



João Cravidão Caleiro

Monitorização do ciclo produtivo de uvas Fernão Pires
biofortificadas em zinco com recurso a imagens multiespectrais –
Estudo de um caso

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologias de
Produção e Transformação Agro-Industrial

Presidente: Professora Doutora Manuela Malhado Simões Ribeiro, FCT-UNL

Arguente: Professor Doutor Fernando José Cebola Lidon, FCT-UNL

Vogal: Professora Doutora Maria da Graça Azevedo de Brito, FCT-UNL

Monitorização do ciclo produtivo de uvas Fernão Pires biofortificadas em zinco com recurso a imagens multiespectrais – Estudo de um caso

Copyright©João Cravidão Caleiro, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Antes demais, quero deixar um agradecimento muito especial ao Professor Dr. Fernando José Cebola Lidon, por todo o apoio concedido e total disponibilidade que mostrou sempre desde o primeiro ao último dia, não só a nível académico, como a nível profissional. Gostaria também de expressar o meu agradecimento ao Professor Dr. José Carlos Kullberg e à Professora Maria da Graça Brito pelo empenho e apoio prestado durante a elaboração desta dissertação, no âmbito do desenvolvimento da Agricultura de Precisão. Gratifico-os pelo acompanhamento dado ao longo destes anos, a mim e às minhas colegas, não só a nível do mestrado, como a todo o período de investigação desenvolvido de aproximadamente 2 anos, não esquecendo em particular as inúmeras saídas efectuadas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa em direcção aos campos dos projectos de investigação em que recordo com saudade os muito bons momentos vividos. Acredito que com os conhecimentos adquiridos no âmbito do mestrado, quer em Transformação Agroindustrial aprofundámos o nosso saber, com o intuito de projetarmos o nosso melhor, permitindo assim um futuro mais ambicioso com a perspectiva de novas oportunidades de novas oportunidades ou portas para projectos desafiantes. Aqui fica um profundo e sentido agradecimento para todos os que me apoiaram e comigo sem empenharam ao longo deste percurso académico e que jamais esquecerei.

Um muito obrigado.

João Caleiro

RESUMO

O paradigma da agricultura de precisão está a mudar radicalmente. De facto, com o avanço do desenvolvimento tecnológico a informação obtida é cada vez mais real e precisa, contribuindo decididamente para a tomada de melhores decisões. Neste enquadramento, no estudo desenvolve-se um sistema pragmático de monitorização da vinha Lau Velho / Palmela - Portugal. Esta foi submetida a um sistema de biofortificação de uvas Fernão Pires em zinco (mediante pulverização com óxido ou sulfato de zinco), para produção de vinho monocasta. Utilizaram-se sensores de medição altimétrica em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) e sincronizados por GPS, Sistema Global de Posicionamento, (por apresentarem um elevado grau de precisão geométrica e altimétrica). Efetuou-se uma caracterização de declives e a aptidão para infiltração ou drenagem de água e a caracterização de índices de vegetação e interpolação com teores de elementos minerais. Conclui-se que o sistema de monitorização aplicado na vinha com a casta Fernão Pires poderá constituir uma ferramenta com elevado potencial para otimização da sua produção.

Palavras-Chave: Biofortificação; Agricultura de precisão; Deteção remota; Processamento de imagem; Índices de vegetação.

ABSTRACT

The paradigm of smart farming is changing dramatically. In fact, with technological development, the information obtained is increasingly real and accurate, contributing decisively to decision making. In this context, this study develops a pragmatic monitoring system for the Lau Velho / Palmela - Portugal vineyard, submitted to a zinc biofortification system of Fernão Pires grapes (by spraying with zinc oxide or sulphate), to produce single-vine wine. Altimetric measurement sensors were used in unmanned aerial vehicles (UAV) and synchronized by GPS (for presenting a high degree of geometric and altimetric precision). Characterization of slopes and the ability to infiltrate or drain water and characterize indices of vegetation and interpolation with levels of mineral elements were carried out. It is concluded that the monitoring system applied in the vineyard with the Fernão Pires variety may be a tool with high potential for optimizing production.

Keywords: Biofortification; Precision Agriculture; Remote Sensing; Image Processing; Vegetation Indexes

LISTA DE CONTEUDOS

AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO.....	V
ABSTRACT.....	VII
ÍNDICE DE TABELAS.....	XII
INDICE DE FIGURAS.....	XV
1.CONTEXTUALIZAÇÃO E OBJECTIVOS.....	1
2.INTRODUÇÃO.....	2
2.1.CARACTERIZAÇÃO DO CAMPO DE UVA BIOFORTIFICADA.....	4
3.FUNDAMENTOS TEÓRICOS E METODOLOGIA.....	8
3.1.COMPORTAMENTO ESPETRAL DOS ELEMENTOS DA SUPERFÍCIE TERRESTRE.....	11
3.2.ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	11
3.3.METODOLOGIA GERAL PARA A AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO POR BIOFORTIFICAÇÃO.....	15
3.3.1.AQUISIÇÃO DE DADOS POR MÉTODOS INDIRETOS (DE DETECÇÃO REMOTA).....	17
3.3.1.1 ETAPA 1- AQUISIÇÃO DE IMAGENS DE RGB E MULTIESPTRAIS COM VANT.....	18
3.3.1.2 PROCESSAMENTO DE DADOS PARA A OBTENÇÃO PARA OBTENÇÃO DOS MAPAS <i>NDVI</i> E <i>NDRE</i>	21

3.3.2 AQUISIÇÃO DE DADOS POR MÉTODOS DIRETOS (AMOSTRAGEM) DE SOLOS E VEGETAÇÃO.....	22
4.APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO.....	24
4.1.RECOLHA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS.....	24
4.2.ESTIMAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO.....	29
4.3.AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS FOLHAS E DAS PLANTAS, POR FIADA.....	32
4.4.INTERPRETAÇÃO DOS MAPAS DE <i>NDVI</i> COM BASE NOS RESULTADOS DAS PLANTAS E DOS SOLOS.....	32
4.4.1.COMPARAÇÃO DOS MAPAS DE <i>NDVI</i> COM A COMPOSIÇÃO DAS PLANTAS.....	32
4.4.2.COMPARAÇÃO DOS MAPAS DE <i>NDVI</i> COM AS PROPRIEDADES ESTIMADAS DE CADA SOLO.....	39
5.CONCLUSÃO.....	43
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1: DESCRIÇÃO DAS CLASSES DE DECLIVE PARA AS SUPERFÍCIES DE DRENAGEM.....	26
TABELA 2: APTIDÃO PARA A ACUMULAÇÃO VS DRENAGEM DE ÁGUAS SUPERFICIAIS DAS PARCELAS DE VINHA.....	27
TABELA 3: PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS.....	31
TABELA 4: MÉDIAS DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS NA ESCALA CIELAB	31
TABELA 5: QUANTIFICAÇÃO DE ELEMENTOS MINERAIS CONSTITUINTES DO SOLO.....	32
TABELA 6: PRINCIPAIS DADOS INTERPRETATIVOS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO (PARCELA DO LAU VELHO) PALMELA.....	4
FIGURA 2: TEMPERATURAS MÁXIMA E MÍNIMA DIÁRIA REGISTADA DURANTE O ANO DE 2018 (ESTAÇÃO METEREOLÓGICA DA BASE AÉREA DO MONTIJO.....	5
FIGURA 3: HUMIDADE MÁXIMA E MÍNIMA, REGISTADA DURANTE O ANO DE 2018(ESTAÇÃO METEREOLÓGICA DA BASE AÉREA DO MONTIJO) ASSINALAM-SE OS DIAS DE APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS DOS TRATAMENTO E COLHEITA.....	6
FIGURA 4: PRECIPITAÇÃO ACUMULADA DURANTE O ANO DE 2018 (ESTAÇÃO METEREOLÓGICA DA BASE AEREA DO MONTIJO). ASSINALAM-SE AINDA OS DIAS DE APLICAÇÃO DOS TRATAMENTO E COLHEITAS EM TODOS OS CAMPOS EXPERIMENTAIS.....	6
FIGURA 5: CURVAS LABORATORIAIS DO COMPORTAMENTO ESPETRAL DAS PRINCIAIS COBERTURAS(SOLO; VEGETAÇÃO E ÁGUA.....	9
FIGURA 6: CURVAS DE REFLECTÂNCIA PARA A VEGETAÇÃO EM ESTADO SAUDÁVEL E EM ESTADO DE STRESS.....	11
FIGURA 7: INTERPRETAÇÃO DE VALORES DE <i>NDVI</i>	13
FIGURA 8: METODOLOGIA GERAL PARA A AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO POR BIOFORTIFICAÇÃO.....	16
FIGURA 9: METODOLOGIA DE AQUISIÇÃO DE DADOS POR DETECÇÃO REMOTA.....	17
FIGURA 10: ILUSTRAÇÃO DO PLANO DE VOO, POR DRONE2MAP.....	19

FIGURA 11: PARÂMETROS E ESPECIFICAÇÕES DE VOO COM ILUSTRAÇÃO DA INTERFACE DO SOFTWARE EM GROUND STATION PRO.....	20
FIGURA 12: VANT PHANTOM 4 PRO, UTILIZADO PARA A RECOLHA DE DADOS NA PARCELA DO LAU VELHO.....	20
FIGURA 13: CÂMARA RGB, PHANTOM (À ESQUERDA) E CÂMARA MULTIESPECTRAL PARROT SEQUIOA (À DIREITA).....	21
FIGURA 14: ORTOFOTOMAPA DO CAMPO EXPERIMENTAL LAU VELHO.....	24
FIGURA 15: MODELO DIGITAL DO CAMPO EXPERIMENTAL LAU VELHO/DTM, 2,5D).....	25
FIGURA 16: CLASSES DE DECLIVE E ÁREAS COM APTIDÃO PARA A INFILTRAÇÃO DE ÁGUA SUPERFICIAIS.....	26
FIGURA 17 : MAPA DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO (<i>NDVI</i> - COR VERDE – VEGETAÇÃO; VERMELHO E AMARELO AUSÊNCIA DE VEGETAÇÃO) NO CAMPO EXPERIMENTAL LAU VELHO.....	28
FIGURA 18: MAPA DA REDE DE DRENAGEM SUPERFICIAL (ORDEM DAS LINHAS DE ÁGUA SEGUNDO STRAHLER) EM LAU VELHO (EM 27.07.2018).....	29
FIGURA 19: MALHA DE AMOSTRAGEM (N= 28) DO CAMPO EXPERIMENTAL LAU VELHO	30
FIGURA 20: REPRESENTAÇÃO DA QUANTIDADE DE ENXOFRE E DO VIGOR DAS PLANTAS COM RECURSO AO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO (<i>NDVI</i>).....	34
FIGURA 21: REPRESENTAÇÃO DA QUANTIDADE DE ZINCO E DO VIGOR DAS PLANTAS RECORRENDO AO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO <i>NDVI</i>	35
FIGURA 22: REPRESENTAÇÃO DA QUANTIDADE DE FERRO E DO VIGOR DAS PLANTAS RECORRENDO AO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO <i>NDVI</i>	36

FIGURA 23: REPRESENTAÇÃO DA QUANTIDADE DE POTÁSSIO E DO VIGOR DAS PLANTAS RECORRENDO AO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO <i>NDVI</i>	37
FIGURA 24: REPRESENTAÇÃO DA QUANTIDADE DE COBRE E DO VIGOR DAS PLANTAS RECORRENDO AO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO <i>NDVI</i> (ESCALAS:	38
FIGURA 25: REPRESENTAÇÃO DA QUANTIDADE DE CÁLCIO E DO VIGOR DAS PLANTAS RECORRENDO AO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO <i>ND</i>	39
FIGURA 26: RESPOSTA ESPETRAL DO SOLO E ESTIMAÇÃO DE VALORES DE ACIDEZ (pH) NO SOLO.....	40
FIGURA: 27: RESPOSTA ESPETRAL DO SOLO E ESTIMAÇÃO DE TEORES DE CÁLCIO NO SOLO.....	41
FIGURA 28: RESPOSTA ESPECTRAL DO SOLO E ESTIMAÇÃO DE TEORES DE FOSFORO NO SOLO.....	42
FIGURA 29: RESPOSTA ESPETRAL DO SOLO E ESTIMAÇÃO DE TEORES DE FERRO NO SOLO.....	43
FIGURA: 30: RESPOSTA ESPETRAL DO SOLO E ESTIMAÇÃO DE POTÁSSIO NO SOLO.....	43

1.CONTEXTUALIZAÇÃO E OBJETIVOS

A biofortificação agronómica e genética visa o incremento dos teores de nutrientes na parte edível das culturas, visando o desenvolvimento de características funcionais de âmbito profilático ou preventivo para a saúde pública (nomeadamente doenças cardíacas, cancro e *Alzheimer*). Neste enquadramento assumiu-se como objetivo, a monitorização de uma vinha localizada em Palmela / Portugal, submetida a um sistema de biofortificação de uvas em zinco, para produção de vinho monocasta, com recurso a sensores de medição altimétrica em veículos aéreos não tripulados (VANT) e sincronizados por GPS (por apresentarem um elevado grau de precisão geométrica e altimétrica).

Com a monitorização remota dos terrenos de vinha, é possível a obtenção de mapas de refletividade da planta, que traduzem o estado de saúde da planta e, no caso em apreço, a resposta da vinha ao tratamento da biofortificação.

O *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)* consiste num índice de vegetação que representa a viçosidade das plantas, medida pela resposta espectral da clorofila nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético, tendo sido também desenvolvido como medida complementar do acompanhamento e desenvolvimento das culturas. Para a avaliação e caracterização sumária do estado das plantas e do solo foram produzidos e comparados mapas de *NDVI* e de índices *NDRE (Normalized Difference Red Edge)* e *SAVI (Soil - Adjusted Vegetation Index)*, ambos baseados em bandas multiespectrais. No índice *NDRE* utiliza-se a banda *Red Edge*, com recurso à fluorescência da clorofila, por proporcionar maior precisão comparativamente ao *NDVI*. Para comparação utilizou-se o índice *SAVI*, particularizada na variável *L*.

A relevância acoplada à implementação desta tecnologia visou potenciar o índice de biofortificação, favorecendo uma otimização do vigor das plantas e o conseqüente incremento da produtividade / rentabilidade económica, equacionando em tempo real exigências específicas da própria cultura.

2. INTRODUÇÃO

No âmbito da agricultura de precisão, os veículos aéreos não tripulados (VANT) com recurso a câmaras multiespectrais (e também hiperespetrais) podem propiciar uma grande qualidade / quantidade de dados remotos em tempo real, cuja utilização pode ser determinante nomeadamente face a situações de stress potencial nas plantas/culturas. Neste enquadramento produz-se uma assinatura espectral que, após o processamento, pode ser visualizada pelo olho humano, podendo equacionar-se a ação de agentes patogénicos (stress biótico), assim como inibição do estado e vigor das plantas por ação de stresses abióticos. Por exemplo, na deteção da ação de agentes patogénicos e face à aplicação de pesticidas, os VANT podem ser utilizados para deteção de estados iniciais de infeções (se possível antes de qualquer sintoma visual) e determinação da severidade da infeção causada por estes agentes. A utilização de VANT acoplados a câmaras multi e hiperespetrais, possibilita ainda a diferenciação de patologias nas plantações, com recurso à utilização da banda térmica (Berniet *al*, 2009) como medida de deteção e prevenção de *stresses* abióticos, nomeadamente hídrico, (Ballesteret *al*, 2013), avaliação da abertura dos estomas e porometria (Grantet *al*, 2010) e ainda monitorização da interação com agentes virais (Chaerleet *al*, 1999, 2000, 2004). Relativamente à parametrização de fatores de competição entre uma cultura e a proliferação de ervas, com recurso a câmaras de elevada resolução (sendo que a generalidade dos VANT podem propiciar essa possibilidade) também subsistem duas abordagens diferentes: diferenciação da “assinatura espectral” da vegetação ou a recolha de imagens logo após a germinação. Também se torna importante proteger a colheita do ataque de pragas e de aves infestantes que destroem a colheita. Contudo, no caso do controlo de aves, não existe uma única solução pois cada espécie avícola possui diferentes hábitos alimentares. Neste enquadramento, para além dos métodos tradicionais para afastar aves, começam a ser implementados métodos através do uso de VANTs. As câmaras convencionais são utilizadas para captura de imagens, proporcionando informação relativamente ao terreno e altura da vegetação e visam a concepção de um modelo digital de terreno, (MDT). As câmaras RGB podem também ser modificadas de forma a captarem imagens na região do infravermelho próximo (NIR) e entre o vermelho e o infravermelho (*Red-Edge*). As câmaras multiespectrais possuem uma melhor resolução espectral, já que cada lente corresponde a um sensor que capta a energia eletromagnética numa determinada gama de comprimento de onda do espectro eletromagnético. As principais câmaras usadas em VANT's são as multiespectrais que usualmente registam a energia refletida na região do visível, (nomeadamente as bandas *Red-Edge*, *Red*, *Green*, *Blue*,) e do infravermelho próximo (*banda do*

NIR). Também com elevado potencial mas com custos de aquisição superiores. Assim utilizam-se os sensores hiperespetrais, que registam a energia eletromagnética de um elevado número de comprimentos de onda do espectro eletromagnético (usualmente centenas de comprimentos de onda, na gama dos 400 a 1000 nm); as câmaras medidoras de inércia que medem a orientação, aceleração e rotação e as modificadas onde existe uma modificação do *firmware* da própria câmara;

No âmbito deste estudo pretende-se, com recurso a sensores de medição altimétrica em VANT's, sincronizado por GPS, aplicar um sistema de monitorização de uma vinha localizada em Palmela / Portugal, durante a época cultural de 2018, submetida a um sistema de biofortificação de uvas em zinco para produção de vinho monocasta.

2.1. CARACTERIZAÇÃO DO CAMPO DE PRODUÇÃO DE UVA BIOFORTIFICADA

A área seleccionada localiza-se na região de Palmela / Portugal, tendo a denominação Lau Velho, com as coordenadas N 38° 35'41.467 e O 8° 50'44.535 e corresponde a uma vinha com produção da casta Fernão Pires.

A parcela do terreno tem cerca de 1.500,00m², de dimensão aproximada de 25,00m x 60,00m (fig. 1), nas quais foi realizado o plantio da uva para dois tipos de tratamento em zinco (um tratamento em sulfato de zinco e outro em óxido de zinco), com diferentes concentrações.

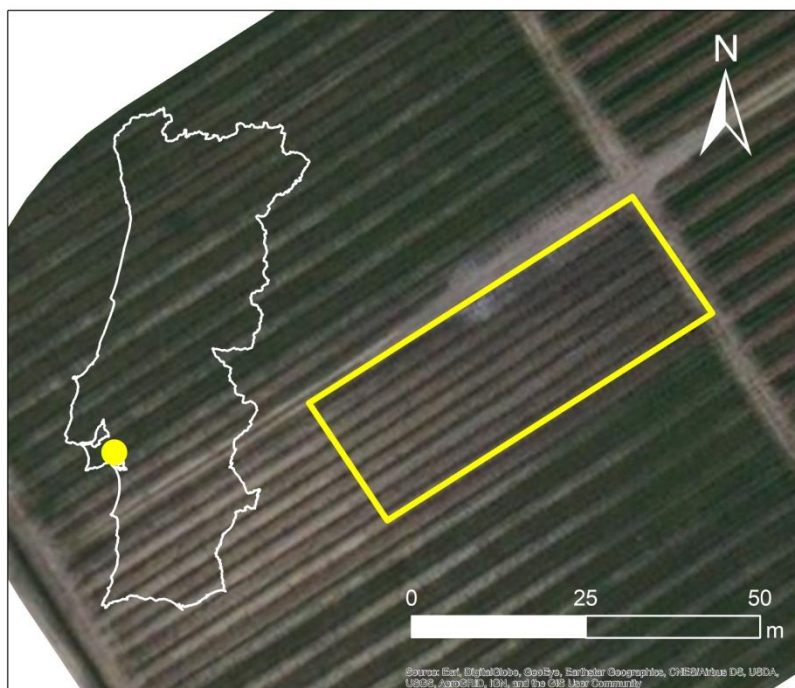


Figura 1 –Localização da área de estudo: Parcela do Lau Velho (Palmela)

As condições meteorológicas associadas ao ciclo de produção de uva, foram definidas a partir da rede meteorológica nacional que está localizada na Base Aérea do Montijo (N 38°43'28.7" O 9°0'40.114"), com dados diários reportados entre Janeiro e Dezembro de 2018.

O itinerário de biofortificação com aplicação folhear de óxido de zinco (OZn) e sulfato de zinco (SZn) foi efetuada em 16 de Junho, 7 e 21 de Julho e 6 de Agosto, nas seguintes concentrações para cada produto: 0%, 10%, 30%, 60%. (i.e., 0, 150, 450 e 900 gha^{-1}). As colheitas foram efetuadas em 17 de Setembro. O período de ensaio, que decorreu entre 7 Junho e 6 Outubro, caracterizou-se por uma temperatura média máxima de 28°C e média mínima de 16,6°C, sendo que o valor máximo e mínimo registado foi de 44°C e 11°C, respetivamente (**Fig.2**). O relatório do Instituto Português do Mar e da Atmosfera - IPMA para o período de Verão, refere o mês de Julho, o mais frio desde 2000 e Agosto o 2º mais quente dos últimos 88 anos. Neste dia foram excedidos os extremos absolutos da temperatura máxima e ultrapassados os maiores valores da temperatura mínima.

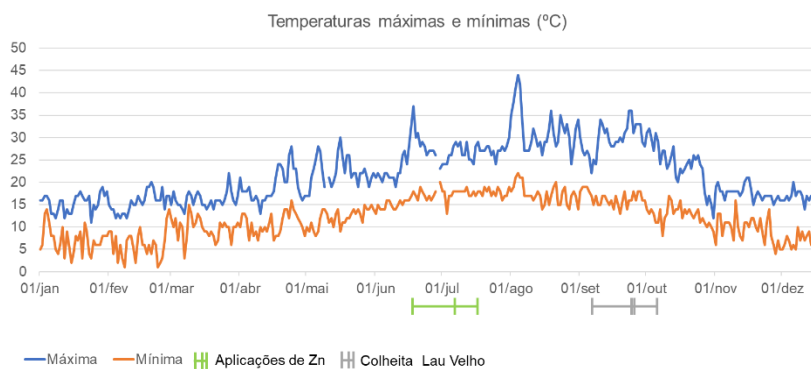


Figura 2 - Temperaturas máxima e mínima diárias registada durante o ano de 2018 (estação meteorológica da Base Aérea do Montijo.). (Fonte: *in* Pelica, 2018)

A humidade máxima e mínima do ar registada no período experimental (**Fig. 3**) foi de 100% e 9%, respetivamente (sendo a média dos valores máximo de 90% e a média dos valores mínimos de 38%).

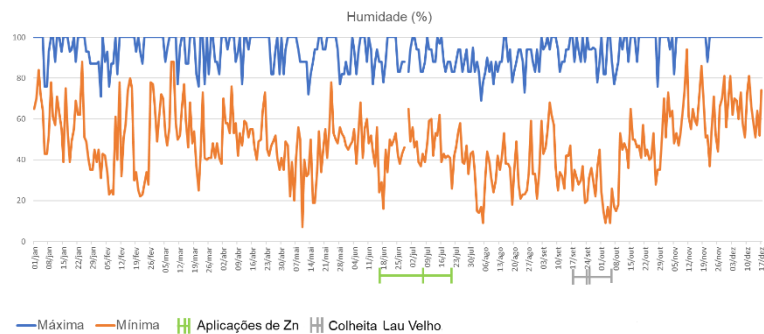


Figura 3 - Humidade máxima e mínima, registada durante o ano de 2018 (estação meteorológica da Base Aérea do Montijo). Assinalam-se os dias de aplicação dos tratamentos e colheita. (Fonte: *in* Pelica, 2018)

O boletim meteorológico do IPMA (**Fig. 4**) refere ainda que, a nível nacional, Junho foi o 2º mês de Junho mais chuvoso desde 2000, tendo ocorrido aguaceiros em todo o território, localmente fortes, de granizo e acompanhados de trovoadas. No período experimental, a precipitação total acumulada foi de 6,6 mm (com um máximo diário de 3,05 mm), a que corresponde a média diária 0,06 mm.

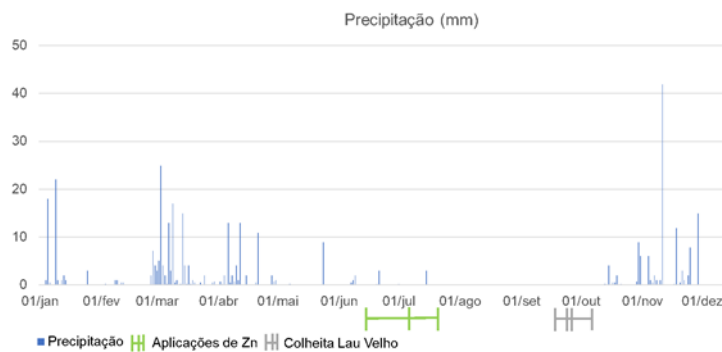


Figura 4 - Precipitação acumulada durante o ano de 2018 (estação meteorológica da Base Aérea do Montijo). Assinalam-se ainda os dias de aplicação dos tratamentos e colheitas em todos os campos experimentais. (Fonte: *in* Pelica, 2018)

3.FUNDAMENTOS TEÓRICOS E METODOLOGIA

3.1. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS ELEMENTOS DA SUPERFÍCIE TERRESTRE

A deteção remota é uma técnica que permite observar fenómenos à distância sem que exista um contacto direto com os objetos em estudo. Para tal, é necessário que exista interação entre os objetos e os sistemas que permitem a sua observação pelo que, um sistema de deteção remota deverá compreender um sensor e um objeto, em que a relação entre ambos se efetua a partir de um fluxo de energia, sob a forma de radiação eletromagnética (EM).

Nos sistemas passivos, a principal fonte de energia radiante utilizada pela deteção remota é proveniente do Sol. Consoante a natureza dos objetos que se encontram à superfície terrestre, o fluxo de energia radiante que incide sobre a superfície terrestre pode ser transmitido, disperso, absorvido, emitido ou refletido.

A radiação EM pode ser caracterizada em função do seu comprimento de onda ou da sua frequência. Desta forma, o espectro EM é constituído por um conjunto de ondas eletromagnéticas contínuas, cujo intervalo varia desde comprimentos de onda curtos (da ordem dos micrómetros, como é o caso dos raios gama e raios X), até comprimentos de onda longos (da ordem dos metros, como as ondas rádio). As regiões do EM mais frequentemente utilizadas em deteção remota são:

- Região do visível, cuja designação se deve ao facto de abranger radiações perceptíveis pelo olho humano. Ocupa uma pequena porção do EM, compreendendo comprimentos de onda desde $0.4 \mu\text{m}$ a $0.7 \mu\text{m}$, em que se destacam as denominadas bandas RGB, correspondentes ao *azul* ($0.4 \mu\text{m}$ a $0.5 \mu\text{m}$), ao *verde* ($0.5 \mu\text{m}$ a $0.6 \mu\text{m}$) e ao *vermelho* ($0.6 \mu\text{m}$ a $0.7 \mu\text{m}$).
- Região do infravermelho próximo, com comprimentos de onda que variam entre os $0.7 \mu\text{m}$ até aos $1.3 \mu\text{m}$.
- Região do infravermelho médio, que inclui valores entre $1.3 \mu\text{m}$ até $8 \mu\text{m}$.
- Região do infravermelho térmico ($8 \mu\text{m}$ - $14 \mu\text{m}$), sensível ao calor emitido pelos corpos.

- Micro-ondas, região do espectro cuja gama de valores varia entre 1 mm e os 300 cm.

A quantidade de fluxo de energia que é refletido ou emitido, estabelece a relação entre os objetos e os sensores. A partir de medidas laboratoriais foi possível estabelecer curvas de refletividade espectral para os principais elementos da superfície terrestre, nomeadamente para a água, a vegetação e para os solos. Na fig.5 apresentam-se as curvas laboratoriais de refletividade medidas para os solos (solo desidratado, castanho acinzentado), a água (sem partículas em suspensão) e a vegetação, com ênfase para esta última, no que compete ao conteúdo em clorofila e ao teor de água da planta (fig. 5).

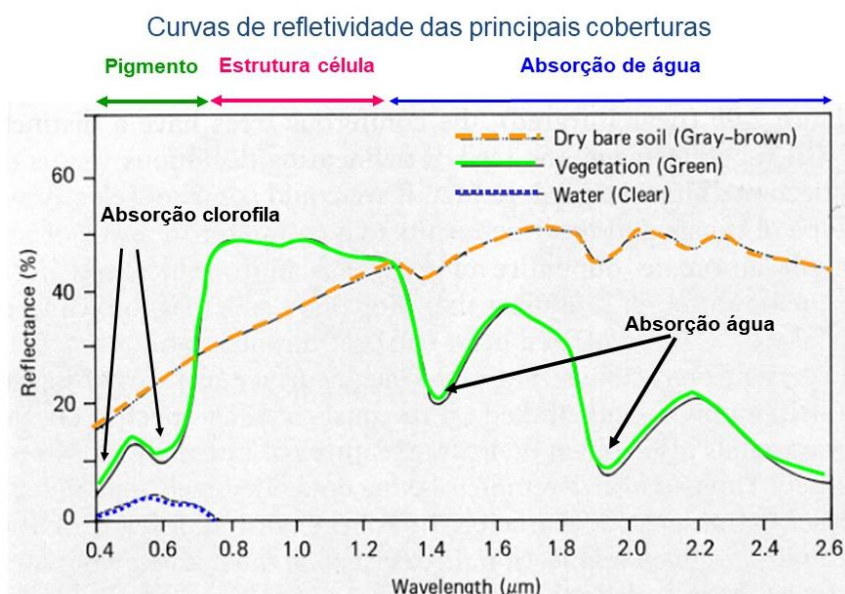


Figura 5 – Curvas laboratoriais do comportamento espectral das principais coberturas (solo, vegetação e água). (adaptado de Tucker, 1979)

Relativamente à água, observa-se que esta absorve ou transmite a maior parte da radiação à medida que o comprimento de onda aumenta. Como consequência, a sua refletividade diminui ao longo do espectro, sendo praticamente nula a partir da região do infravermelho. O comportamento espectral da água está dependente da natureza e concentração de materiais que se encontram em suspensão, da profundidade existente e da rugosidade da sua superfície. De uma maneira geral, a presença de materiais em suspensão aumenta a refletividade da água, como é o caso de

microplantas em suspensão, que devido à presença de clorofila, aumentou a refletividade na banda do infravermelho próximo. O comportamento espectral dos solos é condicionado pela sua composição química, textura e teor de humidade. A curva espectral dos solos caracteriza-se por uma refletividade relativamente baixa na região do visível, aumentando gradualmente com o incremento do comprimento de onda das radiações. A refletividade dos solos na região do visível está condicionada principalmente pela presença de matéria orgânica e teor de humidade, pois à medida que estes aumentam, a refletividade decresce. Em relação ao infravermelho próximo e médio, a resposta espectral pode depender do teor de humidade, como consequência da elevada absorção da água nestas bandas.

O comportamento espectral da vegetação varia de acordo com a espécie vegetal (morfologia da folha, composição, estrutura, e teor de água), o ciclo de vida da planta e a morfologia do coberto vegetal (densidade do coberto, altura e forma da copa, tamanho da copa) e a heterogeneidade das espécies vegetais existentes. Dado que algumas espécies se encontram inseridas numa matriz de solo, a resposta espectral da vegetação encontra-se mascarada pela dos solos, resultando em média dos valores de reflectância medidos.

Relativamente à vegetação, observa-se, pela análise da figura 5, uma redução da refletividade na região do *azul* e do *vermelho* devido ao conteúdo em clorofila (cerca de 0.4 μm e 0.6 μm , respetivamente), redução da refletividade na região do infravermelho médio, comprimentos de onda cerca de 1.4 μm e 1.9 μm , respetivamente.

Na figura seguinte (fig. 6) apresentam-se as curvas de reflectância teóricas para a vegetação em estado saudável (*Healthy Plant*) e em estado de *stress* (*Stressed Plant*)

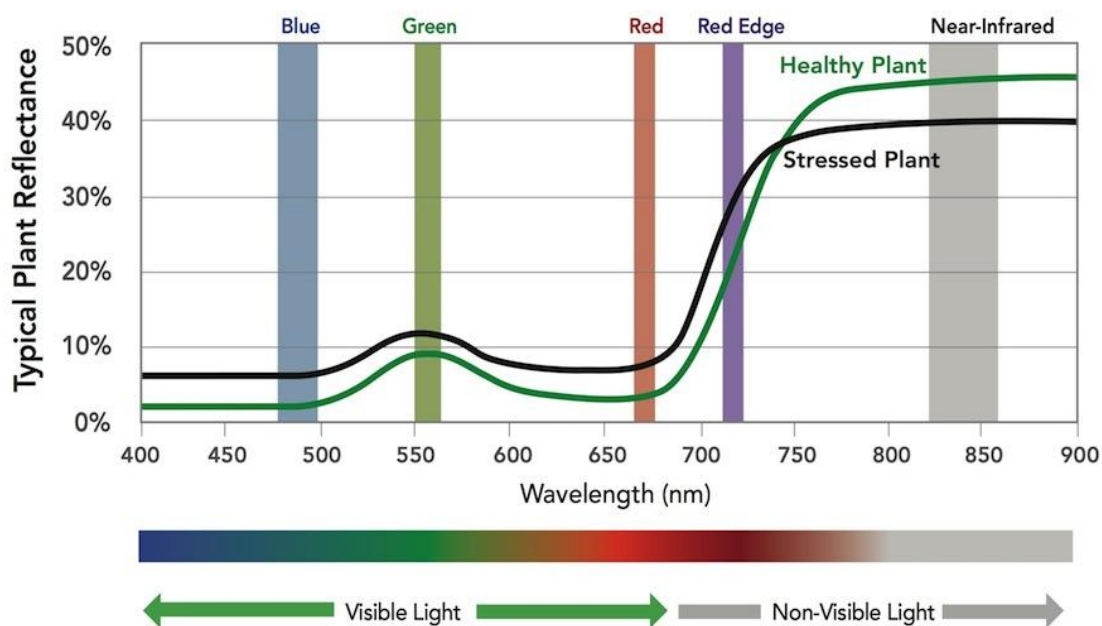


Figura 6 – Curvas de reflectância para a vegetação em estado saudável e em estado de stress.

3.2. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Os vários índices mais utilizados para este tipo de estudos são os índices denominados por: *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*); *NDRE* (*Normalized Difference Red Edge*); *SAVI* (*Soil Adjusted Vegetation Index*).

O Índice de Vegetação Normalizado, é dos mais utilizados no âmbito da agricultura de precisão. Este índice permite obter informação quanto às áreas de coberto vegetal e estado de saúde da vegetação.

Utilizam-se regiões do espectro eletromagnético na zona do infravermelho próximo e na região do vermelho (*Red*), para determinar também os teores em clorofila das plantas, bem como acompanhar o seu crescimento em estádios precoces, avaliando a fluorescência da clorofila (Chaerle, 2004).

Este índice de vegetação caracteriza-se por ser quantitativo, uma vez que, no caso de plantações infectadas, os valores de *NDVI* são baixos dado que se verifica uma redução de massa e clorofila das folhas.

Contudo, baixos valores de *NDVI* poderão significar a existência de vegetação rasteira em menor quantidade.

Para um dado número de pixéis, numa determinada área, o índice de vegetação normalizada, varia no intervalo [-1;+1]. O zero significa diminuta presença de água (*Sinergise, 2017*) e perto de +1 (0,8 – 0,9) indica a maior possibilidade de densidade de vegetação (*Nasa Earth Observatory, 2019*).

Desta forma, inúmeram-se aplicações do *NDVI* na agricultura, sendo elas:

- Monitorização de culturas;
- Detecção de secas;
- Localização de pragas;
- Estimativas de produtividade;
- Modelação hidrológica;
- Mapeamento de culturas.

O índice de vegetação *NDRE* apenas pode ser formulado quando existe presença do infravermelho *Red-Edge*. esta banda é sensível à clorofila presente nas folhas das plantas. Valores de *NDRE* com bons valores representam elevados níveis de clorofila, Níveis inferiores de clorofila significam a possível existência de doenças na plantação. Usualmente utiliza-se este índice para gerar mapas de reflectância d plantação no caso da utilização de azoto foliar ou ainda para o conhecimento da resposta multiespectral do solo.

A clorofila tem um máximo de absorção na banda *Red*, pelo que a luz na região vermelha do espectro eletromagnético não penetra para além das primeiras camadas de folha. Dado esta particularidade do índice *NDVI*, pressupõem-se haver uma complementaridade com o índice *NDRE*. Este último é um indicador melhor do vigor e da saúde da plantação, sendo mais completo do que o usual *NDVI*. Por vezes, é um bom índice recorrido em situações onde haja grande influência do homem no crescimento das plantações.

O índice *NDVI* consiste na razão entre a diferença das refletividades das bandas do infravermelho próximo e do vermelho e pela soma dessas mesmas refletividades exposto na seguinte equação.

$$NDVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right)$$

Este é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação, cujos valores variam no intervalo de -1 a +1. Nas superfícies que contêm água ou face à existência de neblina, esta variação é negativa. Valores próximos de 0 indicam vegetação morta ou sem folhas, áreas urbanas e impermeáveis, estradas, entre outros (*Sinergise, 2017*). Valores próximos de 1 indicam vegetação saudável, sem stress hídrico e nutricional, com solos adequados, entre outros parâmetros.

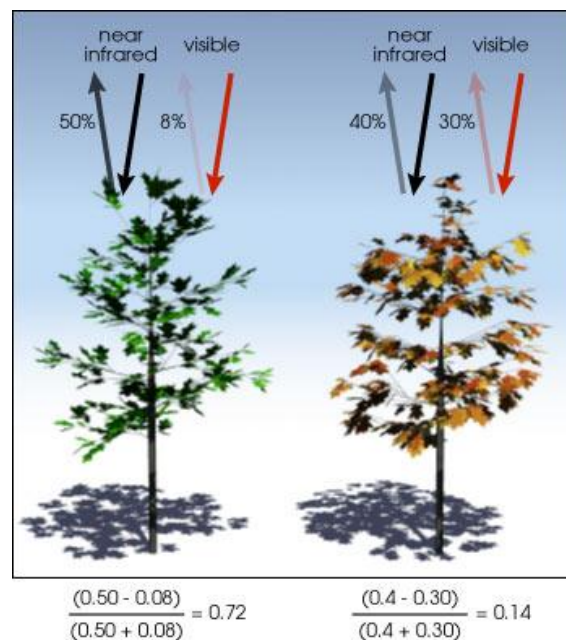


Figura 7- Interpretação de valores de *NDVI* (fonte: página da NASA.)

Este índice de vegetação (*Normalized Difference Red Edge*) pode ser calculado com recurso à banda do infravermelho *Red Edge*. Esta banda é sensível a médios níveis de clorofila, sendo um bom indicador do estado de saúde do coberto vegetal. Pode ser usado para verificação da variabilidade de N₂ (azoto foliar), como medida indicativa da necessidade de fertilizantes NPK (azoto, fósforo e potássio). A radiação de comprimento de onda da região *Red-Edge* do espectro eletromagnético penetra melhor na folha do que a radiação de comprimento de onda da região do vermelho, a qual é absorvida pela clorofila nas camadas mais superficiais. A banda *Red Edge*, capta a luz refletida entre o *RED* e o *NIR*, possibilitando a caracterização do *stress* hídrico e a aferição do teor de clorofila.

$$NDRE = \left(\frac{NIR - RED_{edge}}{NIR + RED_{edge}} \right)$$

Em complementariedade, usualmente para comparação como ortofotomapa, usa-se o *SAVI*.

$$SAVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED - L} \right) * (1 + L)$$

L = 1 para densidades baixas de vegetação

L = 0,5 para densidades médias

L = 0,25 para densidades elevadas

A transpiração é um processo energético que diminui a temperatura das folhas e da vegetação, sendo por isso, recolhidas imagens através de uma câmara térmica, para deteção antecipada do *stress* hídrico. Através de uma câmara térmica é possível obter informação da condutância estomática a partir da temperatura de superfície da folha, evitando assim a escassez hídrica no solo (Grant O.M, 2007). Em muitos casos de estudo a temperatura de superfície das folhas é normalizada, utilizando-se um índice denominado por *CWSI* (*Crop Water Stress*, C. Ballester C., Jiménez-Bello, M.A., 2014)

$$CWSI = \left(\frac{T_{leaf} - T_{pot}}{T_{dry} - T_{pot}} \right)$$

T_{leaf} = temperatura de superfície da folha.

T_{pot} = temperatura de superfície da folha em máxima transpiração.

T_{dry} = temperatura de superfície da folha sem transpiração.

3.3. METODOLOGIA GERAL PARA A AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO POR BIOFORTIFICAÇÃO

Para a avaliação da resposta das culturas ao tratamento por biofortificação em zinco foi adotada uma metodologia que contemplou duas abordagens, conforme apresentado na figura seguinte (fig.8):

Abordagem 1 - a aquisição e integração de dados por métodos indiretos de detecção remota;

Abordagem 2 - a aquisição de dados por métodos diretos, com recolha e análise de dados de campo e o respetivo tratamento.

A aquisição de dados por detecção remota tem por objetivo principal a obtenção de informação sobre (i) a morfologia do terreno, a qual condiciona o sistema de drenagem, a irrigação e a exposição solar das culturas e; (ii) a produtividade e vigor das plantas, traduzida pela sua resposta espectral nas regiões do visível e do infravermelho próximo, do espectro eletromagnético.

A aquisição de dados pelos métodos diretos, tem por objetivo principal a caracterização das propriedades físicas e químicas do solo e das plantas, através da recolha e análise de amostras do solo e de folhas de vinha, e a medição das propriedades físicas dos terrenos, as quais condicionam a resposta da planta aos tratamentos da biofortificação.

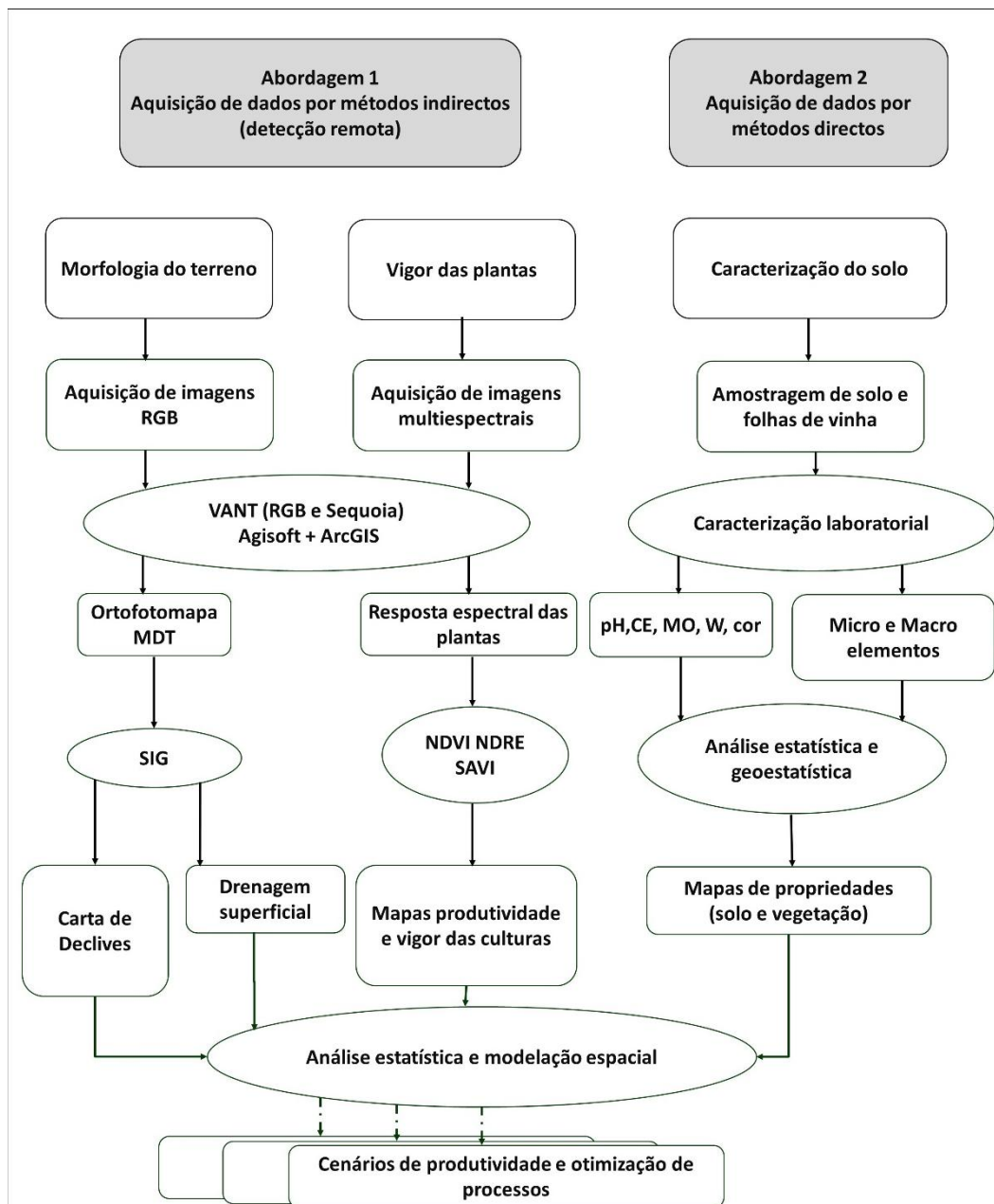


Figura 8 – Metodologia Geral para a avaliação do tratamento por biofortiação

Os dados das amostras de solo e das plantas são integrados em SIG com os mapas de índices de vegetação obtidos, contribuindo para a avaliação das condições de produção da uva biofortificada.

3.3.1. AQUISIÇÃO DE DADOS POR MÉTODOS INDIRETOS (DE DETEÇÃO REMOTA)

Para a aquisição de dados sobre a morfologia dos terrenos, produtividade e vigor das plantas foi utilizada uma metodologia por detecção remota, que se desenvolveu em duas etapas, tal como descrito e apresentado na figura seguinte (fig. 9):

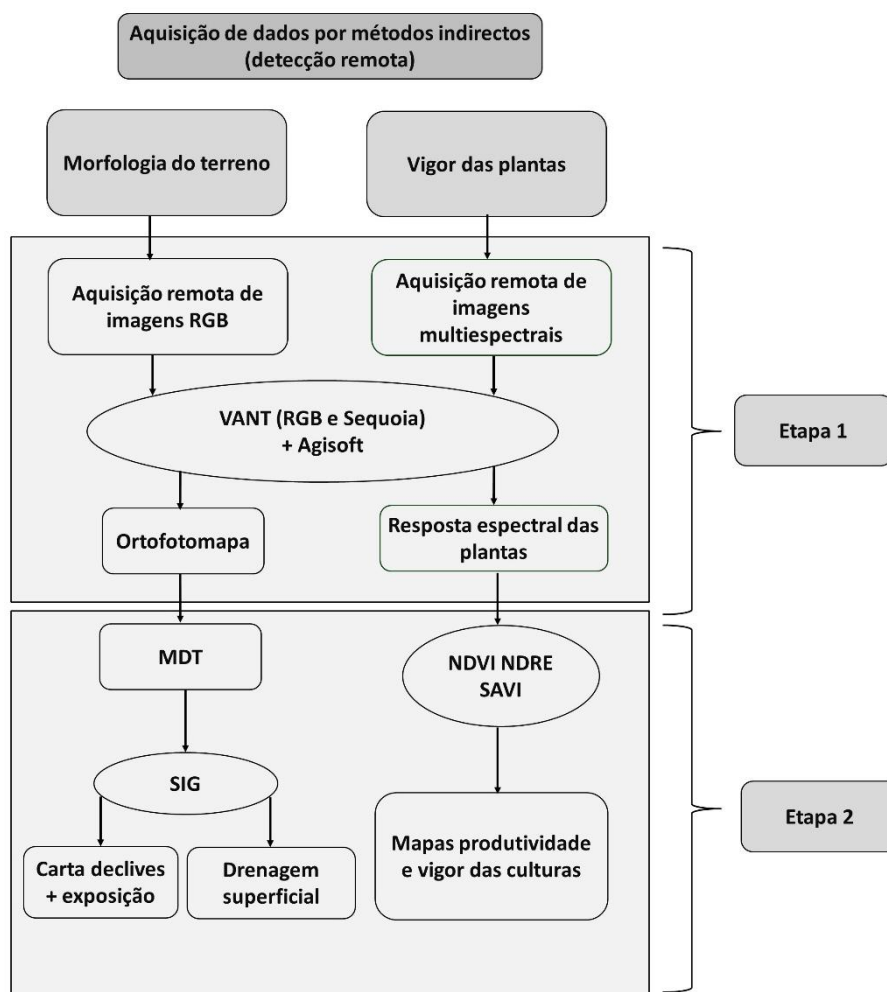


Figura 9 – Metodologia de aquisição de dados por detecção remota

1.1. - Planeamento e execução de voo para obtenção de imagens com uma câmara RGB e uma câmara multiespectral (*Parrot Sequoia*);

1.2. - Aquisição de imagens com câmara RGB de alta resolução e integração com as imagens da câmara multiespectral;

Etapa 2 - Processamento das imagens digitais: criação de ortofotomapa, modelo de altimetria e mapas de índice de vegetação

2.1. - Processamento das imagens RGB para obtenção do modelo digital de terreno (MDT) e criação do ortofotomapa, com o software *Agisoft Photoscan*;

2.2. - Processamento das imagens multiespectrais para criação de mapas de índice de vegetação que refletem o vigor das plantas (NDVI, NDRE, SAVI).

3.3.1.1 ETAPA1-AQUISIÇÃO DE IMAGENS DE RGB E MULTIESPETRAIS COM VANT

Esta etapa tem por objetivo a aquisição de imagens multiespectrais e de altimetria, para a obtenção de ortofotomapas dos terrenos e de mapas que traduzam o vigor das plantas, através da sua resposta espectral.

Contempla o planeamento e a aquisição de dados com VANT, com um câmara RGB acoplada (para a obtenção de ortofotomapa e do modelo de altimetria) e uma câmara multiespectral (*Parrot Sequoia*), para a obtenção de imagens correspondentes à região do infravermelho próximo (NIR) e do *Red-Edge* do espectro eletromagnético.

A recolha de imagens de um campo de ensaio, requer um delineamento prévio do plano de voo, que deve anteceder a deslocação ao terreno (**Fig. 10**). Neste contexto, os parâmetros que foram equacionados no delineamento do plano de recolha de imagens foram os seguintes:

- a área do terreno a sobrevoar,
- a taxa de sobreposição, a frequência de captura, altitude, ângulo de captura, autonomia da bateria.

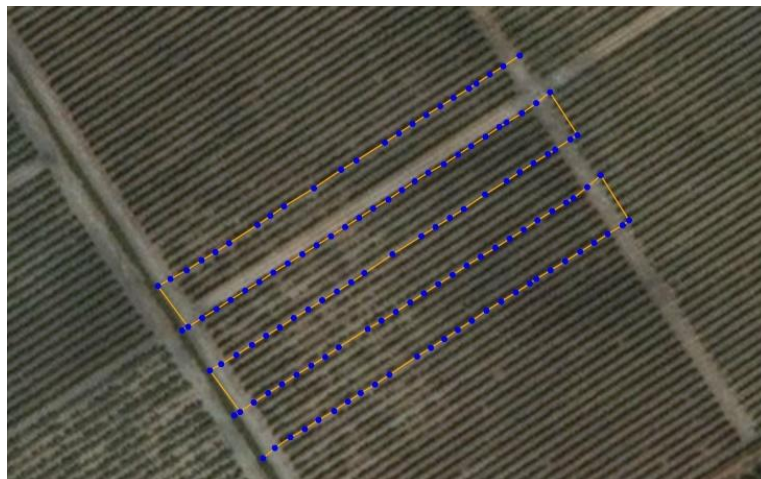


Figura 10 - Ilustração do plano de voo, por Drone2Map. ESRI, 2011.

Para a definição das características de voo e planeamento do mesmo, utilizou-se a aplicação *mobile Ground Station Pro* (oficial app, DJI) (Fig. 11). Para uma melhor resolução das imagens e facilidade de processamento em escritório, definiu-se uma taxa de sobreposição de 80%, altitude de 20 metros e posição relativa da camera RGB de 90°, sendo os restantes valores estabelecidos por defeito.

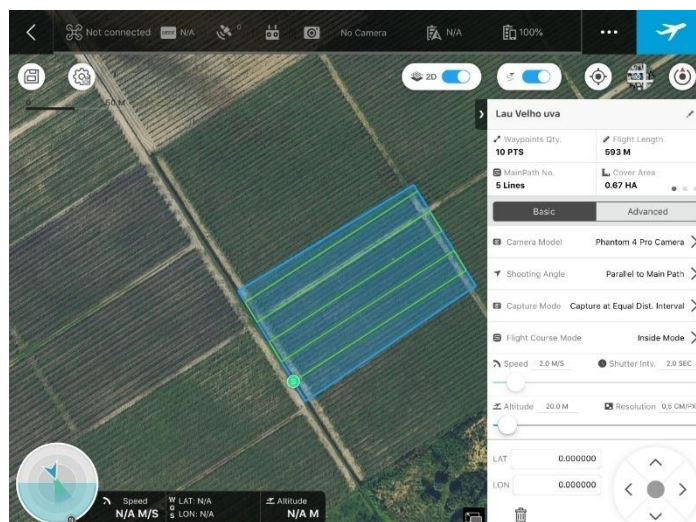


Figura 11 - Parâmetros e especificações de voo, com ilustração da interface do software, em *Ground Station Pro*

Como atualmente as diversas aplicações, no âmbito do controlo aéreo de VANTs, proporcionam uma fácil operacionalidade em tempo real, através de ligações a satélites, tornou-se possível controlar o VANT de forma automática, tendo, contudo, o utilizador que supervisionar o voo ou controlar manualmente através do comando, caso seja necessário.

Para recolha de fotografias aéreas recorreu-se a um VANT *Phantom 4 Pro*, equipado com uma câmara RGB 4K, com 20 MP e uma camara multiespectral *Parrot Sequoia* de cinco bandas sendo elas: *Red, Green, Blue, NIR e Red-Edge*. Salienta-se que as bandas do infravermelho situam distantes das bandas da região do visível.

Na figura seguinte (fig. 12) apresenta-se imagem do VANT utilizado para a recolhas das imagens.



Figura 12 - VANT *Phantom 4 Pro*, utilizado para a recolha de dados na parcela do Lau Velho.

Na figura 13 apresenta-se, como exemplo, duas imagens de câmaras tipo com sensor RGB e com sensor multiespectral, para acoplar nos VANTS.



Figura 13 - Câmara RGB, *Phantom* (à esquerda) e Câmara multiespectral Parrot Sequoia (à direita)

Uma vez em campo, foi necessário o controlo remoto do VANT e também da câmara multiespectral, tendo-se utilizado neste caso, dois *tablets*, com aplicação *GS Pro* e a aplicação original da Sequoia.

Após a recolha de imagens, verificou-se que o local de armazenamento da imagem (num cartão de memória micro *SD* - *Secure Data* ou na memória interna na própria Sequoia - 64Gb) e procedeu-se à transferência das imagens para um *PC* (*Personal Computer*), com subsequente armazenamento dos dados numa plataforma de armazenamento (*Hardware storage e Cloud storage*).

3.3.1.2 ETAPA 2 - PROCESSAMENTO DE DADOS PARA A OBTENÇÃO DE MAPAS *NDVI* E *NDRE*.

Efetuuou-se o processamento das imagens RGB para obtenção do modelo digital de terreno (MDT) e do ortofotomapa, recorrendo-se ao *Software Agisoft Metashape*/ou *Drone2Map* (semelhante ao *Pix4D*, sendo este mais completo), (Agisoft, 2019).

Para a obtenção da carta de declives e da carta de rede de drenagem superficial recorreu-se a um sistema de informação geográfica (SIG), mediante utilização do *software Arcmap 10.5.1* (ESRI, 2019), versão 10. Para a criação da carta de drenagem superficial foram utilizadas as seguintes funções do *Arcmap*, por ordem sequencial de aplicação:

Função “*fill sinks*” – é uma função matricial do tipo focal, implementada no Arcmap, que substitui as células com valores anómalos da matriz pelo valor das células vizinha, permitindo a correção de eventuais erros numéricos na matriz de altimetria. Esta função resulta numa nova matriz de altimetria corrigida;

Função “*FlowDir*” (*Flowdirection*) – é uma função do tipo focal que opera em estrutura matricial, que consiste na substituição de cada célula da matriz, por um código (entre 1 e 128, que resulta da potencia 2^n , n entre 0 e 8), que representa a direção de maior gradiente entre a célula (A) e as células vizinhas. Esta função resulta numa nova matriz em que cada célula representa a direção de fluxo, caso se considerasse a escorrência de uma “gota de água” na superfície da matriz;

32	64	128
16	A	1
8	4	2

Função “*FlowAcum*” (*Flow accumulation*) – é uma função matricial que simula a acumulação de fluxo de uma matriz, tendo por base a matriz de direção de fluxo calculada no passo anterior.

3.3.2. AQUISIÇÃO DE DADOS POR MÉTODOS DIRETOS (AMOSTRAGEM DE SOLOS E VEGETAÇÃO)

Foram recolhidas cerca de 28 amostras de solo numa malha sistemática regular amostragem em grelha retangular. Todas as amostras foram limpas de detritos e plantas. As amostras de solo foram colectadas da superfície até uma profundidade de 30 cm (entre 600 - 1000g), e colocadas em sacos de polietileno para transporte e armazenamento para análise no laboratório.

O pH do solo e a condutividade elétrica foram realizados segundo o método descrito por Pessoa *et al.* (2016). Resumidamente, numa proporção de 1: 2,5 g / mL de água milli-q, usando um potenciómetro portátil, após uma hora de agitação, e permanecendo a 25°C por 30 minutos de

banho termal, determinou-se o pH do solo e a condutividade eléctrica após decantação do sobrenadante.

Para determinação da humidade do solo e da matéria orgânica, cerca de 100 g de solo de cada amostra foram peneirados, utilizando um peneiro (com malha de 2,0 mm) para remoção de pedras, materiais grosseiros e outros detritos. O peso da amostra foi registado, e após secagem a 105°C durante 24h, determinou-se a massa seca e a percentagem de humidade. Posteriormente as amostras foram colocadas na mufla com aquecimento gradual até 550°C durante 4 horas (até peso constante). As amostras de solo foram removidas da mufla a 100°C e colocadas no exsiccador até temperatura ambiente (aproximadamente 1h). Procedeu-se então à determinação da percentagem de humidade e de matéria orgânica.

A determinação dos parâmetros colorimétricos do solo, com utilização de comprimento de onda fixo, adotou a metodologia descrita por Ramalho *et al.* (2018). Com algumas modificações, os parâmetros de cor, brilho (L *) e cromaticidade (coordenadas a * e b *) foram obtidos com um colorímetro Minolta CR 300 (Minolta Corp., Ramsey, NJ, Estados Unidos) acoplado a um recipiente para amostras sólidas (CR-A504). As medições foram realizadas para o iluminante D65 com base no sistema L * a * b * da *Commission Internationale d'Éclairage* (CIE). Os parâmetros colorimétricos foram medidos em triplicados para cada amostra de solo em dois períodos diferentes, primeiro, antes das amostras terem ido para a mufla a 550°C. A segunda análise colorimétrica foi realizada após as amostras saírem do forno a 550°C, depois de arrefecida e do cálculo da percentagem da matéria orgânica.

Na determinação de elementos minerais em amostras de solos, procedeu-se ao aquecimento das mesmas a 550°C, durante 4 horas (até peso constante) e, após arrefecimento, cada amostra foi peneirada num peneiro (malha de 200 µm), para homogeneizar a granulometria. Procedeu-se então à análise dos elementos minerais utilizando um analisador XRF (modelo XL3t 950 He GOLDD +) sob atmosfera de hélio, de acordo com o método descrito por Pelica *et al.* (2018) para solos.

4. APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO

4.1.RECOLHA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS

A recolha de imagens com o VANT resultou na concepção de mapas, elaborados através do *Agisoft Photoscan e ArcMap*(Agisoft, 2018; ESRI, 2019), sendo eles: ortomosaicos, modelos digitais de elevação, redes de drenagem superficial, mapas de declives e índices de vegetação.

Na fig.14 apresenta-se ortofotomapa (*orthomosaic*) da vinha Lau Velho / Palmela e na fig. 15 o modelo digital de terreno (MDT), adquirido antes do tratamento e da recolha da uva (*i.e.*, imagens recolhidas antes da colheita das uvas, em 27.07.2018).

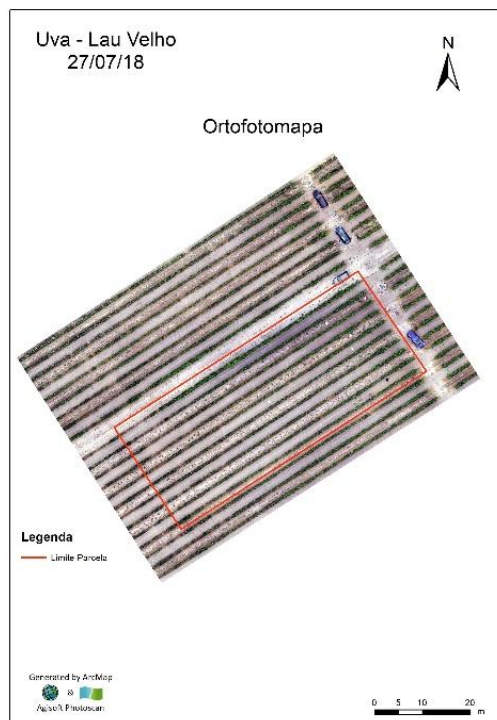


Figura 14– Ortofotomapa do campo experimental Lau Velho em 27.07.2018.

Relativamente à morfologia, constatou-se que o terreno é relativamente plano, apresentando pendor muito suave, com variação máxima de 1,10 m dentro da parcela da vinha submetida ao itinerário de biofortificação.

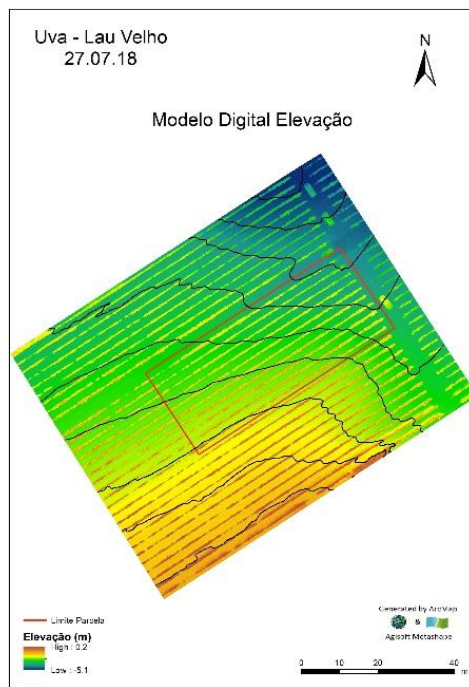


Figura 15– Modelo digital de terreno do campo experimental Lau Velho (DTM: 2,5D).

Dado que a morfologia do terreno condiciona fortemente a drenagem das águas de superfície, foram calculados os declives e classificados em classes com vista a diferenciar as zonas de escoamento ou de drenagem superficial das zonas que potenciam a acumulação ou a infiltração de águas superficiais (zonas planares).

A avaliação da área de drenagem das águas superficiais foi realizada, com base na classificação do terreno, em três classes de declive (SROA, 1972), segundo os limites apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Descrição das classes de declive para as superfícies de drenagem.

Descrição da Classe	Superfícies de Drenagem
[0 – 5%] – plano ou declive suave	Zonas de acumulação de água/drenagem superficial baixa
[5 – 20%] – declive moderado	Drenagem superficial média a elevada
>20% - declive elevado	Drenagem superficial elevada

Neste enquadramento apresentam-se (fig. 16) os mapas das classes de declive da parcela do Lau Velho, traduzida em áreas de acumulação de águas e/ ou zonas de drenagem superficial, conforme indicado na **tabela 1**.

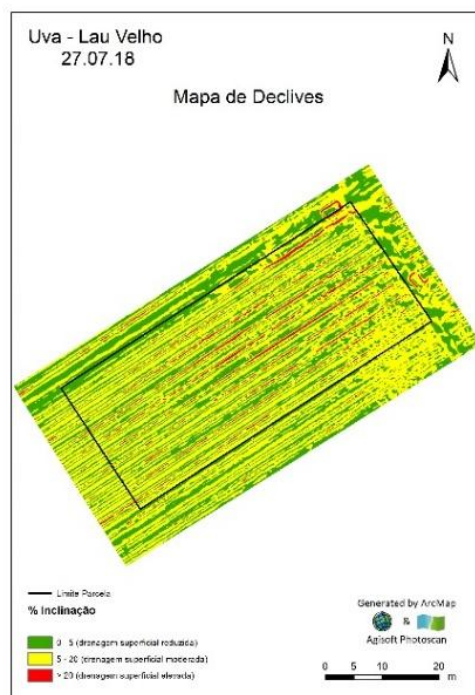


Figura 16 – Classes de declive e áreas com aptidão para a infiltração de águas superficiais (27.07.2018)

À classe de declive mais elevada correspondem os terrenos que, pela sua morfologia, potenciam o escoamento superficial das águas não promovendo assim a ocorrência da sua infiltração. Inversamente, à classe mais baixa, corresponderem as superfícies planares, como potenciais áreas de infiltração, visto promoverem a acumulação das águas de superfície. Neste contexto, na **tabela 2** apresenta-se a proporção do terreno com maior ou menor aptidão para a acumulação de águas (drenagem reduzida) e, nos casos onde o terreno seja permeável, as áreas onde poderá ocorrer a infiltração dessas mesmas águas superficiais.

Tabela 2 - Aptidão para a acumulação vs. drenagem de águas superficiais das parcelas de vinha.

Classes de Declive (%)	Drenagem Superficial	Parcela do Lau Velho	
		Área (m ²)	% Área
1 - [0-5%]	Reduzida	682,7	34,43
2 -]5-20%]	Moderada	1224,3	61,74
3 - > 20%	Elevada	76,1	3,84
Total		1983	100

Verifica-se (Tabela 2; fig. 16) que na parcela do Lau Velho, apenas 1/3 da área total do terreno apresenta condições de aptidão para infiltração de águas superficiais, pelo que deverá ser dada especial atenção à rega e disponibilidade de nutrientes no solo.

A informação sobre a distribuição, vigor e produtividade da vinha biofortificada resulta da análise dos mapas de índices de vegetação, obtidos pelo processamento das imagens multiespectrais, recolhidas nas várias etapas do processo da biofortificação.

Na fig. 17 apresenta-se o mapa de *NDVI* realizado com as imagens multiespectrais recolhidas após a aplicação do tratamento em zinco, em 27/07/ 2018.

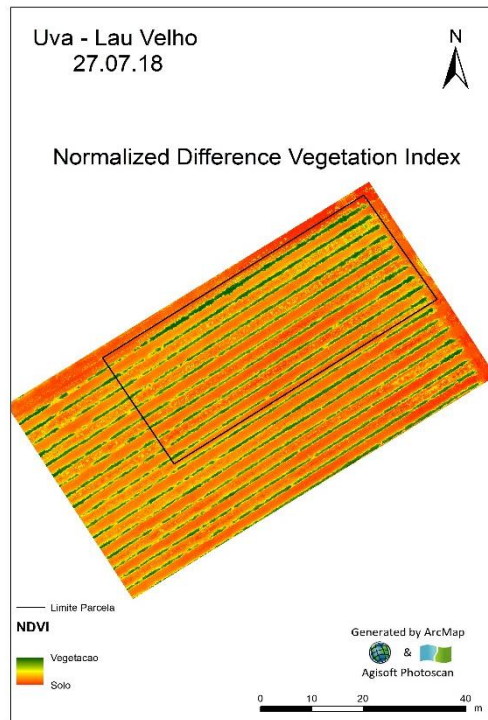


Figura 17 – Mapa de índice de Vegetação (*NDVI* - cor verde – vegetação; vermelho e amarelo ausência de vegetação) no campo experimental Lau Velho (em 27.07.2018).

Os valores do índice *NDVI* que a vinha da parcela do Lau Velho refletem um melhor estado fisiológico na zona N-NE.

Relativamente à rede de drenagem observa-se que o terreno de Lau Velho apresenta um padrão de drenagem artificial (fig. 18), coincidente com as linhas dos “camalhões”, resultantes da ação antrópica, com direção SW-NE, realizando-se a drenagem no sentido SW-NE.



Figura 18 – Mapa da rede de drenagem superficial (ordem das linhas de água segundo *Strahler*) em Lau Velho (em 27.07.2018).

4.2. ESTIMAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO

A água e o pH no solo determinam o coeficiente de absorção radicular de elementos nutricionais nas plantas, definindo-se assim a produtividade da cultura. Adicionalmente, sendo a biofortificação em zinco na vinha um processo que implica a pulverização com diferentes concentrações de óxido e sulfato de zinco torna-se essencial controlar potenciais fitotoxicidades envolvendo este elemento mineral. Assim, considerando que as características dos solos podem interferir diretamente no processo de biofortificação dos frutos, efetuou-se a sua caracterização (*cf.* pontos de amostragem – fig. 19), considerando a interpolação entre teores de humidade, matéria orgânica, pH, micro e macro elementos para obtenção de mapas de propriedades do solo e posterior comparação com o mapa de índice de vegetação.

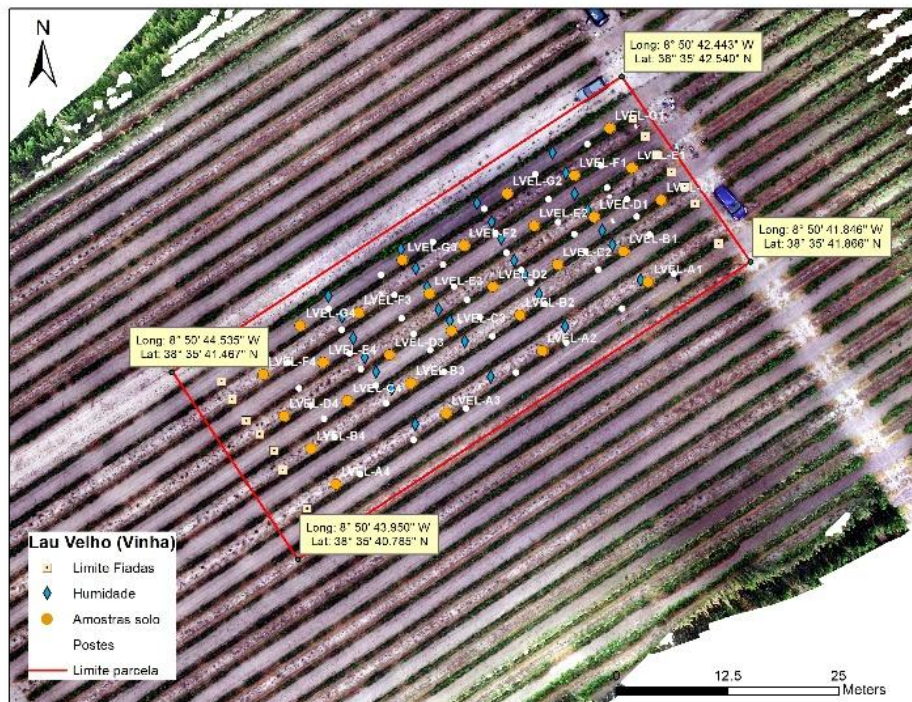


Figura 19 – Malha de amostragem (n= 28) do campo experimental Lau Velho.

Os solos de Portugal apresentam geralmente um baixo teor de matéria orgânica e com tendência para diminuir progressivamente em resultado das condições climáticas favoráveis à sua decomposição, assim como de práticas culturais, sem reposição adequada dos seus níveis. Esta tendência também se verificou na vinha Lau velho (Tabela 3), oscilando os teores médios em torno de 1,36%. Adicionalmente, constatou-se ainda a prevalência de um pH médio de 6,85, uma condutividade elétrica de $93,4 \mu\text{S cm}^{-1}$ e um teor de humidade de 5,30 %. Contudo, os valores de pH e condutividade elétrica apontaram para a existência de condições edáficas favoráveis para a produção da uva Fernão Pires na vinha.

Foram recolhidas 28 amostras de solo até cerca de 30cm de profundidade, com pesos entre as 600 a 1000g.

Tabela 3 – Propriedades físicas dos solos

Campo Experimental	Estatísticos	Humidade %	Matéria Orgânica %	pH	C $\mu\text{S cm}^{-1}$
Lau Velho	Mínimo	4,21	0,63	6,40	39,3
	Mediana	5,03	1,12	6,71	53,7
	Média	5,30	1,36	6,85	93,4
	Máximo	9,64	4,13	7,84	443

Na escala *CIELab*, a coordenada L representa a luminosidade (*i.e.*, contribuição do preto ou do branco, podendo variar entre 0 e 100), o a^* e o b^* traduzem, respetivamente, a contribuição do verde ou do vermelho (conforme o valor é negativo ou positivo) e o azul ou amarelo (quando é negativo ou positivo). Verificou-se (Tabela 4) que numa fase prévia (1ª determinação) à remoção da matéria orgânica, a luminosidade foi significativamente baixa no terreno em estudo. Após remoção da matéria orgânica (2ª determinação), verificou-se que existe predominância do amarelo. Considerando que ao longo do ciclo produtivo da vinha o teor de água no solo varia de forma significativa, este parâmetro deverá ser considerado no decurso da produção / análise de ortofotomapas.

Tabela 4 - Médias dos parâmetros colorimétricos *CIELab*
(L – brilho, a^* verde – vermelho e b^* azul – amarelo)

Campo Experimental	1ª Determinação			2ª Determinação		
	L	a^*	b^*	L	a^*	b^*
Lau Velho	44,1	2,76	12,1	64,4	12,0	26,5

A análise do teor em elementos minerais no solo (Tabela 5) revelou uma escala de concentração decrescente do tipo $\text{K} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Pb}$. Foi ainda relevante constatar a existência vestigial de As. Globalmente, a composição do solo revelou ter uma composição muito favorável à produção de uva Fernão Pires (destacam-se os teores de K e P) e, portanto, também adequada para implementação do itinerário de biofortificação que se implementou.

Tabela 5 – Quantificação de elementos minerais constituintes do solo.

		Elementos minerais do solo										
		Ca	K	Mg	P	Fe	S	Zn	Mn	Cu	Pb	As
		%					ppm					
Lau Velho	Mínimo	0,07	2,77	< 0,05	0,09	0,23	15,2	< 10	< 90	< 18	14,4	9,41
	Q1	0,15	3,10	0,07	0,12	0,29	21,2	22,5	136	53,0	30,3	11,2
	Mediana	0,25	3,50	0,08	0,14	0,35	26,4	44,6	224	87,3	43,9	14,4
	Média	0,54	3,53	0,08	0,17	0,35	306	58,9	299	87,1	58,5	13,9
	Q3	0,51	3,95	0,09	0,17	0,39	33,2	72,1	406	124	74,9	15,4
	Máximo	3,77	4,49	0,12	0,47	0,62	2316	179	850	206	230	23,0
	Distorção	3,02	0,28	0,73	2,09	1,14	2,15	1,15	1,15	0,52	2,39	0,86

Os mapas de propriedades dos solos estimados são posteriormente comparados com os mapas de *NDVI* obtidos.

4.3. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS FOLHAS DAS PLANTAS, POR FIADA

Paralelamente, no âmbito da implementação do itinerário de biofortificação foi realizada a pulverização das fiadas de vinha com as diferentes concentrações de óxido de zinco e sulfato de zinco. Após recolha das amostras das folhas da vinha estas foram preparadas e enviadas para laboratório para determinação analítica da sua composição em S, Zn, Fe, Cu, Ca e K, e comparados os resultados obtidos por fiada com o número de células de *NDVI* contabilizadas nos intervalos apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Principais dados interpretativos do Índice de Vegetação Normalizado

Área/Pixel (mm) 0,871	Nº pixels (0,4-0,7)	Nº pixels (0,7-1)	Área (0,4-0,7)	Área (0,7-1)	Área total (m ²)
Controlo	29044	2112	25,31	1,84	27,15
OZn10	34666	4175	30,21	3,64	33,84
OZn30	33511	4468	29,20	3,89	33,09
OZn60	30716	10965	26,76	9,55	36,32
SZn10	32839	2878	28,61	2,51	31,12
SZn30	31605	1650	27,54	1,44	28,98
SZn60	33384	3573	29,09	3,11	32,20

4.4. INTERPRETAÇÃO DOS MAPAS DE *NDVI* COM BASE NOS RESULTADOS DAS PLANTAS E DOS SOLOS

4.4.1. COMPARAÇÃO DOS MAPAS DE *NDVI* COM A COMPOSIÇÃO DAS PLANTAS

Foram identificadas diferenças nos teores de enxofre presentes nas folhas das plantas (fig. 20). A primeira fiada, sendo aquela que apresenta melhor resposta espectral, contém menor quantidade de enxofre, com valores abaixo do controlo (7481 ppm). Nas restantes fiadas, o teor de enxofre é, face ao controlo, mais elevada. Na aplicação de OZn30, verificou-se maior quantidade de enxofre, com valores entre 10.565 - 17.531 ppm. As restantes fiadas, face ao controlo, com maior

quantidade de enxofre apresentam um vigor inferior ao do controlo, sugerindo que, com exceção da 1ª fiada, a biofortificação em zinco aumentou a quantidade de enxofre acumulado nas folhas.

Verifica-se que existe um aumento do vigor das plantas com o aumento da concentração de OZn10 para OZn60 e de SZn10 para SZn30, a par do aumento do teor de enxofre. Contudo, OZn60 contrapõe-se neste particular, sendo aquela que apresenta a menor teor de enxofre, é onde se verifica melhor vigor das plantas. Globalmente, estes dados sugerem que a implementação do itinerário de biofortificação não afetou de forma acentuada o teor de enxofre assimilado nas folhas.

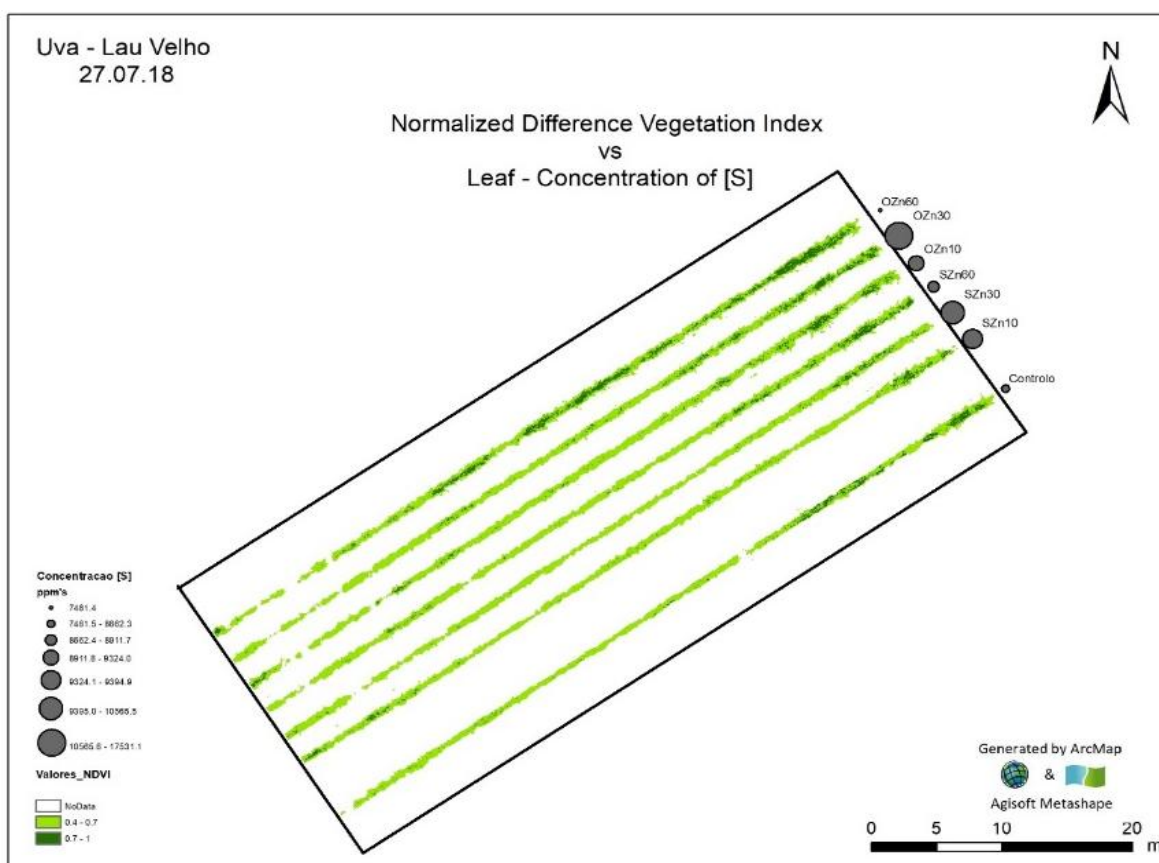


Figura 20 - Representação da quantidade de enxofre e do vigor das plantas com recurso ao índice de vegetação NDVI (escalas: [0,4 – 0,7];[0,7-1,0])

Após a aplicação de óxido de zinco e sulfato de zinco, os teores de zinco assimilado nas folhas, aumentou numa relação diretamente proporcional (fig. 21). As fiadas com concentração de OZn60 e SZn60 foram aquelas onde se verificou maior quantidade de zinco, salientando ainda que todas as fiadas apresentaram uma maior quantidade de zinco relativamente ao controlo. Verificou-se também que as fiadas com aplicação de óxido de zinco, apresentam um maior vigor do que as fiadas onde foi aplicado sulfato de zinco. As fiadas com aplicação de SZn30 e SZn10, foram aquelas que apresentam menor vigor, com valores de *NDVI* abaixo do controlo.

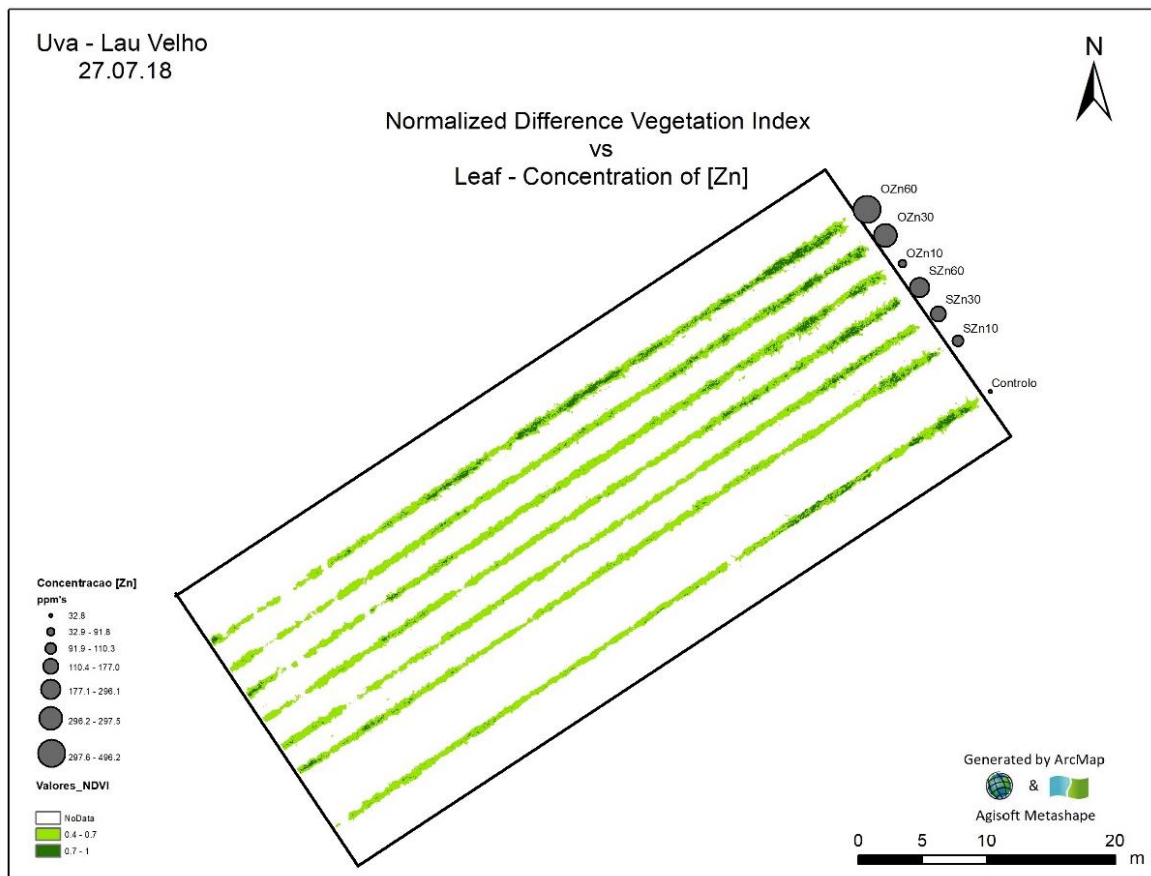


Figura 21 - Representação da quantidade de zinco e do vigor das plantas recorrendo ao índice de vegetação *NDVI* (escalas: [0,4 – 0,7];[0,7-1,0])

Relativamente aos teores de ferro observou-se uma diferença significativa na respetiva absorção a nível foliar (fig. 22). Constatou-se a existência de quatro pulverizações em que as fiadas

apresentaram uma quantidade de ferro inferior ao do controlo, (OZn60, OZn30, SZn60 e SZn30). Nas restantes fiadas, OZn10 e SZn10, o teor de ferro sofreu um incremento de cerca de 100%. Apenas na concentração OZn60 o vigor das plantas foi mais significativo, com 77,6 ppm de ferro. Dado que se verificam melhores valores de *NDVI* para várias fiadas com concentrações de ferro maiores e menores que o controlo, nada se pode em concreto apontar relativamente à interferência com o óxido e sulfato de zinco.

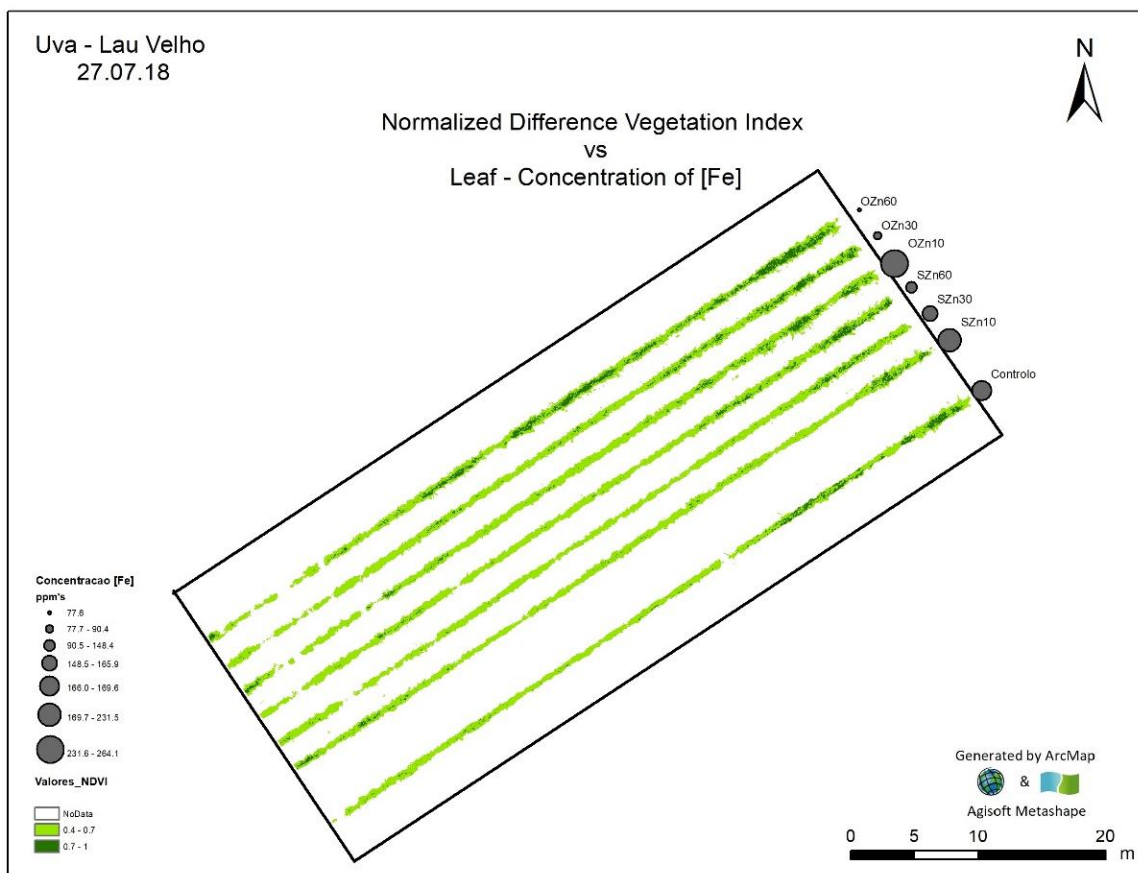


Figura 22 - Representação da quantidade de ferro e do vigor das plantas recorrendo ao índice de vegetação *NDVI* (escalas: [0,4 – 0,7];[0,7-1,0]).

Para o potássio, observam-se resultados um pouco divergentes (fig. 23). Comparando as fiadas de concentração OZn60, OZn30 e OZn10, com a fiada controlo, verifica-se que estas possuem maior vigor, o que na realidade é um fator positivo, ainda que a quantidade de potássio absorvido seja

inferior à do controlo. Nos tratamentos SZn60, SZn30 e SZn10, os teores foram muito mais elevados, sendo o vigor das plantas é menor (com mais valores de *NDVI* a incidir entre 0,4 e 0,7). Destes resultados, pode-se parece evidenciar-se que o sulfato de zinco, face ao óxido de zinco, será potencialmente mais inibitório.

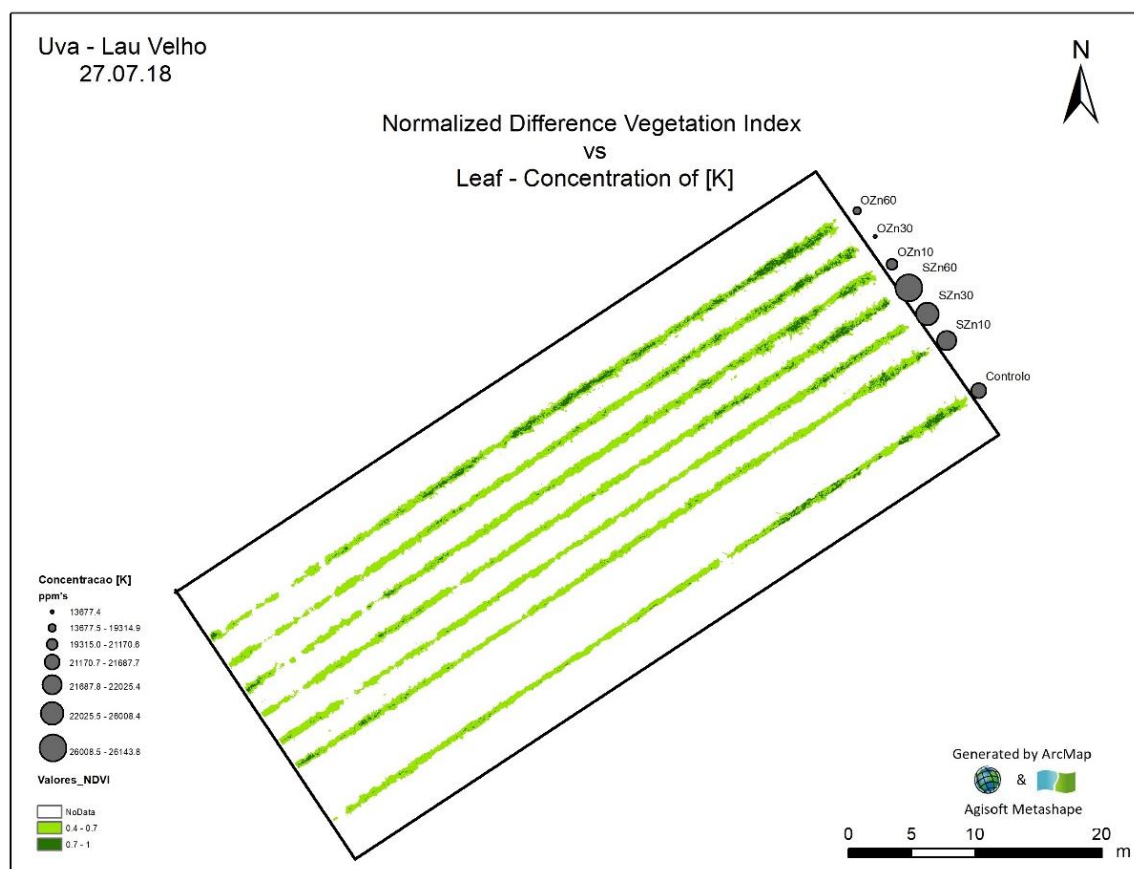


Figura 23 - Representação da quantidade de potássio e do vigor das plantas recorrendo ao índice de vegetação *NDVI* (escalas: [0,4 – 0,7];[0,7-1,0])

Relativamente ao cobre, a maioria das fiadas biofortificadas apresentam um valor na absorção de cobre bastante diferente do controlo (fig. 24). Na concentração de OZn60, a absorção de cobre foi diminuta, abaixo do controlo, com cerca de 1179 ppm. Todas as restantes fiadas registaram uma absorção de cobre bastante mais elevada que o controlo (desde 1179 a 2654 ppm). A fiada

biofortificada com SZn60 foi aquela que apresentou maior absorção de Cu. Contudo, esta não apresenta um vigor ótimo para o crescimento das plantas. O maior vigor registou-se no OZn60, com uma quantidade de cobre inferior ao do controlo. Dadas as maiores quantidades de cobre nas fiadas OZn 30, OZn 10, SZn 60, SZn 30 e SZn 10, verificou-se que a biofortificação em sulfato de zinco e óxido de zinco teve impacto na absorção de cobre.

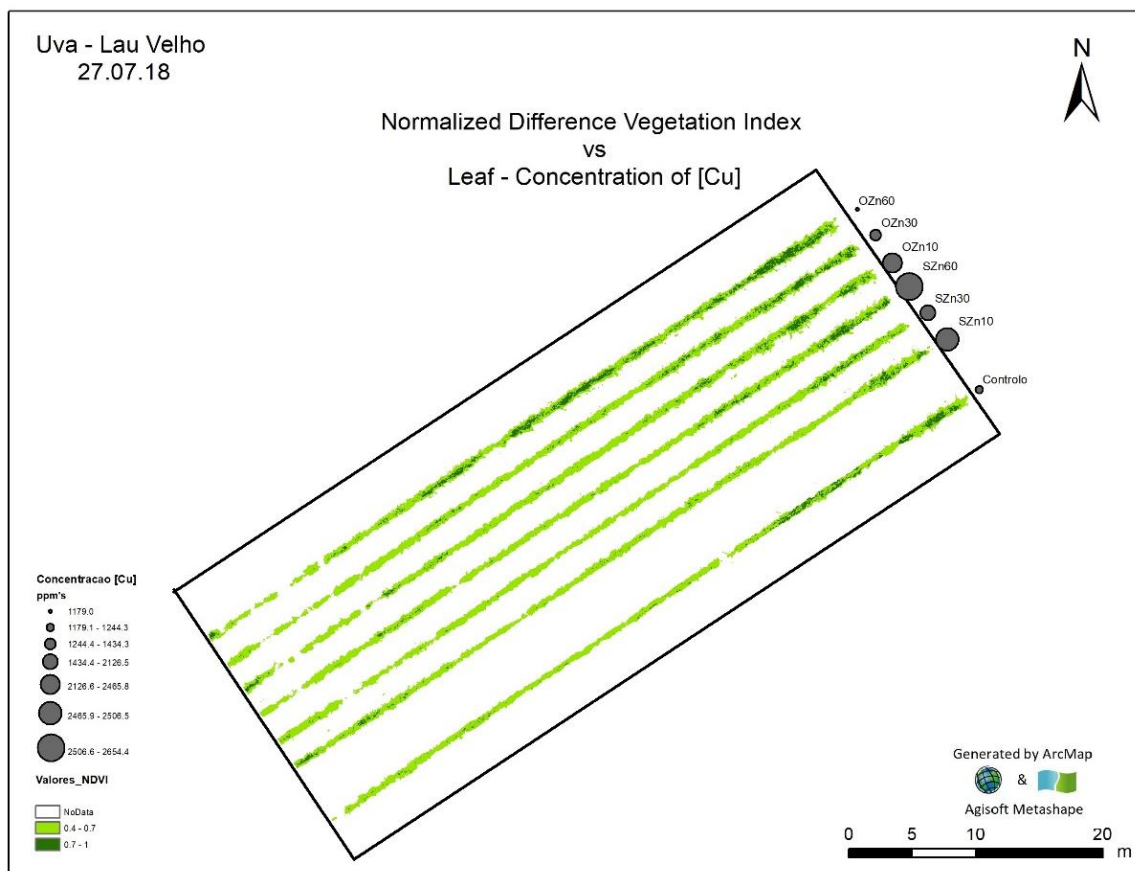


Figura 24 - Representação da quantidade de cobre e do vigor das plantas recorrendo ao índice de vegetação NDVI (escalas: [0,4 – 0,7];[0,7-1,0]).

Relativamente ao cálcio, verificou-se a predominância de maior vigor ao longo da segunda fiada (fig. 25). Constatou-se ainda que existe um vigor maior no início de cada fiada. A maior concentração de cálcio presente nas folhas, ocorreu com a aplicação de OZn60. Observando a refletância da vegetação, constatou-se que nessa fiada existe um vigor maior relativamente às

outras concentrações. Ao longo das restantes fiadas, excluindo a parte inicial, o valor do *NDVI* situou-se abaixo de 0,7 (com valores entre os 0,4 e 0,7). Assim, os resultados parecem evidenciar que a concentração de sulfato de zinco 60 não afetou a absorção de cálcio por parte das folhas (ao contrário do OZn10 e OZn30, onde a quantidade de cálcio se verificou ser muito menor). Comparando as diversas fiadas em estudo com a fiada de controlo, observou-se uma maior retenção de cálcio em quatro das fiadas e uma menor retenção de cálcio na concentração de OZn30 e OZn10. Portanto, a biofortificação em zinco afetou a absorção de cálcio por parte das folhas, à exceção da fiada com concentração de OZn60, onde a quantidade de cálcio é muito similar à da fiada do controlo, embora apresentando este último, OZn60, um maior vigor.

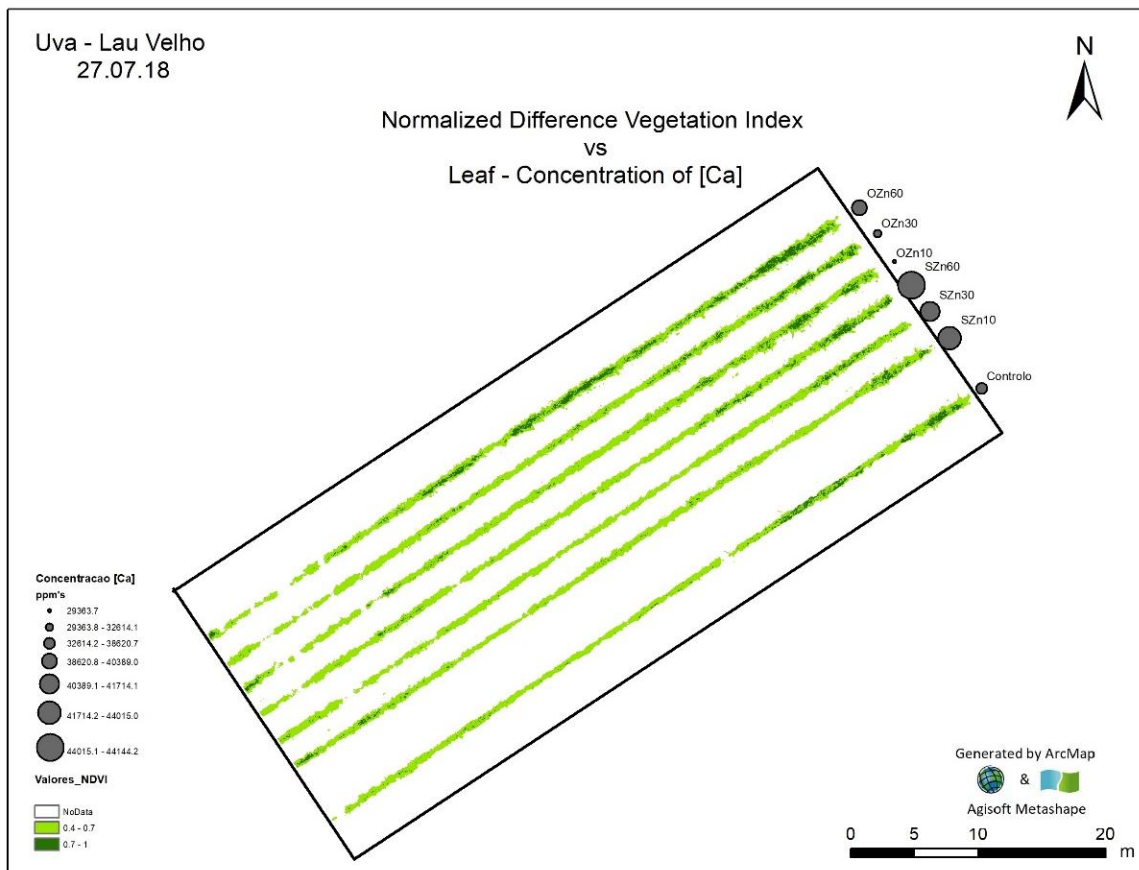


Figura 25 - Representação da quantidade de cálcio e do vigor das plantas recorrendo ao índice de vegetação *NDVI* (escalas: [0,4 – 0,7];[0,7-1,0])

4.4.2. COMPARAÇÃO DOS MAPAS DE NDVI COM AS PROPRIEDADES ESTIMADAS PARA OS SOLOS

Pela análise da resposta multiespectral do terreno face ao pH do solo constatou-se a prevalência de uma maioria de amostras com pH alcalino (**Fig. 25**). Contudo, salienta-se uma particularidade na primeira entrelinha em estudo, um pH com valor limite 7,8. Todas as amostras desta entrelinha estão diretamente relacionadas com uma baixa resposta espectral do solo. As amostras com alcalinidade entre 6,5 e 7,0 localizam-se principalmente em zonas com elevada resposta espectral. Verifica-se assim que uma gama de pH deste tipo não é propício a uma boa resposta espectral do solo. Extrapolando os resultados para toda a parcela, verifica-se que existe uma predominância de alcalinidade no solo ao longo da 1ª entrelinha. Relativamente às outras entrelinhas, o H apresenta-se ligeiramente ácido ou neutro, com valores entre 6,4 e 7,0.

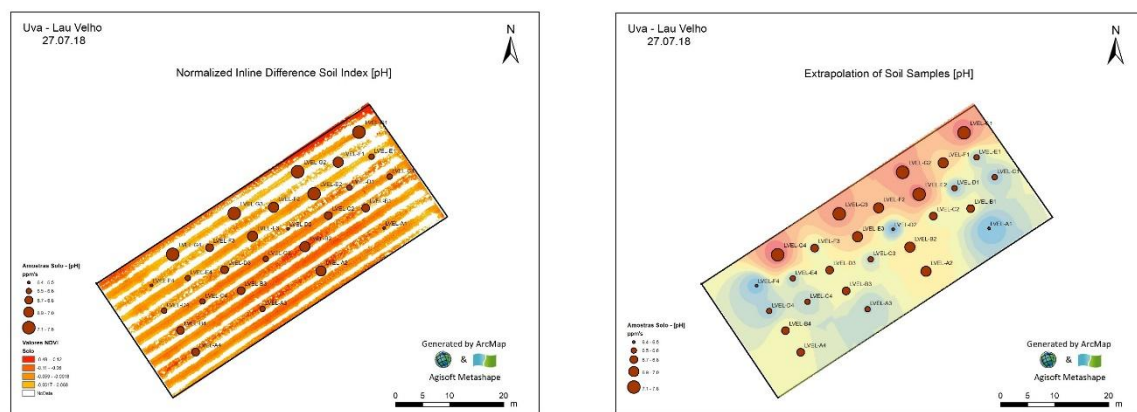


Figura 26 – Resposta espectral do solo e estimação de valores acidez (pH) no solo

Comparando a resposta multiespectral do terreno face ao teor de elementos minerais no solo (**Fig. 26**) onde se localizam as diferentes fiadas de vinha submetidas aos tratamentos de biofortificação, verifica-se que o cálcio apresenta maiores concentrações na primeira entrelinha (19501 – 37725 ppm), ao passo que na segunda entrelinha as quantidades são diminuem. Já na terceira entrelinha, as quantidades são baixas, havendo uma amostra com um pico na quantidade de cálcio, entre 19502 e 37726 ppm. As restantes amostras de solo, incluindo as do controlo, apresentam quantidades mais baixas, na ordem dos 69 a 3706 ppm. Fazendo a interpolação dos resultados, pode-se verificar que existe uma homogeneidade, na zona SO do terreno, com valores entre 9,4 e 11,9 ppm. Na zona SE do terreno predominam valores de 1990 a 3706 ppm.

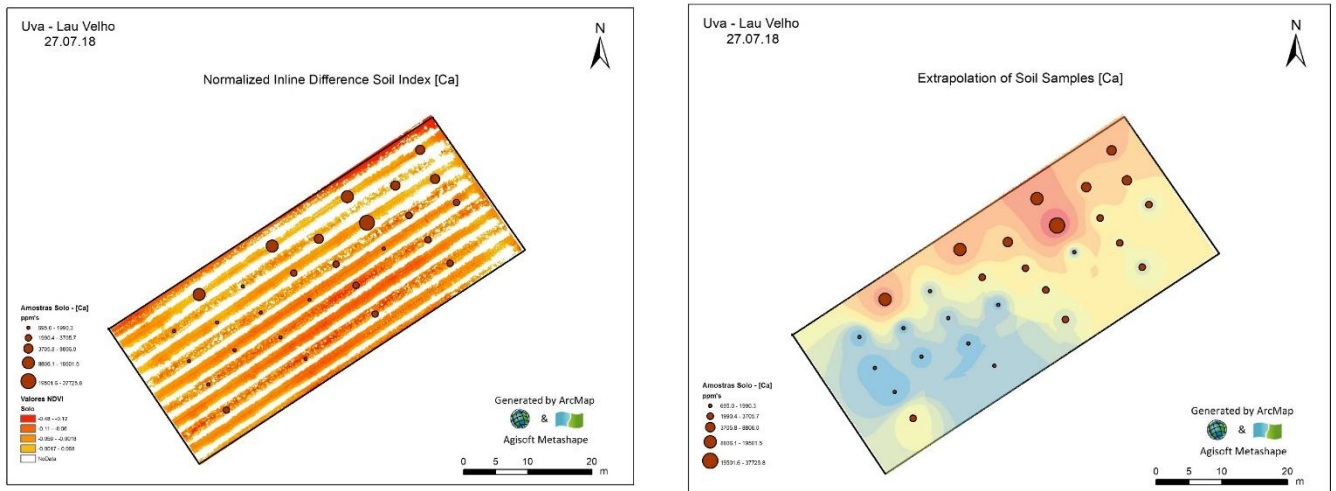


Figura 27 - Resposta espectral do solo e estimação de teores de cálcio no solo

Relativamente ao fósforo, verifica-se, pela leitura da figura 28, que existe variabilidade na sua distribuição. Na primeira entrelinha, as quatro amostras possuem uma elevada quantidade de fósforo, com valores entre 1614 - 4693 ppm. Na segunda entrelinha existe uma diminuição nos teores. Na zona com melhor resposta espectral do terreno, a SE, a quantidade de fósforo é diminuta, com valores abaixo de 1093 ppm, na maioria das amostras (entrelinhas 3, 4, 5, 6 e controlo). Salientando de novo a primeira entrelinha, verificou-se que uma pior resposta espectral do solo está associada a elevadas quantidades de fósforo. Já na zona de melhor resposta espectral do solo, as quantidades de fósforo são diminutas. Daqui se pode concluir que uma melhor resposta espectral do solo, neste caso, está associada a baixas quantidades de fósforo, embora nem sempre subsista uma associação direta. Deve referir-se que uma elevada resposta espectral do solo apenas para um determinado elemento, não significa que subsista diretamente um mau desenvolvimento da planta. Analisando a interpolação dos elementos para toda a parcela, salienta-se na zona SE uma baixa quantidade de fósforo, em oposição à 1ª e 2ª entrelinha.

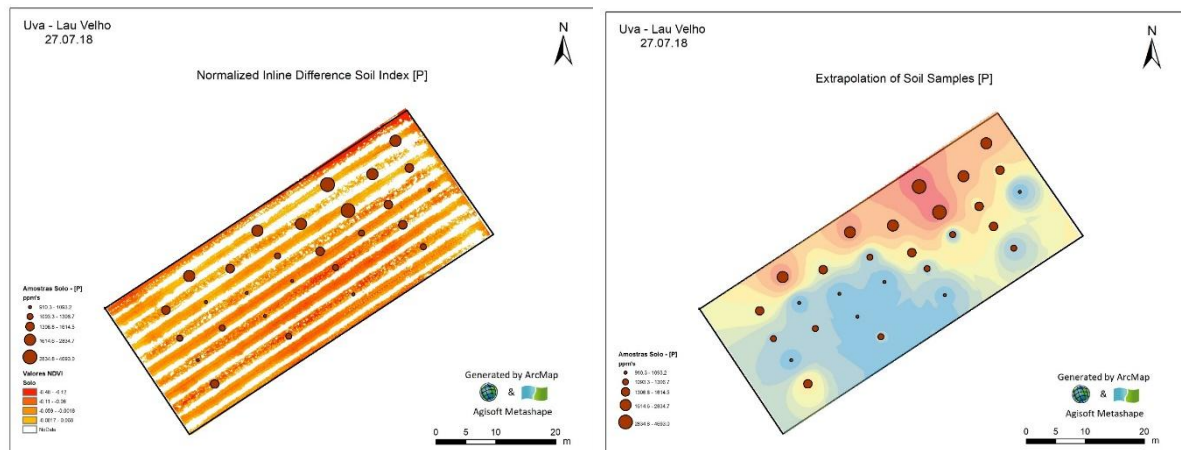


Figura 28 - Resposta espectral do solo e estimação de teores de fosforo no solo

Relativamente ao ferro (Fig. 29), observa-se que as maiores quantidades deste elemento se localizavam nas amostras da primeira entrelinha, que por sua vez, apresentavam uma má resposta espectral do solo. Nas restantes amostras, a quantidade de ferro era moderada (2500 ppm). Na zona de melhor resposta espectral do solo, a quantidade de ferro foi moderada / baixa, encontrando-se na fiada do controlo. Na terceira entrelinha, a segunda amostra de ferro, revelou uma quantidade de ferro muito alta, que pode não corresponder à realidade, não sendo representativa na amostragem. A análise da interpolação de resultados das amostras, sugeriu que a resposta espectral do solo foi melhor no conjunto das amostras com baixa quantidade de ferro, como se pode observar na zona sul do terreno e também numa pequena área a NE do terreno, correspondendo ao início da terceira, quarta e quinta entrelinha.

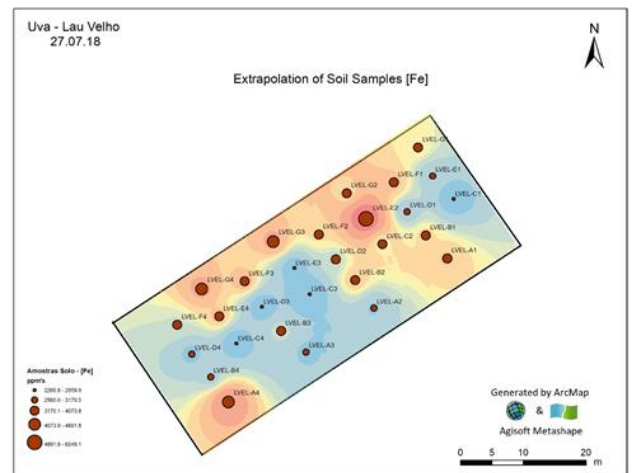
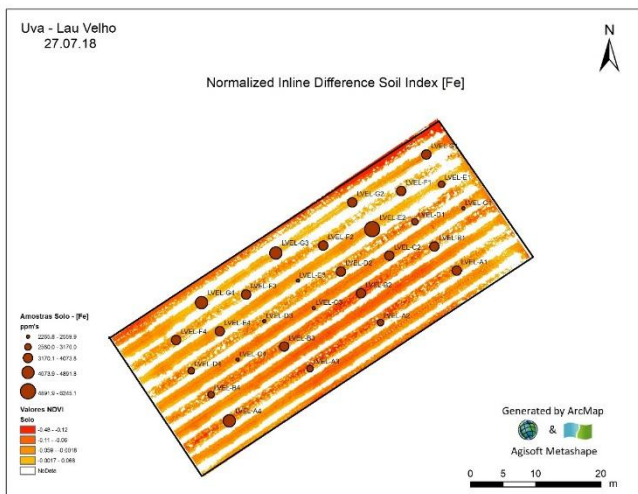


Figura 29 - Resposta espectral do solo e estimação de teores de ferro no solo

Pela análise da figura 30 observa-se que a concentração de potássio é mais elevada no início das entrelinhas, incluindo na linha de controlo. Na zona de melhor resposta espectral do solo, verifica-se que a quantidade de potássio é significativamente menor, como é o caso da entrelinha do controlo e da 6ª entrelinha. A interpolação deste elemento para o resto da parcela, indica que na zona SO da parcela, as menores quantidades de potássio se relacionam com uma melhor resposta espectral do solo.

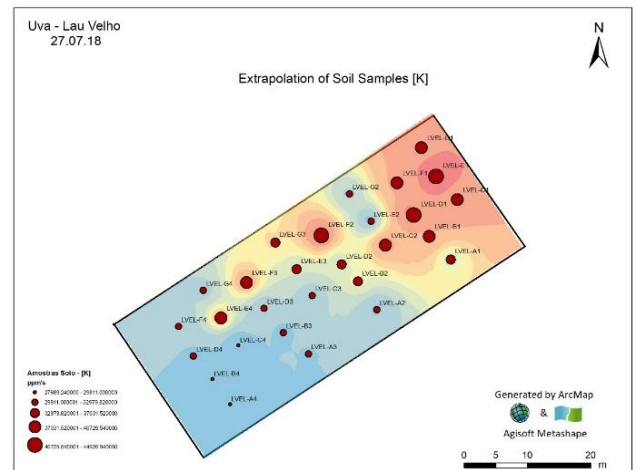
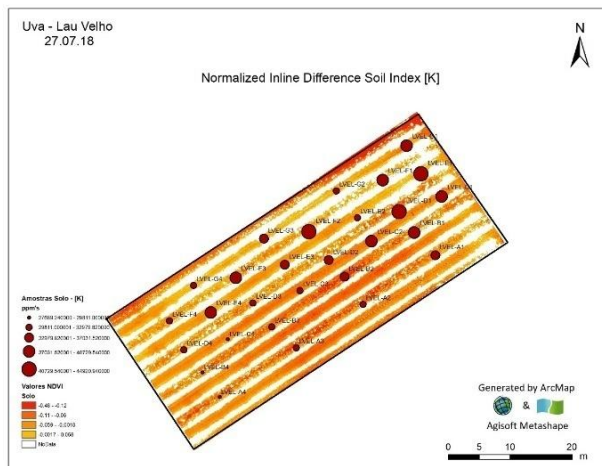


Figura 30 - Resposta espectral do solo e estimação de teores de potássio no solo

5. CONCLUSÃO

Novas técnicas estão a ser implementadas no âmbito da agricultura de precisão, contudo a maioria dos proprietários e agricultores ainda não aderiram às novas tecnologias, que se tornam necessárias para aumentar a produção agrícola, por forma a fazer face ao crescimento exponencial da população na Terra. Neste enquadramento, a monitorização da vinha Lau Velho, localizada em Palmela / Portugal, submetida a um sistema de biofortificação de uvas em zinco, para produção de vinho monocasta, com recurso a sensores de medição altimétrica em veículos aéreos não tripulados (VANT) e sincronizados por GPS (por apresentarem um elevado grau de precisão geométrica e altimétrica), constitui uma opção tecnológica de última geração relevante para os sistemas agroindustriais. Possibilita a aquisição de dados em tempo real e, subsequentemente a implementação de medidas corretivas na vinha. Destaca-se a caracterização de declives e a aptidão para infiltração ou drenagem de água e a caracterização de índices de vegetação e interpolação com teores de elementos minerais. Neste último particular, assumindo como método de validação a biofortificação em zinco na casta Fernão Pires, e nas condições edafoclimáticas da vinha Lau Velho / Palmela verificou-se que os teores de enxofre acumulado nas folhas, assim como o vigor das plantas (na gama de concentrações de OZn10 para Ozn60 e de SZn10 para SZn30) aumentaram. Por oposição a fiada com OZn60, mostrou-se ser a menor quantidade de enxofre. Relativamente aos teores de zinco, verificou-se um aumento, diretamente proporcional. Nas fiadas com concentração OZn60 e SZn60, onde se verificam maiores quantidades de zinco, relativamente, ao controlo. Conclui-se que, estas fiadas, são preferíveis, pela comparação entre si no *NDVI*. No potássio, observam-se resultados divergentes. Nas fiadas OZn60, OZN30 e OZN10, verificam-se maior vigor nas fiadas. Já nas concentrações SZn60, SZn30 e SZn10, o valor do *NDVI* incidiu sobretudo entre 0,4 e 0,7. Os resultados obtidos sugerem que o sulfato de zinco, face ao óxido de zinco poderá ser potencialmente mais eficaz para a vinha. Quanto ao cobre, as fiadas biofortificadas apresentaram um valor de absorção bastante diferente do controlo. A fiada biofortificada com sulfato de zinco 60 apresentou maiores níveis de absorção. Contudo, esta concentração, não apresentou um vigor ótimo, a nível do *NDVI*, podendo sugerir-se que a biofortificação, com sulfato de zinco, teve impacto na absorção a nível foliar. O sulfato de zinco, não afetou a absorção de cálcio, por oposição ao OZn10 e OZn30.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agisoft (2018) - Agisoft PhotoScan Professional (Version 1.2.6) (Software). Retrieved from: Official Website - <http://www.agisoft.com/downloads/installer/>- 2019 © Agisoft

Colak.Yesim.B, Yazar.A, Colac.I, Akça.H Duraktekin.G. (2014) Evaluation of Crop Stress Index (CWSI) for Wggplant under Varying Irrigation Regimes Using Surface and Subsurface Drip Systems

Ballester C., Jiménez-Bello, M.A., Castel, J.R., Intrigliolo, D.S. (2013) - Usefulness of thermography for plant water stress detection in citrus and persimmon trees. *Agric.For. Meteorology*. 168, 120–129.

Berni, J.A.J., Zarco-Tejada, P.J., Sepulcre-Cantó, G., Fereres, E., Villalobos, F. (2009) - Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery. *Rem. Sens. Environ.* 113 (11), 2380–2388.

Chaerle, L; D. Hagenbeek, D.Bruyne, E. Valcke, R. Van Der Straeten, D, (2004) - Thermal and chlorophyll-fluorescence imaging distinguish plant-pathogen interactions at an early stage. *Plant Cell Physiology*. 45 (7), 887–896.

Chaerle, L; Van Der Straeten, D., (2000) - Imaging techniques and the early detection of plant stress. *Trends Plant Sci.* 5 (11), 495–501.

Chaerle, L; *et al.*, (1999) - Presymptomatic visualization of plant-virus interactions by thermography. *Nat. Biotechnology*. 17 (8), 813–816.

ESRI, (2019). ArcGIS Desktop: Release 10.5.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Grant, O.M., *et al.*, (2010) - The impact of drought on leaf physiology of *Quercus suber* L.trees: comparison of an extreme drought event with chronic rainfall reduction. *J. Exp. Bot.* 61 (15), 4361–4371.

Corvo mine area (southern Portugal). *Journal of Geochemical Exploration*. 186: 12-23.
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.11.021>

Pessoa, F.P., P.Scotti-Campos, I. P. Pais, A. Feiteiro, D. Canuto, M. Simões, J. Pelica, I. Pataco, V. Ribeiro, F. H. Reboredo, J. C. Ramalho, and F. J. C. Lidon. (2016) - Nutritional profile of the Portuguese cabbage (*Brassica oleracea* L var. *costata*) and its relationship with the elemental soil analysis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 28(6): 381-388.

SROA, (1972) - “Carta de capacidade de uso do solo de Portugal – Bases e normas adotadas na sua elaboração”, Ministério da Economia, Secretaria de Estado da Agricultura, Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário, 6ª Edição, Junho, 1972, pp.25-

Tucker, C.J. (1979) “Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation”, *Remote sensing of environment* 8(2), 127-150

Retrieved from: Wikipedia, Normalized Difference Vegetation Index . Accessed on October 4th 2017.