



## **Estimativa da produção de uva na casta “Encruzado” com recurso a análise de imagem**

**José António Peixoto de Queiroz**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em  
**Engenharia de Viticultura e Enologia**

Orientador: Doutor Carlos Manuel Antunes Lopes

### **Júri:**

Presidente: Doutor Jorge Manuel Rodrigues Ricardo da Silva, Professor catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutor Carlos Manuel Antunes Lopes, Professor associado com agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Doutor Ricardo Nuno da Fonseca Garcia Pereira Braga, Professor auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

## **AGRADECIMENTOS**

Desejo expressar aqui os meus sinceros agradecimentos a todos quantos, de algum modo, contribuíram, pelo seu apoio, para a concretização deste trabalho, nomeadamente:

Ao Professor Carlos Lopes, meu orientador, por toda a disponibilidade e orientação prestada durante a realização deste trabalho, pelos ensinamentos e transmissão da admiração pela viticultura.

Ao Mestre Gonçalo Victorino por toda a disponibilidade, orientação, ajuda, aconselhamento e apoio ao longo da recolha de dados e na elaboração deste trabalho.

Ao meu colega de tese, Guilherme Maia, pela amizade, espírito de camaradagem, ajuda na recolha de dados, apoio e compreensão;

A todos os Professores que tive, ao longo do Mestrado de Enologia e Viticultura, pela paciência e pelos ensinamentos transmitidos.

A toda a secção de Viticultura pela ajuda prestada.

À turma de Mestrado pela amizade e companheirismo.

À minha mulher e filhas, pelo apoio neste projeto.

## RESUMO

No presente, existe uma forte percepção que a estimativa da produção pode trazer significativos benefícios para a viticultura e a indústria vitivinícola em geral. A aplicação da tecnologia da análise de imagem, tem sido investigada com objetivo de substituir a tradicional estimativa, baseada na amostragem de algumas componentes do rendimento.

Neste estudo, apresentam-se os resultados obtidos num trabalho experimental, efetuado numa vinha do Instituto Superior de Agronomia, localizada na Tapada da Ajuda em Lisboa, para estimar a produção, da casta Encruzado, através da área de cachos projetada, nas imagens recolhidas pelo robô autónomo VINBOT. Ao longo das várias fases fenológicas do ciclo biológico da videira, foram capturadas imagens de segmentos de um metro de sebe, com a camara RGB-D do robô VINBOT. Para além disso, foram ainda obtidas imagens na vinha e em laboratório utilizando uma câmara manual RGB-D.

Relativamente à taxa de crescimento do cacho, observou-se um fator de crescimento do peso do cacho de 4,2 desde o bago de ervilha até à maturação e de 1,4 desde o pintor até à maturação. Verificou-se que a eficácia em estimar o peso do cacho a partir da sua área projetada é particularmente elevada ao pintor ( $R^2 = 0,88$ ) e à maturação ( $R^2 = 0,83$ ). Quanto à visibilidade dos cachos na sebe não manipulada, observou-se que 92% a 97% dos cachos estão encobertos. O encobrimento por folhagem variou entre 77% a 79% e por outros cachos entre 13% a 19%. Todas as estimativas obtidas, subestimaram a produção tendo-se observado um erro de 38%, 41% e 27% respetivamente ao bago de ervilha, ao pintor e à vindima.

Podemos concluir assim, que a estimativa de rendimento efetuada através da análise de imagem, é uma alternativa para se conhecer a variabilidade espacial do rendimento atempadamente. Dos vários desafios que apresenta, destacam-se o encobrimento dos cachos pelas folhas e ou por outros cachos.

Palavras-chave: Análise de Imagem, Encruzado, Estimativa de Rendimento, Robótica, Viticultura de Precisão.

## ABSTRACT

Nowadays, there is a strong perception that the estimation of production can bring significant benefits to viticulture and the wine industry in general. The application of image analysis technology to identify bunches of grapes and/or grape berries, has been developed in order to replace the traditional vineyard yield estimation based on the estimation of yield components.

In this work, it is presented the results obtained in an experimental work from a vineyard of the “Instituto Superior de Agronomia”, in Lisbon (lat. 38.71 N; long. 9.18 W), to estimate the production of grapes, of the variety “Encruzado”, through the projected bunches area, in the images collected by the autonomous VINBOT robot.

Throughout the grape cycle, images of one-meter segments were captured, with the RGB-D camera placed on the VINBOT robot, from the beginning of vegetative development to the harvest. In addition, we obtained images in the vineyard and in the laboratory using an RGB-D manual camera.

The growth factor of the cluster weight ranged from 4.2 times from the phenological stage of pea size to maturation and 1.4 times from the the phenological stage of varaison to maturation. It has been found that the efficacy in estimating bunch weight from its projected area is particularly elevated to the varaison ( $R^2=0.88$ ) and maturation ( $R^2=0.83$ ). Regarding the visibility of the clusters (without leaf removal), it was observed that 92% to 97% of the clusters are covered by leaves (77% to 79%) or covered by other clusters (13% to 19%). The yield estimation obtained underestimated the final yield, with an error of 38%, 41% and 27%, respectively, in relation to pea size, varaison and maturation.

We concluded that the yield estimation through image analysis collected by the VINBOT robot, is an alternative to know the spatial variability of yield in a timely manner. Of the several challenges that the yield estimation through image analysis presents, it is emphasized the occlusion of the clusters by the leaves and or by other clusters.

Key words: Encruzado, Image Analysis, Precision Viticulture, Robotics, Yield Estimation.

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b>	ii
<b>RESUMO</b>	iii
<b>ABSTRACT</b>	iv
<b>ÍNDICE</b>	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	vii
<b>ÍNDICE DE QUADROS</b>	x
<b>ACRÓNIMOS</b>	xi
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	1
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	3
2.1. A importância da viticultura em Portugal e no Mundo	3
2.2. A viticultura de precisão	6
2.3. A robótica e a deteção remota em viticultura	9
2.4. A Estimativa de produção	13
2.4.1. Vantagens da previsão da produção	13
2.4.2. Principais métodos previsão da produção	14
2.4.2.1. Estimativas das componentes do rendimento	14
2.4.2.2. Análise polínica da atmosfera	14
2.4.2.3. Modelos agrometeorológico	16
2.4.2.4. Medição da tensão dos arames	16
2.4.2.5. Análise de imagem	17
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b>	21
3.1. Caracterização da vinha	21
3.2. Robot VINBOT	25
3.3. Acompanhamento, com imagens, da evolução fenológica de dois talões e o grau de oclusão das inflorescências	26
3.4. Delineamento experimental	27
3.5. Metodologias utilizadas	30
3.5.1. Análise dos componentes de rendimento	31
3.5.2. Modelo área projetada de cacho versus peso do cacho	33
3.5.3. Modelo para estimativa dos cachos encobertos pela folhagem	34
3.5.4. Modelo para estimativa de cachos encobertos por outros cachos	35
3.5.5. Fator de crescimento do bago	36

<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>37</b>
4.1. Otimização da recolha de imagens com o VINBOT	37
4.2. Caracterização das componentes do rendimento observadas.	38
4.3. Análise dos componentes de rendimento	40
4.4. Modelo área projetada de cacho versus peso do cacho.	41
4.5. Modelo para estimativa dos cachos encobertos pela folhagem.	43
4.6. Modelo para estimativa de cachos encobertos por outros cachos.	44
4.7. Fator de crescimento do bago	45
4.8. Estimativa do Rendimento.	47
<b>5. CONCLUSÕES</b>	<b>50</b>
<b>Referências bibliográficas</b>	<b>52</b>
<b>Anexo A</b> – Programa ImageJ – Algoritmo de análise de imagem.	A - 1
<b>Anexo B</b> – Fotografias do talão n.º 3, da videira 13, na linha 41.	B - 1
<b>Anexo C</b> – Fotografias do talão n.º 4, da videira 19, na linha 41.	C - 1
<b>Anexo D</b> – Escala de BBCH adaptada à vinha.	D - 1
<b>Anexo E</b> – Estados fenológicos da Videira – (Escala Baggiolini).	E - 1

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Maiores consumidores mundiais de vinho (2015), hl x 10 <sup>6</sup> .....	4
Figura 2 – Número de artigos científicos, de enologia e viticultura, publicados, entre 1994 e 2013, por país e artigos escritos em colaboração entre países produtores de vinho do novo e velho mundo. ....	6
Figura 3 – Evolução da produção nacional de vinho entre 2008 e 2018. ....	7
Figura 4 – Exemplo de um mapa de produtividade de uma parcela de vinha. ....	8
Figura 5 – Sensores portáteis. A - Spectron. B - Multiplex. ....	10
Figura 6 – Exemplos de soluções comerciais para viticultura de precisão. A – Vitirover. B – VineGuard. C – Vindimadora seletiva Pellenc Australia 600 LM SP. D - Fertilizador de taxa variável Tecnovit Mod. VRT 150. ....	11
Figura 7 – Diferença do NDVI, entre uma planta saudável (0.72) e em stress (0.14). ..	12
Figura 8 – Previsão da colheita na RDD, 2018. (hl x 10 <sup>3</sup> ). ....	15
Figura 9 – Dispositivo nos arames. (a) Célula de carga alinhada com o arame junto ao poste final. (b) Crescimento do cordão envolvendo o arame. (c) Polia para apoiar o arame num poste intermédio. ....	17
Figura 10 – Exemplo imagem capturada pelo VINBOT e análise com programa ImageJ. ....	18
Figura 11 – Vista robô VineScout. ....	20
Figura 12 – ROMOVI – Vista robô modular e cooperativo para vinha de encosta. ....	21
Figura 13 – Mapa parcial do Google Earth contendo a vinha (V) onde decorreu o ensaio. ....	22
Figura 14 – Precipitação e Temperatura média mensais em 2018, na Tapada da Ajuda. ....	23
Figura 15 – Folha e cacho casta Encruzado. ....	24
Figura 16 – Estados fenológicos (Escala BBCH) da casta Encruzado durante o ciclo biológico 2018. ....	24
Figura 17 – Vistas do Robô VINBOT. ....	25
Figura 18 – Vista câmara Nikon D5200. ....	27
Figura 19 – Mapa parcial do Google Earth com localização dos seis "Smart Points" usados para a recolha de dados. ....	27
Figura 20 – Fitas de riscas vermelhas e brancas a assinalar o início do SP1. ....	28

Figura 21 – Mapa parcial do Google Earth com localização dos seis "Smart Points" e os três segmentos do SP1.....	29
Figura 22 – Etiquetas a identificar os cachos no SP4, estado fenológico bago ervilha. ....	29
Figura 23 – Vista de um cacho em fundo azul, vista de bagos de um cacho em fundo branco e paisagem de um cacho.....	30
Figura 24 – Vista da balança digital KERN.....	31
Figura 25 – Análise com ImageJ, de uma fotografia, para determinação da área dos cachos e o número de cachos visíveis, no estado fenológico pintor. ....	32
Figura 26 – Vista da recolha de imagens de um cacho, em laboratório. ....	33
Figura 27 – Análise com ImageJ, da fotografia de um cacho, no estado fenológico pintor, para determinação da área do cacho. ....	33
Figura 28 – Vista de três fotografias da mesma videira, em fundo azul, sem desfolha (a), com meia desfolha (b) e desfolha total (c), na zona de frutificação, no estado fenológico bago de ervilha. ....	34
Figura 29 – Análise com ImageJ, de uma fotografia, com desfolha total, para determinação da área de troncos, sarmentos e cachos, no estado fenológico maturação. ....	35
Figura 30 – Vista de duas fotografias da mesma videira, com a exibição, a vermelho, da retirada de uma camada de cachos a encobrirem outros cachos.....	35
Figura 31 – Análise com ImageJ, de uma fotografia dos bagos de um cacho, em fundo branco, para determinação da área de cada bago e número total de bagos, no estado fenológico maturação. ....	37
Figura 32 – Componentes do rendimento observados no estado fenológico abrolhamento.....	38
Figura 33 – Número médio de inflorescências por metro, no estado fenológico cachos separados e número médio de cachos à vindima por metro, por SP. ....	39
Figura 34 - Número médio de cachos ao pintor, por metro e número médio de cachos à vindima por metro, em cada SP.....	39
Figura 35 – Coeficiente de correlação de Pearson (r), entre as componentes do rendimento na imagem VINBOT e respetivos valores observados, nos vários estados fenológicos. ....	40
Figura 36 – Relação entre a área projetada do cacho (variável independente) e o peso do cacho (variável dependente), com respetiva equação de	



regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), estado fenológico bago de ervilha, n=85. ....	42
Figura 37 – Relação entre a área projetada do cacho (variável independente) e o peso do cacho (variável dependente), com respectiva equação de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), estado fenológico pintor, n=100.....	42
Figura 38 – Relação entre a área projetada do cacho (variável independente) e o peso do cacho (variável dependente), com respectiva equação de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), estado fenológico maturação, n=135.....	42
Figura 39 – Relação entre a Porosidade sebe (variável independente) e a percentagem de cachos encobertos por folhas (variável dependente), com respectiva equação de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), estado fenológico bago de ervilha, n=15. ....	43
Figura 40 – Relação entre a Porosidade sebe (variável independente) e a percentagem de cachos encobertos por folhas (variável dependente), com respectiva equação de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), estado fenológico pintor, n=15.....	44
Figura 41 – Relação entre a Porosidade sebe (variável independente) e a percentagem de cachos encobertos por folhas (variável dependente), com respectiva equação de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), estado fenológico maturação, n=15.....	44
Figura 42 – Relação entre o rendimento (variável independente) e a percentagem de cachos encobertos por outros cachos (variável dependente), com respectiva equação de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a) ao pintor e b) à maturação, n=5.....	45
Figura 43 – Áreas médias dos cachos (cm <sup>2</sup> ) e o peso médio dos cachos (g), em cada um dos três estados fenológicos indicados, n= 94. ....	46
Figura 44 – Diâmetro médio dos bagos, por cacho, nos três estados fenológicos indicados, n=11531. ....	47
Figura 45 – Estimativa do rendimento por SP em Kg/m, utilizando área projetada do cacho visualizada nas fotografias capturadas pela câmara RGB-D Kinect v2 do robô VINBOT, nos três estados fenológicos indicados e o valor observado à vindima.....	49

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Área de vinha (ha) e produção de vinho (hl) por região vitivinícola no Continente (2016).....	3
Quadro 2 - Maiores exportadores mundiais de vinho (2016).....	5
Quadro 3 - Países com maior área de vinha e respetiva produção (2016) .....	5
Quadro 4 - Características técnicas da câmara Kinect v2. ....	26
Quadro 5 - Estados fenológicos correspondentes às passagens do robô VINBOT e respetivos registos de componentes do rendimento .....	32
Quadro 6 - Média $\pm$ desvio padrão do rendimento e das componentes do rendimento à vindima .....	38
Quadro 7 - Número médio de cachos observados, por metro linear, em cada SP, nos estados fenológicos indicados e na vindima, sem incluir o SP4 pois nas medições detalhadas foram colhidos cachos neste SP.....	41
Quadro 8 - Quadro resumo da percentagem (%) média de encobrimento de cachos por cachos, nos estados fenológicos indicados e a % média total final. ....	45
Quadro 9 - Área média do bago e do cacho, peso médio do cacho (média $\pm$ desvio padrão) , o fator de crescimento da área do bago, da área do cacho e do peso do cacho, nos três estados fenológicos indicados.....	46
Quadro 10 - Quadro com os valores do rendimento médio em Kg/m linear, real e estimado em cada um dos três estados fenológicos indicados e os respetivos erros Absoluto Médio (EPM), Percentual Absoluto Médio (EPAM) e Quadrático Médio (EQM). ....	49

## ACRÓNIMOS

ADVID - Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense.

AP - Agricultura de Precisão.

BBCH - Escala fenológica desenvolvida para várias culturas por Bayer, BASF, Ciba-Geigy e Hoechst.

GIS - Sistema de Informação Geográfica.

GPS - Sistema de Posicionamento Global.

IAF - Índice de Área Foliar.

INE - Instituto Nacional de Estatística.

IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera.

ISA - Instituto Superior de Agronomia.

IVDP - Instituto dos Vinhos do Douro e Porto.

IVV - Instituto da Vinha e do Vinho.

LIDAR - Light Detection and Ranging.

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index.

OIV - Organização Internacional da Vinha e do Vinho.

PCD - Plant Cell Density.

RDD - Região Demarcada do Douro.

RGB - Red Green and Blue.

RVI - Ratio Vegetation Index.

SAU - Superfície Agrícola Utilizável.

SCIE - Science Citation Index Expanded.

SFE - Superfície Foliar Exposta.

SP - Smart Point.

UAV - Veículo Aéreo não Tripulado.

VP - Viticultura de Precisão.

VRT - Variable Rate Technology.

## 1. INTRODUÇÃO

O rendimento de uma vinha é uma variável que pode exibir uma alta variabilidade temporal e espacial. Acresce ainda, que dentro da mesma parcela de uma vinha existe variabilidade entre as videiras, entre os cachos da mesma videira e entre os bagos do mesmo cacho. São várias as razões que justificam essa variabilidade, sendo as mais relevantes o clima, o solo, a casta, a idade da videira, os stresses bióticos e abióticos e as práticas culturais utilizadas pelo viticultor (Costa, *et al.*, 2016 e Lopes, *et al.*, 2016). Este facto levou a que desde cedo houvesse a percepção por parte dos viticultores que seria útil tentar estimar a produção para mitigar os efeitos da variabilidade do rendimento.

No entanto, conhecer o rendimento de uma parcela de vinha, continua a ser um processo trabalhoso, requerendo a monitorização frequente da vinha e efetuado usualmente de forma manual através da estimativa das componentes do rendimento, essencialmente baseadas em contagens e/ou pesagens de inflorescências, de cachos por videiras ou de bagos por cacho, tornando o método bastante demorado. Além disso usa-se normalmente uma proporção muito pequena das vinhas para a amostragem o que torna a estimativa, a maioria das vezes, imprecisa. Pelo que existe uma grande procura por novos modelos que substituam esta tradicional estimativa das componentes do rendimento. Várias metodologias com o objetivo de automatizar e aumentar a precisão da previsão do rendimento têm sido propostas, nomeadamente, utilizando a deteção remota (Hall *et al.*, 2002), a medição da tensão dos arames (Blom & Tarara, 2009) e a análise de imagem (Nuske *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2013; Diago *et al.*, 2014; Diago *et al.*, 2015).

Todavia a utilização de robôs terrestres autónomos incorporando um conjunto de sensores capazes de captar e analisar imagens de vinhas e dados 3D através de aplicações informáticas em nuvem, afigura-se uma abordagem interessante para a obtenção de mapas de produtividade que representem a variabilidade espacial das parcelas de uma vinha e para a redução dos custos associados às tarefas de monitorização local. Com este objetivo em mente, efetuou-se o presente ensaio, durante o ciclo fenológico de 2018, na vinha experimental do Instituto Superior de Agronomia (ISA), localizada na Tapada da Ajuda em Lisboa, para estimar a produção à vindima, da casta Encruzado, com recurso à análise das imagens recolhidas pela câmara RGB-D Kinect v2 do robô VINBOT.

Para a recolha de dados foram seleccionadas cento e vinte videiras, distribuídas por seis linhas contíguas (20 em cada linha), e as passagens do VINBOT foram realizadas desde os estados de desenvolvimento mais precoces (em nove estados fenológicos diferentes) com objetivo de encontrar eventuais correlações, que permitissem estimar a produção o mais cedo possível em relação à vindima, aproveitando o facto de ser mais fácil visualizar, detetar e contar as inflorescências, quando estão mais visíveis (menor encobrimento por parte da folhagem). Todas as imagens capturadas, foram analisadas manualmente com recurso ao ImageJ, que é um software de utilização livre, desenvolvido pelo National Institutes of Health dos Estados Unidos da América (<https://imagej.nih.gov/ij/>). As componentes do rendimento presente em cada imagem foram confrontadas com as reais existente na vinha, que foram recolhidas visualmente após a sua captura.

Nos estados fenológicos de bago de ervilha (K), pintor (M) e maturação (N), no ponto de recolha de dados da linha 44, para além da recolha de imagens pelo VINBOT, efetuaram-se medições detalhadas e análises destrutivas, designadamente foram fotografados com uma câmara RGB-D Nikon D5200 cinco metros em cada recolha de dados e ainda, após a respetiva colheita analisados em laboratório 85, 100 e 135 cachos. A deteção das inflorescências e dos cachos foi naturalmente mais difícil quando as imagens foram recolhidas sem qualquer desfolha, pois os bagos aparecem sobre um fundo de folhas com cor idêntica e nem todos os cachos são visíveis ou somente parcialmente visíveis.

Este ensaio tem como objetivos, estimar a produção à vindima com recurso à análise das imagens recolhidas pelo robô VINBOT, prever a produção em estados precoces com recurso à análise das imagens recolhidas pelo robô VINBOT e contribuir para a obtenção de algoritmos que permitam estimar com robustez a produção de forma automática através do robô VINBOT.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. A importância da viticultura em Portugal e no Mundo

Em Portugal, a viticultura é historicamente uma das atividades socioeconómicas mais relevantes. No contexto do setor agrícola geral, esta indústria com 195 mil hectares em 2016 (IVV, 2017) representa aproximadamente 5,5% da Superfície Agrícola Utilizável (SAU) de Portugal, 3,6 milhões de hectares em 2013 (INE, 2009).

A cultura da vinha estende-se de Norte a Sul do país, que apesar de relativamente pequeno, apresenta uma extensa gama de vinhos desde o vinho verde, até ao mais prestigiado generoso do mundo o Vinho do Porto, produzido na Região Demarcada do Douro, onde pelas palavras de Guerra Junqueiro “a videira come pedras e bebe sol”.

Quadro 1 - Área de vinha (ha) e produção de vinho (hl) por região vitivinícola no Continente (2016)

Região vitivinícola (2016)	Área (ha)	%	Produção (hl)	%
<b>Minho</b>	<b>21 020</b>	<b>11</b>	<b>736 430</b>	<b>12</b>
<b>Trás-os-Montes / Douro e Porto</b>	<b>57 147</b>	<b>30</b>	<b>1 413 750</b>	<b>23</b>
<i>Trás-os-Montes</i>	14 381	7.6	76 549	1
<i>Douro e Porto</i>	42 766	22.5	1 337 201	22
<b>Beiras</b>	<b>47 940</b>	<b>25.2</b>	<b>758 097</b>	<b>13</b>
<b>Tejo</b>	<b>12 874</b>	<b>6.8</b>	<b>551 300</b>	<b>9</b>
<b>Lisboa</b>	<b>19 186</b>	<b>10.1</b>	<b>998 804</b>	<b>17</b>
<b>Península de Setúbal</b>	<b>7 203</b>	<b>3.8</b>	<b>463 035</b>	<b>8</b>
<b>Alentejo</b>	<b>23 375</b>	<b>12.3</b>	<b>1 050 439</b>	<b>17</b>
<b>Algarve</b>	<b>1 722</b>	<b>0.9</b>	<b>10 419</b>	<b>0.2</b>
<b>Total</b>	<b>190 914</b>		<b>5.982.274</b>	

Adaptado de IVV, (2017)

Aos valores do quadro 1, acrescem as áreas de vinha e respetivas produções das Regiões Autónomas dos Açores e Madeira, obtendo-se uma área de vinha total de 195 mil hectares e uma produção de cerca de 6 milhões de hectolitros, para o ano de 2016. Da área de vinha, destacam-se as regiões das Beiras (que incluem a Beira Atlântica, Terras do Dão, Terras da Beira e Terras de Cister), do Douro e Porto e do Alentejo com 25,2%, 22% e 12,3% da área nacional de vinha, respetivamente. Quanto à produção destacam-se as regiões do Douro e Porto, Alentejo e Lisboa,

representando 22%, 17% e 17%, respetivamente. Realçam-se as baixas produtividades na região das Beiras, sendo a principal região em termos de área, no entanto, representando apenas 13% da produção vinícola nacional e na situação inversa as elevadas produtividades na região de Lisboa, com 10,1% da área de vinha nacional e com 17% da produção vitícola nacional.

Numa perspetiva global e apesar de ser uma cultura tradicionalmente mediterrânica, observa-se a mesma relevância deste setor em diversos países europeus mais a Norte e fora da Europa. De acordo com os dados da OIV para 2016, a área mundial de vinha para vinho estabilizou desde 2013 nos 7,5 milhões de hectares, dos quais 4 milhões (53%) na Europa, assistindo-se, no entanto, a uma ligeira tendência de diminuição de área na Europa e um crescimento fora da Europa, relevante em alguns países asiáticos (e. g. a China). A produção mundial foi em 2016 de 267 milhões de hectolitros, no entanto três países europeus (Itália, França e Espanha) contribuem para 50% desta produção. O consumo mundial estabilizou desde 2009 nos 243 milhões de hectolitros.

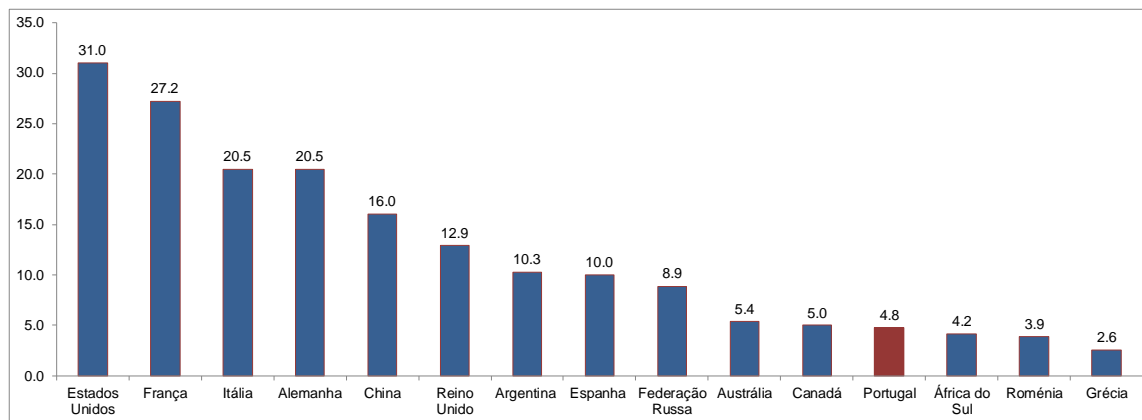


Figura 1 - Maiores consumidores mundiais de vinho (2015), hl x 10<sup>6</sup>  
Fonte: (IVV, 2017)

No país o consumo de vinho *per capita* (litros/habitante/ano) aumentou de 39,7 em 2013 para 59,9 em 2017 e é o décimo segundo maior consumidor mundial (Fig. 1). O mercado global (Quadro 2), considerando as exportações totais de todos os países, atinge 104,1 milhões de hectolitros em termos de volume - uma queda de 1,2% em relação a 2015 - e 28,9 mil milhões de euros em valor - um aumento de 2% em relação a 2015.

Quadro 2 - Maiores exportadores mundiais de vinho (2016)

Países	Exportações hl x 10 <sup>6</sup>	Exportações EUR x 10 <sup>6</sup>
Espanha	22.9	2,649
Itália	20.6	5,582
França	14.1	8,232
Chile	9.1	1,668
Australia	7.5	1,543
África do Sul	4.3	603
Estados Unidos	3.8	1,415
Alemanha	3.6	930
Portugal	2,8 (9º)	727 (10º)
Argentina	2.6	738
<b>Total Mundial</b>	<b>104</b>	<b>29 000</b>

Fonte: (OIV, 2017)

No mercado global das transações de vinho, Portugal foi em 2016 o nono maior exportador mundial em volume e o décimo em valor, no entanto as exportações nacionais em valor, têm vindo a aumentar desde 2007. Os cinco maiores países importadores de vinho em volume são por ordem decrescente a Alemanha, Reino Unido, Estados Unidos da América, França e China, mas em termos de valor o mercado Norte-americano é o mais importante, representando 5 016 milhões de Euros.

Quadro 3 - Países com maior área de vinha e respetiva produção (2016)

Países	Área ha x 10 <sup>3</sup>	Produção hl x 10 <sup>3</sup>
Espanha	975	39.3
China	847	11.4
França	785	43.5
Itália	690	50.9
Turquia	480	-
Estados Unidos	443	23.9
Argentina	224	9.4
Chile	214	10.1
Portugal	195 (9º)	6 (11º)
Roménia	191	3.3
Austrália	148	13
África do Sul	130	10.5
Grecia	105	2.6
Alemanha	102	9
<b>Total</b>	<b>7500</b>	<b>267</b>

Adaptado de OIV, (2017)



Em termos de área, Portugal tem a nona maior área de vinha no contexto mundial, mas apresenta uma produtividade mais baixa que a de outros países com menor área, ocupando o décimo primeiro lugar (Quadro 3).

Relativamente à elaboração e publicação de artigos científicos, na figura 2 podemos observar o número de artigos científicos, de enologia e viticultura, publicados no período de 1994 a 2013, por vários países e artigos escritos em colaboração entre países produtores de vinho do novo e velho mundo. Os resultados foram obtidos pela análise da base de dados do Science Citation Index Expanded (SCIE), (Aleixandre *et al.*, 2016), sendo os mais prolíficos os EUA e a Espanha, apresentando Portugal um número significativo o que demonstra a importância deste setor no contexto nacional.

Europa Velho Mundo	Novo Mundo						Total artigos	Total artigos colaboração
	Africa do Sul	Austrália	Brasil	Canadá	Chile	EUA		
França	25	98	40	49	42	193	3699	447
Alemanha	16	46	8	34	10	128	1804	242
Grécia	0	2	0	14	0	37	651	53
Itália	15	53	21	25	10	255	3791	124
<b>Portugal</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>27</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>27</b>	<b>1204</b>	<b>74</b>
<b>Espanha</b>	17	48	29	12	48	117	<b>4786</b>	154
Total artigos	577	1973	1089	876	458	<b>5837</b>		
Total artigos colaboração	81	253	125	137	112	757		

Figura 2 –Número de artigos científicos, de enologia e viticultura, publicados, entre 1994 e 2013, por país e artigos escritos em colaboração entre países produtores de vinho do novo e velho mundo. Fonte: (Aleixandre *et al.*, 2016).

Tendo em consideração todos os dados apresentados, é indiscutível a importância que o setor vitivinícola tem para o país não só a nível social, mas também a nível económico, sendo um setor com um mercado de exportações importante, que associado ao enoturismo dá sinais de continuar a aumentar em valor, pelo que qualquer avanço tecnológico que privilegie o desenvolvimento deste setor, nomeadamente estudos científicos, poderá ser benéfico, tendo em conta o impacto que poderá ter num mercado tão competitivo e dinâmico.

## 2.2. A viticultura de precisão

Desde sempre que os agricultores foram confrontados com a variabilidade espacial e temporal das suas culturas, expressas vegetativamente e na existência de

variabilidade da produtividade e/ou da qualidade. As vinhas variam substancialmente na quantidade e qualidade das uvas que produzem (Bramley, 2010). A produção e a qualidade das uvas são conhecidas por variarem bastante dentro de cada parcela e ao longo de cada linha na parcela. As consequências mais visíveis desta variabilidade são a incerteza na previsão do rendimento e a chegada de uvas com qualidade variável à adega (Bramley & Hamilton, 2007). Esta variabilidade é natural e pode ser observada na produção vinícola portuguesa (Fig. 3).

A agricultura de precisão visa essencialmente otimizar recursos e fatores de produção no espaço e no tempo, maximizando o rendimento de uma forma sustentável, através da criação e utilização de mapas de prescrição, proporcionar uma gestão dos recursos (fertilizantes/produtos fitofarmacêuticos) mais eficiente. Possibilitando de forma genérica atingir dois grandes objetivos, tornar a produção mais rentável e reduzir o seu impacto ambiental.

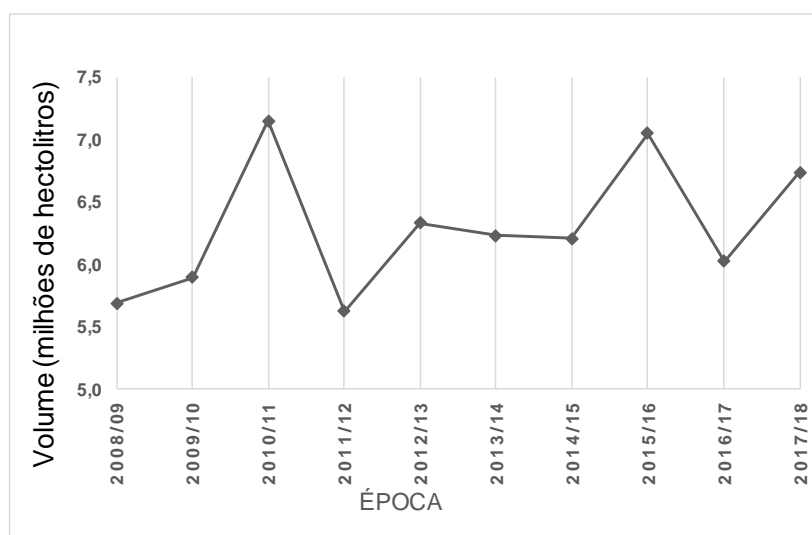


Figura 3 – Evolução da produção nacional de vinho entre 2008 e 2018.  
Fonte: (IVV, 2017)

Ou seja, a viticultura de precisão visa manter o máximo controlo na gestão da vinha, tomando conhecimento do facto de que há variabilidade nesta cultura (Bramley, 2010).

Aumentando o detalhe espacial com que se faz a aplicação de fatores de produção, passando de taxa de aplicação média por parcela para cartas com resoluções espaciais menores torna-se possível a sua aplicação de acordo com as necessidades próprias de cada zona da parcela. Desta forma, atingem-se ganhos de produtividade, redução de custos e de perdas de fatores de produção aplicados, que

têm geralmente impacto ambiental negativo. Para o efeito utiliza uma vasta gama de ferramentas e tecnologias que possibilitam aos técnicos uma tomada de decisão mais robusta e orientada.

Uma parcela apesar de cultivada uniformemente apresenta diferenças que podem ser devidas a inúmeros fatores nomeadamente, as propriedades físicas do solo, o teor de água no solo, a incidência de pragas e doenças, etc., (Braga, 2009). Uma das formas de tirar partido ou minimizar o impacto desta variabilidade traduz-se na implementação de uma agricultura de precisão, baseada fundamentalmente na recolha de informação que, após análise, deverá ser transformada em conhecimento científico, permitindo a identificação de zonas/parcelas diferentes e do fornecimento de meios que permitam que essas parcelas possam ser geridas de forma segmentada, possibilitando reduzir os custos de produção e melhorar a qualidade do produto final.

Quando aplicadas à viticultura, as ferramentas de agricultura de precisão, designando-se por viticultura de precisão (VP), permitem, por exemplo, efetuar o mapeamento da variabilidade espacial da qualidade da produção, separando os lotes de acordo com a composição das uvas, possibilitando uma vindima segmentada. Outro exemplo de aplicação de VP é o possível mapeamento da variabilidade da produtividade e do vigor das parcelas (Fig. 4), possibilitando uma gestão diferenciada dos fatores de produção no espaço, reduzindo os custos de produção e o impacto ambiental associados à utilização em demasia destes produtos.

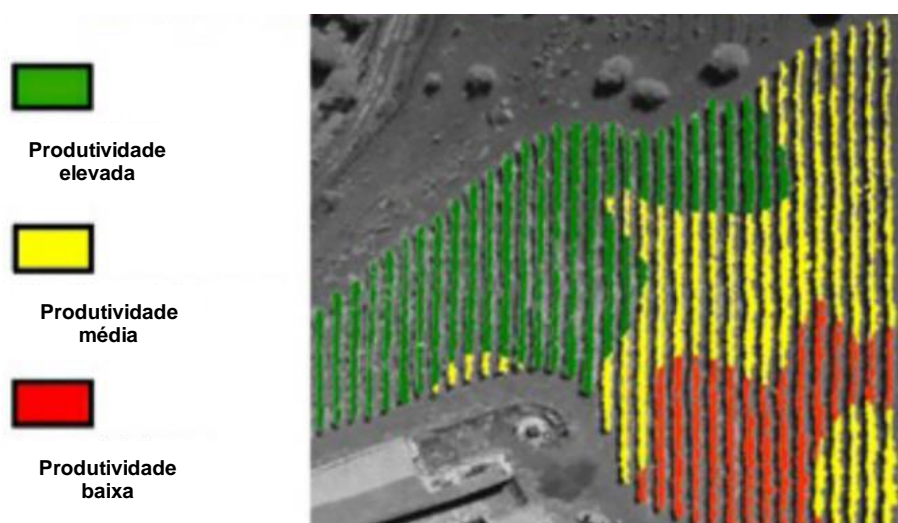


Figura 4 - Exemplo de um mapa de produtividade de uma parcela de vinha.  
Fonte: (Matese *et al.*, 2015)

Apesar de inicialmente mais desenvolvida para as culturas arvenses, a agricultura de precisão foi oportunamente aplicada na viticultura devido ao uso racional de recursos associados a esta prática e ao potencial impacto que tem na quantidade e composição do produto final. Neste processo será sempre necessário criar cartas de prescrição com base no conhecimento da variabilidade espacial do solo, do terreno e das plantas. Atualmente em vários países, incluindo Portugal, já são habituais alguns serviços ligados à VP, nomeadamente o fornecimento de mapas de NDVI - “Normalised Difference Vegetation Index” - para suporte à segmentação da vinha.

### **2.3. A robótica e a deteção remota em viticultura**

O progressivo desenvolvimento tecnológico tem permitido o aparecimento no mercado de equipamentos e ferramentas úteis à realização de operações culturais, monitorização e controlo do crescimento da videira. Com a evolução tecnológica a viticultura de precisão pode recorrer hoje em dia a uma panóplia muito variada de equipamentos e robôs. Nomeadamente sistemas de posicionamento global (GPS), sistemas de informação geográfica (GIS), sensores para avaliação das características do solo, a deteção remota com auxílio de satélites, aeronaves e UAV's (veículo aéreo não tripulado), equipamentos de tecnologia de taxa variável (VRT), equipamentos para monitorização do rendimento e da qualidade da uva e tecnologias de análise de imagem. Todos estes equipamentos têm como objetivo facilitar a recolha de informação no terreno e, por sua vez, procurar melhorar o rendimento, a qualidade da produção e, ao mesmo tempo, reduzir o uso irracional de recursos.

Para melhor compreensão podemos classificar estes equipamentos em dois grandes grupos, o primeiro relacionado com tecnologias de monitorização, como a geolocalização e deteção remota e, o segundo em tecnologias de taxa variável e os novos robôs agrícolas (Matese *et al.*, 2015).

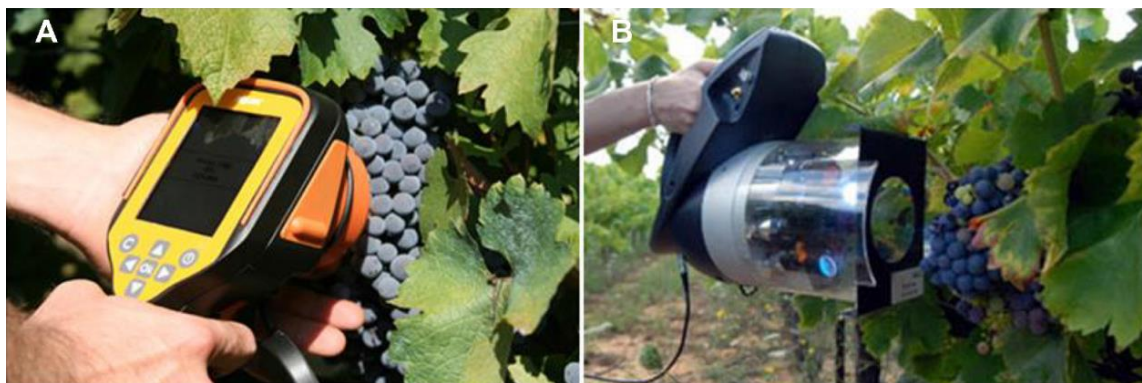


Figura 5 - Sensores portáteis. A - Spectron. B - Multiplex.  
Fonte: (Matese *et al.*, 2015)

A figura 5 apresenta dois equipamentos portáteis recolha de informação das folhas e dos bagos, de forma não destrutiva e com GPS para georreferência. Com o Spectron<sup>TM</sup> (Pellenc) podemos avaliar automaticamente alguns parâmetros da uva designadamente o teor em açúcar, acidez total e o teor em antocianinas. Com o MULTIPLEX 3 (Force A) e através da excitação da espécie química por radiação eletromagnética e reemissão ao mesmo ou a outro comprimento de onda, a intensidade da radiação fluorescente permite determinar quantitativamente o teor de polifenóis e de clorofila, entre outros.

Perante um tão diversificado conjunto de tecnologias, a dificuldade reside na escolha do melhor equipamento a utilizar, que dependerá fundamentalmente do tipo de aplicação pretendida, do custo associado e da capacidade de formar técnicos capazes de compreender e usar o equipamento ou a tecnologia adequadamente. As tecnologias de monitorização, deteção remota e a tecnologia de taxa variável já são utilizadas em viticultura de uma forma generalizada, enquanto uma grande parte da robótica ainda está em fase de desenvolvimento experimental. A rápida disseminação de tecnologias de monitorização, portáteis ou transportadas em máquinas, tem permitido otimizar os sistemas de apoio à decisão e consequentemente facilitar a implementação de estratégias de intervenção rápidas e precisas para mitigarem a variabilidade espacial e temporal na qualidade e no rendimento da videira.



Figura 6 - Exemplos de soluções comerciais para viticultura de precisão. A – Vitirover. B – VineGuard. C – Vindimadora seletiva Pellenc Australia 600 LM SP. D - Fertilizador de taxa variável Tecnovit Mod. VRT 150. Fonte: (Matese *et al.*, 2015)

A figura 6 apresenta várias soluções comerciais para viticultura de precisão, o Vitirover, robô criado especialmente para cortar ervas daninhas na entrelinha das vinhas, é movido a energia solar, controlado remotamente por smartphone e tem um sistema de guiamento por GPS. O VineGuard que é um pulverizador autónomo e seletivo para vinhas que utiliza vários sensores para navegar (e.g. sensores óticos e GPS diferencial). E dois equipamentos de tecnologia de taxa variável, uma vindimadora seletiva Pellenc e um fertilizador de taxa variável Tecnovit.

A deteção remota consiste, de forma genérica, no registo de informação sobre a superfície terrestre, utilizando imagens obtidas de uma perspetiva aérea, usando a energia emitida ou refletida pela superfície terrestre em diversos comprimentos de onda do espectro eletromagnético (Jones & Vaughan, 2010). A deteção remota inclui ainda o registo de informação com equipamentos portáteis, também denominada “deteção remota próxima”, que fornece uma poderosa ferramenta para a monitorização de plantas e que naturalmente tem várias aplicações na viticultura de precisão (Jones & Vaughan, 2010 e Braga, 2009). Para tal utilizam-se sensores (ex. câmaras de RGB, de infravermelhos, térmicas, hiperespectrais, LiDAR) que recolhem informação de forma não destrutiva.

O resultado habitual de um sistema de deteção remota é geralmente uma imagem representando uma área em observação (Navalgund *et al.*, 2007). É comum a utilização de câmaras que detetam e registam a radiação refletida ou emitida pelo corpo em análise (superfície terrestre, parcelas de uma cultura, plantas individuais,



folhas, frutos, solo, etc). No caso da vinha procura-se analisar principalmente as videiras, mas também o enrelvamento e o solo a que estão associadas. A quantidade e o tipo de radiação refletida ou emitida pelo alvo correspondem à sua assinatura espectral. A aplicação da detecção remota mais comum em agricultura tem em vista a obtenção de mapas de vigor e do estado vegetativo das plantas. Um dos índices de vegetação mais usados em viticultura de precisão é o NDVI – “Normalised Difference Vegetation Index” (Fig. 7) – que é calculado a partir da seguinte fórmula:  $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$  em que NIR representa a reflectância na banda de comprimento de onda do infravermelho próximo e o Red a reflectância na banda do vermelho. O NDVI pode estar relacionado com diferentes fatores, como o Índice de Área Foliar (IAF), que é calculado pelo número de vezes que a área de terreno plantado é coberta pela área foliar da cultura (e.g. um IAF de 3 representa 3 m<sup>2</sup> de área foliar por m<sup>2</sup> de área de terreno), as deficiências nutricionais da planta ou eventuais estados de stress (e.g. stress hídrico). Os seus valores variam entre -1 e 1 (Hall *et al.*, 2002). As zonas de maior vigor (densidade vegetal) possuem uma maior reflectância na zona do infravermelho próximo e uma menor reflectância no vermelho, apresentando valores mais altos de NDVI.

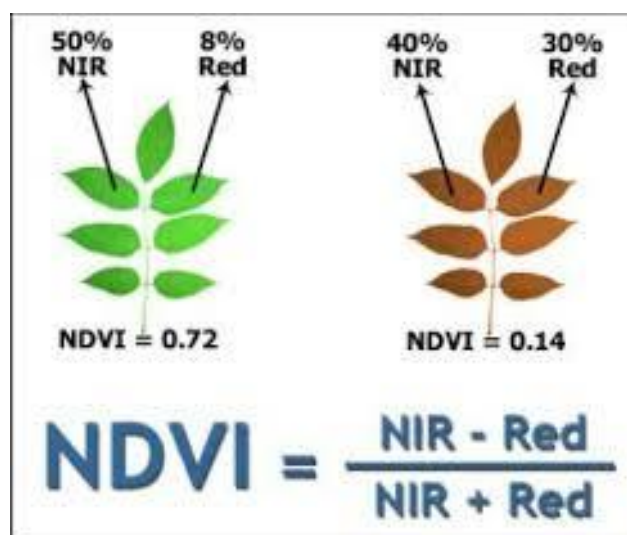


Figura 7 - Diferença do NDVI, entre uma planta saudável (0.72) e em stress (0.14).  
 Fonte: <https://rohmedi.com/2016/08/26/normalized-difference-vegetation-index-ndvi/>

Outro índice utilizado é o PCD “Plant Cell Density” ou RVI “Ratio Vegetation Index, sendo calculado pela fórmula:  $PCD$  ou  $RVI = (NIR/Red)$ . Os valores são altos para valores elevados de biomassa fotossinteticamente ativa e baixos para valores baixos da mesma.

A detecção remota é uma das ferramentas mais utilizada em viticultura de precisão, pela capacidade de fornecer rapidamente uma visão global da forma, tamanho e vigor da videira na totalidade da vinha (Hall *et al.*, 2002), contribuindo assim para identificar a variabilidade espacial de diversos componentes de desenvolvimento vegetativo e rendimento da videira. A utilização da detecção remota em vinhas, contudo apresenta algumas limitações pois fornece principalmente informações da região superior do coberto, os sensores saturam em elevados níveis de Índice de Área Foliar (IAF) e as particularidades do sistema de condução e implantação da vinha, nomeadamente a altura, extensão e densidade do coberto, a distância e eventual enrelvamento da entrelinha, obrigam ao uso de processos adicionais para produzir mapas mais precisos.

## **2.4. A Estimativa de produção**

### **2.4.1. Vantagens da previsão da produção**

A previsão da produção é crucial para o planeamento e organização da vindima (Blom & Tarara, 2009). Uma boa previsão da produção ajuda a economizar e planear as necessidades na adega em termos de cubas, depósitos, barricas, aprovisionamento de aguardente para vinificação de vinhos generosos, produtos enológicos, garrafas e outros (MacMillan & Fisher, 2005 e Nuske *et al.*, 2011). A previsão de produção pode ainda ser utilizada para planear a necessidade de compra e/ou venda de uva, estabelecer os preços da uva e permitir uma gestão adequada dos stocks de vinho. Programar investimentos de forma mais precisa e também desenvolver estratégias de marketing, fundamentais neste setor altamente competitivo e dinâmico.

Para Dunn, (2010), a previsão exata do rendimento é um passo essencial para obter a regulação de rendimento com sucesso, pelo que existe no setor da viticultura uma grande procura por novos modelos que substituam a tradicional estimativa das componentes do rendimento, efetuada normalmente de forma manual, que o torna um método bastante demorado, com a amostragem de uma proporção muito pequena das vinhas, sendo a maior parte das vezes, impreciso. Várias metodologias com objetivo de automatizar e aumentar a precisão da previsão do rendimento têm sido propostas, nomeadamente, utilizando detecção remota (Hall *et al.*, 2002), a medição



da tensão dos arames (Blom & Tarara, 2009) e a análise de imagem (Nuske *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2013; Diago *et al.*, 2014; Diago *et al.*, 2015).

## **2.4.2. Principais métodos previsão da produção**

### **2.4.2.1. Estimativas das componentes do rendimento**

As estimativas baseadas nas componentes do rendimento, efetuadas habitualmente de forma manual, apresentam normalmente uma metodologia bastante demorada e muito exigente em mão de obra o que envolve elevados custos e pode ser destrutiva. Comercialmente continua a ser a forma mais comum de realizar as estimativas de rendimento, pois é acessível a todos os viticultores, que poderão avaliar uma ou várias componentes do rendimento, em diversas parcelas da vinha e, com recurso aos dados históricos realizarem uma extrapolação dos resultados dessa parcela para toda a vinha.

Este método é também pouco sensível à variabilidade espacial da vinha pois está sujeita a amostragens de pequena dimensão, enferma de alguma subjetividade pelo facto de cada pessoa ter uma sensibilidade diferente para avaliar a mesma componente, podendo levar a estimativas desajustadas e a vinhos com pouca qualidade, decorrentes de práticas culturais desajustadas face à real situação da vinha (Diago *et al.* 2012). Para Nuske *et al.*, (2011), o número de cachos por videira e o número de bagos por cacho respondem por 60% e 30% da variabilidade do rendimento por videira, respetivamente, ou seja, 90% da variação no rendimento é explicada com precisão com a contagem de cachos por videira e bagos por cacho. Estes dados foram também obtidos por Lopes, (2009), que concluiu que a componente “peso dos bagos” apresentava a melhor capacidade preditiva, referindo que ao pintor se poderia estimar o valor da colheita com uma percentagem de erro de apenas 2%. Contudo a contagem do número de bagos por cachos é muito morosa, utilizando-se por vezes métodos indiretos baseados em relações alométricas.

### **2.4.2.2. Análise polínica da atmosfera**

Este método prevê a colheita a partir da análise do pólen existente no ar no período da floração, tendo os primeiros estudos sido realizados por Cour e Van Campo

na região de Bordéus e Champanhe e desenvolvido, em Portugal, por Cunha *et al.*, (1999) através de um modelo baseado na concentração polínica para determinar a previsão de colheita. Foram instaladas estações em locais estratégicos que capturam o pólen, registam a velocidade e direção do vento, durante o período de floração, para recolher o número de grãos de pólen por metro cúbico de ar, que é posteriormente utilizado na previsão da colheita. Este modelo conseguiu explicar até 93% da variação da produção, no entanto a integração de dados agronómicos e climáticos podem fornecer elementos complementares de previsão.

Uma das lacunas deste modelo reside no fornecimento de resultados unicamente ao nível de uma região vitícola, não permitindo a separação dos dados por sub-região ou casta. A previsão pode ser obtida com uma precocidade de quatro meses sobre a data da colheita, mas não integra os efeitos dos fatores que influenciam o vingamento e o crescimento do bago (disponibilidades hídricas, ondas de calor e eventuais efeitos de pragas e doenças), ou seja, a eventual ocorrência de qualquer tipo de acidentes entre a floração e a vindima não são incluídos no modelo.

Na Região Demarcada do Douro (RDD), desde 1992 que a Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense (ADVID) em colaboração com Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e o Instituto dos Vinhos do Douro e Porto (IVDP), efetuam uma previsão anual da produção, numa fase precoce do ciclo (finais de junho) com base no método desenvolvido por Cour, (1974) e adaptado por Cunha *et al.*, (1999), apresentando-se na figura 8, as previsões para a região desde 2005 e as respetivas declarações de produção anual.

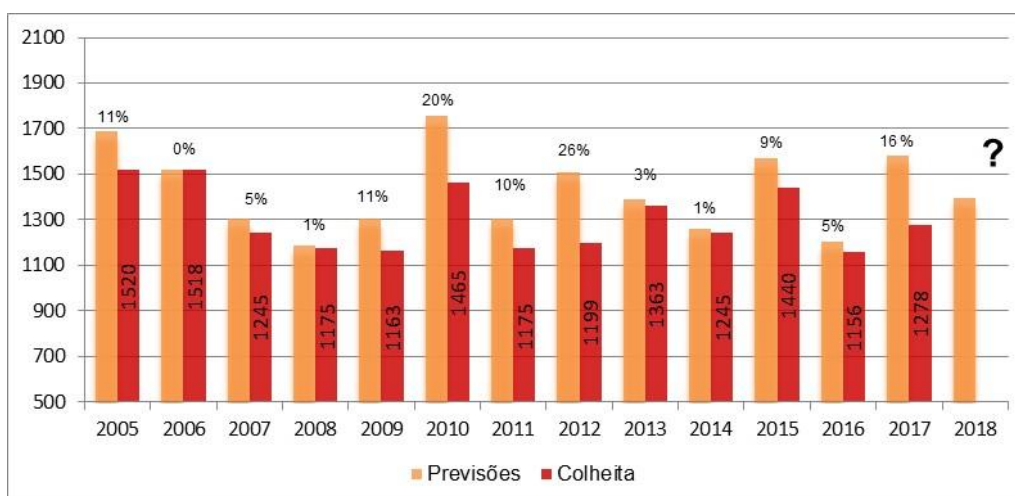


Figura 8 – Previsão da colheita na RDD, 2018. (hl x 10³). Fonte: Adaptado de ADVID, (2018)

#### **2.4.2.3. Modelos agrometeorológico**

Os modelos agrometeorológicos são obtidos a partir de regressões entre variáveis climáticas, medidas em determinadas fases e/ou períodos fenológicos, e o rendimento, permitindo compreender as relações clima/produção numa dada região. São modelos que utilizam as condições climáticas de cada ano para prever rendimentos, assumindo que são estas o principal fator de variação no volume de produção. Os vários modelos agrometeorológicos podem ser classificados consoante o tipo de informação de que necessitam, a escala a que se aplicam, a sua capacidade de previsão face à variação das condições climáticas, os custos de desenvolvimento e implementação e o nível de sofisticação de análise estatística, entre outros (Gommes, 1998). Segundo o mesmo autor, os modelos agrometeorológicos podem ser obtidos através de métodos descritivos, de regressões lineares ou de simulações de colheita. O método descritivo identifica as variáveis agronómicas relevantes para a cultura. As regressões lineares utilizam as variáveis mais importantes do clima, como a temperatura e a precipitação e, do rendimento obtido e exigem a manutenção de registos anuais ou mensais. A simulação de colheita descreve o comportamento da cultura de acordo com as condições climáticas a que está sujeita. Estes modelos, no entanto, possuem uma capacidade preditiva muito variável e são de difícil extrapolação, pelo que são pouco utilizados comercialmente na previsão da produção.

#### **2.4.2.4. Medição da tensão dos arames**

Tirando partido dos arames usados na condução das videiras, Blom & Tarara, (2009) instalaram um dispositivo “trellis tension monitors (TTMs)” que permite medir continuamente a tensão dos arames e correlaciona-la com a produção estimada, como visualizado na figura 9. Esta abordagem permite estimar o crescimento vegetativo e o rendimento das videiras a partir da tensão nos arames do sistema de suporte da vinha, que dá continuamente informação sobre a evolução da tensão, pelo que os produtores teriam acesso aos dados diários durante todo o período de amadurecimento, permitindo analisar a evolução das uvas durante este período. A análise da tensão dos arames necessita da correção das alterações provocadas pela

variação da temperatura diária e ao longo do ciclo e o método enferma, como outros métodos de previsão do rendimento, do mesmo problema do eventual enviesamento na definição da amostra representativa da vinha, uma vez que é crítica a determinação do número de sensores necessários e sua ótima implantação espacial (Tarara *et al.*, 2004).



Figura 9 - Dispositivo nos arames. (a) Célula de carga alinhada com o arame junto ao poste final. (b) Crescimento do cordão envolvendo o arame. (c) Polia para apoiar o arame num poste intermédio. Fonte: (Tarara *et al.*, 2004).

#### 2.4.2.5. Análise de imagem

A análise de imagem consiste na recolha e observação de informação em imagens, normalmente digitais, capturadas com câmaras de diversas características. Quando tem como o objetivo estimar o rendimento, a análise pode efetuar, a contagem direta dos bagos (Nuske *et al.*, 2011 e Diago *et al.*, 2015), a contagem da área de pixéis afeta aos cachos (Diago *et al.*, 2012 e Dunn & Martin, 2004) ou usar a superfície ocupada pelos cachos de uva nas imagens (Lopes *et al.*, 2016). A análise de imagem tem sido utilizada para ajudar em práticas de agricultura de precisão fornecendo em viticultura, informação potencialmente útil ao viticultor nomeadamente, para deteção de doenças, avaliação da eficácia das pulverizações e previsão do rendimento (Diago *et al.*, 2012). No entanto quando aplicada à vinha, o ambiente dificulta a deteção nomeadamente dos bagos e dos cachos de uvas, acontecendo o mesmo para os seres humanos, especialmente quando as uvas e as folhas têm cores semelhantes, como é o caso das uvas brancas ou das tintas antes do pintor.

Nas aplicações de análise e reconhecimento automático o grande desafio é detetar os cachos e bagos cuja aparência é variável sob iluminação diferente, a falta de contraste de cor do fundo, que muitas vezes é similar à cor dos bagos e cachos de

uvas, para além dos encobrimentos, que fazem com que nem todos os cachos sejam visíveis, na figura 10, pode ver-se um exemplo de uma fotografia digital capturada pela câmara do robô VINBOT, tratada com recurso ao programa ImageJ.

A recolha de imagens pode ser efetuada de forma manual ou com recurso a robôs. Normalmente na recolha de imagens de forma manual utilizam-se fundos de cores homogêneas (azul, preto ou branco) por trás das videiras para facilitar a discriminação dos órgãos vegetativos da videira, que vão ser analisados mais tarde no tratamento das imagens usando software próprio para o efeito (Diago *et al.*, 2012 e Nuske *et al.*, 2011).

São várias as técnicas usadas para a análise de imagem, designadamente técnicas que combinam as informações de cor e textura, para acelerar a deteção dos bagos de uva, ao isolar as características mais importantes e úteis das imagens (Liu *et al.*, 2015), as imagens de terahertz para detetar os contornos das uvas (Federici *et al.*, 2009), a identificação dos bagos explorando várias pistas visuais (textura, forma e cor) (Nuske *et al.*, 2011), a reconstrução 3D dos cachos através de fotogrametria de curto alcance (Herrero-Huerta *et al.*, 2015) e a identificação do número de flores com base no contraste de cores de imagens RGB de inflorescências (Diago *et al.*, 2014), entre outras.

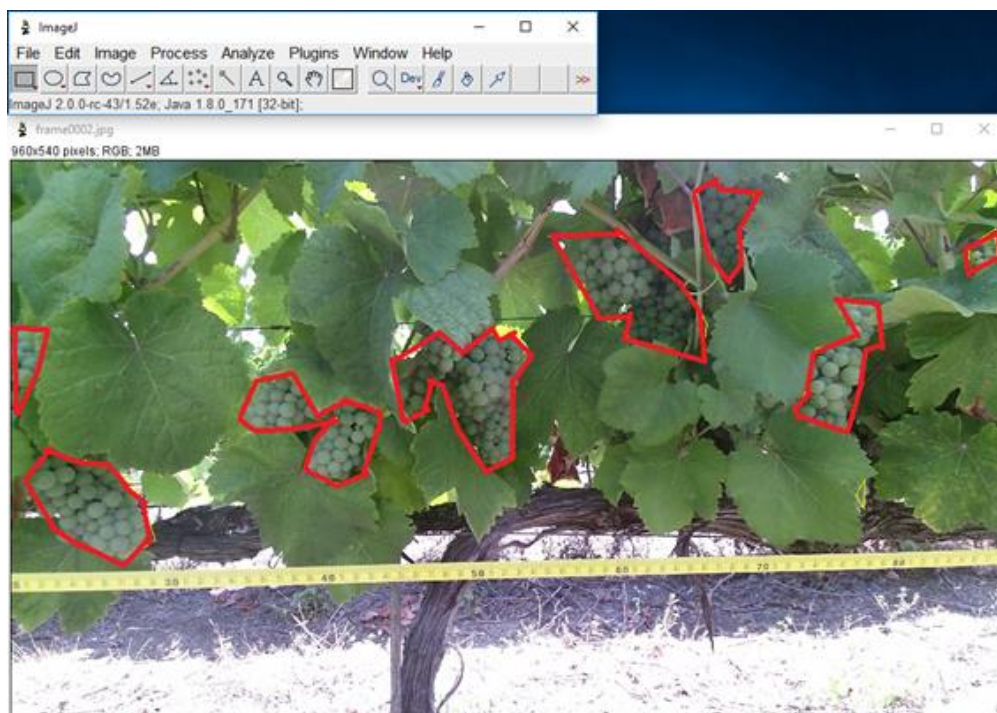


Figura 10 - Exemplo imagem capturada pelo VINBOT e análise com programa ImageJ.

O tratamento de imagens pode ser realizado com recurso a software de análise de imagem ou de cálculo numérico, geralmente o MATLAB (Diago *et al.* 2014) ou o EasyAccess (Dunn & Martin, 2004), no entanto existem variadas formas de analisar e tratar as imagens recolhidas, pelo que dependendo da natureza da componente do rendimento em análise, poder-se-á justificar a utilização de um software ou metodologia em detrimento de outro.

Behroozi-Khazaei & Maleki (2017) desenvolveram um algoritmo robusto baseado em redes neurais artificiais (ANN) e algoritmo genético (GA) para segmentar cachos de uvas usando as características mais importantes da cor e próximas da vindima, em fotografias do coberto vegetal, obtendo uma precisão de 99,4% para o algoritmo.

Numa investigação experimental e aproveitado o facto de que 90% da variação no rendimento ser explicada com precisão com a contagem dos bagos por cacho e o número de cachos, Nuske *et al.*, (2011) demonstraram que através da recolha de imagens com câmaras fotográficas colocada em ambos os lados de um veículo conduzido ao longo dos bardos de uma vinha, foi possível obter estimativas de rendimento automatizado com erro inferior a 9.8% do peso real, através da análise de imagens das formas e textura dos bagos. Indicam ainda que a abordagem efetuada não dependeu do contraste de cores, detetando bagos de todas as cores, mesmo aqueles que são de cor semelhante ao das folhas e a possibilidade de avaliar toda a vinha em detrimento de apenas uma amostra.

Para Ganesan & Sajiv (2017), a deteção dos contornos (bordaduras) é uma técnica muito útil para aumentar as definições de uma imagem, permitindo por sua vez melhorar qualidade do processo de análise de imagem. No entanto, é muito difícil de executar especialmente em fotografias com muito grão (conjunto de pixels que não estão a representar a cor, ou a exibição da cena corretamente) onde facilmente se pode confundir bordadura com o grão ruído. Contudo esta metodologia de análise de imagem baseada na deteção das bordaduras (contorno) dos bagos e dos respetivos pedicelos, de cachos das castas tintas Grenache e Tempranillo permitiu determinar com precisão o peso ( $R^2 > 0.96$ ) e o tamanho (diâmetro) ( $R^2 > 0.97$ ) dos bagos (Cubero *et al.*, 2014).

Diago *et al.* (2012) desenvolveram uma abordagem concebendo um algoritmo baseado na distância de Mahalanobis para caracterizar o coberto da videira e avaliaram a área foliar e o rendimento usando imagens RGB. O algoritmo de



segmentação foi capaz de distinguir as folhas e os cachos de uva com 92% e 98% de precisão respectivamente. Por sua vez Lopes *et al.*, (2016) obtiveram para casta Viosinho e com recurso à análise das imagens, capturadas pela câmara RGB do robô VINBOT, uma previsão de rendimento com uma precisão de cerca de 80%, em que a área dos cachos foi convertida em kg de uva utilizando uma equação obtida através da relação entre a área de cacho e o peso do cacho obtidos em laboratório, a partir de uma amostra de 98 cachos.



Figura 11 - Vista robô VineScout. Fonte: [www.vinescout.eu/](http://www.vinescout.eu/).

Hoje em dia, o uso de sensores óticos colocados em robôs terrestres autónomos e todo o terreno, está a ser utilizado para fenotipagem das videiras de que são exemplo, entre outros o VineScout (Fig. 11) e o ROMOVI (Fig. 12). Em simultâneo tem-se vindo a tentar aliar este tipo de plataformas autónomas à estimativa de rendimento de forma automática através de análise de imagem. O VineScout é um robô todo-terreno, que se destaca pela capacidade de monitorizar a vinha de forma autónoma e com recurso a propulsão elétrica e energia solar. Está equipado com vários sensores e equipamentos de deteção não invasivos e que medem parâmetros como o controlo do estado hídrico da videira, a temperatura da folha da videira e o vigor da planta ([www.vinescout.eu/](http://www.vinescout.eu/)).

O ROMOVI é um robô todo-terreno para vinhas de encosta, capaz de realizar autonomamente manobras e a aquisição de dados. Está equipado com sensores inerciais, sensores de distância baseados em tecnologia laser (Laser Range Finder),

recetores GPS, diversas câmaras e outros acessórios de monitorização sensorial (temperatura, humidade e pressão). Tendo como principal desafio técnico a elevada inclinação do terreno nestas vinhas, que oculta os satélites GPS impossibilitando a sua utilização durante algumas horas por dia e exige estruturas mecânicas muito estáveis (Mendes *et al.*, 2017).



Figura 12 - ROMOVI – Vista robô modular e cooperativo para vinha de encosta.  
Fonte: (Mendes *et al.*, 2017)

Esta tecnologia constitui uma alternativa aos métodos manuais de estimativa de rendimento baseada em amostras, para a produção de mapas de rendimento representativos da variabilidade espacial das parcelas da vinha. O robô VINBOT, que é um veículo autónomo e todo-terreno que nesta data recolhe dados com um sistema LiDAR (rangefinder a laser) e uma câmara RGB-D, mas cuja plataforma móvel é capaz de incorporar inúmeros outros sensores e tecnologias, com vista à obtenção da estimativa de produção e do vigor da videira de forma geolocalizada, integra este ensaio e adequa-se para estimar automaticamente o rendimento.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Caracterização da vinha**

O ensaio efetuado decorreu durante o ciclo biológico de 2018, na vinha experimental do Instituto Superior de Agronomia (ISA), denominada vinha da Meia



Encosta, que está localizada na Tapada da Ajuda em Lisboa, ( $38^{\circ}42'24,61''$  N;  $9^{\circ}11'05,53''$  W) (Fig. 13). Esta vinha foi plantada em 2006 com as castas Alvarinho, Arinto, Moscatel de Setúbal e Viosinho enxertadas em 1103P (Paulsen) e Encruzado, Macabeu e Moscatel Galego enxertadas em 110R (Richter). Tem uma orientação Norte-Sul, área de 1,7 ha e inclinação máxima de 9%. O compasso utilizado foi de 1 m na linha e 2,5 m na entrelinha o que determinou uma densidade de plantação de 4000 plantas/ha. A vinha está conduzida em monopiano vertical ascendente, podada em cordão Royat unilateral, com dois pares de arames móveis para orientação da vegetação e possui um sistema de fertirrega gota-a-gota.



Figura 13 - Mapa parcial do Google Earth contendo a vinha (V) onde decorreu o ensaio.

O clima da Tapada da Ajuda é, segundo a caracterização de Thornthwaite, mesotérmico, com nula ou pequena eficácia térmica no Verão (C1B'2s2a'), com precipitação moderada no Inverno e défice no Verão. De acordo com as Normais Climáticas da Tapada da Ajuda de 1971/2000, os valores médios de temperatura anual foram de  $16,4^{\circ}\text{C}$ , com um valor médio de mínima de  $11,8^{\circ}\text{C}$ , registados no Inverno e um valor médio de máximas de  $21^{\circ}\text{C}$ , obtidos nos meses de Verão e a insolação média anual é de cerca de 2 512,4 horas. A precipitação média anual é de 725,8 mm, com os valores máximos observados durante os meses de Inverno e os valores mínimos durante os meses de Verão (IPMA, 2018). A figura 14 apresenta a evolução da precipitação e da temperatura média mensal, na Tapada da Ajuda, durante o ciclo biológico de 2018, em que o mês mais chuvoso foi o mês de março. A precipitação nos meses de março e abril foi superior à média dos últimos 30 anos,

promovendo um maior vigor das plantas, dificultando a condução do coberto vegetal e aumentando a pressão das doenças provocadas por fungos, designadamente o míldio e as doenças do lenho. No entanto uma onda de calor de 1 a 6 de agosto provocou um significativo escaldão nos cachos, cuja percentagem de cachos com escaldão variou entre 10% a 80% em cada um dos pontos de recolha de dados (Smart Points), registando-se os valores mais elevados nos segmentos que tinham sido desfolhados antes da onda de calor.

O solo da Tapada, segundo a classificação de Cardoso, (1965), é franco argiloso, descrito como um barro castanho-avermelhado não calcário de basalto. Possui um perfil do tipo Ap (B) C, apresentando um teor elevado em coloides de montemorilonite, o que lhe confere elevada plasticidade quando húmido e rijeza enquanto seco, podendo haver fendilhamento quando o teor de humidade é muito baixo. A expansibilidade é alta, assim como o valor da capacidade de campo, tendo uma elevada capacidade utilizável nos primeiros 50 cm. A sua permeabilidade é elevada a moderada (Sarmento, 1969).

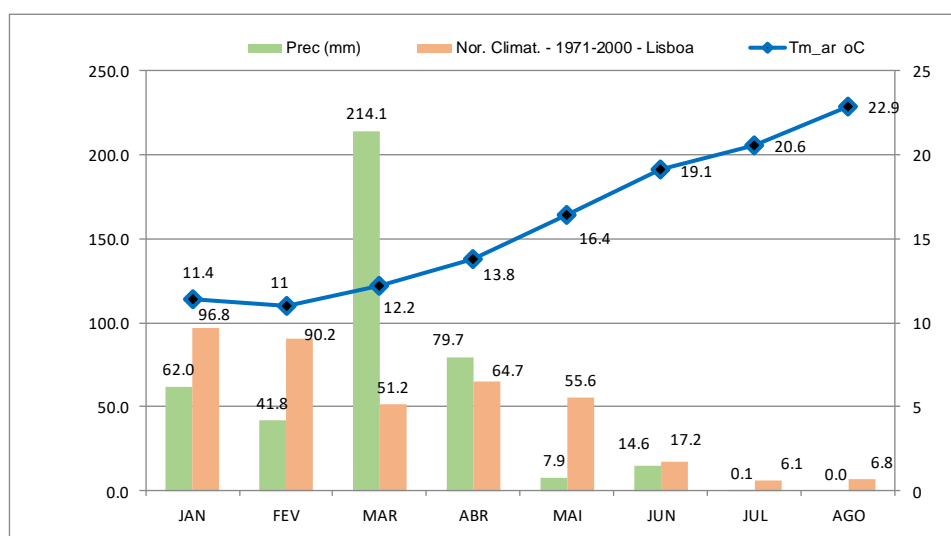


Figura 14 - Precipitação e Temperatura média mensais em 2018, na Tapada da Ajuda.  
Fonte: adaptado IPMA, (2018)

A casta encruzado (Fig. 15) é uma casta autóctone portuguesa, cultivada em cerca de 300 hectares, principalmente na região do Dão, onde tem a primazia entre as castas brancas e representa cerca de 0,15% da área total de vinha em Portugal (Bohm, 2010). A folha adulta é pequena, pentagonal, verde escura e brilhante, com página inferior glabra e o seio peciolar pouco aberto com base em V, tal como os seios laterais superiores. O seu cacho é médio a pequeno e medianamente compacto, de

forma cilíndrica e pedúnculo de comprimento curto. Os bagos são médios, difíceis de destacar, heterogêneos e ligeiramente achatados e a sua epiderme é verde amarelada. A polpa, por seu turno, detém um sabor muito próprio, é mole e succulenta.



Figura 15 - Folha e cacho casta Encruzado. Fonte: (IVV, 2011)

Casta com porte semi-ereto e horizontal, tem vigor elevado, muita tendência para o desenvolvimento de netas e a vara com meritalos normalmente médios a curtos, apresentando com frequência gavinhas nos entrenós acima do terço médio. Na figura 16 apresenta-se a evolução dos estados fenológicos das videiras durante o ciclo biológico de 2018.

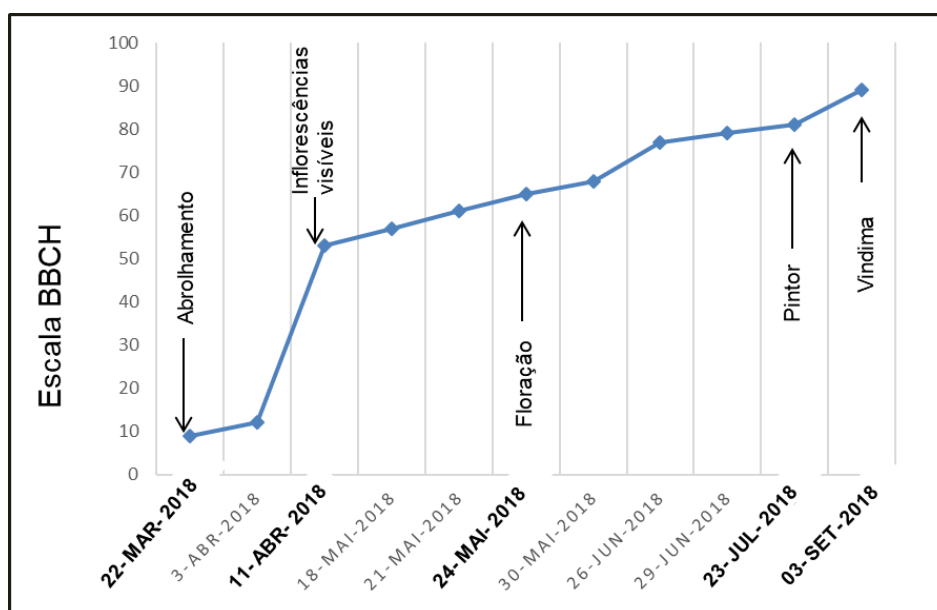


Figura 16 - Estados fenológicos (Escala BBCH) da casta Encruzado durante o ciclo biológico 2018.

Sebe de difícil condução e adaptada a qualquer tipo de poda. Produção média e regular, é pouco sensível ao stress hídrico, mas muito sensível a ventos fortes e tem boa aptidão para a vindima mecânica (Bohm, 2010 e IVV, 2011).

O porta-enxerto 110 Richter (110R) é um híbrido que resulta do cruzamento Berlandieri Résséguier n.º 2 x Rupestris Martin (IVV, sd.), é muito vigoroso com tendência para induzir produtividade elevada às castas em que é enxertado, geralmente sem reflexos na qualidade dos mostos obtidos (Magalhães, 2015). Está bem-adaptado a regiões quentes e secas, a solos pedregosos e de baixa fertilidade, no entanto tem tendência a atrasar a maturação das uvas e desavinho em castas mais sensíveis quando os solos são muito férteis ou húmidos. Em relação à enxertia no local os resultados são bons, mas a enxertia na mão apresenta muitas vezes problemas. Possui uma resistência até 17% de calcário ativo e não tolera solos salgados. É sensível à filoxera galícola, apresentando galhas de cor avermelhada.

### 3.2. Robot VINBOT

O VINBOT é um robô autônomo todo-o-terreno equipado com um conjunto de sensores capazes de capturar e analisar imagens e de dados 3D por meio de aplicações informáticas em nuvem (Fig. 17).



Figura 17 - Vistas do Robô VINBOT.

A plataforma do robô baseia-se em um robô comercial Summit XL HL, que é capaz de transportar até 65 kg de carga útil e consiste numa plataforma robótica durável, móvel, inicialmente desenvolvido em ROS Indigo Igloo, atualmente em ROS Kinetic Kame, frameworks de livre acesso, desenvolvidos para robótica. Câmara RGB-D Kinect v2 para captura de imagens da videira, metro a metro, cujas características estão indicadas no quadro 4, Laser rangefinders (LiDAR) Hokuyo UTM-30LX Scanning, para navegar no campo e obter uma reconstrução 3D do coberto vegetal, um pequeno computador para funções computacionais básicas e ligado a um módulo de comunicação. Esta plataforma não-tripulada é capaz de navegar de forma autónoma por terrenos acidentados, podendo subir declives até 45°, com recurso a uma bateria com capacidade até 8 horas, para fotografar e digitalizar as linhas de videiras (bardos) e apesar de nesta data recolher somente os dados com um sistema *LiDAR (Rangefinder a laser)* e uma câmara RGB-D, a plataforma móvel é capaz de incorporar inúmeros outros sensores e tecnologias ((<http://www.vinbot.eu>) Autonomous cloud-computing vineyard robot to optimize yield management and wine quality - Grant Agreement FP7- SME-2013-2, 605630; 2014-2016).

Quadro 4 - Características técnicas da câmara Kinect v2. Fonte: Adaptado de Lachat et al., (2015)

<b>Resolução câmara infravermelho (IR)</b>	512 × 424 pixels
<b>Resolução imagem câmara RGB</b>	1920 × 1080 pixels
<b>Campo visão</b>	70 × 60 graus
<b>Número de imagens capturadas</b>	30 frames por segundo
<b>Profundidade de campo</b>	de 0.5 a 4.5 m
<b>Poder de discriminação</b>	de 1.4 mm (@ 0.5 m distância) a 12 mm (@ 4.5 m distância)

### 3.3. Acompanhamento, com imagens, da evolução fenológica de dois talões e o grau de oclusão das inflorescências

De forma a obter o registo do desenvolvimento da vinha ao longo do ciclo cultural, foram capturadas imagens com a câmara Nikon D5200 (Fig. 18) acompanhando os vários estados fenológicos de dois talões selecionados na linha 41, designadamente o terceiro talão, da videira número 13 (Linha 41 videira 13 talão 3) e o quarto talão, da videira número 19 (Linha 41 videira 19 talão 4), os dois talões foram marcados com uma fita cor de rosa. Na captura de imagens a câmara fotográfica foi colocada num tripé e utilizado um fundo azul para facilitar a visualização do talão na



imagem. As capturas de imagem a partir da semana de 26 a 30 de março passaram a ser efetuadas com intervalo semanal de forma a conseguir obter imagens dos vários estados fenológicos e terminaram em 11 de junho data a partir da qual o encobrimento das inflorescências por folhas foi completa. As imagens encontram-se nos anexos A e B.

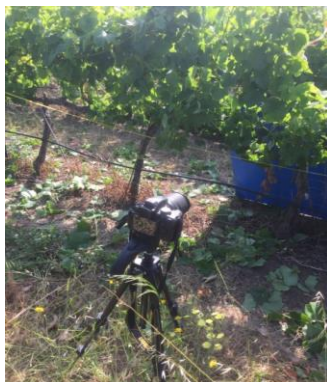


Figura 18 - Vista câmara Nikon D5200.

### 3.4. Delineamento experimental

Para a recolha de dados foram seleccionados cento e vinte videiras, distribuídas por seis linhas contíguas como indicado na figura 19.

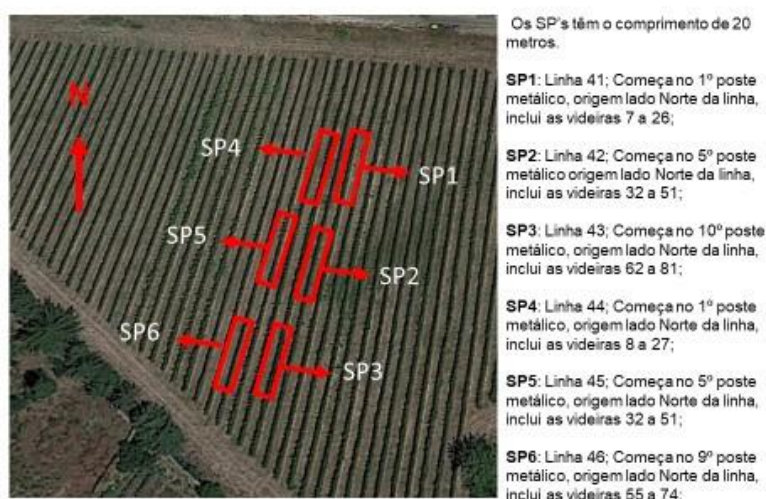


Figura 19 - Mapa parcial do Google Earth com localização dos seis "Smart Points" usados para a recolha de dados.

Em cada uma das linhas foram por sua vez escolhidas vinte videiras que definem um ponto de recolha e verificação de dados, designados por Smart Point (SP). O início e fim dos SP foram assinalados com fitas com riscas vermelhas e brancas no último arame de cada linha e ainda colocadas uma fita com riscas vermelhas e brancas na primeira e última videira de cada SP (Fig. 20).



Figura 20 - Fitas de riscas vermelhas e brancas a assinalar o início do SP1.

Para permitir uma melhor identificação das imagens e proporcionar uma escala conhecida em cada foto, foi utilizada uma fita métrica desde o início até ao fim do SP, quando nas várias passagens do VINBOT e na captura de imagens com a câmara Nikon D5200. De forma a ter em conta a variabilidade espacial ao longo das linhas o delineamento experimental seguiu as regras de um delineamento em blocos completos casualizados e o início dos SP foi diferenciado, estando dois mais próximos do início da respetiva linha (SP1 e SP4), dois a meio das respetivas linhas (SP2 e SP5) e dois mais próximos do final das respetivas linhas (SP3 e SP6). Cada SP foi por sua vez subdividido em três segmentos (Fig. 21), o primeiro com 10 metros (aproximadamente 10 videiras), e mais dois com cinco videiras cada (5 + 5 metros), esta segmentação foi identificada com a colocação de uma fita cor-de-rosa na primeira videira de cada uma das subdivisões.



Figura 21 - Mapa parcial do Google Earth com localização dos seis "Smart Points" e os três segmentos do SP1.

Estas subdivisões foram utilizadas para efetuar as medições detalhadas e as análises destrutivas, iguais para os três estados fenológicos pré-definidos, bago de ervilha (K), pintor (M) e cacho maduro (N). Para isso em cada uma das medições foram efetuadas uma passagem com o VINBOT e fotografados com a câmara Nikon D5200 em cada subdivisão de cada SP, primeiro com o coberto vegetal existente, depois após meia desfolha e seguidamente após a desfolha total.

No SP4 todos os cachos de cada segmento, foram identificados com uma etiqueta (Fig. 22), efetuada uma passagem com o VINBOT e fotografados com a câmara Nikon D5200 e posteriormente colhidos para serem analisados em laboratório.



Figura 22 – Etiquetas a identificar os cachos no SP4, estado fenológico bago ervilha.



No laboratório, os cachos foram pesados, fotografados em fundo azul, pesados os respectivos bagos e ráquis e fotografados os bagos em fundo branco (Fig. 23).



Figura 23 - Vista de um cacho em fundo azul, vista de bagos de um cacho em fundo branco e pesagem de um cacho.

### 3.5. Metodologias utilizadas

Durante o período do ensaio foram efetuadas nove passagens com o robô VINBOT nos seis SP's, nas datas dos estados fenológicos pré-definidos e capturadas imagens RGB de ambos os lados das linhas. Com base em cada uma das imagens foi efetuada a verificação real na vinha, do número de talões, de olhos, de inflorescências e de cachos, conforme aplicável de acordo com o estado fenológico das videiras. As passagens foram realizadas desde os estados de desenvolvimento mais precoces com objetivo de encontrar eventuais correlações, que permitissem atingir o objetivo proposto de estimar a produção o mais cedo possível em relação à vindima, aproveitando o facto de ser mais fácil visualizar, detetar e contar as inflorescências, quando estão mais visíveis (menor encobrimento por parte da folhagem). Nos estados fenológicos de bago de ervilha, pintor e maturação além das passagens com o VINBOT, foram recolhidas imagens RGB-D com uma câmara Nikon D5200, nos primeiros cinco metros de cada SP, inicialmente com a vegetação existente, de seguida com meia esfolha (50%) e no final com desfolha total (100%) da zona de frutificação. No SP4 e em cada estado fenológico (bago de ervilha, pintor e maturação) foram etiquetados, fotografados com câmara Nikon D5200 e colhidos todos os cachos de cada metro, 85, 100 e 135 respetivamente, nos metros indicados. Em laboratório foram posteriormente fotografados, em quatro perspetivas

perpendiculares entre si, todos aqueles cachos, pesados numa balança digital, KERN FCB 3K0.1 (Fig. 24) e ainda pesados os bagos e os ráquis de cada um dos cachos.



Figura 24 - Vista da balança digital KERN.

No estado fenológico de maturação, foram vindimados, contados e pesados todos os cachos de todos os SP's, com exceção do SP4, para se obter a produção real por metro linear. No SP4 os cachos dos seis metros remanescentes, foram etiquetados, fotografados com câmara Nikon D5200 e colhidos por cada metro. Em laboratório foram posteriormente fotografados, pesados e ainda pesados os bagos e os ráquis de cada um dos cachos.










As imagens RGB-D capturadas pelas câmaras do VINBOT e da Nikon D5200 foram posteriormente analisadas manualmente com o programa ImageJ. Na análise de imagem foi utilizada versão 1.52e do ImageJ, que é um software de utilização livre e cujos atributos estão descritos no parágrafo 1 do Anexo A.

### 3.5.1. Análise dos componentes de rendimento

Para dar resposta ao desafio de quando recolher as imagens da vinha, que melhor permitam prever o rendimento e a partir de que estado fenológico se consegue fazer uma previsão fidedigna, efetuaram-se nove passagens com o robô VINBOT, nos estados fenológicos indicadas no quadro 5. As passagens foram realizadas em controlo manual, colocando o robô a 70 cm de distância da linha, selecionando a velocidade três no comando e mantendo a fita métrica com a escala virada para a câmara fotográfica. A fita métrica foi sempre colocada na parte inferior do cordão (primeiro arame) com início na parte Norte da linha (0 m) e final na parte sul da linha

(20 m). Como a câmara do robô é fixa, as passagens do lado Este das linhas foram efetuadas no sentido Norte – Sul e as passagens do lado Oeste foram efetuadas no sentido Sul – Norte.

Quadro 5 - Estados fenológicos correspondentes às passagens do robô VINBOT e respetivos registos de componentes do rendimento

DATA									
Data passagem Vinbot	07-03-2018	03-04-2018	20-04-2018	24-04-2018	25-05-2018	11-06-2018	18-06-2018	24-07-2018	23-08-2018
Estado Fenológico (Escala Baggioolini)									
	<b>A</b> Gomo Inverno (Março)	<b>E</b> Folhas livres (Abril)	<b>F</b> Cachos visíveis (Abril)	<b>G</b> Cachos separados (Abril)	<b>I</b> Floração (Maio)	<b>K</b> Bago chumbo (Junho)	<b>K</b> Bago ervilha (Junho)	<b>M</b> Pintor (Julho-Agosto)	<b>N</b> Maturação (Agosto-Setembro)
Componentes do rendimento observados	n.º talões n.º olhos	n.º talões n.º olhos n.º abrolhados	n.º inflorescências	n.º inflorescências	n.º inflorescências	n.º cachos	n.º cachos	n.º cachos	n.º cachos

Utilizando cada uma das imagens recolhidas, foi posteriormente efetuada a verificação real no terreno do número de talões, de olhos, de inflorescências e de cachos, conforme aplicável atento o respetivo estado fenológico e, registados numa folha Excel os respetivos valores. Todas as imagens capturadas foram analisadas manualmente com o programa ImageJ, (Fig. 25) efetuando os passos indicados no parágrafo 2 do Anexo A. Foi também determinado o comprimento de cada imagem, o número de cachos em cada imagem e a área total dos cachos de cada imagem. Os cachos na imagem foram contados visualmente.

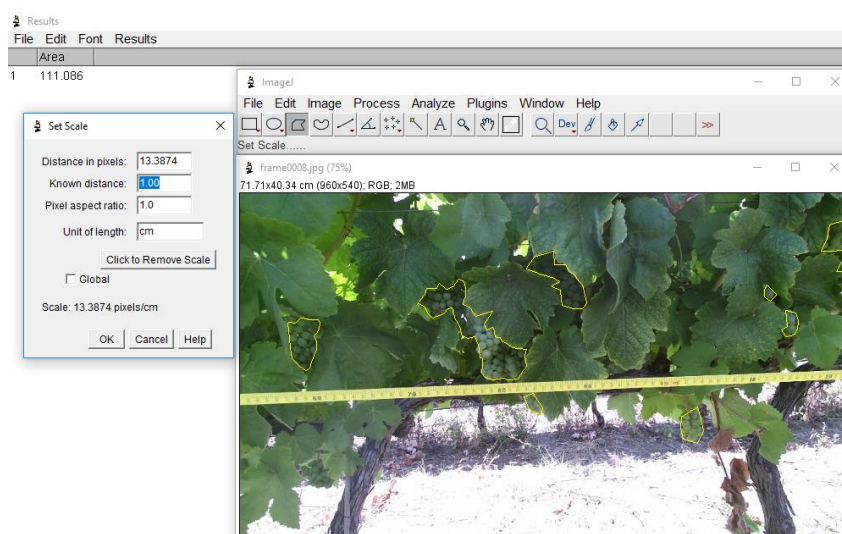


Figura 25 – Análise com ImageJ, de uma fotografia, para determinação da área dos cachos e o número de cachos visíveis, no estado fenológico pintor.

### 3.5.2. Modelo área projetada de cacho versus peso do cacho

Para estimar peso do cacho a partir da área projetada foram capturadas imagens em laboratório de quatro quadrantes diferentes e perpendiculares entre si, de todos os cachos cortados em cinco metros do SP4, no estado fenológico bago de ervilha (85 cachos). Ao pintor foram capturadas imagens em laboratório de dois quadrantes diferentes (Fig. 26) e perpendiculares entre si, de todos os cachos colhidos em mais cinco metros do SP4 (100 cachos) e à maturação foram capturadas imagens em laboratório de dois quadrantes diferentes e perpendiculares entre si, de todos os cachos colhidos em mais seis metros do SP4 (135 cachos).



Figura 26 – Vista da recolha de imagens de um cacho, em laboratório.

As imagens foram analisadas manualmente no ImageJ (Fig. 27), efetuando os passos indicados no parágrafo 3, do Anexo A.

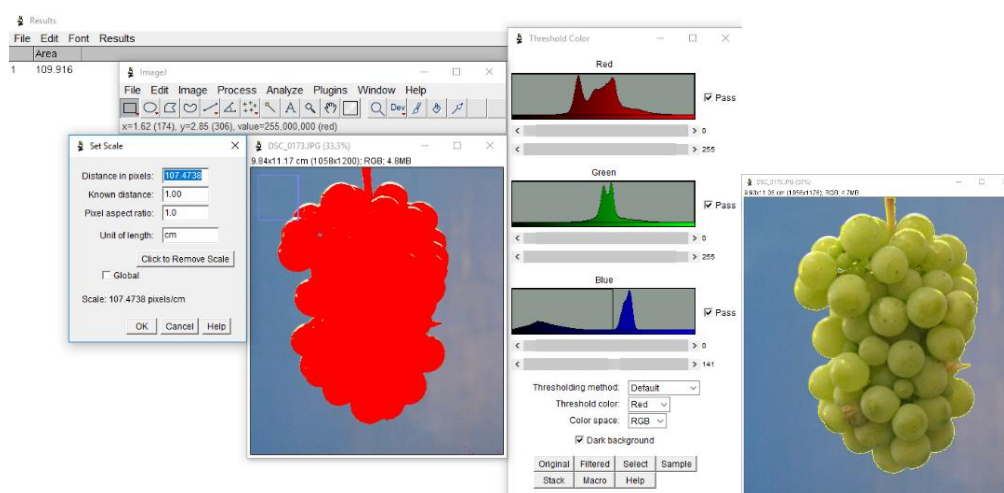


Figura 27 – Análise com ImageJ, da fotografia de um cacho, no estado fenológico pintor, para determinação da área do cacho.



Os cachos foram pesados em laboratório, numa balança de precisão KERN FCB 3K0,1 e numa folha Excel foram registados o peso, a área projetada de cada imagem e a área média projetada das diferentes imagens de cada cacho.

### 3.5.3. Modelo para estimativa dos cachos encobertos pela folhagem

Tendo em consideração que o número de cachos visíveis em cada imagem capturada depende da porosidade da sebe, afetando por sua vez a precisão da estimativa de rendimento, foram recolhidas imagens RGB-D com uma câmara Nikon D5200, nos estados fenológicos de bago de ervilha, pintor e maturação, nos primeiros cinco metros de cada SP, para permitir calcular a respetiva porosidade da sebe.



Figura 28 - Vista de três fotografias da mesma videira, em fundo azul, sem desfolha (a), com meia desfolha (b) e desfolha total (c), na zona de frutificação, no estado fenológico bago de ervilha.

A câmara para cada metro foi mantida na mesma posição relativa à linha de videiras e as imagens capturadas, inicialmente com a vegetação existente, de seguida com meia desfolha (50%) e no final com desfolha total (100%) da zona de frutificação (Fig. 28). Foi também colocada uma placa azul por trás das videiras a fotografar e colocada uma fita métrica para permitir identificar com rigor o comprimento do metro a fotografar.

Todas as imagens capturadas foram analisadas manualmente com o programa ImageJ (Fig. 29). Foi determinado na zona de frutificação, para cada imagem, a área total e a área de folhas (folhas, troncos, sarmentos e cachos) em centímetros quadrados, a razão entre estes dois valores possibilitou calcular a percentagem de porosidade. Para o cálculo da percentagem de encobrimento dos cachos por folhas, dividiu-se a área cachos em cada imagem ( $\text{cm}^2$ ) pela área de cachos da mesma imagem sem folhas ( $\text{cm}^2$ ).

Para a análise no ImageJ, foram efetuados os passos indicados no parágrafo 4, do Anexo A.

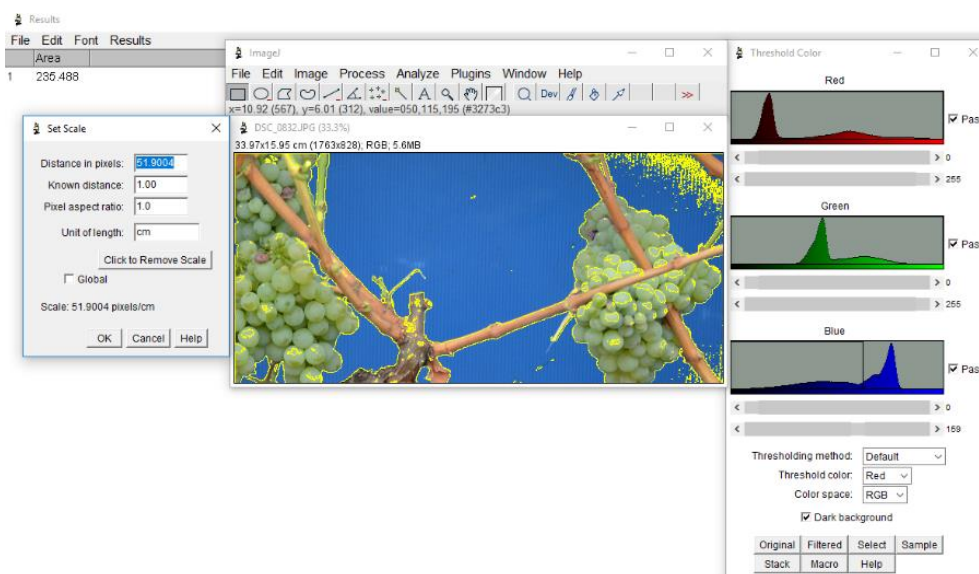


Figura 29 – Análise com ImageJ, de uma fotografia, com desfolha total, para determinação da área de troncos, sarmentos e cachos, no estado fenológico maturação.

#### 3.5.4. Modelo para estimativa de cachos encobertos por outros cachos

Para melhorar a precisão da estimativa de rendimento, calculou-se também o encobrimento dos cachos por outros cachos e recolheram-se imagens RGB com uma câmara Nikon D5200 (Fig. 30), nos estados fenológicos de bago de ervilha, pintor e maturação, nos primeiros cinco metros de cada SP.

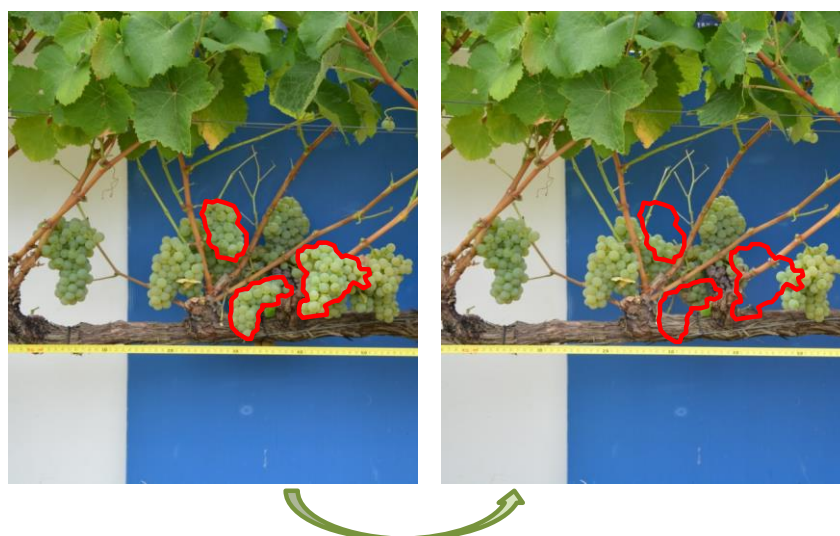


Figura 30 – Vista de duas fotografias da mesma videira, com a exibição, a vermelho, da retirada de uma camada de cachos a encobrirem outros cachos.

A câmara para cada metro foi mantida na mesma posição relativa à linha de videiras e as imagens capturadas, inicialmente com todas as camadas de cachos, e posteriormente após a retirada por camadas, dos cachos que encobrissem outros cachos. Foi também colocada uma placa azul por trás das videiras a fotografar e colocada uma fita métrica para permitir identificar com rigor o comprimento do metro a fotografar. Todas as imagens capturadas foram analisadas manualmente com o programa ImageJ, determinado para cada imagem, a área total, a área total de cachos na imagem, a área de cachos retirada em cada camada e calculada a percentagem de porosidade. O encobrimento em cada camada resulta da seguinte equação:

$$O_1 = \frac{A_{r1} - (A_c - A_{c1})}{A_c} * 100$$

em que  $A_c$  é a área de cachos de todas as camadas,  $A_{c1}$  é a área de cachos sem a primeira camada de cachos,  $A_{r1}$  é a área retirada da primeira camada de cachos e  $O_1$  é a percentagem de encobrimento da respetiva camada (primeira neste caso). Para a análise no ImageJ, foram efetuados os mesmos passos utilizados no modelo de encobrimento de cachos por folhas, indicados no parágrafo 4, do Anexo A.

### 3.5.5. Fator de crescimento do bago

Para estimar o fator de crescimento do bago ao longo do ciclo de desenvolvimento da videira, foram destacados em laboratório os bagos de diversos cachos, espalhados num fundo branco de esferovite e de seguida fotografados com a câmara Nikon D5200. As fotografias foram recolhidas em laboratório, de todos os cachos do SP4 que foram colhido nos três estados fenológicos de bago de ervilha, pintor e maturação, no total de 85, 100 e 135 cachos, respetivamente.

Para a análise no ImageJ (Fig. 31), foram efetuados os mesmos passos utilizados no modelo de encobrimento de cachos por folhas, indicados no parágrafo 5, do Anexo A. O diâmetro de cada bago e o diâmetro médio foram calculados utilizando a formula da área do circulo e considerando que os bagos eram circulares. Os fatores de crescimento da área dos bagos foram comparados com os valores médios das áreas e pesos dos cachos.

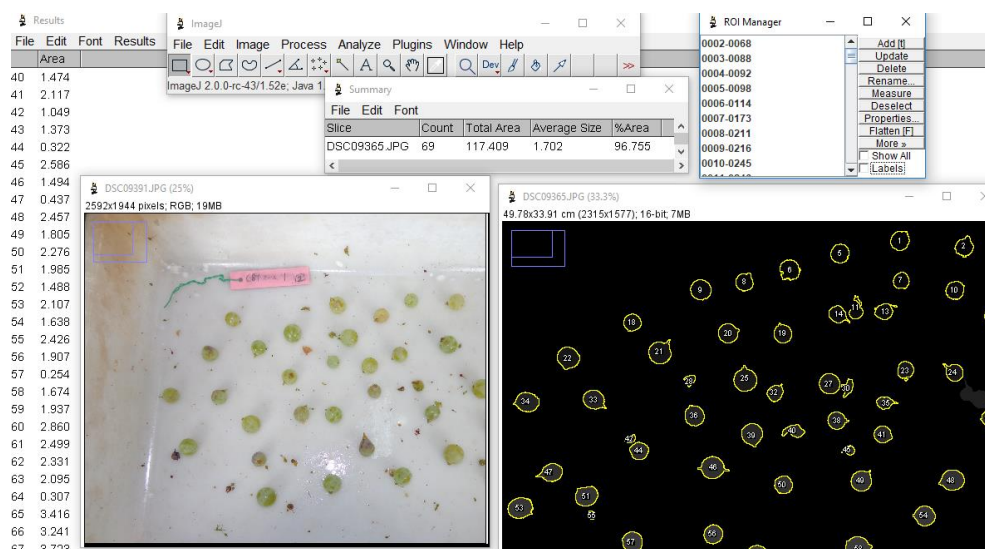


Figura 31 – Análise com ImageJ, de uma fotografia dos bagos de um cacho, em fundo branco, para determinação da área de cada bago e número total de bagos, no estado fenológico maturação.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Otimização da recolha de imagens com o VINBOT

Verificaram-se alguns problemas de metodologia durante a recolha de imagens com o VINBOT (capítulo 3.4.1) que dificultaram a análise de dados e deverão ser otimizados em recolhas futuras.

A necessidade de colocar a fita métrica em cada passagem levou a que a sua posição ao longo da linha variasse, muitas vezes o suficiente para que a imagem recolhida no mesmo local correspondesse a segmentos diferentes nos vários estados fenológicos.

O facto de se ter utilizado a condução manual do robô de forma a evitar entropias na navegação automática, levou a que a distância do sensor às videiras não fosse constante. Isto fez com que a escala das imagens recolhidas variasse, conduzindo mais uma vez a que a imagem recolhida no mesmo local correspondesse a segmentos diferentes nos vários estados fenológicos.

Para além disso, a visibilidade da fita métrica nas imagens, foi afetada pelo ângulo de incidência e intensidade dos raios solares e pelo declive do terreno, dificultando em alguns casos a obtenção de uma escala fiável.

Sugere-se que em futuras recolhas de dados se opte por utilizar uma escala fixa e duradoura e a garantir que a distância do robô às videiras seja constante. Por outro lado, deverá ser tida em consideração a hora da recolha dos dados.



#### 4.2. Caracterização das componentes do rendimento observadas.

O quadro 6 apresenta o rendimento médio por metro e os componentes de rendimento obtidos à vindima. O rendimento por metro apresentou uma média de 4,8 kg, a maior produção foi no SP5 (5,7 kg) e a mais baixa no SP1 (3,3 kg). O peso médio do cacho foi obtido dividindo o rendimento médio pelo número médio de cachos, ambos por metro e não reflete a variabilidade real do peso individual do cacho.

Quadro 6 - Média  $\pm$  desvio padrão do rendimento e das componentes do rendimento à vindima

cachos (# / m)	rendimento (Kg / m)	Peso médio do cacho (g / cacho)
21.8 $\pm$ 1.2	4.8 $\pm$ 1.0	213.3 $\pm$ 43.5

Os componentes de rendimento anteriores à vindima foram analisados individualmente, a partir do abrolhamento. O número de talões, variável observada no estado fenológico anterior (gomo de inverno), foi também contabilizado.

Na figura 32 podemos ver os componentes do rendimento observados no estado fenológico abrolhamento em cada SP. Verificou-se um número médio de sarmentos por metro inferior ao número médio de olhos, o que leva a concluir que nem todos os olhos abrolharam (índice de abrolhamento inferior a 1).

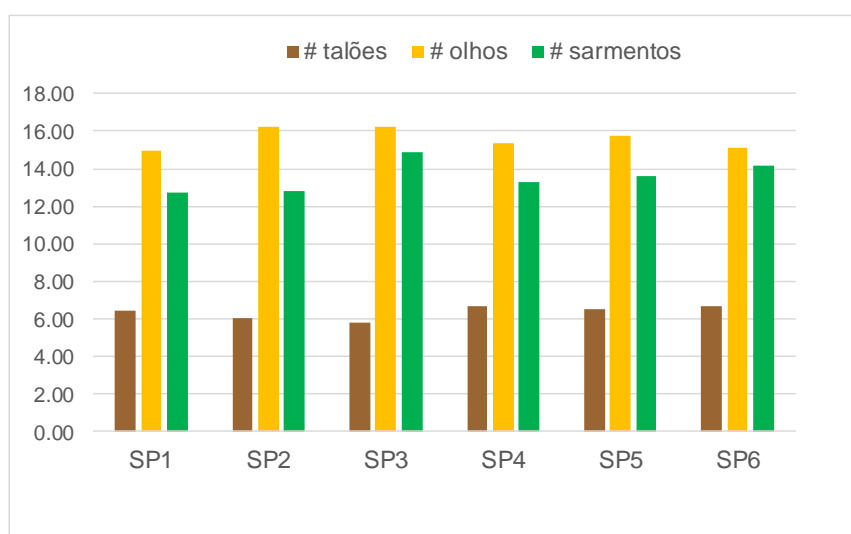


Figura 32 – Componentes do rendimento observados no estado fenológico abrolhamento.

Tendo em conta os problemas descritos no capítulo 4.1 e a necessidade de verificar a confiança dos dados recolhidos, compararam-se os valores do número de inflorescências e de cachos (em estados fenológicos precoces) com o número de cachos à vindima. O número médio de inflorescências por metro, no estado fenológico cachos separados, variou entre o mínimo de 19,7 inflorescências no SP4 e o máximo de 25,2 inflorescências no SP3 (Fig. 33). O número médio de inflorescências por SP, quando comparado com o número médio de cachos à vindima, apresentou alguma variação.

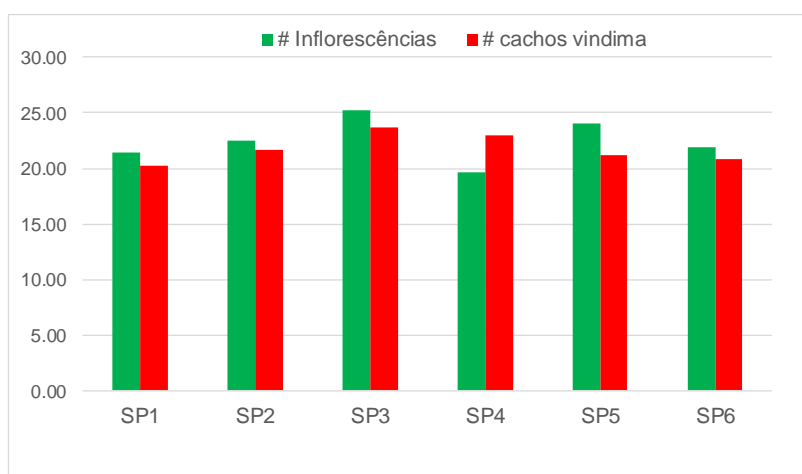


Figura 33 – Número médio de inflorescências por metro, no estado fenológico cachos separados e número médio de cachos à vindima por metro, por SP.

O número médio de cachos ao pintor (Fig. 34), variou entre 16,4 no SP1 e 20 no SP2. Observou-se também alguma variação por SP, no número médio de cachos ao pintor quando comparados com o número médio de cachos à vindima.

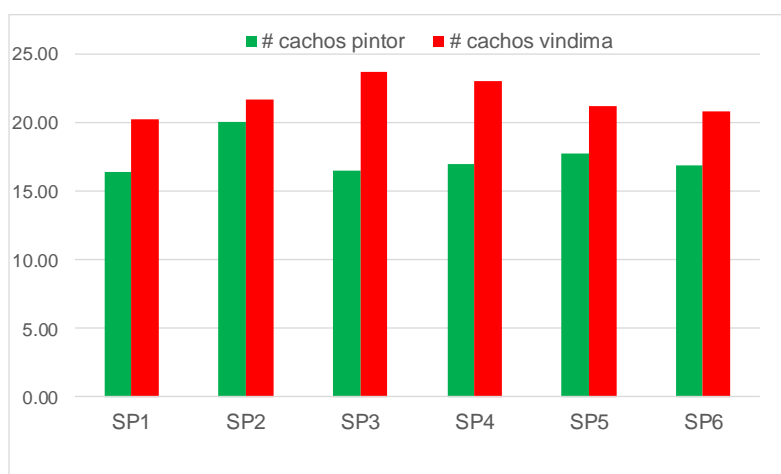


Figura 34 - Número médio de cachos ao pintor, por metro e número médio de cachos à vindima por metro, em cada SP.

Verificou-se em ambos os casos, uma variação entre o número de inflorescências e ou cachos observados e o número de cachos à vindima. Estas diferenças não eram expectáveis, levando-nos a atribuí-las aos problemas descritos no capítulo 4.1.

#### 4.3. Análise dos componentes de rendimento

Na figura 35, podemos observar os coeficientes de correlação lineares ( $r$ ) entre as componentes do rendimento visualizadas nas fotografias capturadas pelo VINBOT e a posterior observação desses mesmos componentes na vinha, nos segmentos correspondentes a cada uma das fotografias. Considerando-se a análise dos coeficientes de correlação, verificou-se uma boa relação na identificação dos talões ( $r = 0,95$ ) entre o capturado na imagem pelo VINBOT e o observado na vinha, ao gomo de inverno. A partir deste estado fenológico houve uma redução do coeficiente de correlação, devido a um maior encobrimento das componentes do rendimento.

A partir do vingamento o coeficiente de correlação mantém-se relativamente constante (entre  $r = 0,57$  e  $r = 0,61$ ). Apesar de ser inferior ao  $r = 0,95$  observado no estado fenológico gomo de inverno, a componente de rendimento que se considera, o número de cachos, explica muito mais a variação do rendimento final do que o número de talões (variável observada ao gomo de inverno). Assim, um  $r = 0,57$  ao bago de chumbo poderá ser informativo o suficiente para que neste estado fenológico seja efetuada uma estimativa do rendimento com alguma fiabilidade.


Estado Fenológico									
	A Gomo Inverno	E Folhas livres	F Cachos visíveis	G Cachos separados	I Floração	K Bago chumbo	K Bago ervilha	M Pintor	N Maturação
Correlação Componente Rendimento na imagem vs valor real	# Talões $r = 0,95$	# Sarmentos $r = 0,61$	# Inflorescências $r = 0,23$	# Inflorescências $r = 0,405$	# Inflorescências $r = 0,54$	# Cachos $r = 0,57$	# Cachos $r = 0,61$	# Cachos $r = 0,61$	# Cachos $r = 0,60$

Figura 35 – Coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), entre as componentes do rendimento na imagem VINBOT e respetivos valores observados, nos vários estados fenológicos.

O valor do coeficiente de correlação entre os cachos observados e os de cachos na imagem, apresenta valores semelhantes desde o estado fenológico de

bago de chumbo até à maturação, indicando que a utilização do número de cachos como variável explanatória para estimativa do rendimento, terá o mesmo grau de confiança.

Considerando mais uma vez os problemas descritos no capítulo 4.1, as imagens obtidas com o VINBOT não correspondem todas a segmentos de um metro, mas a vindima foi feita metro a metro. Para evitar erros resultantes desse facto e padronizar os dados recolhidos, determinou-se o número médio de cachos por metro linear (Quadro 7).

Quadro 7 - Número médio de cachos observados, por metro linear, em cada SP, nos estados fenológicos indicados e na vindima, sem incluir o SP4 pois nas medições detalhadas foram colhidos cachos neste SP.

	# médio Inflorescências Cachos Visíveis	# médio Inflorescências Cachos Separados	# médio Inflorescências Floração	# médio Cachos Bago Chumbo	# médio Cachos Bago Ervilha	# médio Cachos Pintor	# médio Cachos Maturação	# médio Cachos Vindima
SP1	23.80	21.46	20.69	19.62	16.82	16.38	15.97	20.20
SP2	19.64	22.47	21.90	16.50	16.85	20.01	17.80	21.70
SP3	25.53	25.24	19.13	16.08	18.11	16.50	19.67	23.70
SP5	29.36	24.01	17.08	13.96	16.48	17.76	19.95	21.15
SP6	24.01	21.91	16.53	15.72	17.05	16.87	19.67	20.85

#### 4.4. Modelo área projetada de cacho versus peso do cacho.

A relação entre a área projetada do cacho na imagem (variável independente) e o peso real do cacho (variável dependente), revela um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,68$  no estado fenológico de bago de ervilha (Fig. 36). Ao pintor, a mesma relação apresenta um  $R^2 = 0,88$  (Fig. 37) e à maturação um  $R^2 = 0,83$  (Fig. 38). Estes resultados mostram que a área projetada, explica uma elevada percentagem da variabilidade do peso do cacho, permitindo considerar esta variável como uma boa variável explanatória do rendimento, em qualquer uma das fases fenológicas consideradas e em particular, ao pintor e à maturação final.

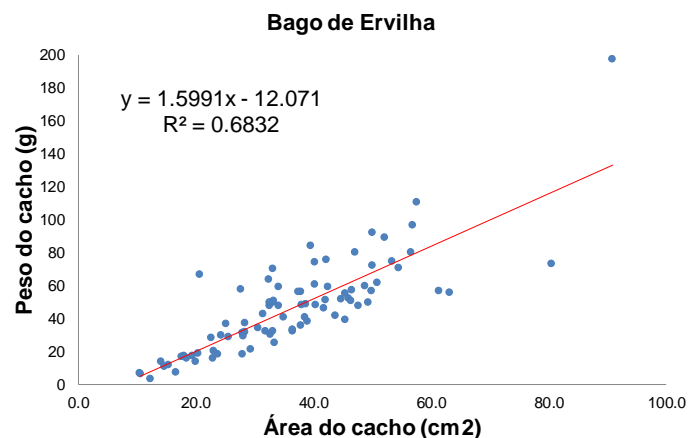


Figura 36 –Relação entre a área projetada do cacho (variável independente) e o peso do cacho (variável dependente), com respetiva equação de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), estado fenológico bago de ervilha, n=85.

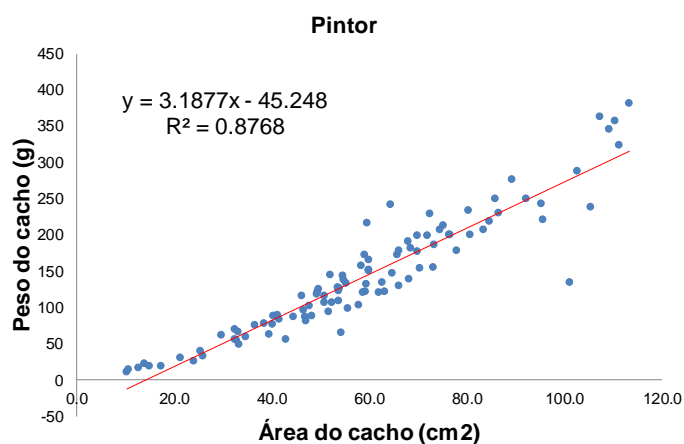


Figura 37 – Relação entre a área projetada do cacho (variável independente) e o peso do cacho (variável dependente), com respetiva equação de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), estado fenológico pintor, n=100.

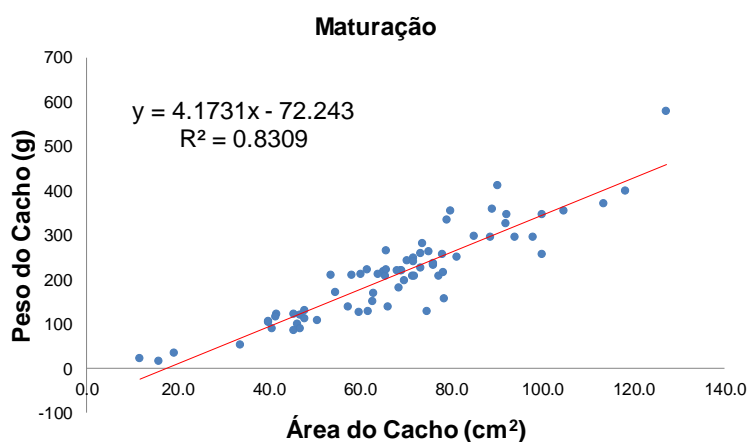


Figura 38 – Relação entre a área projetada do cacho (variável independente) e o peso do cacho (variável dependente), com respetiva equação de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), estado fenológico maturação, n=135.

#### 4.5. Modelo para estimativa dos cachos encobertos pela folhagem.

A percentagem média de cachos encobertos por folhas, variou entre 77% ao bago de ervilha, 79% ao pintor e 78% à maturação. Pelo que, sem efetuar qualquer alteração ao coberto vegetal (desfolha) apenas são visíveis menos de 23% dos cachos existentes.

A relação entre a porosidade da sebe na zona de frutificação (percentagem de espaços vazios) e a percentagem de cachos encobertos por folhas revela um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,95$  ao bago de ervilha (Fig. 39),  $R^2 = 0,91$  ao pintor (Fig. 40) e  $R^2 = 0,87$  à maturação (Fig. 41). Estes dados são consistentes nos três estados fenológicos. A percentagem de cachos encobertos é maior para baixos valores de porosidade, ou seja, quanto menos espaços vazios maior a percentagem de cachos encobertos. Esta fração de cachos encobertos pela folhagem diminuiu quando se efetuou meia desfolha na zona de frutificação e apresentou um valor ainda menor, quando a zona de frutificação foi totalmente desfolhada.

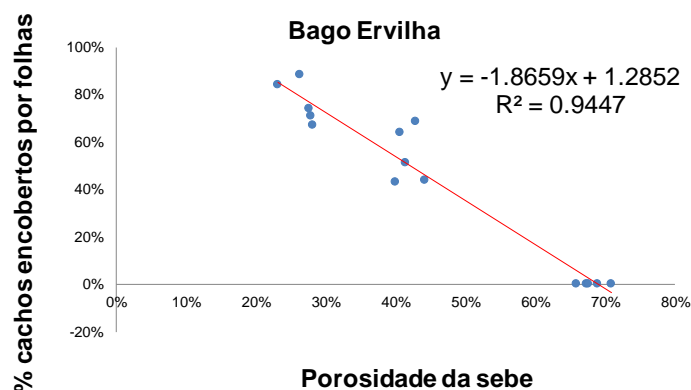


Figura 39 – Relação entre a Porosidade sebe (variável independente) e a percentagem de cachos encobertos por folhas (variável dependente), com respetiva equação de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), estado fenológico bago de ervilha,  $n=15$ .

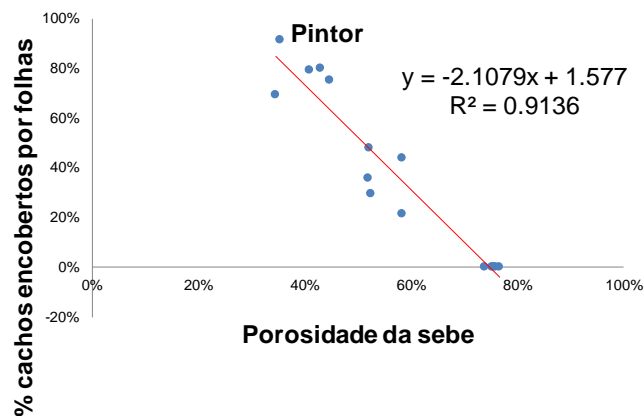


Figura 40 – Relação entre a Porosidade sebe (variável independente) e a percentagem de cachos encobertos por folhas (variável dependente), com respetiva equação de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), estado fenológico pintor, n=15.

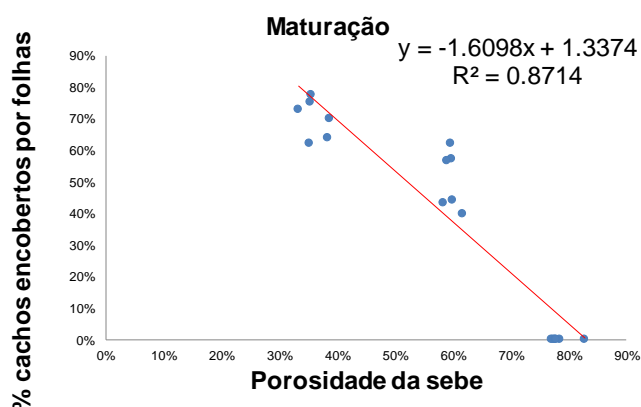


Figura 41 – Relação entre a Porosidade sebe (variável independente) e a percentagem de cachos encobertos por folhas (variável dependente), com respetiva equação de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), estado fenológico maturação, n=15.

#### 4.6. Modelo para estimativa de cachos encobertos por outros cachos.

A percentagem média de cachos encobertos por outros cachos, variou entre 19% ao bago de ervilha e 13% ao pintor e 18% à maturação. Somando estes valores aos valores de encobrimento por folhagem, os dados indicam que da totalidade de cachos presentes, apenas se conseguem observar cerca de 3% a 8%.

No quadro 8 apresenta-se a percentagem média, de cachos encobertos por outros cachos, obtida nos três estados fenológicos indicados.

Quadro 8 - Quadro resumo da percentagem (%) média de encobrimento de cachos por cachos, nos estados fenológicos indicados e a % média total final.

Casta	Linha	Estado Fenológico	% Encobrimento cachos por cachos
Encruzado	44	<b>Bago Ervilha</b>	19
Encruzado	44	<b>Pintor</b>	13
Encruzado	44	<b>Maturação</b>	18
% média de oclusão de cachos por cachos, total final			<b>17</b>

Para além de se explorar a dimensão deste encobrimento, explorou-se também a relação entre o mesmo e o rendimento, com o pressuposto de que, quanto maior for o rendimento maior a probabilidade de encobrimento entre cachos.

A relação entre o rendimento (variável independente) e a percentagem de cachos encobertos por outros cachos (variável dependente), revela um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,93$  ao pintor, que diminui para um coeficiente  $R^2 = 0,41$  à maturação (Fig. 42). Apesar destes valores terem sido obtidos a partir da análise de uma amostra pequena ( $n=5$ ), observa-se já uma tendência que sugere a presença desta relação.

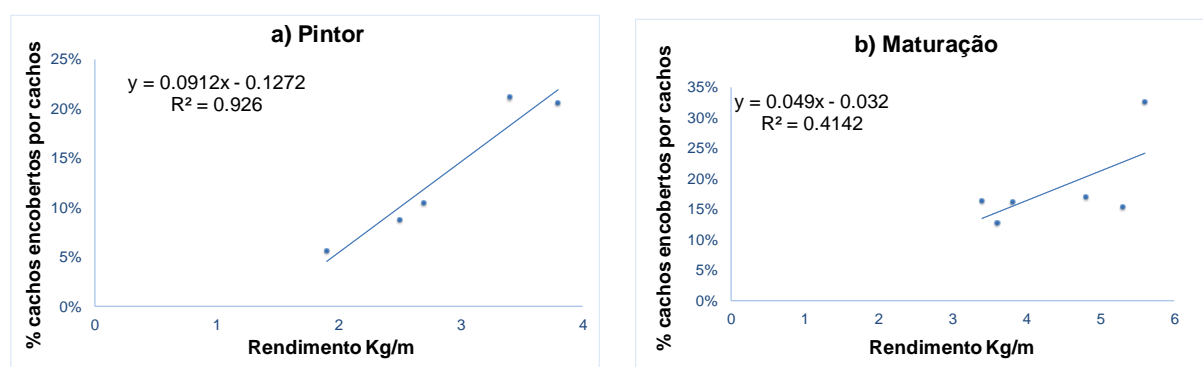


Figura 42 - Relação entre o rendimento (variável independente) e a percentagem de cachos encobertos por outros cachos (variável dependente), com respetiva equação de regressão e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a) ao pintor e b) à maturação,  $n=5$ .

#### 4.7. Fator de crescimento do bago.

Na fase fenológica bago de ervilha a área média do bago foi de  $0,42 \text{ cm}^2$ , ao pintor foi de  $1,45 \text{ cm}^2$  e à maturação de  $1,61 \text{ cm}^2$  (Quadro 9). Para além da área média do bago foram também exploradas as variáveis área média do cacho e peso médio do cacho.



Quadro 9 - Área média do bago e do cacho, peso médio do cacho (média  $\pm$  desvio padrão) , o fator de crescimento da área do bago, da área do cacho e do peso do cacho, nos três estados fenológicos indicados.

Estado fenológico	Área média bago (cm <sup>2</sup> )	Factor crescimento área do bago Maturação	Área média cacho (cm <sup>2</sup> )	Factor crescimento área do cacho Maturação	Peso médio cacho (g)	Factor crescimento peso do cacho Maturação
Bago Ervilha	0.42 $\pm$ 0.1	4.00	36.1 $\pm$ 14.98	1.91	46.84 $\pm$ 27.83	4.21
Pintor	1.45 $\pm$ 0.32	1.16	58.74 $\pm$ 23.98	1.17	142.01 $\pm$ 81.65	1.39
Maturação	1.68 $\pm$ 0.38	-	68.89 $\pm$ 22.1	-	197.07 $\pm$ 103.92	-

O fator de crescimento da área média do bago foi de 4,0 vezes desde o bago de ervilha até à maturação e de 1,2 vezes desde o pintor até à maturação. O crescimento da área do bago do pintor à maturação foi relativamente pequeno. Acresce ainda, que uma onda de calor, sentida na primeira semana de agosto de 2018, provocou escaldão e desidratação de alguns bagos, em todos os SP. Na figura 43, apresentam-se as áreas médias do cacho e também, o peso médio do cacho, nos três estados fenológicos indicados.

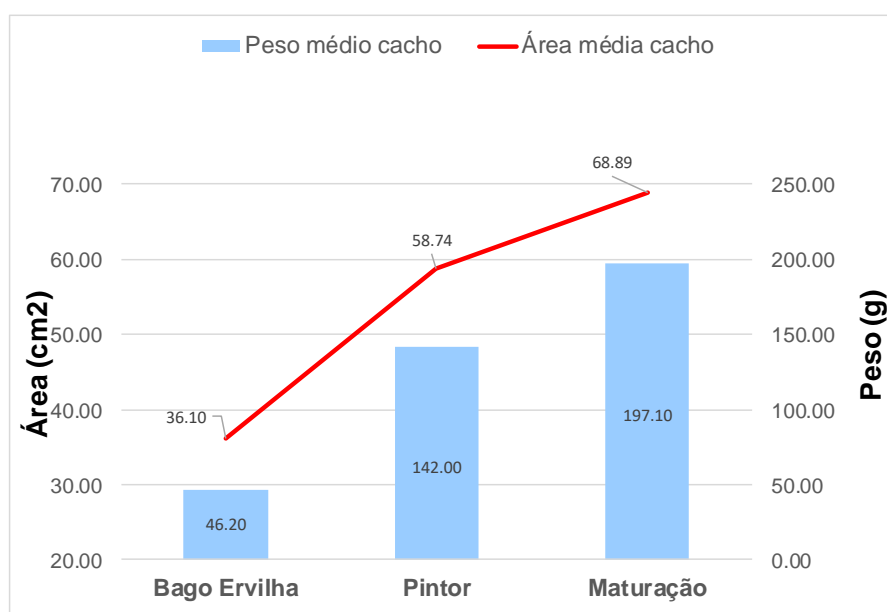


Figura 43 – Áreas médias dos cachos (cm<sup>2</sup>) e o peso médio dos cachos (g), em cada um dos três estados fenológicos indicados, n= 94.

No que respeita ao peso do cacho, o fator de crescimento desde o bago de ervilha até à maturação foi de 4,2 vezes e de 1,2 vezes do pintor até à maturação. O fator de crescimento do peso do cacho tem valores semelhantes ao fator de crescimento da área do bago. Já para a área média do cacho, os fatores de

crescimento são de 1,9 vezes do bago de ervilha até à maturação e de 1,2 vezes do pintor até à maturação. A diferença no fator de crescimento da área média do cacho do bago de ervilha até à maturação, em relação ao fator de crescimento do peso médio cacho, poderá estar relacionada com o  $R^2$  inferior no modelo área projetada do cacho versus peso do cacho (capítulo 4.4) para este estado fenológico.

Relativamente ao diâmetro médio do bago (Fig. 44), podemos observar que o diâmetro ao pintor e à maturação têm valores da mesma ordem de grandeza, indicando que os bagos cresceram relativamente pouco do pintor à maturação.

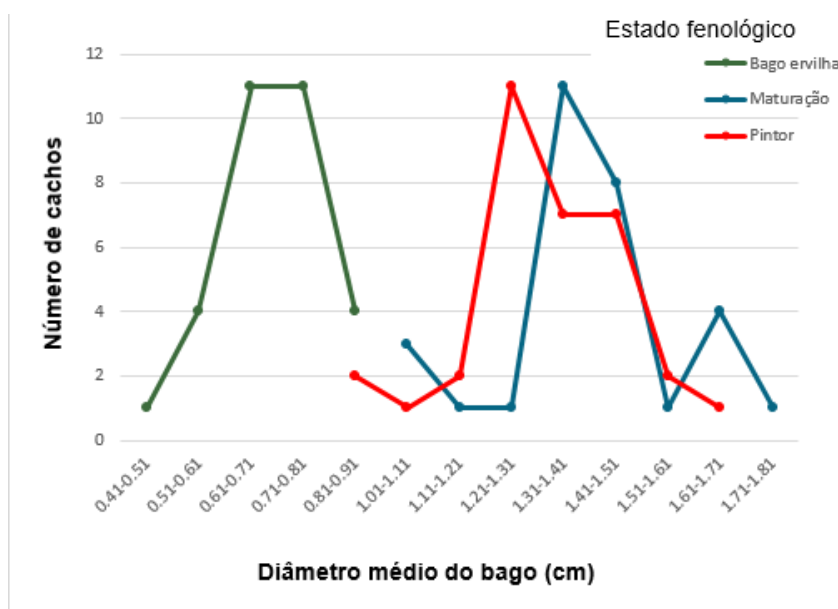


Figura 44 – Diâmetro médio dos bagos, por cacho, nos três estados fenológicos indicados, n=11531.

#### 4.8. Estimativa do Rendimento.

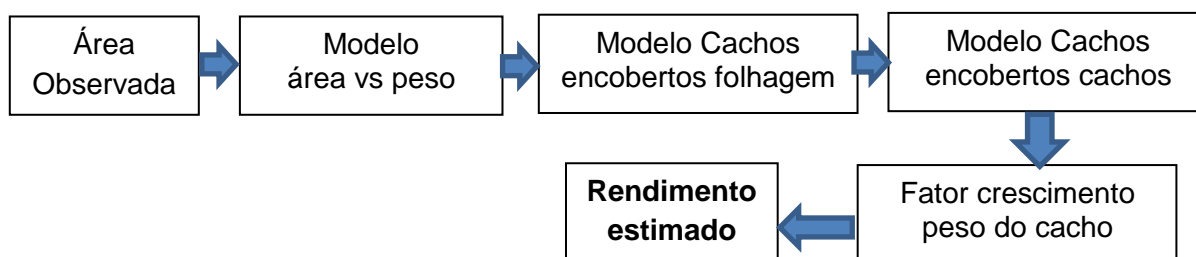
Na figura 45, indica-se o rendimento observado à vindima e o estimado, em quilogramas por metro, para cada SP, para cada um dos três estados fenológicos indicados (bago de ervilha, pintor e maturação). Para uma previsão de rendimento em estados fenológicos anteriores ao bago de ervilha, seriam necessários dados históricos. Este tipo de previsão não foi explorado neste trabalho.

Nos modelos para a estimativa dos cachos encobertos pela folhagem e por outros cachos, foram utilizados valores médios de porosidade e de percentagem de

encobrimento cacho por cacho, para cada estado fenológico. Estes valores não foram calculados para cada fotografia, por ser um procedimento extremamente laborioso quando feito manualmente. A esta simplificação está associada um erro significativo na estimativa do rendimento, pois a variabilidade destes parâmetros para cada imagem é elevada. No futuro poder-se-á utilizar o valor estimado de porosidade e de percentagem de encobrimento cacho por cacho por imagem, pois estes parâmetros poderão ser calculados automaticamente pelo Rangefinder do VINBOT.

Para efetuar a estimativa, foram utilizadas as equações de regressão indicadas nos modelos descritos nos capítulos anteriores (capítulos 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7). A porosidade média utilizada no modelo para a estimativa dos cachos encobertos pela folhagem, foi de 25% ao bago de ervilha, de 39% ao pintor e 36% à maturação. Para estimativa de cachos encobertos por outros cachos foi usado um valor médio de 19 % ao bago de ervilha, 13% ao pintor e 18% à maturação e, os fatores de crescimento do peso do cacho de 4,2 ao bago de ervilha e 1,4 ao pintor.

Em resumo, apresenta-se o fluxograma utilizado para o cálculo da estimativa do rendimento, para cada estado fenológico:



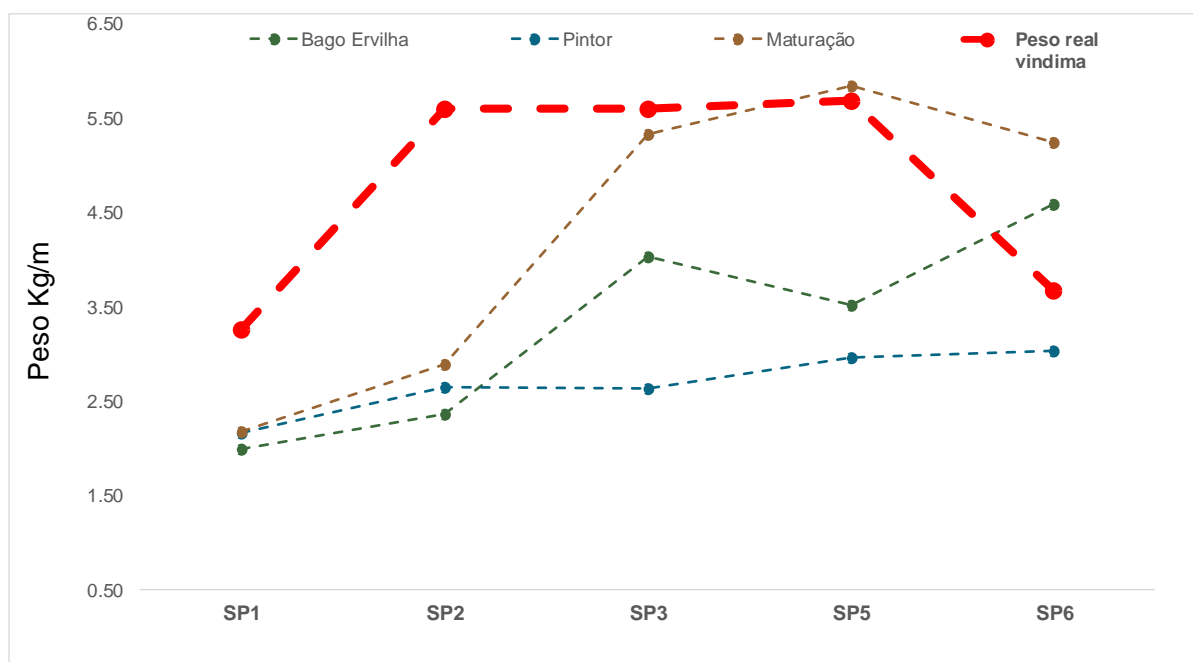


Figura 45 – Estimativa do rendimento por SP em Kg/m, utilizando área projetada do cacho visualizada nas fotografias capturadas pela câmara RGB-D Kinect v2 do robô VINBOT, nos três estados fenológicos indicados e o valor observado à vindima.

No quadro 10 indicamos o rendimento observado (à vindima) e o rendimento estimado em quilogramas por metro linear nos três estados fenológicos indicados, com os respectivos valores do erro absoluto médio, erro percentual absoluto médio e erro quadrático médio.

Quadro 10 - Quadro com os valores do rendimento médio em Kg/m linear, real e estimado em cada um dos três estados fenológicos indicados e os respectivos erros Absoluto Médio (EPM), Percentual Absoluto Médio (EPAM) e Quadrático Médio (EQM).

		Estimado	Real	EPM	EPAM	EQM
Bago Ervilha	Rendimento Kg/m	3.3	<b>4.8</b>	1.8	37.6	2.0
Pintor	Rendimento Kg/m	2.7	<b>4.8</b>	2.1	41.0	2.3
Maturação	Rendimento Kg/m	4.3	<b>4.8</b>	1.2	26.6	1.5

EPM - Erro Absoluto Médio, EPAM - Erro Percentual Absoluto Médio, EQM - Erro Quadrático Médio.

As estimativas ao bago de ervilha e ao pintor apresentam um Erro Percentual Absoluto Médio de 38 e 41 por cento respectivamente. À maturação verifica-se um EPAM de 27 por cento e as três estimativas estão subestimadas em relação ao valor observado à vindima.

## 5. CONCLUSÕES.

A análise das componentes do rendimento obtidas via análise de imagem mostra que, a partir do vingamento, existe uma correlação elevada entre o número de cachos observado na imagem e no campo. Os resultados indicam que, no caso de se utilizar o número de cachos como variável explanatória, os estados fenológicos mais interessantes para estimar o rendimento são o bago de chumbo e o bago de ervilha, por serem os mais precoces.

A análise de regressão entre a área projetada de cacho e o peso do cacho apresentou coeficientes de determinação elevados para os três estados fenológicos estudados, verificando-se que a eficácia em estimar o peso do cacho a partir da sua área projetada é particularmente elevada ao pintor ( $R^2 = 0,88$ ) e à maturação ( $R^2 = 0,83$ ).

Relativamente à visibilidade dos cachos, quando a sebe não é desfolhada, verifica-se que 92% a 97% dos cachos estão encobertos ou por folhas (77% a 79%) ou por outros cachos (13% a 19%), dependendo pouco do estado fenológico (bago ervilha, pintor e maturação).

A análise de regressão entre a porosidade da sebe e a área de cachos expostos apresentou também coeficientes de determinação elevados para os três estados fenológicos estudados ( $R^2 \geq 0,87$ ), o que permite considerar a utilização da porosidade da sebe como variável explanatória para estimativa da fração de cachos não visíveis.

Explorou-se ainda a relação entre o rendimento e a percentagem de cachos encobertos por outros cachos. Obteve-se um  $R^2 = 0,93$  ao pintor, entre as duas variáveis o que indica que quanto maior for o rendimento maior é a probabilidade de existirem cachos encobertos por outros cachos.

A estimativa do rendimento em estados fenológicos precoces, exige o conhecimento do fator de crescimento do bago/cacho até à maturação. No nosso ensaio obteve-se um fator de crescimento do peso do cacho de 4,2 no período bago de ervilha-maturação e de 1,4 no período pintor- maturação.

Ao longo deste trabalho foram testadas diversas metodologias de recolha de imagem. Sugerem-se algumas alterações para estudos futuros, destacando-se a introdução de uma escala fixa na vinha e a estabilização da distância do robô às videiras.

Os resultados finais resultantes dos modelos desenvolvidos neste trabalho permitiram obter várias estimativas da produção à vindima com um erro variável com a fase em que é feita a estimativa. Todas as estimativas subestimaram a produção tendo-se observado um erro de 38%, 41% e 27% respetivamente ao bago de ervilha, ao pintor e à vindima. Em qualquer um dos casos, trata-se de um erro elevado que poderá estar associado, principalmente, à falta de automatização da estimativa da porosidade e do grau de encobrimento de cachos por outros cachos, dois fatores chave difíceis de estimar manualmente, tendo em conta o número de imagem envolvidas. Este processo de automatização está ainda por desenvolver na plataforma VINBOT.

Uma vez que os objetivos do trabalho eram estimar a produção à vindima e prever a produção em estados precoces, com recurso à análise das imagens recolhidas pelo robô VINBOT, o seu principal contributo não se prende com a estimativa de rendimento *per si*, mas sim com a construção dos modelos associados a esta estimativa e com o teste e otimização de metodologias de recolha e tratamento de imagem.

A estimativa de rendimento através de análise de imagem é uma alternativa eficaz para se conhecer a variabilidade espacial do rendimento atempadamente. Dos vários desafios que apresenta, destacam-se o encobrimento de cachos por folhagem e/ou por outros cachos. O aumento da amostragem dos modelos sugeridos neste trabalho, nomeadamente englobando mais anos vitícolas de modo a contemplar a variabilidade temporal, é crucial para a otimização deste modo alternativo de estimar o rendimento.

## **Referências bibliográficas**

- Aleixandre, J. L., Aleixandre-Tudó, J. L., Bolaños-Pizarro, M., & Aleixandre-Benavent, R. (2016). Viticulture and oenology scientific research: The Old World versus the New World wine-producing countries. *International Journal of Information Management*, 36(3), 389-396;
- Behrooz-Khazaei, N., & Maleki, M. R. (2017). A robust algorithm based on color features for grape cluster segmentation. *Computers and electronics in agriculture*, 142, 41-49;
- Blom, P. E., & Tarara, J. M. (2009). Trellis tension monitoring improves yield estimation in vineyards. *HortScience*, 44 (3), 678-685;
- Bohm, Jorge (2010). Portugal Vitícola. O Grande Livro das Castas. Lisboa, Chaves Ferreira Publicações;
- Braga, R. (2009). Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola. Manual de Viticultura de Precisão. Lisboa, Associação dos Jovens Agricultores de Portugal, 150, 2-17;
- Bramley, R. G. V., & Hamilton, R. P. (2004). Understanding variability in winegrape production systems: 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(1), 32-45;
- Bramley, R. G. V. (2005). Understanding variability in winegrape production systems 2. Within vineyard variation in quality over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11(1), 33-42;
- Bramley, R. G., & Hamilton, R. P. (2007). Terroir and precision viticulture: are they compatible? *OENO One*, 41 (1), 1-8;
- Bramley, R. G. V. (2010). Precision Viticulture: Managing vineyard variability for improved quality outcomes. In *Managing Wine Quality: Viticulture and Wine Quality* (pp. 445-480);
- Cardoso, J.V.J.C. (1965). Os solos de Portugal: sua classificação, caracterização e génese. Secretaria de Estado de Estado da Agricultura. Direcção-Geral dos Serviços Agrícolas;
- Cour P., 1974, Nouvelles techniques de detection des flux et des retombees polliniques: Etude de la sedimentation des pollens et des spores a la surface du sol. *Pollens et Spores*. 16(1): 103-141;

- Cubero, S., Diago, M. P., Blasco, J., Tardaguila, J., Millan, B., & Aleixos, N. (2014). A new method for pedicel/peduncle detection and size assessment of grapevine berries and other fruits by image analysis. *Biosystems engineering*, 117, 62-72;
- Cunha, M., Costa, P., Abreu, I., Pinto, P., & Castro, R. (1999). Estimativa Precoce da Produção de Vinho pelo Método Aeropolinico. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 14 (2), 45-54;
- Diago, M. P., Correa, C., Millán, B., Barreiro, P., Valero, C., & Tardaguila, J. (2012). Grapevine yield and leaf area estimation using supervised classification methodology on RGB images taken under field conditions. *Sensors*, 12(12), 16988-17006;
- Diago, M. P., Sanz-Garcia, A., Millan, B., Blasco, J., & Tardaguila, J. (2014). Assessment of flower number per inflorescence in grapevine by image analysis under field conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(10), 1981-1987;
- Diago, M. P., Tardaguila, J., Aleixos, N., Millan, B., Prats-Montalban, J. M., Cubero, S., & Blasco, J. (2015). Assessment of cluster yield components by image analysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1274-1282;
- Dunn, G. M. (2010). Yield forecasting. Fact Sheet. University of Melbourne, Australia, Grape and Wine Research and Development Corporation;
- Dunn, G. M., & Martin, S. R. (2004). Yield prediction from digital image analysis: A technique with potential for vineyard assessments prior to harvest. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(3), 196-198;
- Federici, J. F., Wample, R. L., Rodriguez, D., & Mukherjee, S. (2009). Application of terahertz Gouy phase shift from curved surfaces for estimation of crop yield. *Applied Optics*, 48(7), 1382-1388;
- Ganesan, P., & Sajiv, G. (2017). A comprehensive study of edge detection for image processing applications. In *Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)*, 2017 International Conference on (pp. 1-6). IEEE;
- Gommes, R. (1998). Agrometeorological crop yield forecasting methods. *International Conference of Agricultural Statistics*, 11;
- Hall, A., Lamb, D. W., Holzapfel, B., & Louis, J. (2002). Optical remote sensing applications in viticulture-a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8(1), 36-47;



- Herrero-Huerta, M., González-Aguilera, D., Rodríguez-Gonzálvez, P., & Hernández-López, D. (2015). Vineyard yield estimation by automatic 3D bunch modelling in field conditions. *Computers and electronics in agriculture*, 110, 17-26;
- Instituto da Vinha e do Vinho, (IVV), sd, Catálogo de Porta-enxertos mais utilizados em Portugal;
- Instituto da Vinha e do Vinho, (IVV), (2011), Catálogo das castas para vinho cultivadas em Portugal, Lisboa, Chaves Ferreira;
- Jones, H. G., & Vaughan, R. A. (2010). *Remote sensing of vegetation: principles, techniques, and applications*. Oxford university press;
- Lachat, E., Macher, H., Landes, T., & Grussenmeyer, P. (2015). Assessment and calibration of a RGB-D camera (kinect v2 sensor) towards a potential use for close-range 3D modeling. *Remote Sensing*, 7(10), 13070-13097;
- Lopes, A.J.O. (2009). *Previsão quantitativa de vindimas*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa;
- Lopes CM, Graça J, Sastre J, Reyes M, Guzmán R, Braga R, Monteiro A and Pinto PA, (2016). Vineyard yield estimation by vinbot robot - preliminary results with the white variety 'Viosinho'. In *Proceedings 11th Int. Terroir Congress*. Jones, G. and Doran, N.(eds.), pp. 458-463. Southern Oregon University, Ashland, USA;
- Liu, S., Marden, S., & Whitty, M. (2013). Towards automated yield estimation in viticulture. In *Proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation*, Sydney, Australia (Vol. 24);
- Liu, S., Whitty, M., & Cossell, S. (2015, May). Automatic grape bunch detection in vineyards for precise yield estimation. In *Machine Vision Applications (MVA), 2015 14th IAPR International Conference on* (pp. 238-241). IEEE;
- Lorenz, D.H., Eichhorn, K.W., Bleiholder, H., Klose, R., Meier, U. e Weber, E. (1995). Growth Stages of the Grapevine: Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*)—Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 1, 100–103;
- MacMillan, I. e Fisher, K. (2005). Yield estimation – can we do it better? The Tinlins McLaren Vale Shiraz experience. *The Australian & New Zealand Grape grower & Winemaker*, 500, 26-28;
- Magalhães, N. (2015). *Tratado de Viticultura – A Videira, a Vinha e o Terroir*, 2.<sup>a</sup> Edição, Esfera Poética;

- Matese, A., & Di Gennaro, S. F. (2015). Technology in precision viticulture: A state of the art review. *International Journal Wine Research*, 7, 69-81;
- Mendes, J., Santos, F., Castelão, I., Ramalho, T., Duarte, C., Almeida, F., e Carlos, C., (2017). ROMOVI, robô modular e cooperativo para vinha de encosta, *AGROTEC* 26, 19-21;
- Navalgund, R. R., Jayaraman, V., & Roy, P. S. (2007). Remote sensing applications: An overview. *Current Science* (00113891), 93(12);
- Nuske, S., Achar, S., Bates, T., Narasimhan, S., & Singh, S. (2011). Yield estimation in vineyards by visual grape detection. In *Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2011 IEEE/RSJ International Conference on (pp. 2352-2358). IEEE;
- OIV, (2017), *State of the Vitiviniculture World Market*, April;
- Sarmiento, A. M. (1969). Elementos para a Elaboração do Plano de Trabalho na Exploração Agrícola da Tapada da Ajuda. Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrônomo, Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa (atual Universidade de Lisboa);
- Tarara, J. M., Ferguson, J. C., Blom, P. E., Pitts, M. J., & Pierce, F. J. (2004). Estimation of grapevine crop mass and yield via automated measurements of trellis tension. *Transactions of the ASAE*, 47(2), 647.

## **Anexo A – Programa ImageJ – Algoritmo de análise de imagem.**

1. Todas as imagens capturadas pelas câmaras RGB-D, Kinect v2 do robô VINBOT e Nikon D5200 foram analisadas manualmente pelo programa ImageJ. Foi utilizada versão 1.52e do ImageJ, que é um software de utilização livre, desenvolvido pelo National Institutes of Health dos Estados Unidos da América, com atualizações frequentes e que pode apresentar, editar, analisar, processar, gravar e imprimir imagens de 8 bits, 16 bits e 32 bits. Executa o processamento padrão de imagens, nomeadamente a manipulação do contraste, da nitidez e a detecção dos contornos. Pode calcular áreas, medir distâncias e ângulos, assim como produzir histogramas de densidade e gráficos lineares.

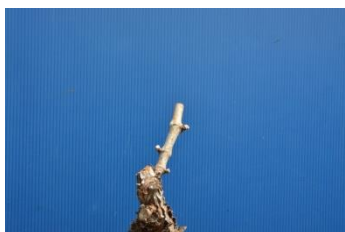
2. Para a determinação da área do cacho e número de cachos, na análise dos componentes de rendimento, foram efetuados os seguintes passos no ImageJ: 1 - abrir o programa ImageJ; 2 - no menu “File” seleccionar “open” para abrir a imagem pretendida; 3 - seleccionar o menu “Analyze” e de seguida “Set Scale...” abre uma janela onde se coloca no “known Distance:” o valor correto do comprimento da recta traçada sobre a escala da foto e colocar as unidades em “cm”; 4 – Carregar no “Polygon selections” do menu e seleccionar a área dos cachos; 5 – no menu seleccionar “Analyze” e “Measure”. Abre uma janela “results” com indicação da área de todos os cachos seleccionados em centímetros quadrados. Os cachos na imagem foram contados visualmente.

3. Para a determinação da área de cada cacho, no modelo área projetada de cacho versus peso do cacho, foram efetuados os seguintes passos no ImageJ: 1 - abrir o programa ImageJ; 2 - no menu “File” seleccionar “open” para abrir a imagem pretendida; 3 - seleccionar o menu “Analyze” e de seguida “Set Scale...” abre uma janela onde se coloca no “known Distance:” o valor correto do comprimento da recta traçada sobre a escala da foto e colocar as unidades em “cm”; 4 – Carregar no retângulo do menu e seleccionar a área do cacho; 5 - Seleccionar no Menu “Image” a opção “Crop” e de seguida a opção “Adjust” e “Color Threshold ...”. Abre painel “Threshold color” onde no “color space” se selecciona “RGB” e as cores Red, Blue e Green 0 e 255. A imagem fica toda encarnada, ajustar na cor azul de forma a aparecer o cacho encarnado, seleccionar “select” para aparecer o cacho de cor verde e com uma linha amarela a delimita-lo; 6 – No menu seleccionar “Analyze” e “Measure”. Abre uma janela “results” com indicação da área em centímetros quadrados.

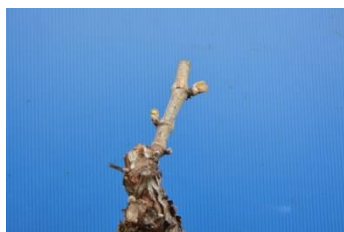
4. Para a determinação da porosidade e a oclusão dos cachos por folhas e cachos por cachos, nos modelos de oclusão cachos por folhas e oclusão dos cachos por cachos, foram efetuados os seguintes passos no ImageJ: 1 - abrir o programa ImageJ; 2 - no menu "File" seleccionar "open" para abrir a imagem pretendida; 3 - seleccionar o menu "Analyze" e de seguida "Set Scale..." abre uma janela onde se coloca no "known Distance:" o valor correto do comprimento da recta traçada sobre a escala da foto e colocar as unidades em "cm"; 4 – Carregar no retângulo do menu e seleccionar a área dos cachos (frutificação) da imagem; 5 – Seleccionar no Menu "Image" a opção "Crop" 6 – No menu seleccionar "Analyze" e "Measure". Abre uma janela "results" com indicação da área total em centímetros quadrados; 7 – Seleccionar no Menu "Image" a opção "Adjust" e "Color Threshold ...". Abre painel "Threshold color" onde no "color space" se selecciona "RGB" e as cores Red, Blue e Green 0 e 255. A imagem fica toda encarnada, ajustar na cor azul de forma a aparecerem as folhas encarnadas, seleccionar "select" para aparecerem as folhas de cor verde e com uma linha amarela a delimita-las; 8 – No menu seleccionar "Analyze" e "Measure". Abre uma janela "results" com indicação da área das folhas em centímetros quadrados.

5. Para a determinação da área do bago e número de bagos por cacho, no modelo crescimento do bago, foram efetuados os seguintes passos no ImageJ: 1 - abrir o programa ImageJ; 2 - no menu "File" seleccionar "open" para abrir a imagem pretendida; 3 - seleccionar o menu "Analyze" e de seguida "Set Scale..." abre uma janela onde se coloca no "known Distance:" o valor correto do comprimento da recta traçada sobre a escala da foto e colocar as unidades em "cm"; 4 – Carregar no retângulo do menu e seleccionar a área dos bagos; 5 - Seleccionar no Menu "Image" a opção "Crop" e de seguida a opção "Adjust" e "Color Threshold ...". Abre painel "Threshold color" onde no "color space" se selecciona "RGB" e as cores Red, Blue e Green 0 e 255. A imagem fica toda encarnada, ajustar na cor azul de forma a aparecerem os bagos encarnados, seleccionar "select" para aparecerem os bagos de cor verde e com uma linha amarela a delimita-los; 6 – no menu seleccionar "Analyze Particles". Abre uma janela "Analyze Particles" que é necessário indicar na célula Size(cm<sup>2</sup>): um valor ajustado à área dos bagos e diferente de 0 (e.g 0.1-Infinity), na célula Show: seleccionar (Count Maskes) e OK . Abre uma janela "results" com indicação da área em centímetros quadrados de cada bago, uma janela "summary" com indicação do número de bagos e uma "imagem ROI" com todos os bagos numerados. O Diâmetro de cada bago e o diâmetro médio foram calculados utilizando a formula da área do circulo e considerando que os bagos eram circulares.

**Anexo B** – Fotografias do talão n.º 3, da videira 13, na linha 41.  
Casta encruzado, em 2018.



28 março



4 abril



11 abril



24 abril



2 maio



9 maio



18 maio



24 maio



25 maio



30 maio



07 junho

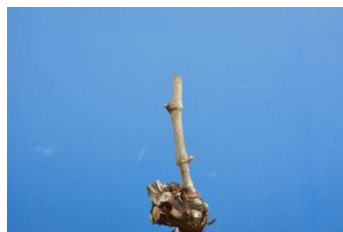


11 junho

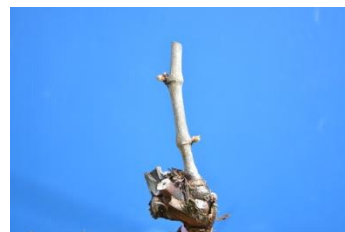
**Anexo C** – Fotografias do talão n.º 4, da videira 19, na linha 41.  
Casta encruzado, em 2018.



28 março



4 abril



11 abril



24 abril



2 maio



9 maio



18 maio



24 maio



25 maio



30 maio



07 junho



11 junho



## Anexo D – Escala de BBCH adaptada à vinha.

Fonte:(Lorenz et al. 1995).

BBCH-Code	Description	BBCH-Code	Description
<b>Principal growth stage 0</b>	<b>Sprouting</b>	61	Beginning of flowering: 10% of flowerhoods fallen
00	Dormancy: winter buds pointed to rounded, bright or dark brown according to cultivar, bud scales more or less closed according to cultivar	63	Early flowering: 30% of flowerhoods fallen
01	Beginning of bud swelling: buds begin to expand inside the bud scales	65	Full flowering: 50% of flowerhoods fallen
03	End of bud swelling: buds swollen, but not green	68	80% of flowerhoods fallen
05	"Wool stage": brown wool clearly visible	69	End of flowering
07	Beginning of bud burst: green shoot tips just visible	<b>Principal growth stage 7</b>	<b>Development of fruits</b>
09	Bud burst: green shoot tips clearly visible	71	Fruit set: fruits begin to swell, remains of flowers lost
<b>Principal growth stage 1</b>	<b>Leaf development</b>	73	Berries groat-sized, bunches begin to hang
11	First leaf unfolded and spread away from shoot	75	Berries pea-sized, bunches hang
12	Two leaves unfolded	77	Begin of berry touch
13	Three leaves unfolded	79	Berry touch complete
14	Four leaves unfolded	<b>Principal growth stage 8</b>	<b>Ripening of berries</b>
15	Five leaves unfolded	81	Beginning of ripening: berries begin to brighten in colour
16	Six leaves unfolded	83	Berries brightening in colour
19	Nine or more leaves unfolded	85	Softening of berries
<b>Principal growth stage 5</b>	<b>Inflorescence emergence</b>	89	Berries ripe for harvest
53	Inflorescence clearly visible	<b>Principal growth stage 9</b>	<b>Senescence</b>
55	Inflorescence swelling, flowers closely pressed together	91	After harvest: end of wood maturation
57	Inflorescences fully developed, flowers separating	92	Beginning of leaf discoloration
<b>Principal growth stage 6</b>	<b>Flowering</b>	93	Beginning of leaf fall
60	First flowerhoods detached from the receptacle	95	50% of leaves fallen
		97	End of leaf fall
		99	Post-harvest treatments



**Anexo E – Estados fenológicos da Videira – (Escala Baggiolini).**



A - Gomo de Inverno



B - Gomo de algodão



C - Ponta verde



D - Saída das folhas



E - Folhas livres



F - Cachos visíveis



G - Cachos separados



H - Botões florais separados



I - Floração



J - Alimpa



K - Bago de ervilha



L - Fecho dos cachos



M - Pintor



N - Maturação