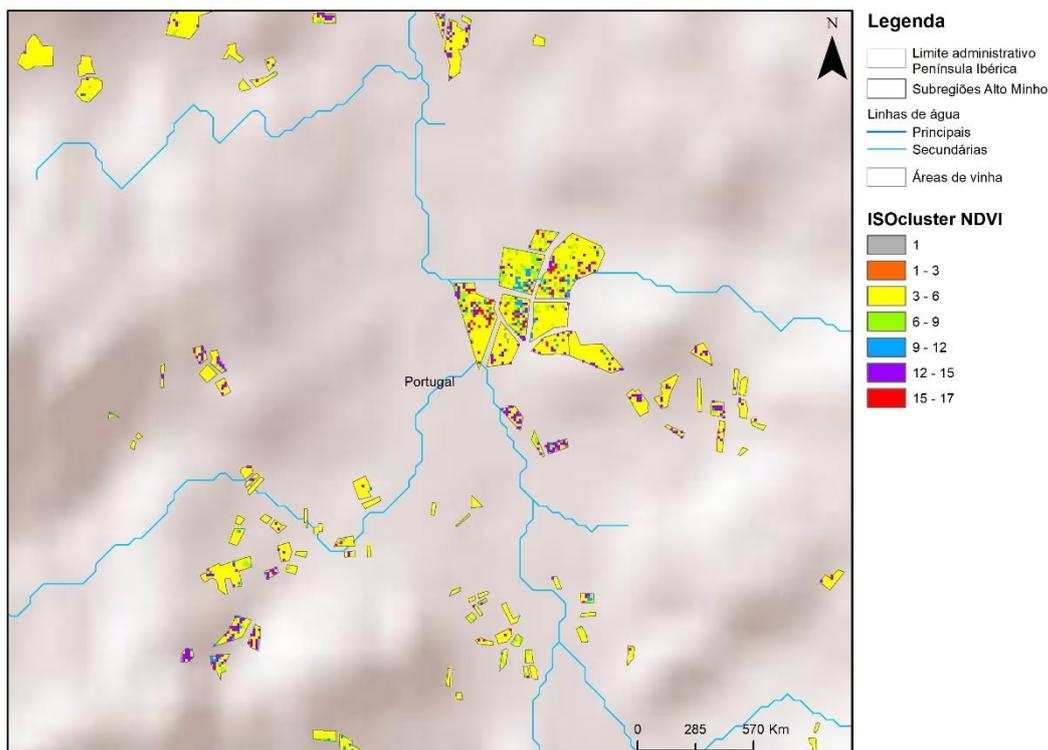


Figura 4. 22 Comportamento fenométrico do NDVI na parcela.

À escala microlocal (dentro da parcela), torna-se interessante verificar que dentro da mesma parcela de vinha é possível identificar áreas com comportamento fenométrico diferente, dentro do mesmo ano (figura 4.16). Neste sentido, admite-se que as diferenças de idade da vinha, práticas culturais, castas e espaçamento entre linha, tornam complexo e exigente a definição de padrões espaciais mais claros. Por outro lado, admite-se que a topografia à escala local define a base do comportamento fenológico.

Quando trabalhamos com evolução ao longo do tempo, com valores médios e variância, existe uma relação da zonagem com as unidades naturais da bacia hidrográfica e as unidades homogéneas da vinha. No entanto não conseguimos encontrar esta correlação, especialmente, porque no fundo propusemo-nos a encontrar duas coisas que se apresentam em escalas completamente distintas.

Teoricamente estas duas realidades apresentam uma correlação, mas a escala de representação é tão distinta que não permite encontrar diferenças.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta como objetivo compreender a possibilidade de monitorizar as Unidades Agroecológicas ou Unidades Homogêneas Vitivinícolas do Alto Minho através da análise de séries temporais. Para isso, utilizou-se uma metodologia que considera as orientações da Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV). Esta baseia-se no desenvolvimento de um Sistema de Informação Geográfica (GIS), que utiliza técnicas de zonagem multivariadas com análise de componentes principais e procedimentos de *clustering* espacialmente explícito.

Apesar das incertezas inerentes às práticas culturais de cada produtor, este exercício, à escala regional e local, evidencia que, existem diferenças no desenvolvimento vegetativo da vinha entre as sub-regiões vitivinícolas do Alto Minho, bem como as unidades agroecológicas e vitivinícolas identificadas em trabalhos anteriores (Silva, 2020).

Neste estudo, foram utilizadas imagens com resolução espacial de 10 m. No entanto, com novos sensores de resolução mais alta, como o IKONOS e RAPIDEYE, a abordagem sugerida também pode ser usada em parcelas maiores e para vários períodos de tempo. Além disso, embora este trabalho apresente a vinha como caso de estudo, devido à alta variabilidade temporal e padrões dinâmicos das videiras ao longo da estação de crescimento, a abordagem sugerida também pode ser aplicada a outras culturas e diferentes condições de campo em diversas regiões climáticas.

As imagens de satélite recolhidas abrangiam o ciclo fenológico da cultura de forma a ser possível efetuar um estudo através do comportamento visível pela resposta espectral das imagens. A partir dos dados tratados para a vinha obteve-se, com recurso ao NDVI, valores de média e desvio padrão. Em simultâneo foram calculados outros cinco índices de vegetação, onde se observa, comparativamente ao NDVI, que as diferenças se acentuam ao longo da série temporal estudada.

Os resultados apresentaram uma variabilidade dos índices de vegetação no espaço e no tempo, o que está em linha com a grande variação dos parâmetros topográficos da zona de estudo. Os IV mostraram-se uma forma eficaz de monitorizar a distribuição espacial do crescimento da vinha, onde o papel da topografia é importante, muito em particular a altitude como o principal promotor dessas diferenças no desenvolvimento desta cultura.

O Sentinel-2 foi útil para monitorizar à escala regional porque uma imagem consegue capturar todas as parcelas de vinha em simultâneo e nas mesmas condições atmosféricas.

Os seis índices estudados (NDVI, EVI, LAI, MCARI, MTCI, PSRI) apresentaram distribuição espacial semelhante e uma alta correlação entre si, possivelmente porque são utilizadas as mesmas bandas espectrais para calculá-los. As semelhanças neste comportamento levam-nos a pensar que seu uso para análises relacionadas ao vigor, estado da água, índice de área foliar e desempenho é da mesma ordem de magnitude que o NDVI que, é usado com mais frequência. Neste estudo, o desempenho dos seis índices foi similar.

Por fim, podemos confirmar que fenologicamente existem diferenças no ciclo de desenvolvimento da vinha entre as duas sub-regiões porque os resultados do trabalho evidenciam efetivamente essas diferenças. Do ponto de vista espacial já não é evidente porque, a zonagem apresenta uma escala local/regional e a variação dos índices de vegetação está muito associado à microtopografia.

No futuro seria interessante identificar vinhas com castas diferentes no sentido de estudar o comportamento multitemporal das diversas castas relativamente à media/variabilidade das áreas de vinha (fenotipagem). Este procedimento poderá ser interessante para separar comportamentos entre regiões vitivinícolas mais afastadas podendo apresentar limitações na separação/classificação de áreas dentro da mesma sub-região.

Em simultâneo, também era interessante analisar mais detalhadamente as duas sub-regiões quanto ao clima (índices bioclimáticos), parâmetros do solo, topografia e as suas possíveis relações com índices de vegetação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga, A. S., & Moraes, M. F. (2014). Utilização de Imagens LANDSAT – 8 Para Caracterização da Cobertura Vegetal. *MundoGEO*, 2010, 1–34.  
<https://mundogeo.com/2014/06/10/processamento-digital-de-imagens-landsat-8-para-obtencao-dos-indices-de-vegetacao-ndvi-e-savi-visando-a-caracterizacao-da-cobertura-vegetal-no-municipio-de-nova-lima-mg/>
- Andújar, D., Moreno, H., Bengochea-Guevara, J. M., de Castro, A., & Ribeiro, A. (2019). Aerial imagery or on-ground detection? An economic analysis for vineyard crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 351–358.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.007>
- Araya, S., Ostendorf, B., Lyle, G., & Lewis, M. (2018). CropPhenology: An R package for extracting crop phenology from time series remotely sensed vegetation index imagery. *Ecological Informatics*, 46, 45–56.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.05.006>
- Australian Centre for Precision Agriculture. (n.d.). *Precision Agriculture*.
- Bergsma, E. W. J., & Almar, R. (2020). Coastal coverage of ESA' Sentinel 2 mission. *Advances in Space Research*, 65(11), 2636–2644.  
<https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.03.001>
- Bramley, R. G. V., & Hamilton, R. P. (2004). Understanding variability in winegrape production systems. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(1), 32–45. <https://doi.org/10.1111/J.1755-0238.2004.TB00006.X>
- Brook, A., De Micco, V., Battipaglia, G., Erbaggio, A., Ludeno, G., Catapano, I., & Bonfante, A. (2020). A smart multiple spatial and temporal resolution system to support precision agriculture from satellite images: Proof of concept on Aglianico vineyard. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111679.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111679>
- Cabot, P. E., Pierce, F. J., Nowak, P., & Karthikeyan, K. G. (2006). Monitoring and predicting manure application rates using precision conservation technology. *Journal of Soil and Water Conservation*, 61(5), 282–292.
- Choi, Y., Lim, C. H., Chung, H. I., Ryu, J., & Jeon, S. W. (2019). Novel Index for bioclimatic zone-based biodiversity conservation strategies under climate change

- in Northeast Asia. *Environmental Research Letters*, *14*(12), 124048.  
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/AB5237>
- Cook, S. E., & Bramley, R. G. V. (1998). Precision agriculture — opportunities, benefits and pitfalls of site-specific crop management in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, *38*(7), 753–763.  
<https://doi.org/10.1071/EA97156>
- Cunha, M., Marçal, A. R. S., & Silva, L. (2010). Very early prediction of wine yield based on satellite data from VEGETATION. *International Journal of Remote Sensing*, *31*(12), 3125–3142. <https://doi.org/10.1080/01431160903154382>
- del-Moral-Martínez, I., Rosell-Polo, J. R., Company, J., Sanz, R., Escolà, A., Masip, J., Martínez-Casasnovas, J. A., & Arnó, J. (2016). Mapping vineyard leaf area using mobile terrestrial laser scanners: Should rows be scanned on-the-go or discontinuously sampled? *Sensors (Switzerland)*, *16*(1), 1–13.  
<https://doi.org/10.3390/s16010119>
- Devaux, N., Crestey, T., Leroux, C., & Tisseyre, B. (2019). Potential of Sentinel-2 satellite images to monitor vine fields grown at a territorial scale. *Oeno One*, *53*(1), 51–58. <https://doi.org/10.20870/oenone.2019.53.1.2293>
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., & Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, *120*, 25–36.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- Eklundh, L., & Jönsson, P. (2012). *TIMESAT 3.1 Software Manual*.
- Fisher, J. I., Mustard, J. F., & Vadeboncoeur, M. A. (2006). Green leaf phenology at Landsat resolution: Scaling from the field to the satellite. *Remote Sensing of Environment*, *100*(2), 265–279. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.10.022>
- Herrera Nuñez, J. C., Ramazzotti, S., Stagnari, F., & Pisante, M. (2011). A Multivariate Clustering Approach for Characterization of the Montepulciano d'Abruzzo Colline Teramane Area. *American Journal of Enology and Viticulture*, *62*(2), 239–244.  
<https://doi.org/10.5344/AJEV.2010.10008>
- Horning, N. (2018). Remote sensing. In *Encyclopedia of Ecology* (pp. 404–413).

Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10607-4>

- Hutchinson, J. M. S., Jacquin, A., Hutchinson, S. L., & Verbesselt, J. (2015). Monitoring vegetation change and dynamics on U.S. Army training lands using satellite image time series analysis. *Journal of Environmental Management*, *150*, 355–366. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.08.002>
- Jiang, Z., Huete, A. R., Chen, J., Chen, Y., Li, J., Yan, G., & Zhang, X. (2006). Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, *101*(3), 366–378. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.01.003>
- Knipper, K. R., Kustas, W. P., Anderson, M. C., Nieto, H., Alfieri, J. G., Prueger, J. H., Hain, C. R., Gao, F., McKee, L. G., Alsina, M. M., & Sanchez, L. (2020). Using high-spatiotemporal thermal satellite ET retrievals to monitor water use over California vineyards of different climate, vine variety and trellis design. *Agricultural Water Management*, *241*(June). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106361>
- Kuplich, T. M., Moreira, A., & Fontana, D. C. (2013). Time series of vegetation index for different vegetation types in Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *17*(10), 1116–1123. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001000014>
- Lamb, D. W. (2003). *Making sense of vineyard variability in Australia The use of QZSS satellite to provide 2-3 cm machine guidance accuracy View project Optimization of winter wheat nitrogen fertilization with the use of remote sensing tools and determination of the usefulness of soil electrical conductivity measurements for soil management zone delineation View project*. <https://www.researchgate.net/publication/275832528>
- Lanaras, C., Bioucas-Dias, J., Galliani, S., Baltsavias, E., & Schindler, K. (2018). Super-resolution of Sentinel-2 images: Learning a globally applicable deep neural network. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *146*(October), 305–319. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.09.018>
- Li, J., Wu, Z., Hu, Z., Zhang, J., Li, M., Mo, L., & Molinier, M. (2020). Thin cloud removal in optical remote sensing images based on generative adversarial networks and physical model of cloud distortion. *ISPRS Journal of Photogrammetry and*

- Remote Sensing*, 166, 373–389. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.021>
- Liasis, G., & Stavrou, S. (2016). Satellite images analysis for shadow detection and building height estimation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 119, 437–450. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.07.006>
- Lorenzo, M. N., Taboada, J. J., Lorenzo, J. F., & Ramos, A. M. (n.d.). *Influence of climate on grape production and wine quality in the Rías Baixas, north-western Spain*. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0387-1>
- Malheiro, A., Santos, J., Fraga, H., & Pinto, J. (2010). Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe. *Climate Research*, 43(3), 163–177. <https://doi.org/10.3354/cr00918>
- Martínez, B., & Gilabert, M. A. (2009). Vegetation dynamics from NDVI time series analysis using the wavelet transform. *Remote Sensing of Environment*, 113(9), 1823–1842. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.04.016>
- Misra, G., Cawkwell, F., & Wingler, A. (2020). Status of phenological research using sentinel-2 data: A review. *Remote Sensing*, 12(17), 2760. <https://doi.org/10.3390/RS12172760>
- NDVI and LAI relationship: A key for remote sensing of vegetation de R. Su, Z. Li e Y. Wang, publicado em *Remote Sensing of Environment* em 2008.
- Nordberg, M.-L., & Evertson, J. (2003). Monitoring Change in Mountainous Dry-heath Vegetation at a Regional Scale Using Multitemporal Landsat TM Data. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 32(8), 502–509. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-32.8.502>
- Novelli, A., Aguilar, M. A., Nemmaoui, A., Aguilar, F. J., & Tarantino, E. (2016). Performance evaluation of object based greenhouse detection from Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI data: A case study from Almería (Spain). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 403–411. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.011>
- Nuno, P., & Lima, M. (2019). *Plano intermunicipal de adaptação às alterações climáticas para o Alto Minho: cenarização climática, avaliação de impactes e medidas*. <http://62.28.241.119/handle/20.500.11960/2287>
- Oliveira de Sousa, A., & Marques da Silva, J. (2011). *Fundamentos Teóricos de*

*Deteção Remota.*

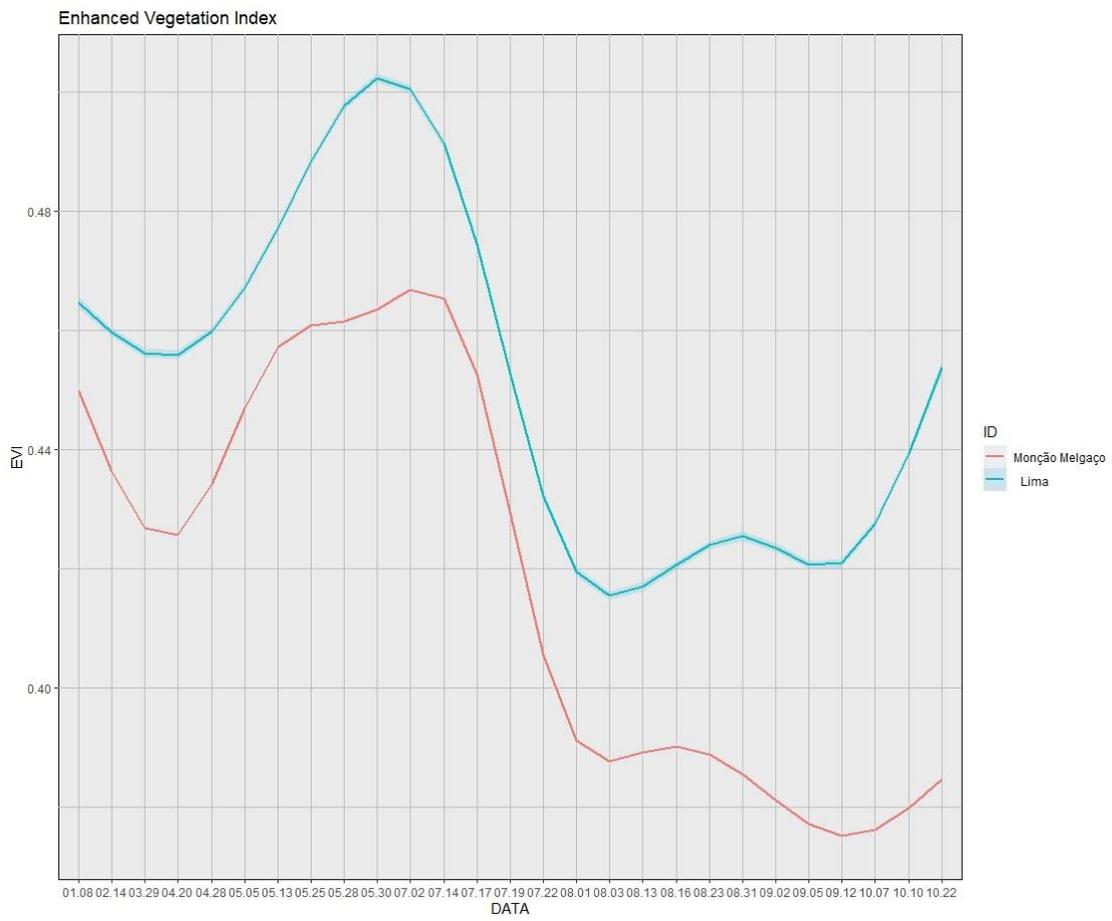
- Oliver, Y. M., Robertson, M. J., & Wong, M. T. F. (2010). Integrating farmer knowledge, precision agriculture tools, and crop simulation modelling to evaluate management options for poor-performing patches in cropping fields. *European Journal of Agronomy*, 32(1), 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.05.002>
- Ortega, R., & Esser, A. (2002). Viticultura de Precisión: Fundamentos, aplicaciones y oportunidades en Chile. *Pontificia Universidad Católica de Chile*, 1–10.
- PRATS-LINÀS, M. T., & MARSAL, J. (2017). *VARIACIÓN DE LA FENOLOGÍA, POSIBLES EFECTOS SOBRE EL CULTIVO DE LA VID CHARDONNAY FRENTE LA CLIMATOLOGÍA CAMBIANTE Y SUS EFECTOS SOBRE LA DEMANDA HÍDRICA*. 1–6. <https://doi.org/10.25028/cnriegos.2017.a19>
- Priori, S., Pellegrini, S., Perria, R., Puccioni, S., Storchi, P., Valboa, G., & Costantini, E. A. C. (2019). Scale effect of terroir under three contrasting vintages in the Chianti Classico area (Tuscany, Italy). *Geoderma*, 334(January 2018), 99–112. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.048>
- Ranghetti, L., Boschetti, M., Nutini, F., & Busetto, L. (2020). “sen2r”: An R toolbox for automatically downloading and preprocessing Sentinel-2 satellite data. *Computers and Geosciences*, 139, 104473. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2020.104473>
- Read, J. M., & Torrado, M. (2009). Remote Sensing. In *International Encyclopedia of Human Geography* (pp. 335–346). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-008044910-4.00508-3>
- Silva, R., (2018). Definição de unidades homogêneas agroecológicas vitivinícolas num contexto de alterações climáticas. Escola Superior Agrária, Ponte de Lima.
- Rodrigues, A., Marcal, A. R. S., & Cunha, M. (2013). Monitoring vegetation dynamics inferred by satellite data using the pheno sat tool. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51(4), 2096–2104. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2012.2223475>
- Roitsch, T., Cabrera-Bosquet, L., Fournier, A., Ghamkhar, K., Jiménez-Berni, J., Pinto, F., & Ober, E. S. (2019). Review: New sensors and data-driven approaches—A path to next generation phenomics. *Plant Science*, 282, 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.01.011>

- Seelan, S. K., Laguette, S., Casady, G. M., & Seielstad, G. A. (2003). Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment*, 88(1–2), 157–169.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.04.007>
- Shen, M., Piao, S., Dorji, T., Liu, Q., Cong, N., Chen, X., An, S., Wang, S., Wang, T., & Zhang, G. (2015). Plant phenological responses to climate change on the Tibetan Plateau: research status and challenges. *National Science Review*, 2(4), 454–467.  
<https://doi.org/10.1093/nsr/nwv058>
- Song, X.-P., Huang, W., Hansen, M. C., & Potapov, P. (2021). An evaluation of Landsat, Sentinel-2, Sentinel-1 and MODIS data for crop type mapping. *Science of Remote Sensing*, 3, 100018. <https://doi.org/10.1016/J.SRS.2021.100018>
- Spisni, A., Emilia-Romagna, A., & Marletto, V. (n.d.). *Indici vegetazionali da satellite per il monitoraggio in continuo del territorio*. Retrieved January 12, 2021, from <https://www.researchgate.net/publication/257041587>
- Teresa Mota. (2010). *CASTAS „AUTORIZADAS“ para a produção de Vinho Verde: actualização sinonímica e avaliação enológica em 2010*.
- Van Leeuwen, C, Friant, P., Jaeck, M.-E., Kuhn, S., & Laviolle, O. (n.d.). *HIERARCHY OF THE ROLE OF CLIMATE, SOIL AND CULTIVAR IN TERROIR EFFECT CAN LARGELY BE EXPLAINED BY VINE WATER STATUS*.
- Van Leeuwen, Cornelis, & Bois, B. (2018). *Update in unified terroir zoning methodologies*. 50, 1044. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185001044>
- Van Leeuwen, Cornelis, Roby, J.-P., & Resseguier, L. De. (n.d.). *UNDERSTANDING AND MANAGING WINE PRODUCTION FROM DIFFERENT TERROIRS*.
- Van Leeuwen, Cornelis, & Seguin, G. (2006). The concept of terroir in viticulture. In *Journal of Wine Research* (Vol. 17, Issue 1, pp. 1–10). Routledge .  
<https://doi.org/10.1080/09571260600633135>
- Vaudour, E., Cerovic, Z. G., Ebengo, D. M., & Latouche, G. (2018). Predicting key agronomic soil properties with UV-Vis fluorescence measurements combined with Vis-NIR-SWIR reflectance spectroscopy: A farm-scale study in a mediterranean viticultural agroecosystem. *Sensors (Switzerland)*, 18(4), 1–22.  
<https://doi.org/10.3390/s18041157>

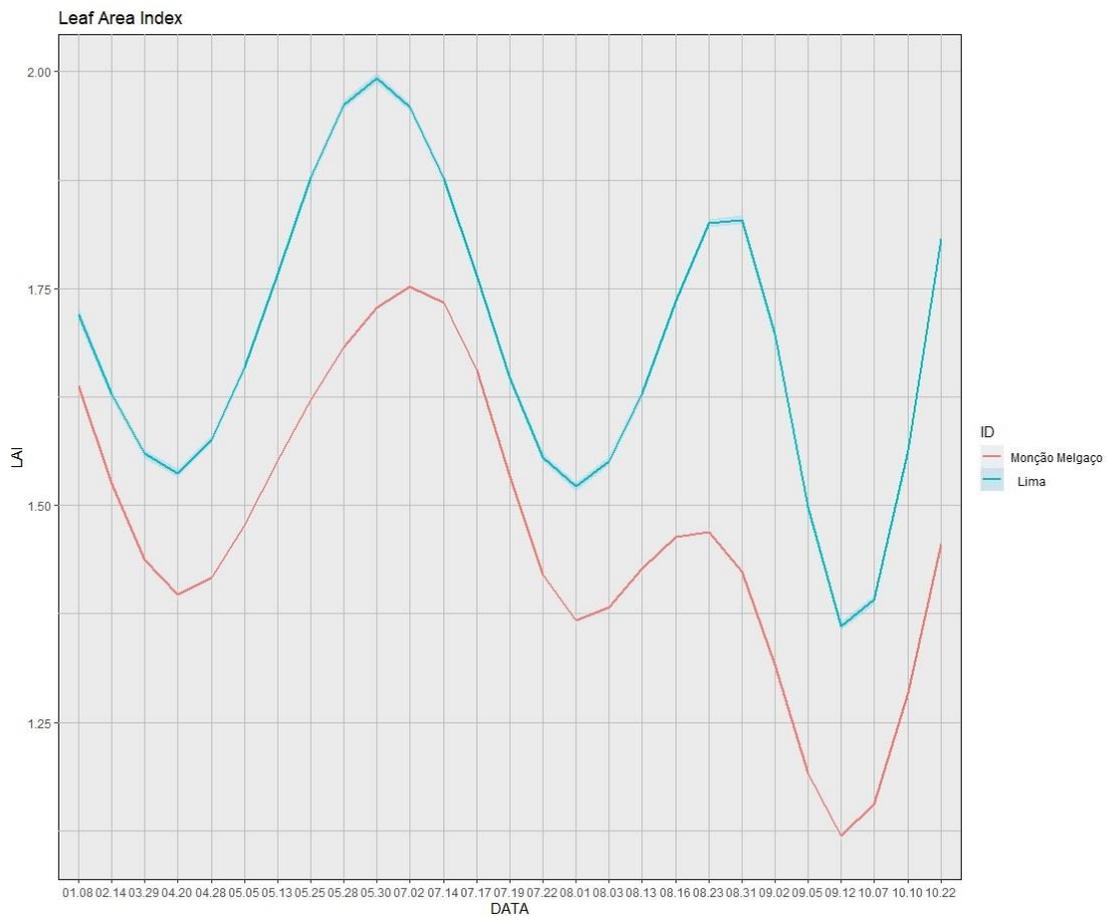
- Vivier, M. A., & Pretorius, I. S. (2002). Genetically tailored grapevines for the wine industry. *Trends in Biotechnology*, 20(11), 472–478.  
[https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(02\)02058-9](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(02)02058-9)
- Xavier, J. M. N. (2016). *Análise E Previsão De Séries Temporais Com Modelos Arima E Análise Espectral Singular*. 102. WWW.UAB.PT
- Xin, Q., Li, J., Li, Z., Li, Y., & Zhou, X. (2020). Evaluations and comparisons of rule-based and machine-learning-based methods to retrieve satellite-based vegetation phenology using MODIS and USA National Phenology Network data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 93, 102189. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102189>
- Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. In *Journal of Sensors* (Vol. 2017). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>
- Yang, L., He, X., Shen, F., Zhou, C., Zhu, A. X., Gao, B., Chen, Z., & Li, M. (2020). Improving prediction of soil organic carbon content in croplands using phenological parameters extracted from NDVI time series data. *Soil and Tillage Research*, 196, 104465. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104465>
- Zhang, C., Marzougui, A., & Sankaran, S. (2020). High-resolution satellite imagery applications in crop phenotyping: An overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105584. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105584>
- Zhou, M., Ma, X., Wang, K., Cheng, T., Tian, Y., Wang, J., Zhu, Y., Hu, Y., Niu, Q., Gui, L., Yue, C., & Yao, X. (2020). Detection of phenology using an improved shape model on time-series vegetation index in wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105398. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105398>

# Anexos

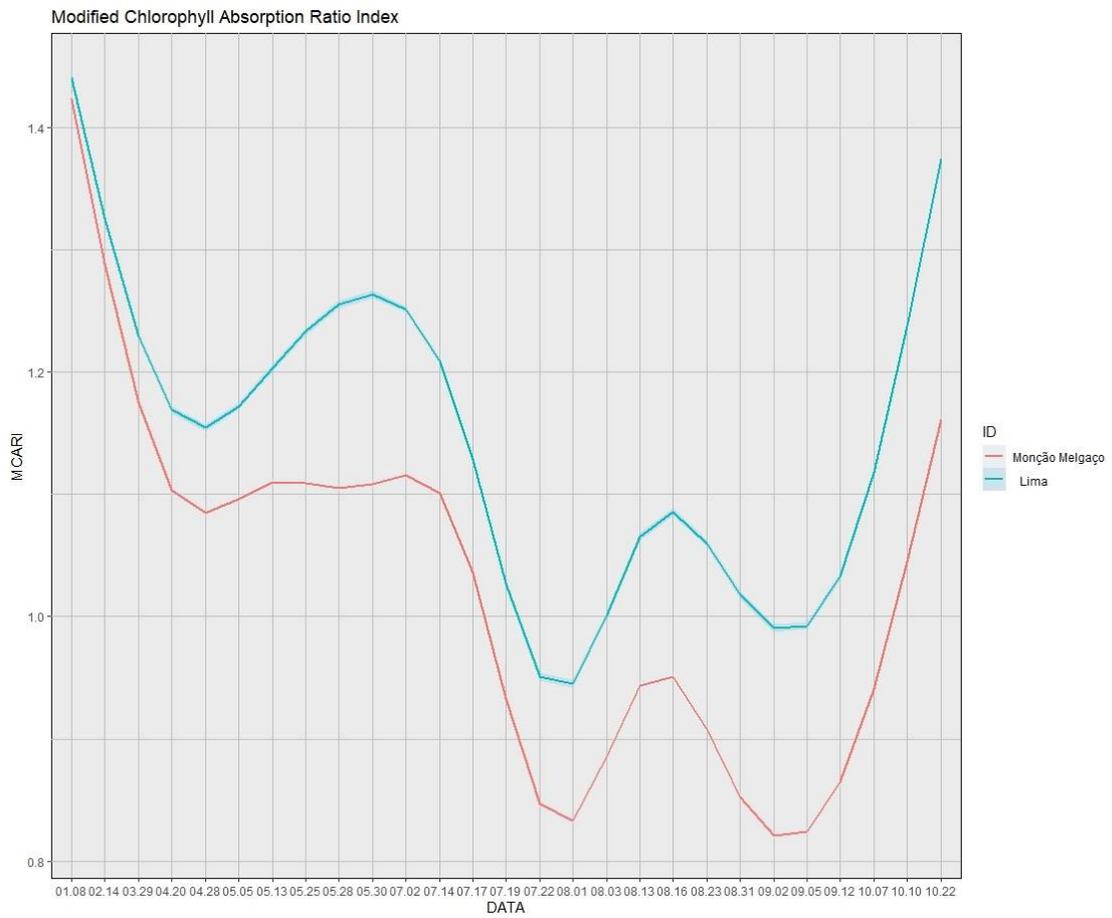
# Anexo I



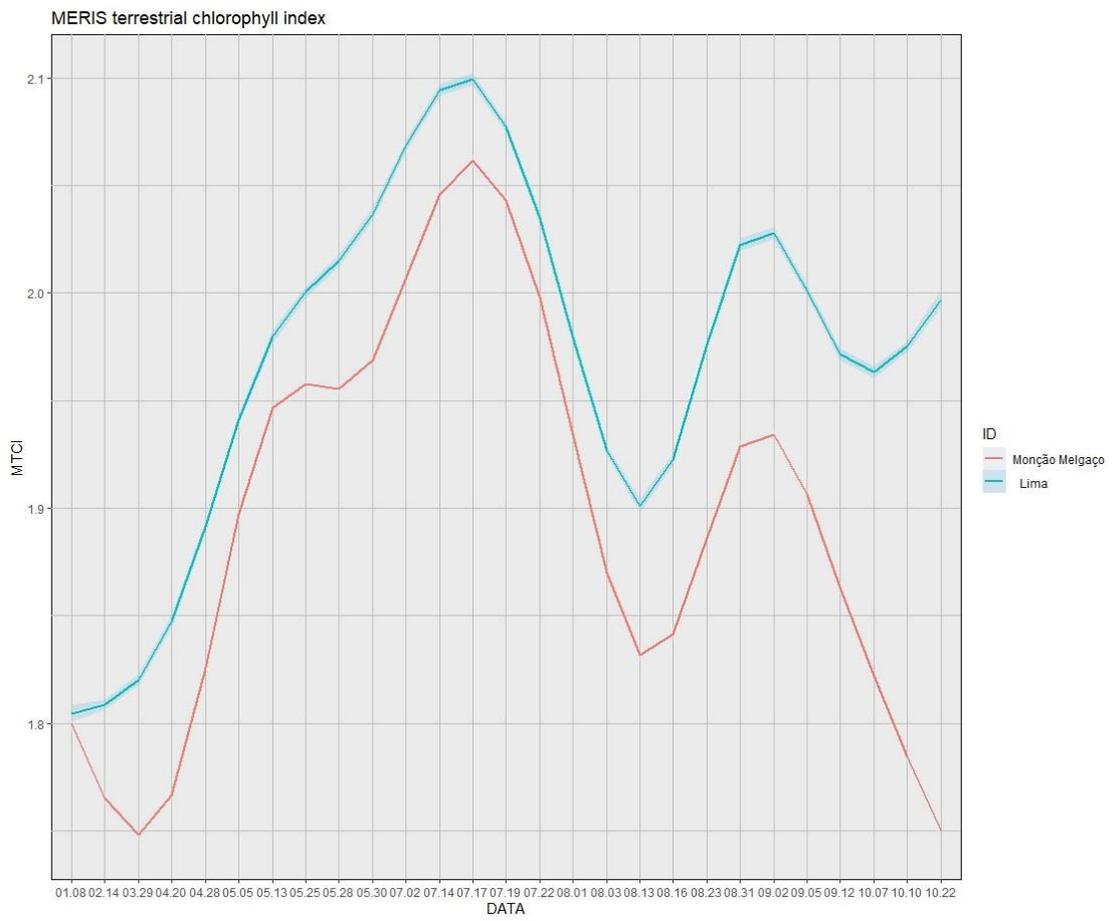
## Anexo II



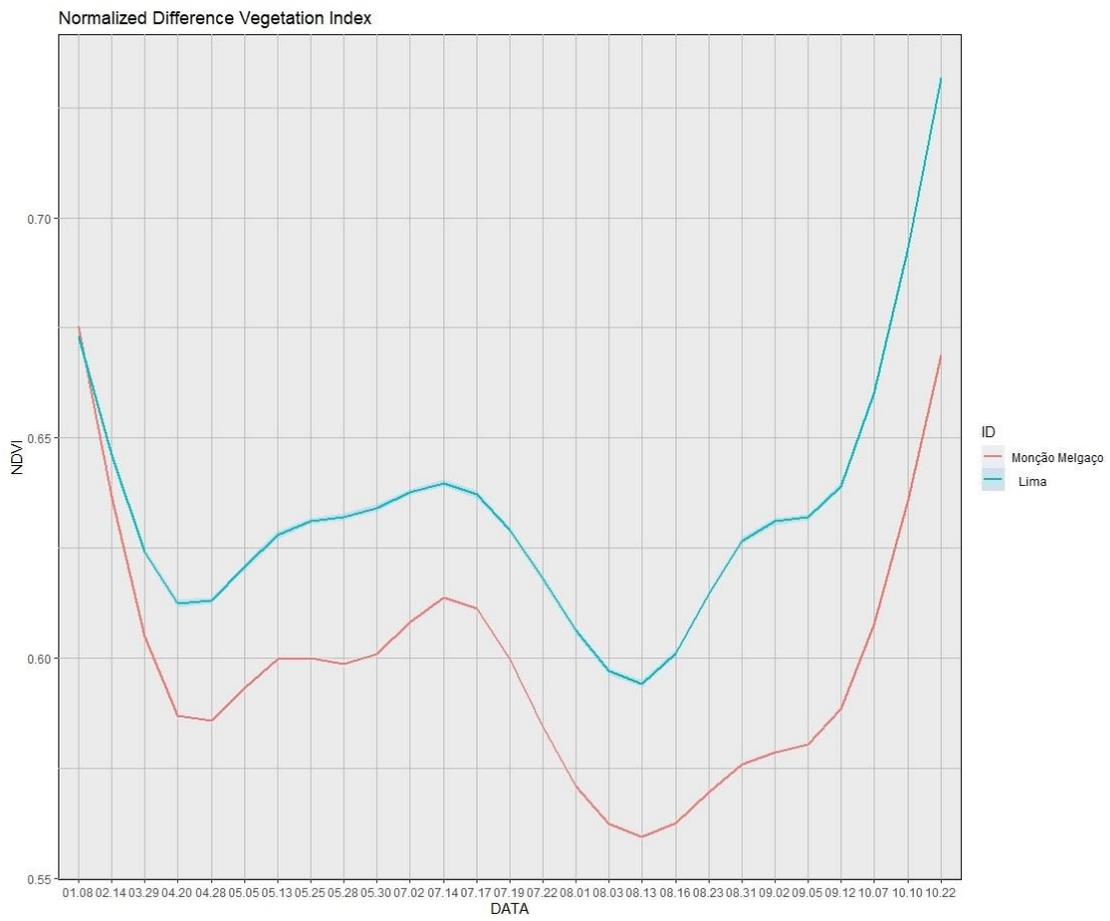
### Anexo III



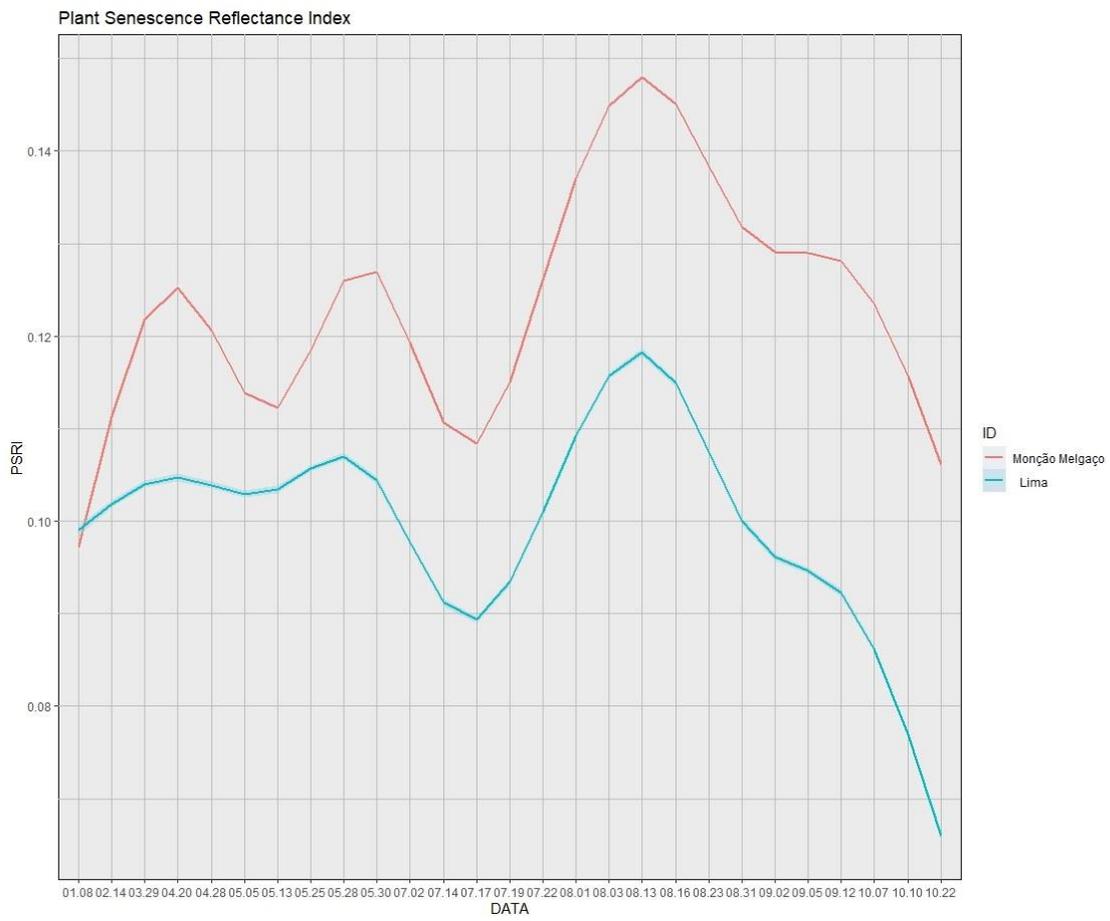
## Anexo IV



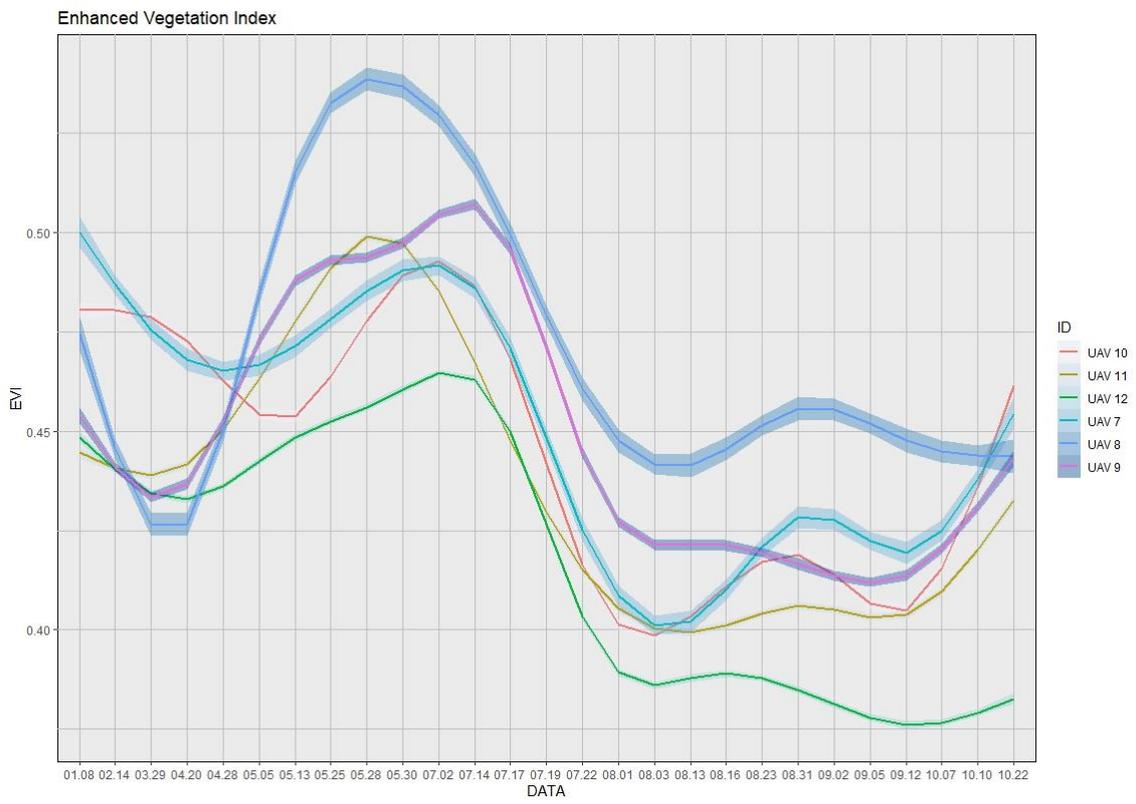
## Anexo V



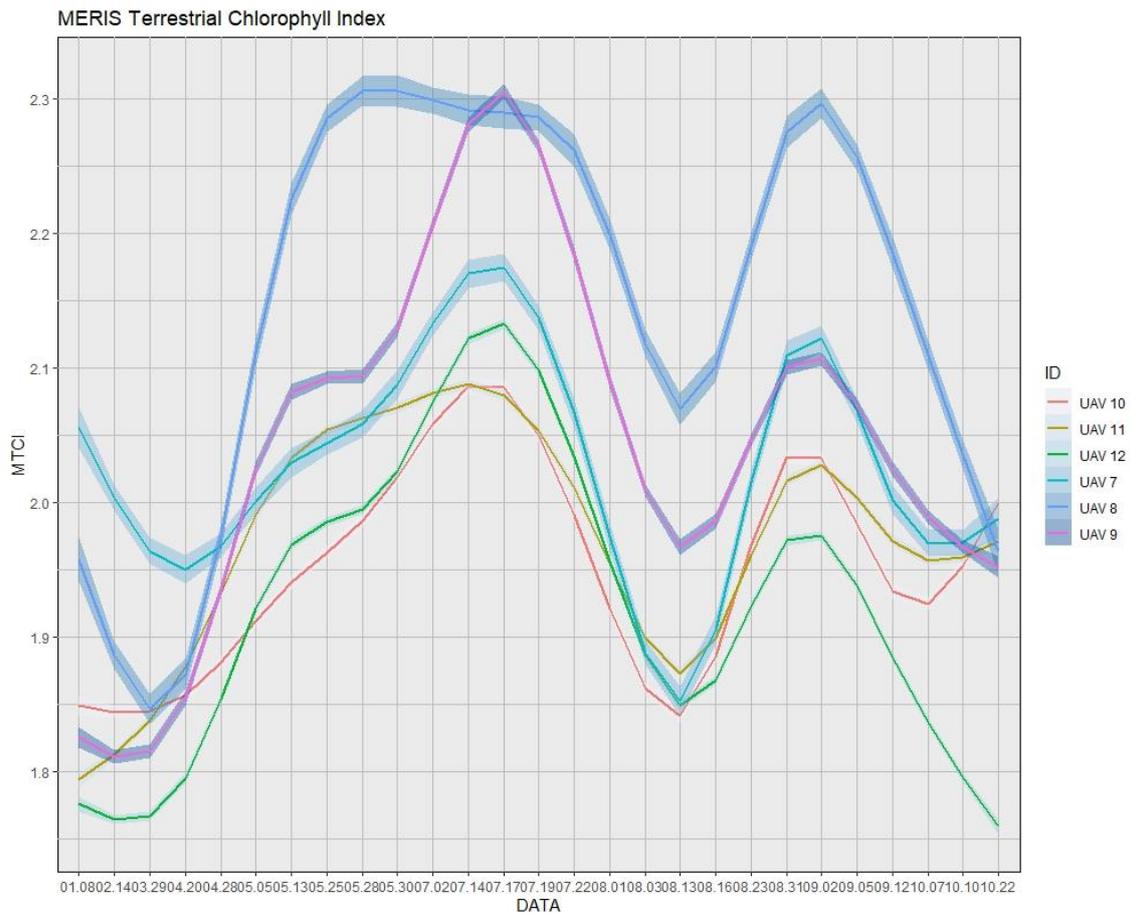
## Anexo VI



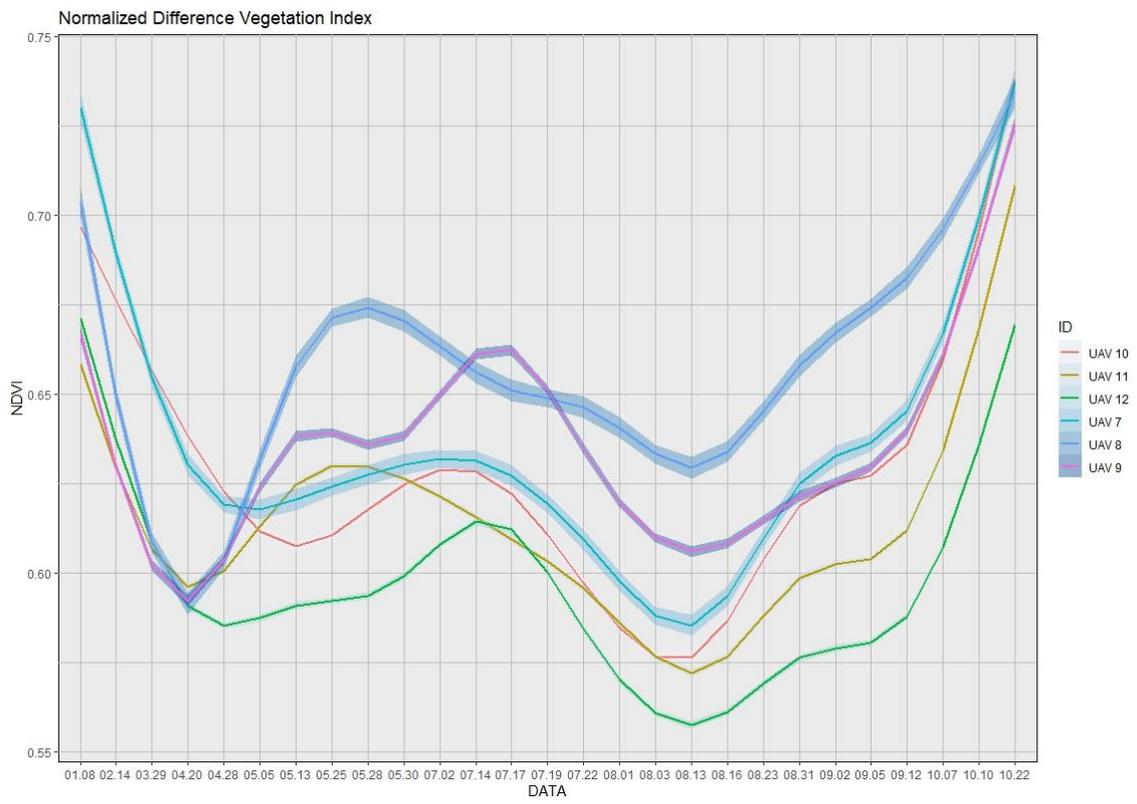
## Anexo VII



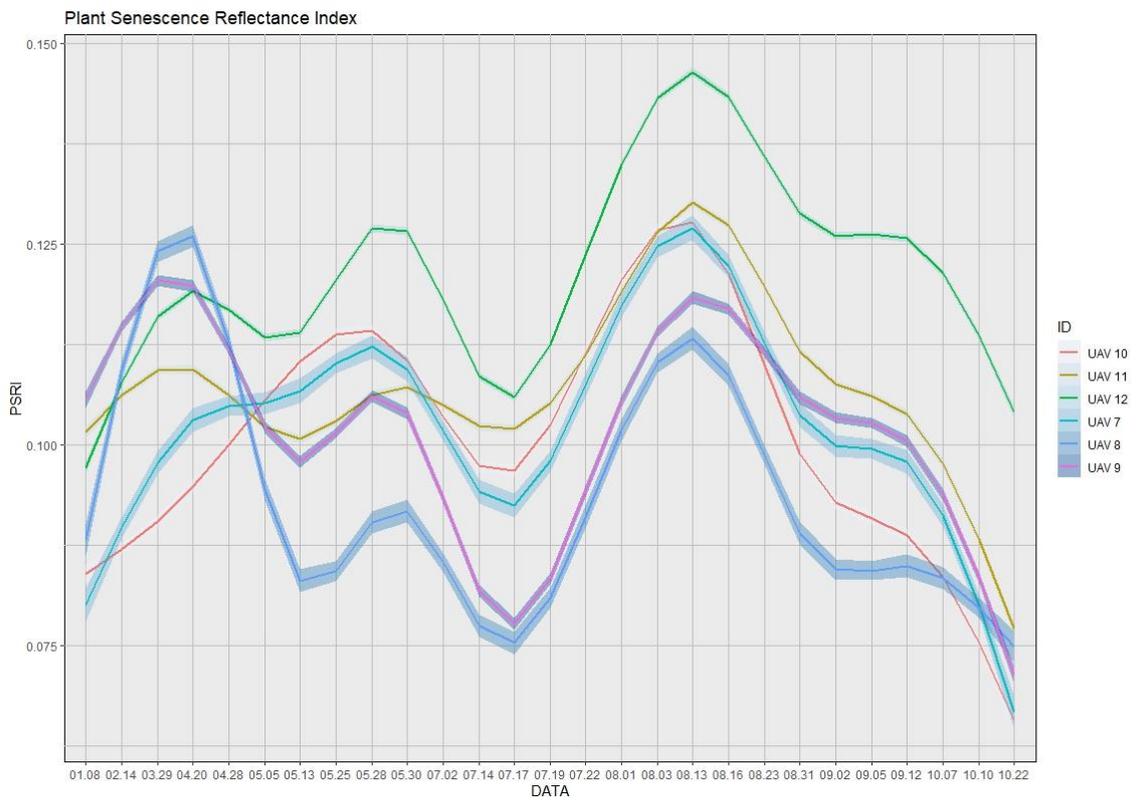
# Anexo VIII



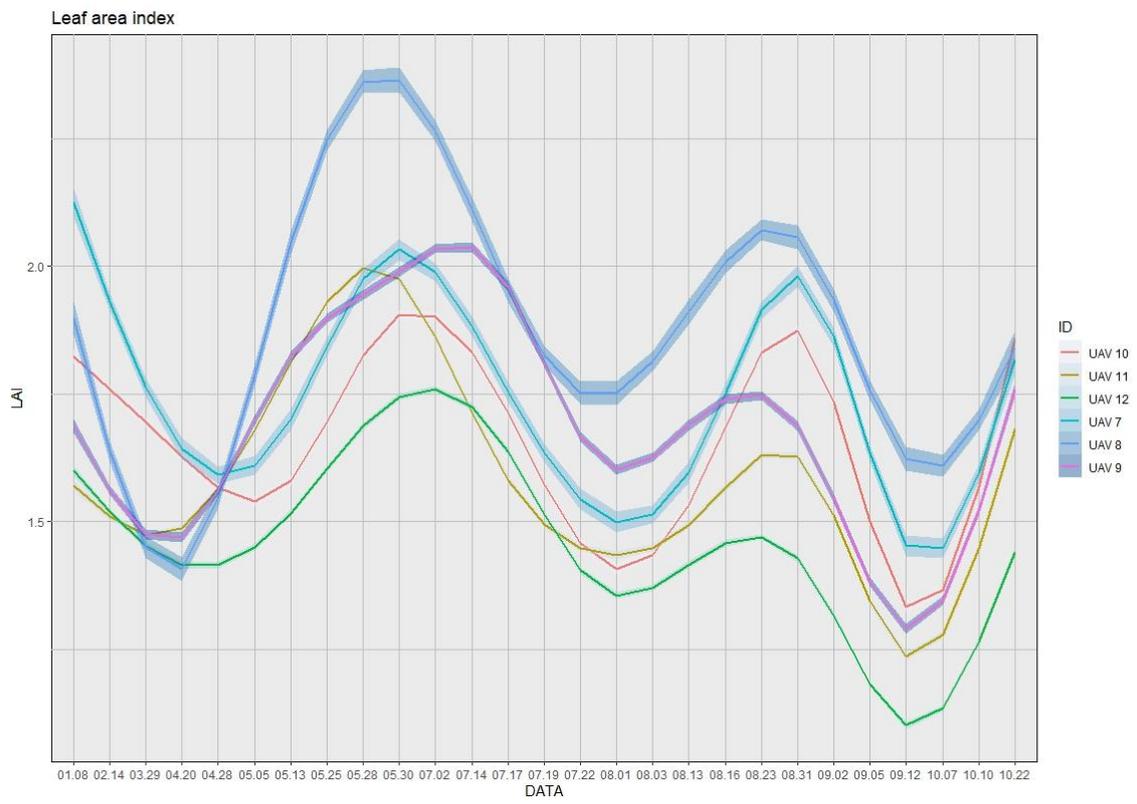
# Anexo IX



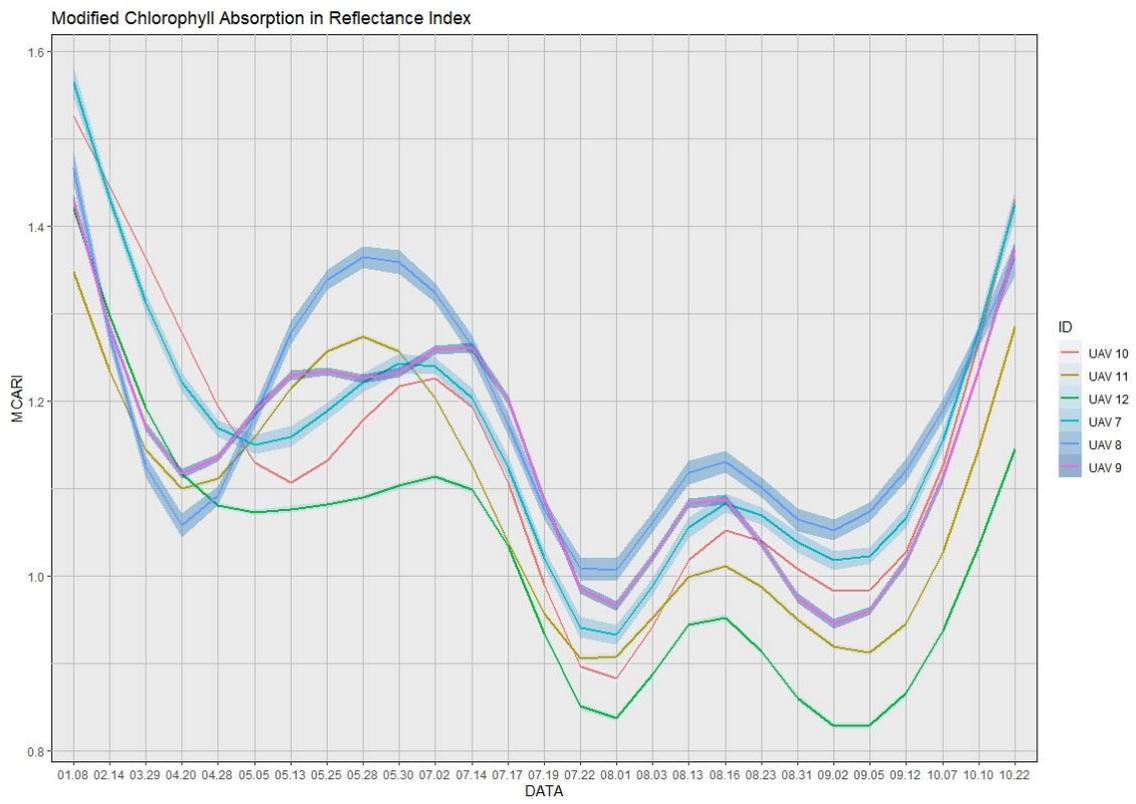
# Anexo X



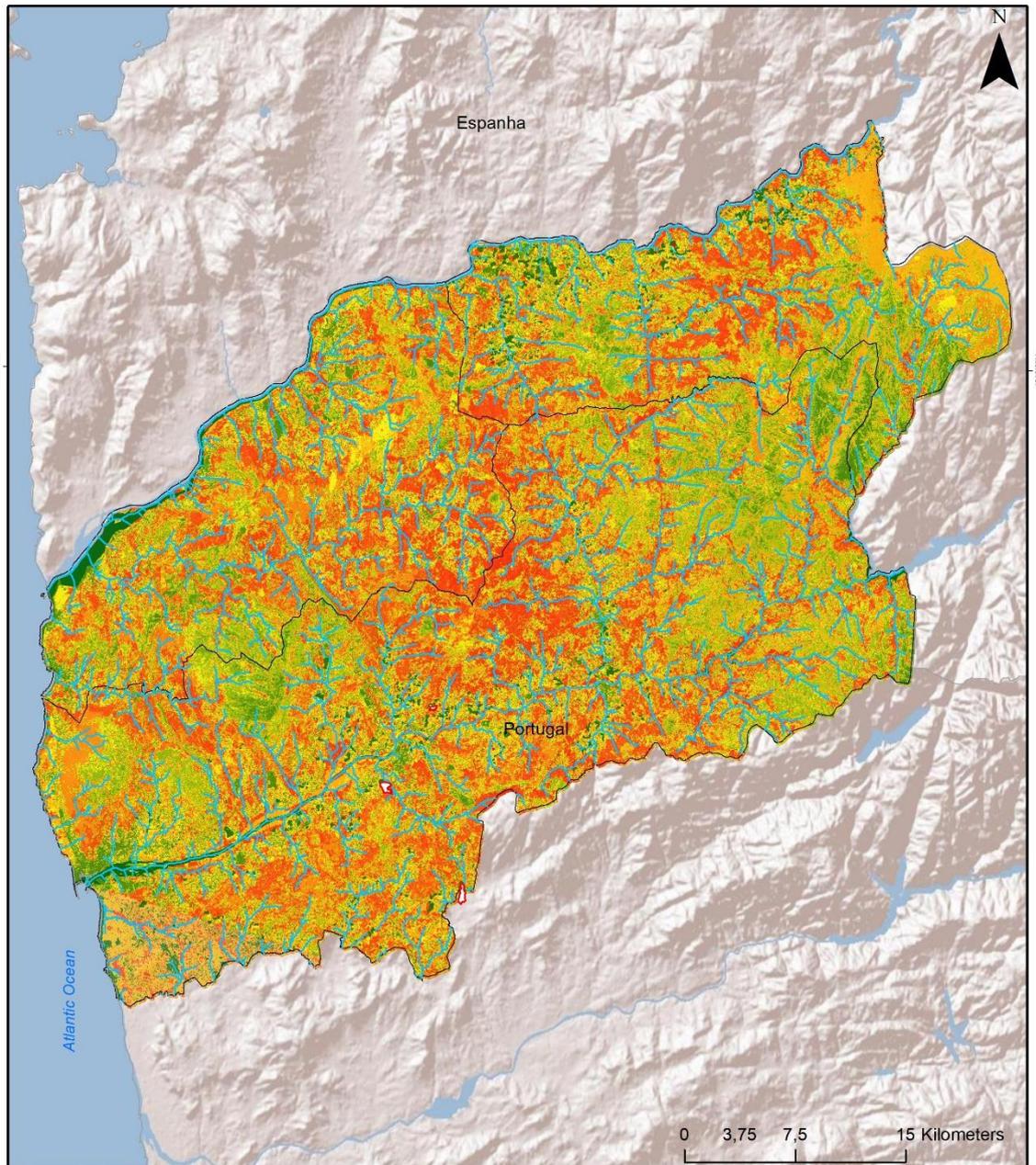
# Anexo XI



## Anexo XII



# Anexo XIII



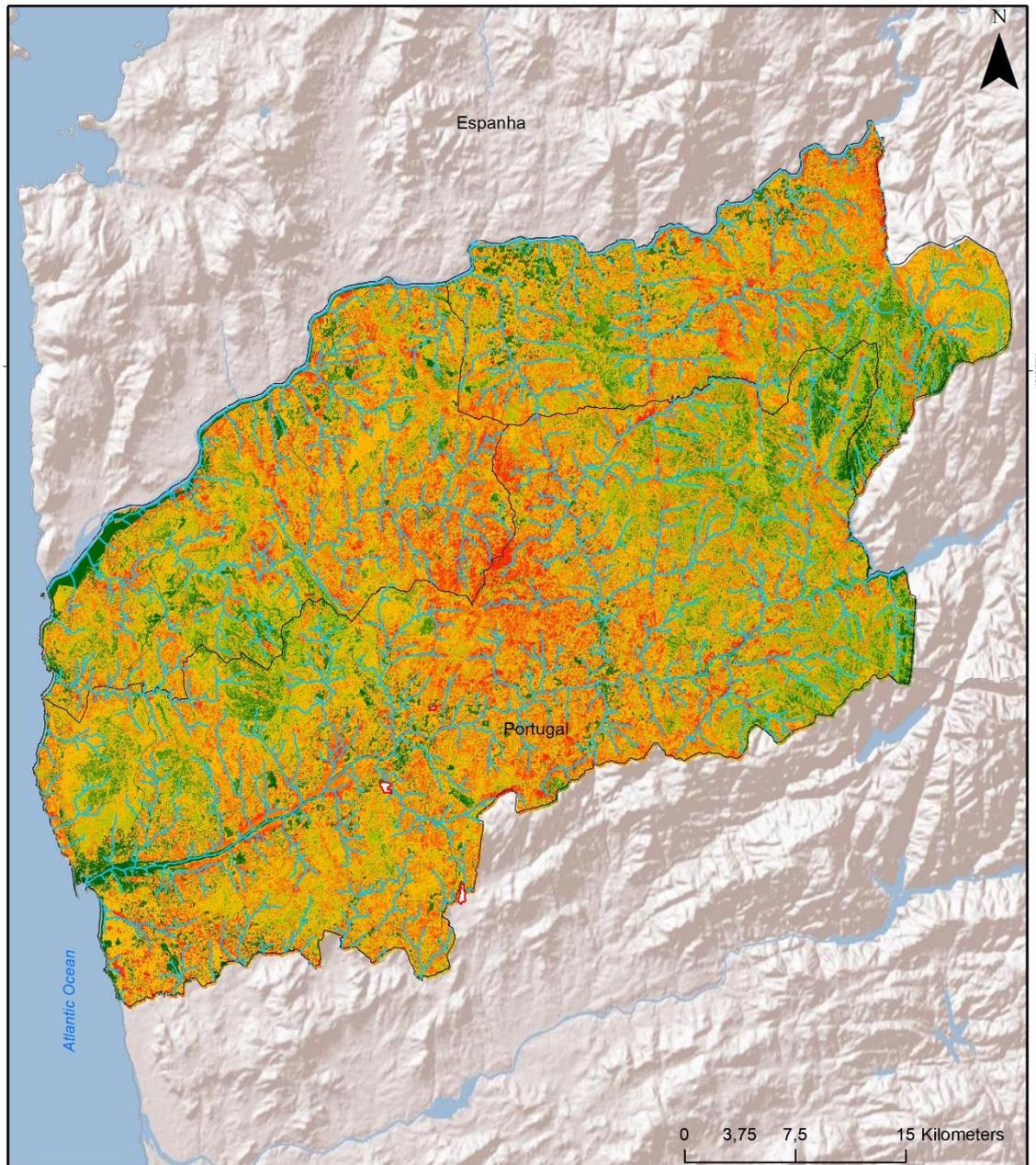
## Legenda

-  Limite administrativo Península Ibérica
-  Subregiões Alto Minho
- Linhas de água
  -  Principais
  -  Secundárias
-  Áreas de Vinha Seleccionadas
-  Áreas de vinha

## ISOCluster NDVI

-  1
-  2
-  3
-  4
-  5
-  6
-  7

Anexo XIV



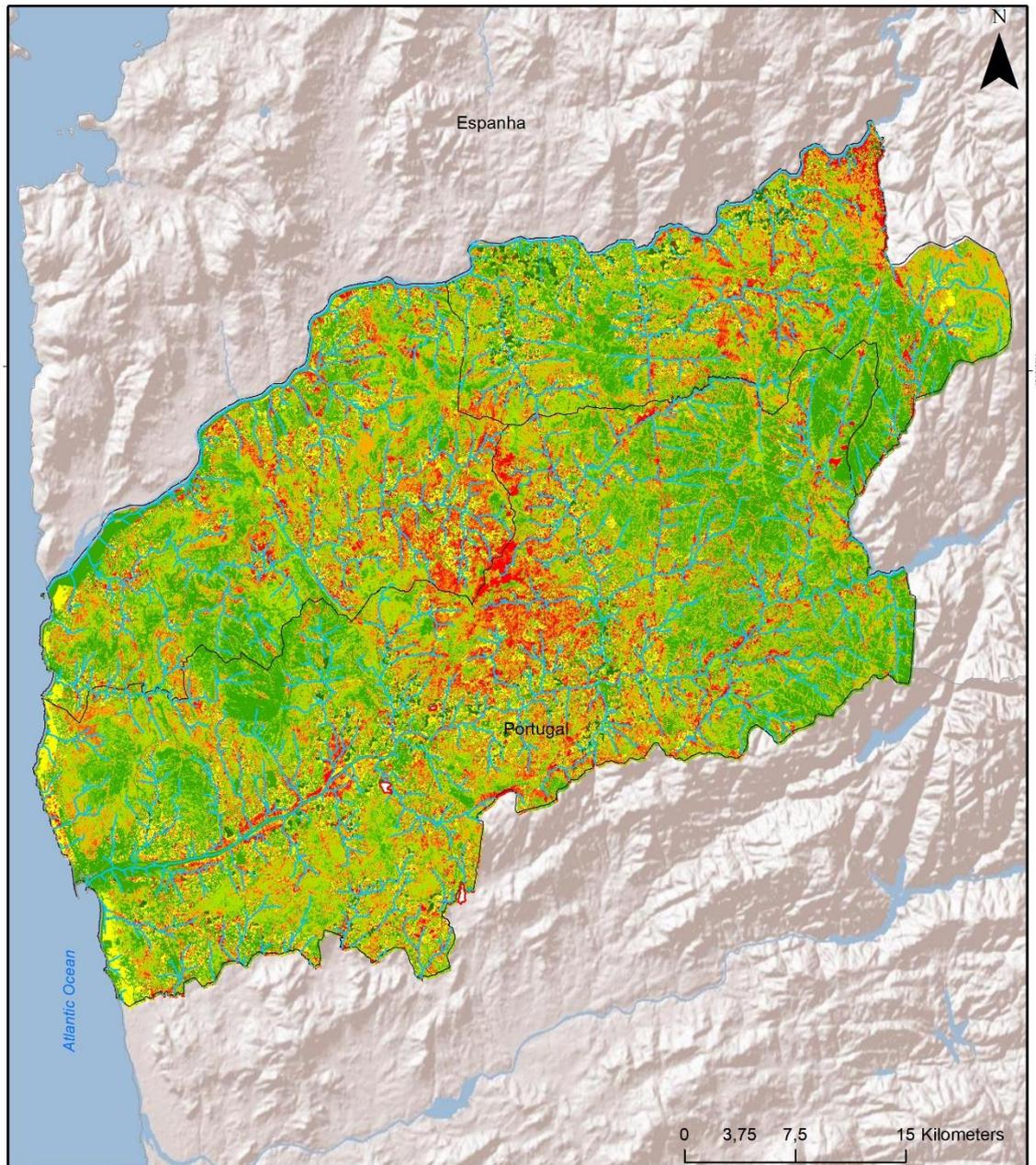
**Legenda**

-  Limite administrativo Península Ibérica
-  Subregiões Alto Minho
- Linhas de água
  -  Principais
  -  Secundárias
-  Áreas de Vinha Selecionadas
-  Áreas de vinha

**ISOCluster EVI**

-  1
-  2
-  3
-  4
-  5
-  6
-  7

Anexo XV



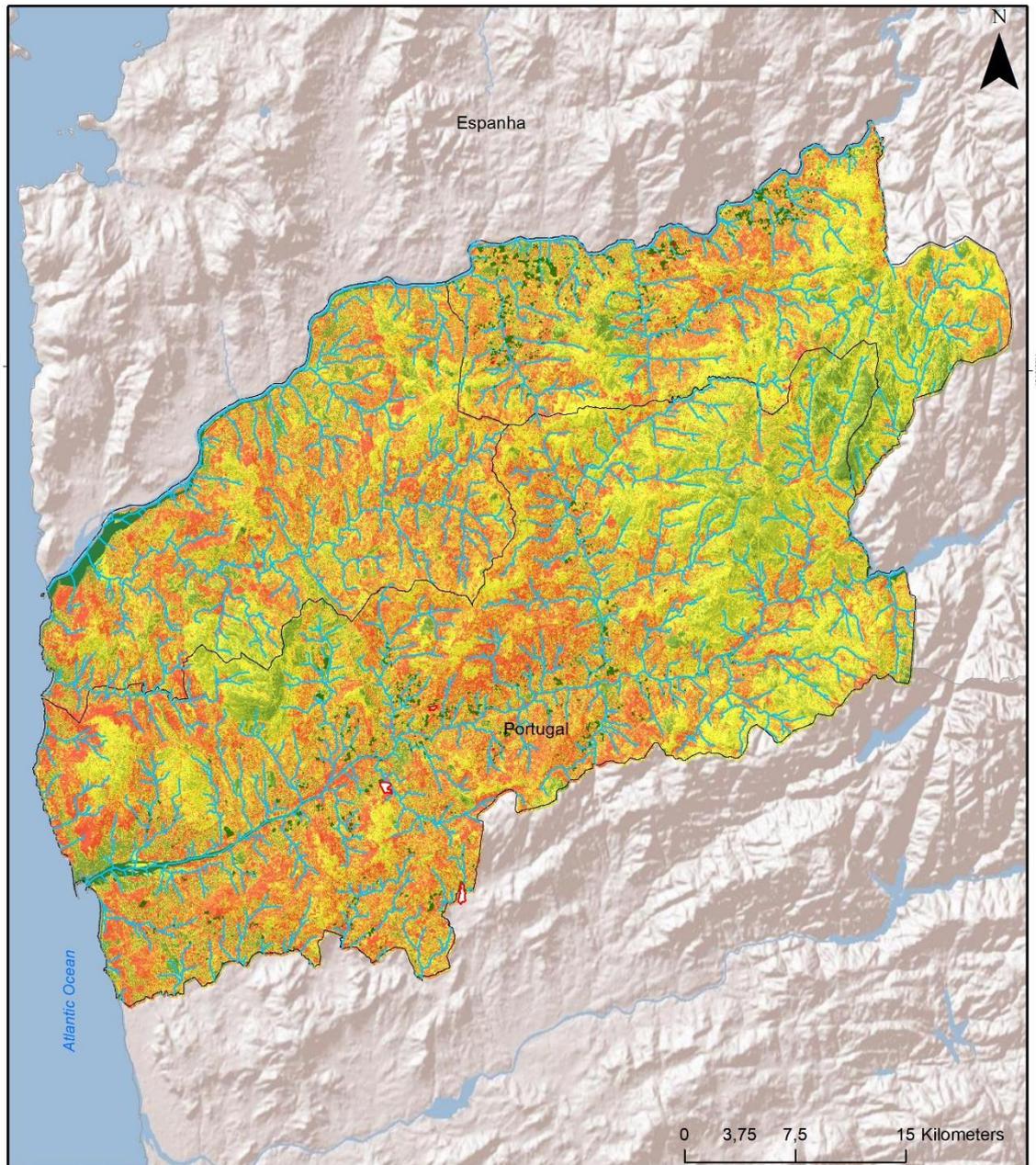
**Legenda**

- Limite administrativo Península Ibérica
- Subregiões Alto Minho
- Linhas de água
  - Principais
  - Secundárias
- Áreas de Vinha Seleccionadas
- Áreas de vinha

**ISOCluster LAI**

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

# Anexo XVI



### Legenda

-  Limite administrativo Península Ibérica
-  Subregiões Alto Minho
- Linhas de água
  -  Principais
  -  Secundárias
-  Áreas de Vinha Selecionadas
-  Áreas de vinha

### ISOCluster MCARI

-  1
-  2
-  3
-  4
-  5
-  6
-  7