



**Previsão da Produção em duas castas brancas:
Análise da variabilidade espacial e das relações entre
Componentes do Rendimento**

Filipe Miguel Paulo Silvério

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Agronómica

(Área de Especialização: Hortofruticultura e Viticultura)

Orientador: Doutor Carlos Manuel Antunes Lopes

Orientador: Mestre João Nuno Duarte Graça

Agradecimentos

O trabalho desenvolvido não teria sido possível sem a ajuda directa ou indirecta de várias pessoas, às quais gostaria de deixar os meus sinceros agradecimentos:

Aos meus pais por todo o apoio, educação, sacrifícios e amor incondicionais prestados durante toda a vida, em concreto nas etapas do meu percurso no Instituto Superior de Agronomia. Não existem palavras suficientes para lhes agradecer;

À Catarina todo o apoio e compreensão fundamentais e companhia durante os últimos anos e que assim continue pelos próximos 100;

Ao Professor Doutor Carlos Manuel Antunes Lopes, meu orientador, por toda a disponibilidade e orientação prestada durante a realização deste trabalho, por todos os seus ensinamentos, opiniões, sugestões e transmissão da admiração pela viticultura;

Ao Mestre João Graça, por toda a disponibilidade, orientação e ajuda prestada durante este trabalho e pela constante minúcia nas várias tarefas, a qual me fez crescer como profissional;

Aos meus colegas de tese, Emilio Giuliani, Pedro Bicho e Bernardo Cameira pela amizade, espírito de camaradagem, ajuda na recolha de dados, apoio e compreensão;

Ao Mestre Ricardo Egipto, à Mestre Margarida Cardoso e à D. Nídia pela ajuda no tratamento de dados e amizade durante os dias de trabalho no ISA;

A todos os meus amigos (do ISA e não só) pelo apoio e amizade prestados ao longo dos anos;

A todas as pessoas que contribuíram para a realização desta tese e para o meu crescimento como pessoa durante os anos no ISA.

Resumo

A previsão do rendimento em viticultura determina uma vantagem competitiva essencial. Dos vários métodos para a realizar, as estimativas baseadas nas componentes do rendimento são um dos mais utilizados. Recentemente têm surgido estudos que pretendem melhorar a eficácia destas previsões, explorando a previsão automática do rendimento com veículos autónomos. Neste trabalho pretende-se estimar o rendimento em duas castas brancas utilizando o método das componentes do rendimento explorando a sua posterior utilização na análise de imagem. Para o efeito seleccionaram-se duas amostras de 30 videiras das castas Alvarinho e Viosinho, cujas componentes do rendimento foram quantificadas ao longo do ciclo cultural de 2015.

Apesar da casta Viosinho ter sido mais produtiva, em geral as duas castas apresentaram uma variabilidade espacial ao longo da linha da mesma ordem de grandeza (C.V. entre 10 a 40%), tendo sido o número de inflorescências, de botões florais e de cachos as variáveis com maior variabilidade.

Após análise de correlação entre variáveis foram obtidos modelos matemáticos de previsão da produção por videira, do peso por cacho e do número de bagos. No primeiro modelo, o número de inflorescências permitiu explicar cerca de 78% da variabilidade da produção por videira na casta Alvarinho, possibilitando assim uma antecipação da previsão relativamente ao modelo baseado no número de cachos. No segundo modelo o volume dos cachos (Alvarinho) e o peso dos bagos (Viosinho) explicaram praticamente toda a variabilidade do peso por cacho ($R^2 = 99\%$), enquanto que no terceiro modelo o peso por cacho explicou a maior parte da percentagem da variabilidade do número de bagos ($R^2 = 95\%$) em ambas castas.

A análise preliminar de imagens mostrou a existência de elevados coeficientes de correlação entre as várias variáveis medidas permitindo perspectivar a utilização desta ferramenta para estimar as componentes da produção.

Palavras-chave: Viticultura de precisão, análise de imagem, estimativa de rendimento, componentes do rendimento.

Abstract

Yield prediction determines an essential competitive advantage in viticulture. There are many methods to predict the yield, being the one based on yield components the most used. Recently there have been many studies for the purpose of maximize prediction efficiency exploring the automated yield prediction with autonomous vehicles. This work aims to estimate the yield of two white varieties using the based on yield components method to evaluate their usefulness in image analysis. For this purpose, two samples of 30 vines of Alvarinho and Viosinho were selected to quantify their yield components during their cultural cycle of 2015.

Despite Viosinho have been more productive, in a general way both varieties showed a spatial variability of the same magnitude order (C.V. between 10 and 40%), being the inflorescence number, the flower buds number and the cluster number the ones which showed a greater variability.

After the elaboration of relationships between those yield components, three mathematical models were created to predict the production per vine, the cluster weight and the berry number. In the first model the inflorescence number allowed to explain about 78% of the variability of production per vine in Alvarinho, enabling an anticipation of the forecast compared to the model based on the cluster number. In the second model the cluster volume (Alvarinho) and the berry weight (Viosinho) explained practically all the variability of cluster weight ($R^2 = 99\%$), while in the third model the cluster weight explained most of the percentage of variability of the berry number ($R^2 = 95\%$) in both varieties.

The pre-image analysis showed the existence of high correlated coefficients between the different measured variables, allowing to predict the use of this tool to estimate the yield components.

Key words: Precision viticulture, image analysis, yield estimation, Vinbot, yield components.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	1
ÍNDICE DE TABELAS.....	3
ÍNDICE DE EQUAÇÕES.....	4
1. INTRODUÇÃO	5
1.1 Objectivos deste trabalho	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 Ciclo biológico da videira.....	9
2.1.1 Componentes do rendimento	10
2.1.1.1 Factores que afectam as componentes do rendimento	12
2.2 Importância da previsão do rendimento	14
2.3 Métodos de estimativa de rendimento	15
2.3.1 Estimativas baseadas nas componentes do rendimento	15
2.3.2 Modelos agrometeorológicos	17
2.3.3 Análise polínica da atmosfera	18
2.3.4 Medição de tensão nos arames.....	19
2.3.5 Análise de radiação terahertz.....	20
2.3.6 Detecção remota	21
2.3.7 Recolha e análise de imagem	22
2.3.7.1 Projectos de análise de imagem em viticultura.....	22
2.3.7.1.1 O projecto Vinbot	23
2.3.7.1.2 Vinerobot	25
2.3.7.1.3 Robô para viticultura de montanha.....	25
2.3.7.1.4 Aplicações para smartphone.....	26
2.3.7.2 Dificuldades da aplicação da recolha de imagens	27
2.3.7.3 Metodologias e formas de tratar as imagens recolhidas	28
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Localização e caracterização da vinha	31
3.2 Caracterização edafo-climática	32
3.3 Operações culturais	33
3.4 Metodologias.....	33
3.4.1 Medições gerais.....	33
3.4.2 Medições detalhadas.....	35
3.4.3 Outras metodologias.....	38
3.4.3.1 Índice de fertilidade	38
3.4.3.2 Índice de compacidade	38
3.4.3.3 Cálculo do rendimento por hectare	38
3.5 Recolha de imagens	38
3.5.1 Recolha manual de imagens.....	40

3.6 Análise e tratamento da informação	40
3.6.1 Contagem de bagos na imagem	41
3.6.2 Regressão linear múltipla	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1 Variabilidade ao longo da linha	43
4.1.1 Olhos deixados à poda	43
4.1.2 Número de sarmentos	44
4.1.3 Número de inflorescências	44
4.1.4 Número de botões florais por inflorescência	46
4.1.5 Número de cachos	47
4.1.6 Produção por videira	47
4.1.7 Peso médio por cacho	48
4.1.8 Modelos de previsão da produção por videira	50
4.2 Variabilidade entre videiras - medições detalhadas	54
4.2.1 Número de bagos por cacho	54
4.2.2 Volume por cacho	54
4.2.3 Peso médio por bago	54
4.2.4 Comprimento do ráquis	55
4.2.5 Peso do ráquis	55
4.2.6 Número de ramificações por ráquis	56
4.2.7 Modelo de previsão do peso por cacho	58
4.2.8 Modelo de previsão do número de bagos	61
4.3 Análise preliminar de imagens de componentes do rendimento	65
4.3.1 Número real de botões florais <i>versus</i> número de botões florais contados na imagem	65
4.3.2 Número real de bagos <i>versus</i> número de bagos contados na imagem	67
5. CONCLUSÕES	69
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

Índice de Figuras

Figura 1 - Evolução da produção nacional de vinho entre 2000 e 2011.	7
Figura 2 – Diferenciação entre componentes do rendimento que contribuem para o peso médio por cacho e para a quantidade de cachos por hectare.	10
Figura 3 – (a) Imagem real de três bagos colhidos em Junho. (b) Imagem correspondente à reflexão da radiação THz, revelando os pixéis brancos indicadores da presença de uma superfície. (c) Imagem de um bago descoberto com reflexão THz. (d) Imagem do mesmo bago escondido atrás de uma folha.	21
Figura 4 – Imagem do veículo experimental do ensaio de Nuske <i>et al.</i> (2011).....	23
Figura 5 – Protótipo do veículo em que consiste o projecto Vinbot.	24
Figura 6 – Imagem do protótipo actual do vinerobot (A) e esquema representativo do ideótipo do vinerobot (B).	25
Figura 7 – Imagem do robô desenvolvido pela equipa de investigadores da UTAD.	25
Figura 8 – Recolha de imagem da sebe num ângulo de baixo para cima (A). Output da aplicação após execução do algoritmo (B).	26
Figura 9 – (A) Imagem original RGB de uma inflorescência da casta Graciano; (B) a mesma imagem com as flores marcadas com “X”; (C) a mesma imagem após a etapa 1 (diferenciação das flores do <i>background</i>); (D) a imagem original RGB combinada com as áreas detectadas (pontos negros) após a etapa 2 (contagem de flores).	30
Figura 10 – Mapa parcial do Google Maps contendo a vinha (A) onde decorreram os ensaios.	31
Figura 11 – Videira da casta Alvarinho ilustrativa do sistema de condução em monopiano vertical ascendente com um dos arames móveis visível.	32
Figura 12 – Precipitação média mensal em Portugal Continental desde Fevereiro a Agosto de 2015.	32
Figura 13 - (A) Fotografia de uma das inflorescências recolhidas. (B) Contagem dos botões florais para se saber o seu real número (C) Utilização do <i>software</i> “ImageJ” para contagem de botões florais.	34
Figura 14 – Recolha de imagens de forma não destrutiva em três videiras de cada casta.	34
Figura 15 – Resumo da metodologia utilizada para registar as medições mais detalhadas relativamente às componentes do rendimento: preparação da pesagem dos cachos e posterior registo (A); registo das medidas do ráquis (B); distribuição dos bagos num tabuleiro branco para recolha manual de imagens (C).	37
Figura 16 – Representação esquemática das medidas de uma inflorescência, segundo Casteran <i>et al.</i> (1981)	37

Figura 17 – Ajustes necessários antes de cada recolha de imagens (A1 e A2). Início da recolha de imagens (B1 e B2).....	39
Figura 18 – Número de total de recolhas por dia (# de Recolhas) feitas com o Vinbot para as castas Alvarinho e Viosinho, com indicação da respectiva data.	39
Figura 19 – Recolha manual de imagens com recurso a fundo azul.	40
Figura 20 – Contagem de bagos na imagem para um cacho da casta Alvarinho.	41
Figura 21 – Variabilidade do número de olhos por videira (# de Olhos/Videira) nas castas Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).....	43
Figura 22 – Variabilidade do número de sarmentos por videira (# de Sarmentos/Videira) nas castas Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).....	44
Figura 23 – Variabilidade do número de inflorescências (# de Infloresc.) por videira nas castas Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).....	45
Figura 24 – Índice de fertilidade por videira para as castas Alvarinho e Viosinho.....	46
Figura 25 – Variabilidade do número de botões florais por inflorescência (# de Botões Florais/Infloresc.) na casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).....	46
Figura 26 – Variabilidade do número de cachos observado em cada videira da casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).....	47
Figura 27 – Variabilidade da produção (Prod.) por videira da casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).....	48
Figura 28 – Variabilidade do peso médio por cacho (Peso Méd. Cacho/Videira) observado em cada videira da casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).	49
Figura 29 – Gráfico exemplificativo da diferença entre valores de produção observada e estimada por videira na casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta), com indicação da equação de regressão e recta 1/1.....	53
Figura 30 – Variabilidade do volume dos cachos das 5 videiras seleccionadas para medições detalhadas na casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).	54
Figura 31 – Variabilidade do peso médio por bago (Peso Médio/Bago) em cada cacho das 5 videiras seleccionadas na casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta) para medições mais detalhadas.....	55
Figura 32 – Variabilidade do comprimento (Comp.) do ráquis em cada cacho das 5 videiras seleccionadas na casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta) para medições mais detalhadas.	55
Figura 33 – Variabilidade do peso do ráquis em cada cacho das 5 videiras seleccionadas na casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta) para medições mais detalhadas.	56

Figura 34 – Variabilidade do número de ramificações por ráquis (# de Ramif. / Ráquis) em cada cacho das 5 videiras seleccionadas na casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta) para medições mais detalhadas.....	57
Figura 35 – Relação entre o número real de botões florais (# real de botões florais) existentes na inflorescência e o número de botões florais (# de botões florais) contados na imagem, com respectiva equação de regressão e coeficiente de determinação, para as castas Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).....	65
Figura 36 – Estimativas (Estimat.) do número real de botões florais (# real de botões florais) existentes nas inflorescências de três videiras das linhas eleitas das castas Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).....	66
Figura 37 – Relação entre o número real de bagos (# real de bagos) e o número de bagos contados na imagem (# de bagos contados na imagem) com respectiva equação de regressão e coeficiente de determinação, para a casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).....	67
Figura 38 – Relação entre o peso do cacho e o número de bagos contados na imagem com respectiva equação de regressão e coeficiente de determinação para as castas Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).....	68

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Componentes do rendimento e respectivas épocas de determinação.....	11
Tabela 2 – Resumo geral dos valores de produção das 30 videiras de cada casta.....	49
Tabela 3 – Matriz de correlação de <i>Pearson</i> para as castas Alvarinho e Viosinho com destaque para a produção por videira.....	50
Tabela 4 – Sumário da regressão linear múltipla passo-a-passo para o modelo de previsão da produção por videira.....	51
Tabela 5 – Sumário da regressão linear múltipla passo-a-passo para o modelo de previsão da produção por videira (inflorescências).....	52
Tabela 6 – Resumo geral dos valores de produção de cinco videiras de cada casta.....	57
Tabela 7 – Matriz de correlação de <i>Pearson</i> para as castas Alvarinho e Viosinho com destaque para o peso por cacho.....	59
Tabela 8 – Sumário da regressão linear múltipla passo-a-passo para o modelo de previsão do peso do cacho.....	60
Tabela 9 – Matriz de correlação de <i>Pearson</i> para as castas Alvarinho e Viosinho com destaque para o número de bagos.....	62

Tabela 10 – Sumário da regressão linear múltipla passo-a-passo para o modelo de previsão do número de bagos.....	63
---	----

Índice de Equações

Equação 1: Rendimento (t/ha) = peso_médio_videira (kg) x nº videiras/ha x 10 ⁻³	11
Equação 2: Rendimento (kg/videira) = nº cachos/videira x peso_cacho (g) x 10 ⁻³	11
Equação 3: Índice de Fertilidade = Nº Inflorescências por vid. / Nº de olhos abrolhados por vid.....	38
Equação 4: Índice de Compacidade = Nº_ botões florais / comprimento do ráquis da infloresc. (cm)	38
Equação 5: Prod_Alv = - 0.06911 – 0.07910cargapoda + 0.19098#cachos	51
Equação 6: Prod_Vio = 2.22503 – 0.25720cargapoda + 0.32473#cachos	51
Equação 7: Prod_Alv = 0.33585 – 0.09262cargapoda + 0.16617#inflor.....	52
Equação 8: Prod_Vio = 1.23063 + 0.17023#inflor	52
Equação 9: Peso_Cacho_Alv = - 1.29197 + 1.48220praquis + 0.18045pbagos + 0.84184volcacho.....	60
Equação 10: Peso_Cacho_Vio = - 3.46173 + 1.80067praquis - 0.00531#florvirt + 1.00042pbagos + 0.50833L	60
Equação 11: #Bagos_Alv = - 8.73383 + 0.35319pcacho + 3.06554praquis + 1.97913#ramif.....	63
Equação 12: #Bagos_Vio = 0.17833 + 0.47536pcacho + 0.01547#florvirt + 1.08318L0	63

1. Introdução

As inúmeras causas de variabilidade do rendimento das vinhas e os impactos económicos e sociais que esta causa, levaram a que as estimativas de rendimento fossem ganhando importância ao longo dos anos até se tornarem numa importante ferramenta para atingir boas produções com qualidade. Desde a sua importância para a definição das operações culturais da vinha, à influência no planeamento do trabalho de adega e na definição das estratégias de investimento e *marketing* das empresas, a previsão do rendimento tornou-se uma ferramenta capaz de ditar significativos aumentos de eficiência e qualidade no produto final, maximizando lucros e potenciado o crescimento sustentável das empresas vitivinícolas (Nuske *et al.*, 2011; MacMillan e Fisher, 2005; Clingeleffer, 2001).

Desde cedo houve a percepção por parte dos viticultores que seria útil tentar estimar a produção para minimizar os efeitos da variabilidade do rendimento. Assim, as primeiras tentativas terão surgido por volta dos anos 50 para regiões geográficas relativamente amplas, segundo Serrano *et al.* (2008) citando Wurgler, Leyvraz e Bolay (1955). Mais tarde, à escala da parcela, são referidas contagens de inflorescências, de cachos por videira e de bagos por cacho (Serrano *et al.*, 2008) citando Murisier (1986), enquanto estudos realizados ao longo dos anos sugerem que o peso médio dos cachos se afirma como o principal factor responsável pelas variações do rendimento (Serrano *et al.*, 2008). Mais recentemente, Cunha *et al.*, (1999) procederam à monitorização da concentração polínica da atmosfera (método aeropolínico) na região demarcada do Douro. Este método, apesar da forte heterogeneidade da região, apresentou, segundo os autores, uma relação pólen/produção que permitiu realizar previsões de produção.

Apesar de estes métodos permitirem a obtenção de previsões satisfatórias, a sua execução é altamente dispendiosa no que à mão-de-obra e custo diz respeito. Este facto leva a que a sua precisão e fiabilidade não estejam a par da evolução verificada no sector vitícola. Além dos custos que lhes estão associados, estas estimativas iniciais não têm em conta a variabilidade espacial da vinha, sendo ainda subjectivas dependendo cada análise da sensibilidade do viticultor que as executa (Diago *et al.*, 2012; Nuske *et al.*, 2011).

Assim, e para fazer face ao aumento de competitividade, exigência do mercado e necessidade de reduzir custos aumentando a eficiência de gestão e a qualidade do produto final, tornou-se essencial realizar estimativas mais precisas e precoces,

utilizando menos recursos. A viticultura de precisão assume-se como potencialmente útil para este objectivo, nomeadamente através de projectos como o Vinbot, no âmbito do qual se realiza este trabalho. Com efeito este trabalho está inserido no âmbito do projecto de investigação europeu “Autonomous cloud-computing vineyard robot to optimise yield management and wine quality” (VINBOT - Grant Agreement FP7- SME-2013-2, 605630), numa parceria entre Portugal, Espanha, Itália, Hungria e Roménia, contando com a participação do ISA, de associações de viticultores e de empresas da área da robótica e da consultoria de engenharia. O robô que será desenvolvido no referido projecto pretende recorrer à análise de imagem para estimar o rendimento de uma vinha, analisando e contabilizando uma ou mais componentes do rendimento (ex. número de cachos e número de bagos por cacho).

Este tipo de ensaios, não só neste projecto mas em outros semelhantes, permitirão um avanço significativo no aumento da exactidão e na antecipação das previsões de rendimento, respondendo a uma das mais urgentes necessidades do sector a nível mundial, permitindo às empresas crescer de forma sustentável, adequando a realidade às suas ambições e agindo assim com maior poder de decisão e *know-how*.

1.1 Objectivos deste trabalho

- 1) Este trabalho visa determinar que componentes do rendimento melhor permitem estimar a produção e que mais variação desta têm em conta.
- 2) Pretende-se ainda analisar a variabilidade espacial entre as várias componentes do rendimento e entre outros parâmetros que influenciam directa ou indirectamente a produção.
- 3) Este trabalho tem como objectivo final contribuir para a obtenção de algoritmos que permitam estimar com robustez a produção de forma automática através do veículo Vinbot. A obtenção destes algoritmos passará, em parte, pela comparação da informação aqui transmitida com a informação retirada após análise das imagens recolhidas pelo veículo Vinbot.

2. Revisão bibliográfica

Rendimento é a quantidade de uva expressa em peso, numa determinada área, por exemplo, toneladas de uvas por hectare, podendo nalguns casos aplicar-se à quantidade de uvas por videira (Komm e Moyer, 2015). A previsão do rendimento é o processo de prever, com a maior exactidão possível, a quantidade de produção que será colhida (Poling e Spayd, 2015). A previsão de rendimento tem como principal objectivo auxiliar os vitivinicultores a gerir as suas vinhas e a preparar e a planear a gestão e utilização da adega e das operações nesta aquando da vindima.

O rendimento das videiras, assim como a qualidade das uvas produzidas, são variáveis influenciadas por inúmeros factores químicos, biológicos e físicos, entre os quais os relacionados com a auto-regulação da videira, tipo de solo e topografia, condições climáticas e a incidência de pragas e doenças (Hall *et al.*, 2002; Bramley *et al.*, 2011; Shanmuganathan *et al.*, 2010; Clingeffer 2001). Além destes factores, muita da variabilidade do rendimento pode ocorrer devido a causas regionais, locais (Clingeffer, 2001), inter-varietais ou mesmo intra-varietais (Martins, 2011). De facto, essa variabilidade é natural e tem sido observada em Portugal (Fig. 1).

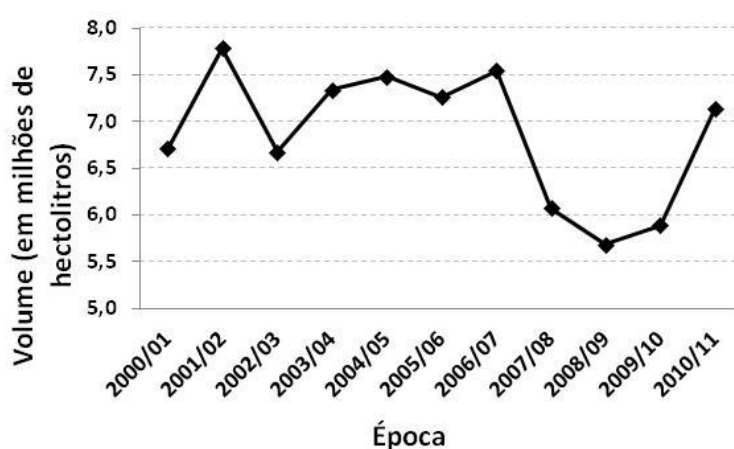


Figura 1 - Evolução da produção nacional de vinho entre 2000 e 2011.

A incerteza dos rendimentos e da qualidade da uva na viticultura é uma das maiores ameaças no sector, tendo em conta que dificulta a gestão das vinhas, o conhecimento dos volumes anuais nas regiões vitícolas, o planeamento das operações de adega, as estratégias de marketing e a consolidação das empresas vitivinícolas, assim como o sucesso do empresário agrícola (Clingeffer, 2001; Cunha *et al.*, 1999).

As causas da variabilidade temporal/anual devem-se em parte às castas que constituem o encepamento, às condições meteorológicas (granizo, vento, chuva), à incidência de pragas e doenças (míldio, oídio, traça-dos-cachos) ou a eventuais técnicas culturais praticadas pelo viticultor. Já a variabilidade espacial está relacionada com o *terroir* e pode dever-se à topografia, às características do solo (ex. pedregosidade, profundidade de solo), à sanidade das plantas e às técnicas culturais. Estas causas não actuam de forma independente, uma vez que estão interligadas, influenciando-se mutuamente. De facto, um ano com muita precipitação tornará a vinha mais susceptível a ataques de doenças, pelo facto de aumentarem as condições favoráveis à sua ocorrência, o que aumenta a pressão sobre o viticultor para que proceda correctamente na definição e oportunidade das janelas de tratamento, sob pena de reduzir seriamente a produção. Além disso, uma inadequada gestão das operações culturais na vinha num determinado ano pode ter consequências negativas, por exemplo, ao nível da diferenciação floral, o que se poderá traduzir num fraco rendimento no ano seguinte, tendo em conta as especificidades do ciclo reprodutor da videira.

Estas incertezas e os impactos económicos e sociais que daí advêm fizeram com que desde cedo os viticultores procurassem métodos de prever os rendimentos das suas vinhas. Após as primeiras formas de previsão relatadas pela bibliografia nos anos 50 (Cunha *et al.*, 1999), os viticultores procuraram novos métodos mais exactos, menos dispendiosos, menos consumidores de tempo e que fornecessem uma previsão o mais precoce possível. Esta meta é considerada um dos maiores objectivos da indústria vitivinícola, sendo mesmo um dos tópicos que motiva mais investigação científica na viticultura (Diago *et al.*, 2012).

Para que sejam alcançados novos, mais precisos e fiáveis métodos de previsão de rendimento, é necessário conhecer e compreender as razões e os intervenientes que fazem parte dessa complexa temática que é a variabilidade do rendimento. Para o fazer, é necessário analisar o ciclo biológico da videira, em especial o seu ciclo reprodutivo, e conhecer as componentes do rendimento e os factores que as afectam, ambos preponderantes na definição do rendimento das videiras em cada ciclo biológico.

2.1 Ciclo biológico da videira

O ciclo biológico anual da videira compreende duas fases, o período de actividade vegetativa e o período de repouso vegetativo (dormência). A actividade vegetativa tem início com o abrolhamento, que geralmente no Hemisfério Norte começa em Março-Abril, sendo nesta fase que se verificam modificações na morfologia da planta e na sua actividade fisiológica. Na fase de dormência, que tem início com a queda das folhas (normalmente em Outubro/Novembro), a videira desprovida de folhas mantém inalterado o seu aspecto exterior enquanto mantém uma actividade fisiológica mínima (Magalhães, 2008).

O abrolhamento é controlado pela temperatura e por estímulos hormonais, nomeadamente ao nível da eliminação do ácido abcísico no gomo, (inibidor do seu desenvolvimento) e da síntese e transporte de citocininas da raiz até à parte aérea pela seiva (Magalhães, 2008).

Após o abrolhamento, começa a fase de crescimento activo que se prolonga até ao pintor (normalmente em finais de Julho, início de Agosto), pelo facto da actividade de divisão e alongamento celular dos ápices vegetativos e do câmbio nesta altura se reduzir de forma significativa, podendo mesmo cessar. No entanto, durante o período de floração (geralmente em Maio), a taxa de crescimento é reduzida o que vai permitir um melhor vingamento, voltando a ser mais activa até ao pintor, mas não tanto como antes da floração (Magalhães, 2008). Após o pintor, o crescimento geralmente termina e dá-se a maturação fisiológica dos frutos, levando posteriormente à queda das folhas e à entrada no período do repouso vegetativo.

Quanto ao ciclo reprodutivo da videira, o seu carácter perene faz com que este decorra ao longo de dois anos consecutivos, tendo em conta que começa a formar os seus órgãos reprodutivos durante o ano precedente (Clingeffer, 2001). Com efeito, o ciclo reprodutivo inicia-se com a diferenciação dos primórdios das inflorescências no interior dos gomos latentes dos sarmentos em plena actividade vegetativa, desde final da Primavera até ao Verão do ano precedente, acabando no ano seguinte, com a maturação da grainha na maturação fisiológica das uvas (Clingeffer, 2001 e Magalhães, 2008). Mais concretamente, esta diferenciação ocorre nas axilas dos primórdios foliares dos gomos latentes, iniciando geralmente em Maio antes da floração do ano actual, continuando durante Junho até meados de Julho, aproximadamente. Após esta altura, o desenvolvimento interrompe-se, entrando o

gomo em dormência até à Primavera do ano seguinte (Clingeffer, 2001; Magalhães (2008) citando Carolus (1970), Srinivisan e Mullins (1981) e Magalhães (1989)).

No período entre Maio e Junho, dependendo do somatório de temperaturas acumuladas até então e das características de cada casta, ocorre a floração, a fecundação e o vingamento dos bagos (Magalhães, 2008), sendo assim uma época decisiva no rendimento, nomeadamente devido à floração e ao vingamento (Diago *et al.*, 2013).

2.1.1 Componentes do rendimento

O rendimento resulta de várias componentes que são as características morfológicas que interagem entre si e com o ambiente em que a videira se desenvolve, (práticas culturais, condições climáticas, factores bióticos externos como pragas e doenças, entre outros), afectando e determinando o rendimento. Estas componentes são uma ferramenta essencial na elaboração das previsões, uma vez que têm influência directa no rendimento e materializam grande parte da variabilidade deste (Dunn, 2010).

Segundo Poling e Spayd (2015), podemos diferenciar entre componentes do rendimento que contribuem para o número de cachos por bloco ou hectare e, as que determinam o peso médio do cacho (Fig.2).

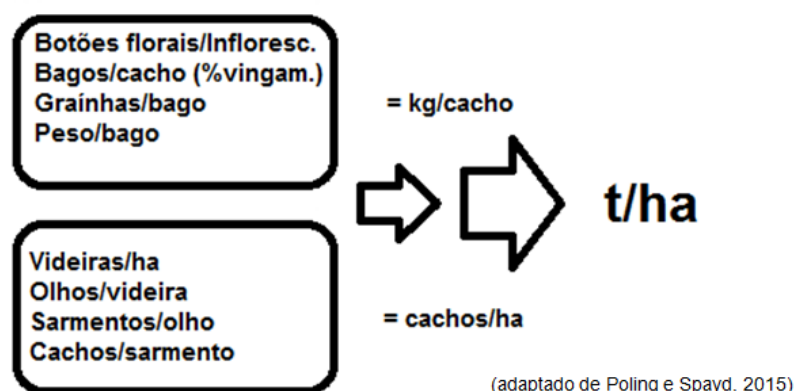


Figura 2 – Diferenciação entre componentes do rendimento que contribuem para o peso médio por cacho e para a quantidade de cachos por hectare.

As componentes do rendimento mais intimamente ligadas ao peso por cacho são-no pelo facto de determinarem directamente a formação e desenvolvimento deste. Entre estas contam-se o número de botões florais por inflorescência, o número de bagos por cacho definido pela taxa de vingamento e o peso por bago que dependerá do número de grainhas (normalmente quatro segundo Dokoozlian (2000)) e das disponibilidades

hídricas da videira. São menos influenciáveis por parte do viticultor, uma vez que dizem respeito às características intrínsecas da casta em si, embora a taxa de vingamento possa ser influenciada por práticas culturais como a desfolha precoce.

A qualidade e utilidade da informação que cada componente do rendimento fornecerá, será tanto maior quanto mais adequada e precisa for a metodologia de determinação e a época de registo designada para cada componente. Com efeito, cada componente tem uma época própria em que é determinada (Tab.1).

Tabela 1 – Componentes do rendimento e respectivas épocas de determinação.

Componente do rendimento	Época de determinação
Número de videiras por hectare (ha)	Plantação
Número de olhos por videira	Poda
Número de sarmentos por olho à poda	Abrolhamento
Número de inflorescências por sarmento	Primavera do ano anterior (diferenc. floral)
Número de bot. florais por inflorescência	Abrolhamento
Número de bagos por cacho	Vingamento
Peso por bago	Período entre o vingamento e a vindima
Rendimento por videira (kg)	Vindima
Peso por cacho (g)	Vindima
Número de cachos por videira	Período entre o vingamento e a vindima

(Coombe & Dry, 1991)

Analisadas as componentes do rendimento, o cálculo do rendimento pode ser obtido através de várias formas, por hectare ou por videira. De seguida apresentam-se algumas das equações que podem ser utilizadas (Eq.1 e Eq.2).

$$\text{Rendimento (t/ha)} = \text{peso_médio_videira (kg)} \times \text{n}^{\circ} \text{ videiras/ha} \times 10^{-3} \quad \text{(Eq. 1)}$$

$$\text{Rendimento (kg/videira)} = \text{n}^{\circ} \text{ cachos/videira} \times \text{peso_cacho (g)} \times 10^{-3} \quad \text{(Eq. 2)}$$

Nuske *et al.* (2011) referem que as habituais componentes do rendimento utilizadas nas estimativas são o número de cachos por videira, o número de bagos por cacho e o peso dos bagos, uma vez que são as que explicam maior percentagem da variabilidade.

2.1.1.1 Factores que afectam as componentes do rendimento

O facto do ciclo reprodutor da videira decorrer ao longo de dois anos aumenta a probabilidade de ocorrerem factores que prejudiquem o sucesso da reprodução desta, o que conseqüentemente aumenta a variabilidade do rendimento. Factores estes relacionados com as condições climáticas e as operações culturais que ocorrem e que são praticadas, respectivamente, nos dois anos do ciclo (Clingeffer, 2001). Assim, é necessário analisar com maior pormenor os factores que afectam as componentes do rendimento.

Seguindo a organização sugerida por Poling e Spayd (2015), ilustrada na Tabela 1, as componentes mais directamente ligadas ao rendimento por hectare serão mais afectadas por factores relacionados com as operações culturais e decisões técnicas definidas pelo viticultor. Isto pelo facto do número de videiras por hectare depender da densidade de plantação escolhida para a instalação da vinha e o número de olhos por videira depender do sistema de condução e de poda eleitos.

Relativamente à densidade de plantação, esta informação é importante e por vezes utilizada de forma incorrecta, uma vez que é utilizada no seu todo, não sendo descontado o número de videiras mortas (falhas) ou de videiras improdutivas (Poling e Spayd, 2015). Assim, é importante ter em conta este detalhe, uma vez que os mesmos autores dão como exemplo uma diferença de meia tonelada entre previsões, uma que conta com o número de videiras calculado a partir da densidade de plantação e outra, que desconta 10% de videiras mortas ou improdutivas.

O número de olhos por videira é escolhido pelo viticultor/podador consoante o sistema de poda praticado e em função de várias condicionantes, tais como: o vigor apresentado pela planta ao longo do último ciclo e no momento da poda; a análise do índice de Ravaz (que fornece informação acerca do equilíbrio da videira (Produção/peso de lenha de poda)); o objectivo da produção, entre outros. Além disto, poderá depender da casta usada, sobretudo da fertilidade, pois o seu nível de fertilidade ao longo dos olhos da vara poderá determinar uma poda longa ou curta.

Já o número de sarmentos por olho à poda, apesar de poder ser associado às características intrínsecas de cada casta, é um indicador do vigor da videira e reflecte o nível de auto-regulação que esta manifestou, uma vez que um excesso ou défice de sarmentos em relação à carga à poda poderá significar que esta terá sido insuficiente ou excessiva, respectivamente, o que poderá traduzir-se numa alteração no rendimento.

Quanto ao número de inflorescências por sarmento, esta componente de rendimento será influenciada, entre outros factores, pelo índice de fertilidade, o qual irá consequentemente afectar o número de cachos por videira.

Quanto às componentes do rendimento mais intimamente ligadas ao peso por cacho, estas estão intimamente relacionados com as características morfológicas e produtivas de cada casta, nomeadamente a morfologia do cacho (comprimento, compacidade, largura, entre outros). Assim, são exemplo deste facto o número de botões florais por inflorescência, já que irão ditar, após ocorrer o vingamento, o número de bagos. Apesar de estarem em primeiro lugar dependentes das características da casta, irão ser posteriormente influenciadas pelas fases do ciclo reprodutivo da videira (nomeadamente floração e vingamento), práticas culturais e *terroir* (principalmente condições climáticas).

A influência das condições climáticas merece destaque no efeito que tem na variabilidade, mais concretamente na taxa de vingamento (que dita quantas flores dão origem a bagos), pois condições de frio e chuva durante esta fase minimizam-na significativamente (Magalhães, 2008).

Além das condições climáticas, também as técnicas culturais têm influência no número de inflorescências e no seu número de botões florais (Clingeffer, 2001), pois para que a diferenciação das inflorescências seja maximizada, é necessária uma equilibrada relação entre exposição solar e exposição a determinadas temperaturas, por parte dos sarmentos e folhas em pleno desenvolvimento vegetativo do ano precedente (Clingeffer, 2001).

A título de exemplo, na casta Moscatel de Setúbal, a formação de botões florais é inibida a temperaturas inferiores a 20°C e é máxima até 35°C (Sánchez e Dokoozlian, 2005). Segundo os mesmos autores, alguns estudos sugerem que o factor crítico que determina a maior ou menor diferenciação floral são o número de dias com temperaturas máximas entre 28 e 32°C. Quanto à exposição solar, maior diferenciação ocorrerá quanto mais luz solar as folhas receberem, sendo mais importante a interceptação da radiação solar por estes órgãos que pelos gomos em si (Sánchez e Dokoozlian, 2005). Este rácio entre exposição solar e temperatura é influenciada pelas técnicas culturais praticadas pelos viticultores, nomeadamente ao nível da densidade da sebe, número de sarmentos por metro linear ou índice de área foliar, uma vez que estas características influenciam directamente a exposição dos órgãos vegetativos à luz solar (Clingeffer, 2001).

2.2 Importância da previsão do rendimento

A previsão do rendimento é uma ferramenta valiosa e crucial na gestão de uma vinha, uma vez que permite ao viticultor adquirir informação fundamental para planear que operações culturais realizar (como a monda de cachos), agendar a vindima em termos de mão-de-obra necessária e preparar a adega para a quantidade de produção que esta irá receber (Nuske *et al.*, 2011). A inexistência de previsões ou a má precisão destas pode criar problemas de logística e afectar o lucro dos vitivinicultores, criando problemas na vinha e mais tarde na adega (MacMillan e Fisher, 2005).

Além da necessidade de corrigir o desenvolvimento da vinha ao longo do seu ciclo, tem de haver informação de qual a quantidade de uva que irá dar entrada na adega, primeiro para que se saiba se esta é suficiente ou se é necessário adquirir mais uvas no exterior e depois, para se proceder à compra de material necessário ao processo de vinificação (barricas, cubas, depósitos, produtos enológicos, garrafas, entre outros) (Nuske *et al.*, 2011; MacMillan e Fisher, 2005). Sem esta informação, a adega poderá não estar preparada e não ter suficiente espaço e material com que iniciar e continuar o processo de vinificação, ou ter investido em demasia se não receber a produção que esperava (Clingeffer, 2001). Além disso, esta informação é útil para que a empresa possa organizar os seus contratos de venda e respeitar as encomendas.

Em Portugal, mais concretamente na região demarcada do Douro, existe uma necessidade acrescida de se conhecer antecipadamente o volume anual da colheita para se proceder à quotização da produção, uma vez que existem duas Denominações de Origem: Porto e Douro (Cunha *et al.*, 1999; Regulamento nº 242 de 2010, de 15 de Março). Esta informação é assim indispensável para que se possa definir, entre outros, a quantidade de aguardente vínica a aprovisionar (Cunha *et al.*, 1999).

As previsões permitem assim que o vitivinicultor e a empresa no seu conjunto estejam melhor informados, o que conseqüentemente levará a uma melhor tomada de decisão, seja para definir os lotes de vinho a produzir, seja para realizar e/ou programar investimentos ou apostar em *marketing* num determinado sentido (Allan, 2003).

Clingeffer (2001) refere a existência de estudos que demonstraram os benefícios económicos e sociais de se poder melhorar a capacidade de prever rendimentos, através dos impactos positivos na economia e sociedade locais.

2.3 Métodos de estimativa de rendimento

2.3.1 Estimativas baseadas nas componentes do rendimento

As estimativas baseadas nas componentes do rendimento são levadas a cabo através de inspecções visuais e são actualmente a forma mais comum de realizar estimativas de rendimento. Caracterizam-se pela avaliação de uma ou mais componentes do rendimento por parte dos viticultores numa ou várias parcelas da vinha, sendo realizada uma extrapolação dessa parcela analisada para toda a vinha.

Neste método, é importante a época de determinação de cada componente para que a informação retirada de cada análise seja a mais precisa possível. É com este objectivo que vários viticultores usam cadernos de registo em várias fases do ciclo da vinha, por exemplo quando os lançamentos têm 10 centímetros, na fase pós-vingamento ou ao pintor (Allan, 2003). Uma das grandes desvantagens deste tipo de estimativas é o facto de não conseguir ter em conta a variabilidade espacial da vinha devido às diferenças de solo, declive, entre outros, fornecendo valores médios de rendimento. Ao fornecer estes valores, quando faz a extrapolação da amostra (parcela) para a população (vinha), não proporciona aos viticultores uma informação representativa do rendimento das suas vinhas. Além de não ter em conta a variabilidade espacial da vinha, este tipo de estimativa pode tornar-se subjectiva pelo facto de cada pessoa ter uma sensibilidade diferente para avaliar a mesma componente. Estas desvantagens podem levar a estimativas desajustadas e a vinhos de má qualidade decorrentes das práticas culturais que se podem revelar desajustadas face à real situação da vinha (Diago *et al.*, 2012). Além destas desvantagens, pela quantidade de componentes a analisar, as inspecções visuais exigem ainda demasiada mão-de-obra, o que envolve elevados custos, tempo e podem ser destrutivas.

Apesar de existirem metodologias que minimizem o efeito da falta de consideração da variabilidade espacial (Allan, 2003), este é sem dúvida o ponto fraco deste tipo de estimativas, o qual pretende ser ultrapassado ou minimizado de forma significativa por outros métodos. O mesmo autor sugere a utilização de modelos para que as estimativas sejam mais precisas, no entanto refere o poder da viticultura de precisão para um futuro mais promissor neste aspecto.

A questão de qual a melhor componente do rendimento para elaborar estimativas de rendimento continua por responder e a ser um tema actual de discussão. No entanto, a melhor componente para realizar estimativas de rendimento será à partida a que explicar maior variabilidade da produção. Segundo Nuske *et al.*, (2011), as três

componentes que explicam cerca de 100% da variabilidade do rendimento são, o número de cachos por videira com explicação de 60% da variação associada, o número de bagos por cacho com 30% e o peso do bago a que corresponde 10% da explicação da variabilidade do rendimento. Semelhantes resultados obteve Martins (2011) ao verificar que o número de cachos explicava 58% da variação da produção da casta Sauvignon Blanc nas condições da Merceana, região de Lisboa.

Segundo Martins (2011), a elaboração de uma regressão múltipla ao pintor utilizando duas variáveis (número cachos/videira e índice de fertilidade/talão), explicou cerca de 76% da variabilidade da produção, enquanto uma regressão ao bago de ervilha e com três variáveis (número de inflorescências/videira, peso médio/bago num talão e peso médio ráquis num talão), explicou 57% do rendimento. Segundo o autor, o modelo ao pintor poderá ser robusto o suficiente para permitir previsões precoces e de forma rápida e económica.

Já Serrano *et al.*, (2008) citando Huglin e Schneider (1971) indicam que o peso médio dos cachos é o principal factor de variações. Resultados partilhados por Lopes (2009), que no seu ensaio com a casta Syrah e para as condições da Merceana, região de Lisboa, 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%. Lima (2014) ao realizar um ensaio na região demarcada do Douro com a casta Touriga Franca, elaborou um modelo que incluía as componentes “número de cachos por videira”, “peso médio do ráquis por cacho”, “peso de bagos por talão” e “número médio de bagos por cacho”, o qual explicou cerca de 92% da variabilidade da produção por videira. Apesar de ter sido o modelo que ofereceu a melhor estimativa e que teve reduzidos valores nas medidas estatísticas de desvio, a sua baixa praticabilidade e o seu carácter destrutivo, levaram o autor a concluir que seria melhor optar pelo segundo melhor modelo, que tinha em conta a fertilidade por talão e o número de cachos por videira, explicando cerca de 73% da variabilidade da produção.

A praticabilidade, tempo dispendido, precisão e o carácter destrutivo de cada modelo são preocupações constantes de cada autor em cada ensaio, o que reforça a necessidade de se encontrar um método que reúna grande parte das características desejáveis, nomeadamente economia de tempo, precisão e não destruição da componente analisada.

2.3.2 Modelos agrometeorológicos

Os modelos agrometeorológicos servem-se das condições climáticas de cada ano para prever rendimentos, assumindo que são estas o principal factor de variação no volume de produção inter-anual. 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, entre outros (Gommes, 1998). Há uma certa relação entre os modelos agrometeorológicos e outros métodos, como é exemplo a integração com o método de análise polínica da atmosfera (*vide* ponto 2.3.3). Segundo o mesmo autor, os modelos agrometeorológicos podem ser obtidos através de métodos descritivos, de regressões lineares ou simulações de colheita.

O método descritivo identifica as variáveis agronómicas relevantes para a cultura, considerando a sua inter-relação, sendo esta a abordagem mais adequada para implementação do conceito “qualidade” na produção de vinho (Lima (2014) citando Gommes, 1998).

A abordagem utilizando modelos a partir de regressões lineares, faz uso das variáveis mais importantes do clima, como a temperatura e a precipitação e, do rendimento obtido. Esta abordagem exige a manutenção de registos anuais ou mensais mas origina modelos de fácil aplicação, que no entanto não têm em conta na estimativa eventuais ocorrências de valores extremos ocorridos nalguma variável.

A simulação de colheita é, segundo Gommes (1998), a alternativa mais precisa e versátil, uma vez que descreve o comportamento da cultura de acordo com as condições climáticas a que está sujeita. Podem englobar sub-modelos referentes à fenologia, desenvolvimento radicular, entre outros (Lima (2014) citando Gommes, 1998).

Em Portugal, Jones (2013) citando Santos *et al.* (2011) menciona o facto de que aproximadamente metade da variação no rendimento entre 1986-2008 poderia ser explicada pelas temperaturas e precipitação mensais num determinado modelo estatístico de rendimento da videira. Refere ainda que os factores climáticos mais importantes foram as temperaturas e a precipitação durante as primeiras fases de crescimento (abrolhamento e floração).

Apesar da imprevisibilidade das condições climáticas, de acordo com Gommes (1998), os modelos agrometeorológicos podem reduzir a aleatoriedade das variáveis climáticas ao utilizarem o conhecimento dos mecanismos directos e indirectos

envolvidos na relação entre a planta e o clima e, de que as oscilações climáticas seguem padrões conhecidos.

2.3.3 Análise polínica da atmosfera

Existem vários métodos de prever o rendimento, os quais são muitas vezes utilizados de forma independente na sua análise não tendo em conta mais do que um factor de origem de variação. Segundo Cunha *et al.* (1999), foi a percepção da acção integrada de vários métodos (climáticos, bioclimáticos, entre outros) que justificou o aumento do uso de metodologias baseadas na análise da fracção polínica da atmosfera em locais estratégicos, estratégia já utilizada com sucesso em várias regiões vitícolas portuguesas (onde pode ser designada como método pólen). Segundo os mesmos autores, a dosagem de pólen possibilita a integração de dados climáticos conhecidos de anos anteriores como factores com influência no volume da produção (além dos acidentes pré-florais), superfície vitícola, número de botões florais e número de inflorescências.

O método da análise polínica consiste na utilização de filtros com interceptores de fluxo, instalados em determinados locais numa região vitícola. Cunha *et al.* (1999) procederam à instalação de filtros em dois locais na região vitícola do Douro, os quais permitiram uma amostragem representativa constituída por cerca de 82% da área total de vinha e 86% da produção total da região. O pólen capturado pelos filtros dos dois locais é depois analisado segundo os autores, pelo método de Cour. Após a captura e análise do pólen, é utilizada a média da quantidade de pólen dos dois locais (em grãos de pólen por cm² de filtro e em grãos de pólen numa secção de fluxo de 1 m² transportados por m³ de ar), o que os autores afirmam ter determinado melhores previsões da produção regional.

Após captura do pólen e tratamento dos dados, foi elaborado um modelo preditivo, que no ensaio de Cunha *et al.* (1999) permitiu explicar cerca de 93% das variações inter- anuais da produção através da quantidade de pólen na floração, apesar da forte heterogeneidade da região relativamente a clima, castas, estado das vinhas, orografia, entre outros.

O facto de se colocarem poucos postos de recolha de pólen numa dada região faz com que este método apresente resultados representativos dessa região como um todo e não de uma parcela num determinado ponto dessa região. Este aspecto e o facto de este método não ter em conta os factores que influenciam posteriormente o

vingamento e o crescimento do bago, fazem com que sejam as principais desvantagens do seu uso (Lima (2014) citando Lopes, 2012).

2.3.4 Medição de tensão nos arames

Este método consiste na instalação de umas células de carga no sistema de armação da vinha, capazes de quantificar a tensão exercida pelas estruturas vegetativas e reprodutivas da videira nos arames. Isto permite uma monitorização em tempo real do crescimento das plantas e estimar o rendimento (Blom e Tarara, 2009; Suszkiw, 2006). Estas células detectam o peso sentido pelos arames assim como as variações que ocorrem ao longo do ciclo da cultura.

Os dados recolhidos pelas células de carga são depois enviados através de cabos a um *datalogger* que regista os sinais das células a cada 10 segundos, realizando uma média da tensão a cada 15 minutos. Estes registos podem então ser enviados via frequência rádio a um computador, sendo posteriormente executado um *software* capaz de analisar as medições do *datalogger* ao longo do ciclo de crescimento e de as transformar em estimativas de rendimento (Blom e Tarara (2009) citando Blom *et al.*, 2009; Suszkiw, 2006).

Este projecto de medição de tensão nos arames terá sido desenvolvido em cinco anos em vários locais e em diferentes condições para avaliar a sensibilidade de interpretação do sistema de tensão. Os dados recolhidos (nomeadamente peso de sarmentos e da produção) foram correlacionados com variáveis tais como comprimento dos sarmentos e número de folhas e de cachos por sarmento (Blom e Tarara (2009) citando Blom *et al.*, 2009; Suszkiw, 2006). Estas medições tiveram como objectivo educar a sensibilidade do sistema para reconhecer se determinada tensão em determinada altura correspondia a um aumento de crescimento vegetativo ou a um aumento do desenvolvimento dos frutos (Bloom e Tarara, 2009).

Os resultados apontaram para a evidência de que este sistema de medição de tensão nos arames produzia estimativas mais precisas do que os métodos tradicionais, no entanto, Nuske *et al.* (2011) referem a necessidade da infra-estrutura necessária para o sistema funcionar. Outro dos inconvenientes será o facto de o sistema estar adaptado a um determinado sistema de condução (Bloom e Tarara, 2009).

Com vista à abertura deste método de tensão nos arames a outros sistemas de condução e tentando torná-lo mais simples de gerir pelos viticultores, os mesmos

investigadores desenvolveram uma variação deste sistema a que chamaram *bridge* (ponte), em que apenas se avalia a tensão num segmento de uma linha de videira, para proceder a calibrações, reduzir distorções de factores externos ao crescimento da sebe e realizar comparações com o método base (Bloom e Tarara, 2009).

2.3.5 Análise de radiação terahertz

A utilização da espectroscopia terahertz (THz) tem vindo a ser utilizada para avaliar de forma não destrutiva diversos tipos de materiais tais como líquidos, explosivos, alimentos, entre outros (Federici *et al.*, 2009). As aplicações relacionadas com a agricultura têm como objectivo medir o teor de humidade em folhas, heterogeneidades de densidade e detalhes de estruturas de materiais, nomeadamente a presença de defeitos e espaços ocultos na cortiça (Federici *et al.*, 2009; Hor *et al.*, 2008).

A aplicação deste método de análise de radiação THz à viticultura tem como meta a diferenciação de superfícies planas (vegetação) das curvas (bagos), o que permitirá estimar o número de superfícies curvas e assim, estimar o rendimento da vinha. O estudo de Federici *et al.*, (2009) demonstra que a análise de imagem da radiação THz pode diferenciar bagos de troncos, sarmentos e folhas numa fase precoce do ciclo produtivo da videira em que a densidade de vegetação ainda é relativamente baixa.

O sistema de análise de radiação THz consiste na análise da radiação emitida por um aparelho emissor, dentro de uma determinada banda e comprimento de onda. Esse aparelho emissor irradia a radiação no sentido de uma superfície, havendo posteriormente outro aparelho que recolhe as imagens da radiação THz reflectida pela superfície. Na análise de imagem, os pixéis correspondentes a reflexão THz são de cor branca enquanto a não existência de reflexão origina pixéis de cor escura (Fig. 3 - b) (Federici *et al.*, 2009).

A água existente nas células das folhas da videira atenua a radiação THz no entanto, a uma transmissão de 200 GHz, a folha consegue transmitir cerca de 25% dessa radiação, permitindo, em teoria, que em sebes com baixa densidade de vegetação, alguns bagos sejam identificados por esta metodologia, como indica a Figura 3, que contrasta a reflexão da radiação THz entre um bago descoberto (Fig. 3 - c) e um bago escondido por uma folha (Fig. 3 - d) (Federici *et al.*, 2009).

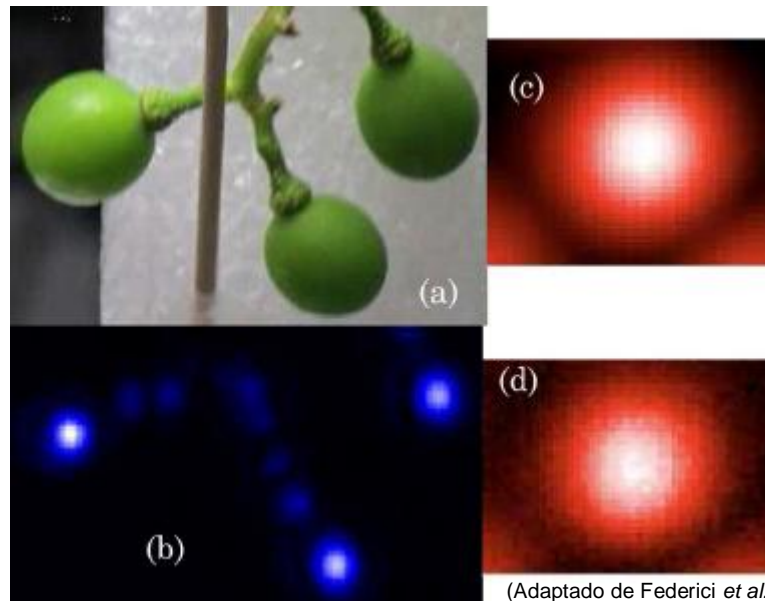


Figura 3 – (a) Imagem real de três bagos colhidos em Junho. (b) Imagem correspondente à reflexão da radiação THz, revelando os pixéis brancos indicadores da presença de uma superfície. (c) Imagem de um bago descoberto com reflexão THz. (d) Imagem do mesmo bago escondido atrás de uma folha.

2.3.6 Detecção remota

A detecção remota consiste no registo da energia emitida ou reflectida pela superfície terrestre em diversos comprimentos de onda do espectro electromagnético e tem várias aplicações na viticultura de precisão (Braga, 2009). A sua principal aplicação é com vista à obtenção de mapas de vigor e estado vegetativo das plantas. O índice mais utilizado para expressar de forma clara a variável que se pretende mapear é o NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*) (Braga, 2009). Hall e Wilson (2012) referem a hipótese da comparação dos mapas de vigor com a produtividade das vinhas, tendo em conta as relações entre densidade de sebe e valores de produção. Com efeito, Martins (2011) citando Clingeleffer *et al.* (1995), menciona o facto de estes autores referirem a possibilidade de se verificar que, para a casta Cabernet Sauvignon, as zonas vigorosas apresentavam o dobro da produção quando comparadas com zonas de menor vigor com sinais de *stress* hídrico. De acordo com Braga (2009) citando estudos realizados na Austrália, a relação entre a produtividade e o índice NDVI melhora até ao pintor, piorando posteriormente até à maturação. O custo elevado das imagens provenientes de satélites, o facto de exigir um determinado nível de especialização tecnológica, a incapacidade de se controlar a exacta data de aquisição das imagens e a interferência das nuvens na qualidade de

imagem, fazem com que este não seja um método ao alcance de todos os viticultores (Braga, 2009).

2.3.7 Recolha e análise de imagem

A análise de imagem tem sido recentemente utilizada em diversos estudos com o intuito de adquirir e avaliar informação acerca das sebes das vinhas, nomeadamente para detecção de doenças, avaliação de eficácias de pulverização e previsão de rendimentos (Diago *et al.*, 2012). Consiste em capturar várias imagens da vinha para posteriormente serem analisadas, de maneira a que depois de tratadas possam fornecer informação útil ao viticultor que lhe permita agir em determinado sentido (Whalley e Shanmuganathan, 2013).

A recolha de imagens pode ser efectuada de forma manual ou robótica. A principal diferença entre os dispositivos robóticos e a recolha de imagens manual é que os dispositivos robóticos captam as imagens sem qualquer modificação ao ambiente onde as videiras estão, ao passo que as imagens com máquinas fotográficas digitais são normalmente tiradas recorrendo a fundos de cores homogéneas (azul, preto ou branco) atrás das videiras. Esta opção pelos fundos de cor homogénea serve 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; Whalley e Shanmuganathan, 2013; Nuske *et al.*, 2011). Este é o primeiro passo para que se possam desenvolver métodos automáticos de prever rendimentos.

2.3.7.1 Projectos de análise de imagem em viticultura

Nuske *et al.*, (2011) realizaram um projecto em que pretendiam desenvolver um veículo com uma câmara que recolhia imagens da vinha, as quais seriam posteriormente processadas por um algoritmo que estimasse o rendimento através da contagem de bagos e de cachos, o que lhes daria um novo componente de rendimento, bagos por videira (Fig. 4). Estes autores defendiam esta ideia referindo que os dispositivos robóticos têm maior sensibilidade para contar bagos do que para contar cachos. Além disso, referiam a intenção de avaliar toda a vinha em detrimento de apenas uma amostra.



Figura 4 – Imagem do veículo experimental do ensaio de Nuske *et al.* (2011)

Tendo em conta a percepção por parte de vários investigadores de que haveria espaço ao desenvolvimento de um veículo que circulasse por toda a vinha e recolhesse, de forma autónoma, imagens que depois seriam analisadas, começaram a surgir projectos como o Vinbot, no qual se integra este ensaio.

2.3.7.1.1 O projecto Vinbot

Vinbot é o acrónimo de um projecto europeu designado “Autonomous cloud-computing vineyard robot to optimise yield management and wine quality”, tendo vários parceiros europeus, dentre os quais o Instituto Superior de Agronomia, as adegas “Adega Cooperativa de Granja”, “Bodegas Familiares de Rioja Provir”, “OGSZ (Orgoványi Gazdaszövetkeze)”, “Cantine d’Alfonse del Sordo” e as empresas *Ateknea Solutions*, *Robotnik*, *Assist Software* e *Agri-Ciência*.

Este projecto tem como objectivo a criação de um veículo todo-terreno munido com um conjunto de sensores e câmaras para captura de informação diversa (imagens RGB, 3D, NDVI) com vista à obtenção de uma estimativa da produção e vigor da videira (<http://www.vinbot.eu>). Estes sensores serão capazes de captar e analisar imagens da vinha e dados 3D através de aplicações informáticas em *cloud*, com o objectivo de prever, entre outros aspectos, o rendimento das vinhas. O Vinbot tenta assim responder à necessidade de aumentar a qualidade dos vinhos através da implementação da viticultura de precisão. A previsão de rendimento poderá ainda ser uma mais-valia para organizar a produção e comercialização dos vinhos, auxiliando na escolha dos lotes a vinificar, para se alcançar uma eficiente gama de vinhos relativamente à qualidade vs preço (<http://www.vinbot.eu>).

No projecto Vinbot o robô circula de forma autónoma ou por controlo remoto através de uma câmara PTZ (*Pan-tilt-zoom*) que transmitirá vídeo em tempo real. Esta câmara PTZ permitirá controlo remoto de direcção e *zoom*.

O sistema informático usado pelo robô será *open-source* e baseado no “ROS” (*Robot Operating System*), um *software* criado para a robótica, o qual inclui centenas de pacotes criados e melhorados pelos programadores ao longo do seu desenvolvimento, os quais permitem funcionalidades como mapeamento, planeamento, manipulação, percepção, entre outros (Fig.5) (<http://www.ros.org/>).



Figura 5 – Protótipo do veículo em que consiste o projecto Vinbot.

Este tipo de dispositivos como o Vinbot têm a vantagem de poder percorrer toda a vinha eliminando assim o maior ponto fraco das estimativas de rendimento através das inspecções visuais: a falta de consideração da variabilidade espacial dentro da vinha, pelo facto de se analisar uma amostra e depois se extrapolar para toda a área. Além disso, diminui significativamente o custo e mão-de-obra despendidos nesta tarefa, uma vez que funcionará de forma autónoma, reduzindo ainda o factor subjectividade associado a cada análise. Assim, assume-se como uma ferramenta de grande potencial por obviar aos principais problemas existentes aos métodos actualmente mais utilizados, nomeadamente as inspecções visuais.

Como desvantagem, apresenta a incapacidade de visualizar todos os órgãos, nomeadamente alguns dos cachos localizados no interior da sebe, o que poderá originar erros significativos, sobretudo em casos de sebes densas com poucos cachos expostos. Desta forma, terá de ser desenvolvido trabalho de investigação para superar este problema.

2.3.7.1.2 Vinerobot

Existem outros projectos que pretendem atingir o mesmo objectivo que o projecto Vinbot, por exemplo o *Vinerobot*, que também consiste num robô todo-terreno que pretende disponibilizar informação aos viticultores acerca do rendimento, crescimento vegetativo (vigor), estado hídrico e composição das uvas (Fig. 6). Este projecto pretende ser um meio mais barato e flexível que os *drones*, estando equipado no topo da estrutura com os sensores necessários à monitorização da vinha e recolha de dados. Sendo uma tecnologia não-invasora e que partilha as mesmas premissas que o Vinbot, é o projecto actualmente em desenvolvimento mais parecido com a tecnologia em análise neste trabalho (<http://www.vinerobot.eu/>).

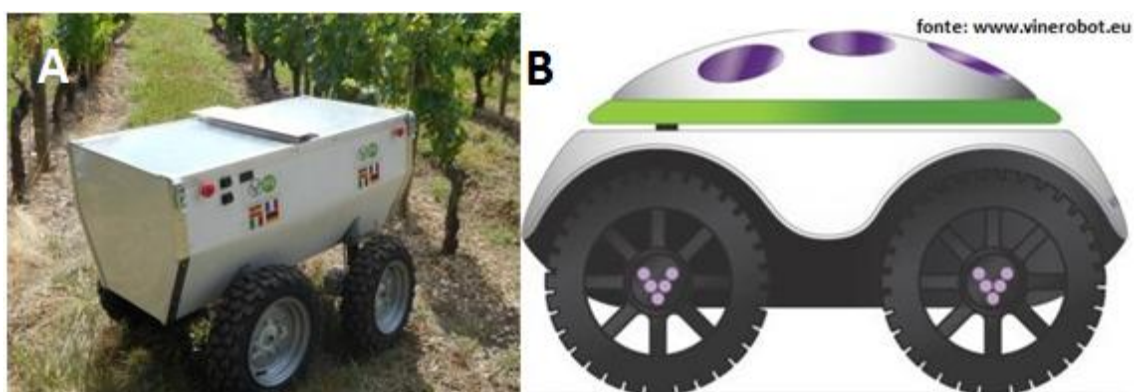


Figura 6 – Imagem do protótipo actual do vinerobot (A) e esquema representativo do ideótipo do vinerobot (B).

2.3.7.1.3 Robô para viticultura de montanha

O projecto em desenvolvimento por um grupo de investigadores da UTAD (Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro) consiste na construção de robôs que intervenham em terrenos de difícil circulação como são os da zona demarcada do Douro, com o objectivo de auxiliarem os produtores em variadas acções (Fig. 7) (<http://www.agrotec.pt>).



Figura 7 – Imagem do robô desenvolvido pela equipa de investigadores da UTAD.

Este projecto insere-se, como o Vinbot e outros projectos do género, na viticultura de precisão, caracterizando-se por dotar o robô de várias ferramentas, nomeadamente GPS, câmaras e sensores para que possam ser desenvolvidas novas capacidades de detecção de obstáculos e trajectórias optimizadas, com o objectivo a longo prazo de que este robô possa realizar pulverização inteligente de fitofármacos, corte selectivo de matéria vegetal e controlo de infestantes, entre outros (<http://www.agrotec.pt/>).

2.3.7.1.4 Aplicações para *smartphone*

A evolução verificada no sector das telecomunicações, mais propriamente no segmento *smartphones*, levou a que este aparelho ficasse ao alcance de cada vez mais pessoas e tivesse cada vez mais um papel preponderante em todo o tipo de empresas, de pequena, média ou grande dimensão. Assim, tem-se verificado um aumento do interesse por parte de alguns ensaios de investigação, de produzir aplicações para *smartphones* que possam realizar estimativas de produção ou, analisar determinadas componentes do rendimento que estejam envolvidas nessas previsões.

Fuentes *et al.* (2012) desenvolveram uma aplicação para *smartphone* e *tablet* que caracteriza a estrutura da sebe e fornece informações acerca do índice de área foliar (IAF). A aplicação consiste num programa que pretende recolher imagens da sebe da vinha, num ângulo de baixo para cima (Fig. 8). Assim que as imagens são recolhidas, o algoritmo da aplicação calcula vários aspectos tais como IAF, IAF efectivo, porosidade, entre outros. Apesar de a aplicação não fornecer qualquer informação relativa ao rendimento, os autores referem no seu ensaio a possibilidade de se comparar estes parâmetros vegetativos com a produtividade.

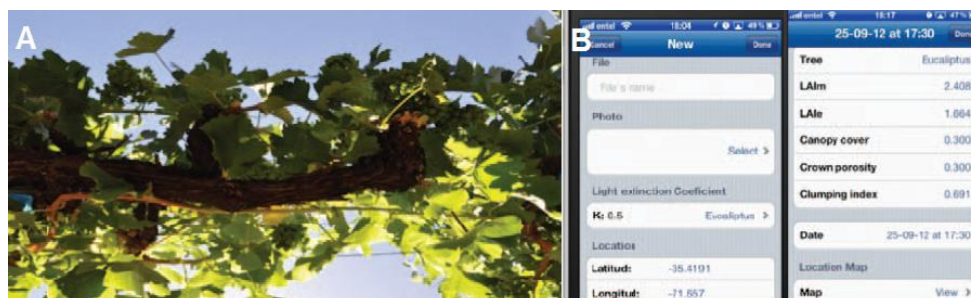


Figura 8 – Recolha de imagem da sebe num ângulo de baixo para cima (A). Output da aplicação após execução do algoritmo (B).

A aplicação (*app*) *VitisFlower*®, criada por um grupo de investigadores do Instituto de Ciencias de la Vid y el Vino (ICVV) liderados por Javier Tardáguila, pretende determinar o número de botões florais das inflorescências a partir da análise de uma imagem (fotografia) capturada por *smartphone*. Esta *app* poderá permitir ao viticultor calcular o número de flores e desta forma ter uma indicação precoce do tamanho do cacho. Com a informação fornecida por esta aplicação e sabendo a taxa de vingamento média, poderá chegar-se a uma estimativa de rendimento (<http://www.cope.es/detalle/app-vitis-flower-.html>).

Um ensaio de Grossetête *et al.* (2012) pretende utilizar um *smartphone* para recolher imagens de cachos e, a partir destas imagens, contar o número de bagos desse cacho. Os resultados serão georeferenciados e utilizados para criar mapas de estimativas de rendimento.

Este tipo de ensaios evidencia que a tecnologia e a automatização são cada vez mais palavras-chave na elaboração de estimativas de rendimento, sendo o *smartphone* a prova de que esta tecnologia estará (já está), ao alcance de qualquer um de nós, uma vez que a versão *beta* da *app VitisFlower*® já está disponível para sistemas *Android*, de forma gratuita.

2.3.7.2 Dificuldades da aplicação da recolha de imagens

A realização de estimativas de rendimento através de contagem de bagos por *software* pressupõe que este seja capaz de os detectar e de seguida contar (Nuske *et al.*, 2011). Uma das grandes dificuldades para se atingir este objectivo será o facto dos cachos se “esconderem” entre a vegetação, o que ainda é mais evidente com os bagos inseridos dentro do próprio cacho (Whalley e Shanmuganathan, 2013; Nuske *et al.*, 2011). A ausência de cor diferenciadora antes do pintor nas tintas (e quase até à maturação nas castas brancas) é outro dos factores que podem afectar a qualidade das imagens capturadas, por não haver carácter diferenciador entre bagos/cachos, folhas e *background*, que seria útil no momento de tratar a imagem (Nuske *et al.*, 2011).

Dunn e Martin (2004) utilizaram no seu ensaio a casta Cabernet Sauvignon cujas sebes tinham estruturas relativamente simples conduzidas num sistema de condução do tipo monoplano vertical ascendente (MVA). Este facto proporcionou uma boa exposição aos cachos, permitindo aumentar o sucesso da identificação e análise das

componentes do rendimento, o que consequentemente aumentou a precisão da estimativa. No entanto, os mesmos autores referem o facto de que outros sistemas de condução podem tornar os cachos mais encobertos pela vegetação, referindo ser possível a definição de modelos empíricos robustos que relacionem a contagem de pixéis e o peso dos cachos entre os vários sistemas de condução. Outra particularidade mencionada por estes autores é a possibilidade de, em condições de grande produção, alguns cachos encobrirem outros. Estas dificuldades são constatadas por Nuske *et al.* (2011) pois estes autores referem as várias razões para que não seja possível a identificação de todos os bagos (oclusões por folhas, por outros cachos e por bagos dentro do mesmo cacho). No entanto, os mesmos autores assumem que nunca será possível reduzir todas as oclusões e que será necessário um método de as quantificar.

Relativamente ao sistema de condução e às dificuldades que este possa causar na visualização das componentes do rendimento, Nuske *et al.*, (2011) utilizaram no seu ensaio uma casta de uva de mesa num sistema de condução de dois planos, tipo Lira, o que poderá fazer com que se conte duas vezes o mesmo cacho ou que não se conte de todo, uma vez que um cacho poderá estar ao lado esquerdo de outro cacho numa imagem e á direita desse mesmo cacho noutra imagem mais à frente.

2.3.7.3 Metodologias e formas de tratar as imagens recolhidas

A análise de imagem com o objectivo de estimar o rendimento pode incidir na contagem directa dos bagos (Nuske *et al.*, 2011), na contagem da área de pixéis afecta aos cachos (Diago *et al.*, 2012) ou, poderá ser indirectamente relacionado com a superfície foliar exposta (SFE), uma vez que este parâmetro pode ser correlacionado com o rendimento. Segundo Fuentes *et al.* (2012), o índice de área foliar (IAF) é um dos parâmetros que também poderá ser indirectamente correlacionado com o rendimento, já que afirma tratar-se de um dos mais importantes parâmetros que reflectem o desenvolvimento da sebe e, como tal, permitir um relacionamento.

Para relacionar indirectamente com a SFE, há que efectuar testes de sensibilidade do *software* de análise de imagem à variação das condições de estrutura e dimensão da sebe (nomeadamente ao nível da diferença no número de folhas e cachos), consistindo estes testes em desfolhas e mondas sucessivas (Diago *et al.*, 2012). Foi com base nesta metodologia que se baseou o trabalho de Dunn e Martin (2004), que, em busca de um indicador que pudesse ser relacionado com o rendimento,

procederam à recolha de imagens com uma máquina digital e realizaram mondas de cachos (primeiro os de terceira ordem, depois os de segunda e finalmente os de primeira), tendo registado os seus pesos. O resultado do seu trabalho provou que a análise de imagem digital pode ser a base de futuros métodos automáticos de previsão de rendimentos.

O tratamento de imagens é realizado com recurso a *software* de análise de imagem ou de cálculo numérico, geralmente o *MATLAB* (Diago *et al.* 2013) ou o *EasyAccess* (Dunn e Martin, 2004). Havendo várias formas de analisar as imagens digitais, Diago *et al.* (2012) utilizaram a distância de Mahalanobis, num método que processava conjuntos de imagens e calculava a área em número de píxéis correspondentes a uma dada classe (previamente definida pelo utilizador). Neste estudo, definiram classes de píxéis distinguindo cachos, lenha e várias texturas de folhas. O utilizador, para criar uma classe selecciona um conjunto de píxéis que considera representativos dessa textura, tentando que o *software* passe a associar daí em diante, cada pixel a cada classe, associando as características do novo pixel às características das classes existentes. Noutro ensaio, Diago *et al.* (2013), recolheram imagens de inflorescências das castas Tempranillo (syn. Aragonéz), Graciano e Carignan, no período pré-floração com uma máquina fotográfica digital e trataram-nas com o *software* MATLAB. Utilizaram este *software* para proceder à contagem de botões florais de modo automático, o que foi levado a cabo em três etapas: pré-processamento das imagens, contagem de botões florais e pós processamento das imagens. A primeira etapa consistia na conversão da imagem *Red Green Blue* (RGB) para um formato de cores que permitia a separação dos botões florais do *background*. Para a segunda etapa, a contagem de botões florais (botões), os autores aproveitaram o facto de os botões reflectirem mais luz do que as restantes superfícies das imagens, tendo elaborado um procedimento para que o *software* contasse o número de áreas da imagem com maior claridade, o que em teoria corresponderia a um botão. A terceira etapa consistiu na remoção de áreas que pudessem ter sido contabilizadas como botões mas que não pertenceriam a essa designação (Fig. 9).

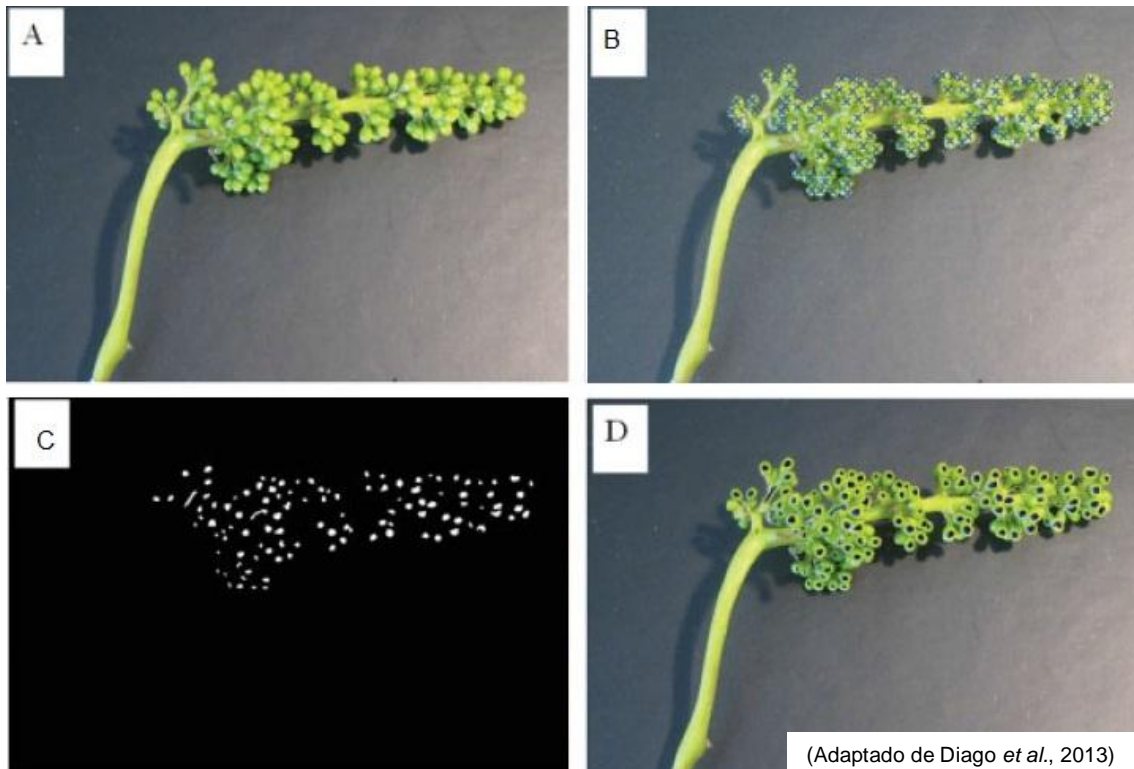


Figura 9 – (A) Imagem original RGB de uma inflorescência da casta Graciano; (B) a mesma imagem com as flores marcadas com “X”; (C) a mesma imagem após a etapa 1 (diferenciação das flores do *background*); (D) a imagem original RGB combinada com as áreas detectadas (pontos negros) após a etapa 2 (contagem de flores).

Existe na literatura mais do que uma forma de analisar e tratar as imagens recolhidas, o que em parte também dependerá da natureza da componente do rendimento em análise, a qual poderá justificar a utilização de um *software* ou metodologia em detrimento de outro(a).

3. Material e métodos

3.1 Localização e caracterização da vinha

Os ensaios decorreram na vinha do Instituto Superior de Agronomia (ISA) localizado na Tapada da Ajuda em Lisboa, com as seguintes coordenadas: 38°42'27.49"N; 9°10'56.20"W (Fig. 10).



Figura 10 – Mapa parcial do Google Maps contendo a vinha (A) onde decorreram os ensaios.

A vinha de Meia Encosta (coleção das castas brancas) plantada em 2006 com uma orientação Norte-Sul tem uma área de 1,7 ha e conta com as castas Alvarinho, Arinto, Moscatel de Setúbal e Viosinho enxertadas em 1103P (Paulsen) e Encruzado, Macabeu e Moscatel Galego enxertadas em 110R. O compasso utilizado é de 1.0 m na linha e 2.5 m na entrelinha o que origina 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 (Fig. 11).

A vinha de Meia Encosta possui um sistema de rega gota-a-gota, em que a gestão da rega foi auxiliada através quer de uma onda capacitiva, para determinação do teor de humidade do solo, quer através de medições de potencial hídrico foliar de base.

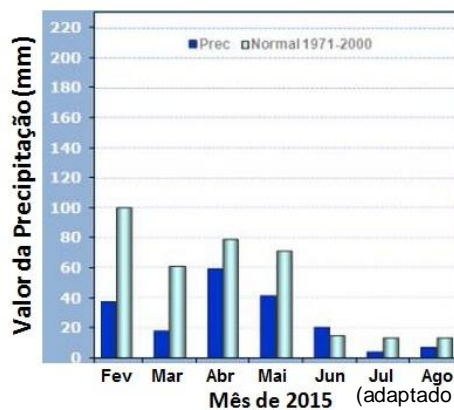


Figura 11 – Videira da casta Alvarinho ilustrativa do sistema de condução em monoplano vertical ascendente com um dos arames móveis visível.

3.2 Caracterização edafo-climática

O clima da Tapada da Ajuda é, segundo a caracterização de Thornthwaite, mesotérmico, com nula ou pequena eficácia térmica no Verão (C1B'2s2a'), sendo um clima moderado de chuva no Inverno e défice no Verão. A temperatura média anual ronda os 16,4°C e a insolação média anual as 2 512,4 horas.

O clima de Lisboa caracteriza-se por ter uma precipitação média anual de 674 mm, com os valores máximos observados durante os meses de Inverno e os valores mínimos durante os meses de Verão. A Figura 12 apresenta a evolução da precipitação durante o ciclo biológico de 2015, em que o mês mais chuvoso foi Abril.



(adaptado do Instituto Português do Mar e da Atmosfera - IPMA)

Figura 12 – Precipitação média mensal em Portugal Continental desde Fevereiro a Agosto de 2015.

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 colóides de montemorilonite, o que lhe confere elevada plasticidade quando húmido e rjeza 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 rápida a moderada (Sarmiento, 1969).

3.3 Operações culturais

As operações culturais praticadas durante o ciclo cultural em que decorreu o ensaio foram as que anualmente são planeadas pela equipa de técnicos do Instituto Superior de Agronomia, tendo sido realizadas de forma igual em todo o ensaio, não sendo um factor de diferenciação neste estudo.

3.4 Metodologias

O ensaio decorreu nas castas brancas Alvarinho e Viosinho da vinha de Meia Encosta.

3.4.1 Medições gerais

Em cada casta foi eleita uma linha, onde foram eleitas e rotuladas 30 videiras consecutivas. Cada videira foi rotulada em ambas as faces da sebe (Este e Oeste) para ser identificada após a recolha de imagens e para posteriormente se proceder a diversas medições para se avaliar e quantificar a estrutura e dimensões da sebe e as componentes do rendimento.

Para a caracterização do rendimento e suas componentes, foram avaliados os seguintes parâmetros:

- **Número de olhos deixados à poda:** contagem directa dos olhos deixados nas videiras após poda, com registo do número de talões e de olhos por talão (carga por talão);
- **Número de sarmentos:** contagem directa de sarmentos por videira após monda e desladramento das videiras;

- **Número de inflorescências:** contagem directa do número de inflorescências por videira;
- **Número real de botões florais por inflorescência e estimativa do número de botões florais nas restantes inflorescências:** Seguindo a metodologia proposta por Diago *et al.* (2013), recolheram-se 30 inflorescências por casta, em linhas não seleccionadas (para não alterar o número de cachos das videiras eleitas). Cada inflorescência foi fotografada e etiquetada com um número indicativo do seu número de recolha (Fig. 13-A). Para cada inflorescência recolhida, destacaram-se todos os botões florais de maneira a possibilitar a sua contagem, para se saber o número real de botões florais (Fig. 13-B). Para contagem do número de botões florais em imagem, utilizou-se o *software* “ImageJ”, em que se marcaram apenas os botões florais claramente visíveis com a ferramenta *Multipoint* (Fig. 13-C). Após a contagem dos dois valores de botões florais (real e em imagem), procedeu-se à elaboração de uma relação entre estes dois valores para cada casta.



Figura 13 - (A) Fotografia de uma das inflorescências recolhidas. (B) Contagem dos botões florais para se saber o seu real número (C) Utilização do *software* “ImageJ” para contagem de botões florais.

Para se estimar então o número de botões florais das inflorescências das videiras eleitas, recolheram-se imagens de forma não destrutiva com uma máquina fotográfica (*Nikon D5200*) de todas as inflorescências de 3 videiras em cada casta e contou-se o número de botões florais claramente visíveis através do *software* “Image J”. Após esta contagem, utilizou-se a relação anteriormente referida para se estimar o número real de botões florais destas inflorescências.



Figura 14 – Recolha de imagens de forma não destrutiva em três videiras de cada casta.

- **Número de cachos e rendimento por videira:** A vindima foi realizada individualmente por videira de modo a contabilizar-se o número de cachos e registar-se o peso da produção recorrendo a um dinamómetro digital. O peso médio por cacho foi determinado dividindo o rendimento por videira pelo correspondente número de cachos.

3.4.2 Medições detalhadas

Além das medições gerais descritas acima, foram também efectuadas medições de forma mais detalhada em 5 videiras contíguas em cada uma das castas. Estas medições tiveram como objectivo avaliar a sensibilidade do robô Vinbot à variação do número de folhas e do número de cachos tendo-se criado para o efeito várias situações ao nível de número de folhas e de cachos presentes na videira (desfolhas e mondas).

Estas medições foram feitas repetidamente em vários passos numa desfolha e numa monda de cachos progressivas, sendo que, entre cada passo, foram recolhidas imagens com o Vinbot. Os seguintes pontos descrevem os passos utilizados para realizar a desfolha e a monda e de seguida realizar as medições:

1. Selecção de 5 videiras contíguas por casta (já rotuladas);
2. Recolha de imagens com o Vinbot;
3. Passo 1 – **Desfolha basal_1**
 - a) Desfolha parcial manual dos nós basais (até ao cacho de ordem superior). Esta desfolha foi feita em todas as videiras (embora nas 5 videiras seleccionadas as folhas tenham sido separadas por sarmento e tipo (principal e neta)), nos dois sarmentos utilizados para medições da área foliar. Já nos restantes sarmentos de cada videira, separaram-se as folhas principais para um saco de plástico e as netas para outro. Depois de recolhidas as folhas, os sacos foram fechados e levados imediatamente para o laboratório para se proceder a medições e de modo a minimizar a perda de água por parte das folhas. Apesar de termos colaborado nestas medições relativas à componente vegetativa, neste trabalho não se apresentam os respectivos resultados em virtude de se tratar de dados do projecto que não têm a ver com o título e objectivo deste trabalho;
 - b) Recolha de imagens com o Vinbot.

4. Passo 2 – **Monda de cachos_1**

- a) Monda de todos os cachos de segunda ordem nas 5 videiras seleccionadas por casta. Cada cacho mondado foi rotulado de acordo com o sarmento a que pertence, da seguinte forma: ex. videira 26, talão 1, sarmento 1, cacho de segunda ordem - v26t1s1c2. Os cachos foram fechados em sacos de plástico e transportados imediatamente para o laboratório para se efectuarem medições. Estas medições encontram-se detalhadas no ponto 8 – “Avaliação no laboratório”;
- b) Recolha de imagens com o Vinbot.

5. Passo 3 – **Desfolha basal_2**

- a) Desfolha das restantes folhas até ao cacho de ordem superior, completando a desfolha feita no passo 1. O procedimento foi o mesmo que o aplicado no passo 1;
- b) Recolha de imagens com o Vinbot.

6. Passo 4 - **Monda de cachos_2**

- a) Monda dos restantes cachos nas 5 videiras seleccionadas por casta. Cada cacho foi rotulado, fechado em sacos de plástico e transportado imediatamente para o laboratório para se efectuarem medições. Estas medições encontram-se detalhadas no ponto 8 – “Avaliação no laboratório”;
- b) Recolha de imagens com o Vinbot.

7. Passo 5 – **Desfolha basal_3**

- a) Desfolha total para as 5 videiras seleccionadas por casta. O procedimento foi o mesmo que o aplicado no passo 1;
- b) Recolha de imagens com o Vinbot.

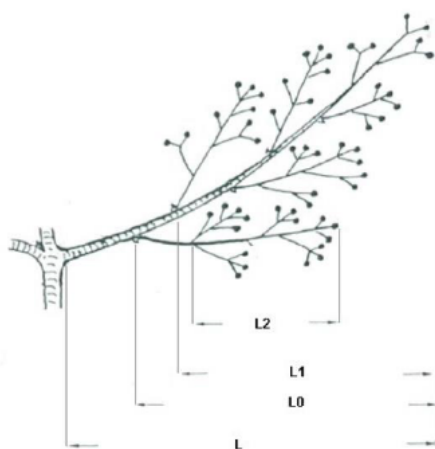
8. **Avaliação no Laboratório**

- a. Número de cachos, peso e volume: Contagem e pesagem de todos os cachos por sarmento e videira (Fig. 15 – A) e medição do seu volume. O volume foi medido através da colocação do cacho (bagos separados do ráquis) numa proveta com 500ml de água. Após colocação dos bagos e do ráquis na proveta, registou-se a diferença no nível de água que os bagos e o ráquis tinham provocado.

- b. Número e peso dos bagos: Em cada cacho retiraram-se os bagos do ráquis, tendo-se de seguida efectuado a sua pesagem (cacho completo, bagos sem ráquis e só o ráquis). As medidas do ráquis e o seu número de ramificações também foram registados (Fig. 15 – B e Fig. 16). Para se proceder à contagem do número de bagos através do *software “Image J”*, procedeu-se à sua distribuição numa caixa para recolha de imagem com máquina fotográfica (recolha manual) (*Nikon D5200*) (Fig. 15 – C).



Figura 15 – Resumo da metodologia utilizada para registar as medições mais detalhadas relativamente às componentes do rendimento: preparação da pesagem dos cachos e posterior registo (A); registo das medidas do ráquis (B); distribuição dos bagos num tabuleiro branco para recolha manual de imagens (C).



- L** – comprimento total do ráquis;
- L0** – distância entre a inserção da primeira ramificação principal/asa e a extremidade do ráquis;
- L1** – distância entre a inserção da segunda ramificação primária e a extremidade do ráquis;
- L2** – no primeiro ramo/asa, distância entre a inserção da primeira ramificação secundária.

Figura 16 – Representação esquemática das medidas de uma inflorescência, segundo Casteran *et al.* (1981)

3.4.3 Outras metodologias

3.4.3.1 Índice de fertilidade

O índice de fertilidade foi calculado de acordo com a equação 3 para se proceder à comparação deste parâmetro entre as duas castas utilizadas neste ensaio.

$$\text{Índice de Fertilidade} = \text{N}^{\circ} \text{ Inflorescências por vid.} / \text{N}^{\circ} \text{ de olhos abrolhados por vid.} \quad (\text{Eq.3})$$

3.4.3.2 Índice de compacidade

O índice de compacidade diz respeito ao número de botões florais por unidade de distância, neste caso, por centímetro. Esta relação foi calculada para as inflorescências com a equação 4 para se avaliar o nível de compacidade das inflorescências e para se proceder a comparações entre as duas castas estudadas.

$$\text{Índice de Compacidade} = \text{N}^{\circ} \text{ botões florais} / \text{comprimento do ráquis da infloresc. (cm)} \quad (\text{Eq. 4})$$

3.4.3.3 Cálculo do rendimento por hectare

O cálculo do rendimento por hectare foi realizado utilizando a equação 1, considerando a densidade de plantação da vinha de Meia Encosta (4000 plantas por hectare).

3.5 Recolha de imagens

Cada recolha de imagens realizada exigiu ajustes às câmaras RGB e infra-vermelho devido às variações de intensidade de luz que se fez sentir nas vinhas. Estes ajustes foram necessários devido ao facto de o veículo utilizado neste estudo ser um modelo em desenvolvimento, não tendo ainda todas as características que o irão permitir ser completamente autónomo no futuro, sem necessidade de configurações por parte dos viticultores. Os ajustes foram feitos para cada casta e para cada face da sebe (Este e Oeste), de acordo com a exposição e intensidade da luz (Fig. 17 – A1 e A2). Assim, foi necessário ajustar duas vezes a abertura do diafragma da câmara RGB. A sobreposição das imagens captadas por ambas as câmaras também teve de ser

assegurada de forma a obter-se uma imagem completa da sebe. Após os ajustes, foi escrito o nome da sessão da recolha de imagens na linha de comandos do *software*, da seguinte forma, ex: casta, data, face da sebe e o número da recolha (Viosinho20150309W1). Após o processo de ajustes, tem início cada recolha de imagens a uma velocidade considerada estável por parte do utilizador de modo a prevenir distorções nas imagens recolhidas (Fig. 17 – B1 e B2). Tendo em conta que o protótipo Vinbot utilizado neste trabalho ainda não era autónomo, a circulação deste foi assegurada por via manual (puxado pelo utilizador).



Figura 17 – Ajustes necessários antes de cada recolha de imagens (A1 e A2). Início da recolha de imagens (B1 e B2).

A Figura 18 apresenta o número de recolhas de imagem (*runnings*) feitas ao longo do ensaio nas castas Alvarinho e Viosinho.

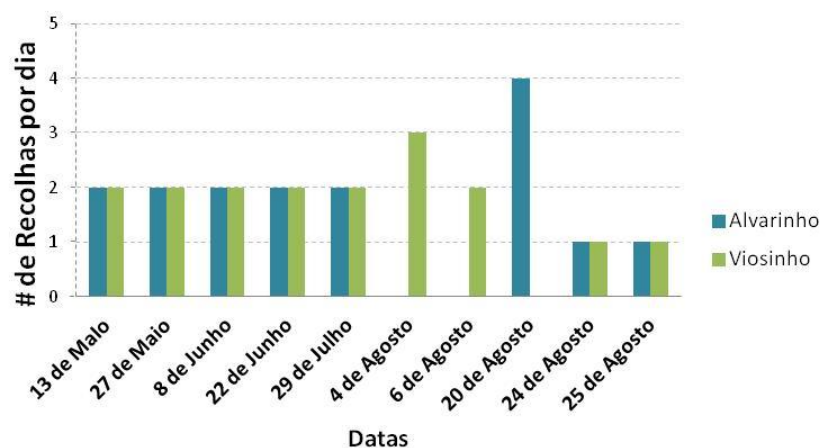


Figura 18 – Número de total de recolhas por dia (# de Recolhas) feitas com o Vinbot para as castas Alvarinho e Viosinho, com indicação da respectiva data.

3.5.1 Recolha manual de imagens

A recolha manual de imagens serviu para ter uma informação de base, tipo *backup*, dos registos que se iam obtendo sobre as várias componentes do rendimento. Ao longo do ciclo cultural tornou-se óbvio que também poderia servir como meio de proceder a análise de imagem.



Figura 19 – Recolha manual de imagens com recurso a fundo azul.

Ao longo do ciclo cultural e em praticamente cada fase das metodologias (recorrendo a um fundo azul), procedeu-se à recolha de imagens com uma máquina fotográfica digital (*Nikon D5200*) (Fig. 19). Após cada passo das medições detalhadas também se procedeu a esta recolha de imagens.

3.6 Análise e tratamento da informação

A informação recolhida ao longo do projecto foi registada no *software* “*Excel*” e organizada por videira e casta, sendo posteriormente submetida a tratamento estatístico, entre os quais análise de regressão e correlação com o intuito de se obter variáveis que fossem capazes de estimar o rendimento e/ou explicar maior percentagem da variabilidade deste.

A escolha das duas castas brancas teve como objectivo garantir que as condições do ensaio seriam semelhantes para as duas castas tendo em conta que estão em zonas semelhantes a nível de declive na vinha de Meia Encosta, têm a mesma data de instalação e sistema de condução.

Este ensaio insere-se no âmbito de um projecto europeu do qual fazem parte vários intervenientes cada um com funções, prazos e responsabilidades que são avaliados e discutidos oportunamente em *meetings*. Este ensaio pretendia contar com resultados do tratamento da análise de imagem que não chegou em tempo útil e que por isso não foram incluídos. Além das metodologias apresentadas neste trabalho, foram empregues outras metodologias ao longo do ciclo cultural mas que se optou por não se colocar neste trabalho por essa razão (com excepção de alguns detalhes do capítulo 3.4.2 Medições Detalhadas e 3.5 Recolha de Imagens em que se dá a conhecer algum do trabalho realizado com o robô *Vinbot*).

Apesar do problema referido acima decidiu-se incluir um capítulo sobre análise preliminar de imagens como tentativa de antecipação de alguns dos resultados que

poderão ser alcançados quando se realizar o devido tratamento às imagens recolhidas neste ensaio.

Apesar de se compararem as duas castas utilizadas neste trabalho, não se procedeu a uma análise de variância do efeito casta, dado não ser esse o objectivo do trabalho e também porque o delineamento não era o mais adequado para o efeito. Assim utilizaram-se apenas parâmetros de dispersão (erro padrão e coeficiente de variação) e localização (média) para as caracterizar.

3.6.1 Contagem de bagos na imagem



A contagem do número de bagos na imagem foi realizada recorrendo ao *software "Image J"*, à semelhança do que foi feito na contagem do número de botões florais na imagem (Fig. 20). Após abertura da imagem no *interface do software*, escolheu-se a ferramenta *Multi-point* que conta automaticamente os cliques dados (cliques feitos nos bagos perfeitamente visualizáveis).

Figura 20 – Contagem de bagos na imagem para um cacho da casta Alvarinho.

3.6.2 Regressão linear múltipla

Foram elaboradas correlações entre as várias componentes do rendimento para se obterem modelos para explicação da variabilidade dos valores da produção. Com recurso ao *software "Statistix 10 Trial" © (2013 Analytical Software)* e utilizando a regressão linear múltipla passo-a-passo, procurou-se explicar a variabilidade dos seguintes valores de produção com as seguintes variáveis:

- **Produção por videira** através da carga à poda, número de sarmentos, número de inflorescências e número de cachos;
- **Peso por cacho** através do volume do cacho, número de bagos, peso do ráquis, número de ramificações, número estimado de botões florais e medidas do ráquis (L e L0) ;

- **Número de bagos** através do peso do cacho, volume do cacho, peso do ráquis, número de ramificações, número estimado de botões florais e medidas do ráquis (L e L0).

Para elaboração de cada modelo obteve-se em primeiro lugar a matriz de correlação de *Pearson* entre as variáveis, dando-se então depois início à criação do modelo. Utilizou-se um $F = 0.15$ para entrada ou saída das variáveis no modelo. Após a obtenção do modelo registaram-se as respectivas equações.

A elaboração dos modelos de previsão do peso por cacho e do número de bagos servem para determinar quais as componentes do rendimento com maior capacidade de explicação da variabilidade destes dois valores de produção. Quanto mais informação se tiver acerca da relação entre as várias componentes do rendimento, mais conhecimento se adquire acerca desta temática e mais robustos poderão ser os algoritmos a desenvolver pelos restantes parceiros do projecto.

4. Resultados e discussão

De seguida apresentam-se variáveis que caracterizaram a variabilidade das videiras utilizadas neste ensaio. Numa primeira análise, o foco incide sobre as medições gerais efectuadas durante o ciclo cultural nas 30 videiras de cada casta e, posteriormente, incide nas medições mais detalhadas efectuadas em 5 videiras de cada casta.

4.1 Variabilidade ao longo da linha

4.1.1. Olhos deixados à poda

A casta Alvarinho obteve em média 5 talões por videira enquanto que a casta Viosinho obteve em média 6 talões por videira. Quanto aos valores de carga por talão, ambas as castas apresentaram em média 2 olhos por talão.

A informação relativa ao número de olhos deixados à poda por videira pode ser consultada na Figura 21.

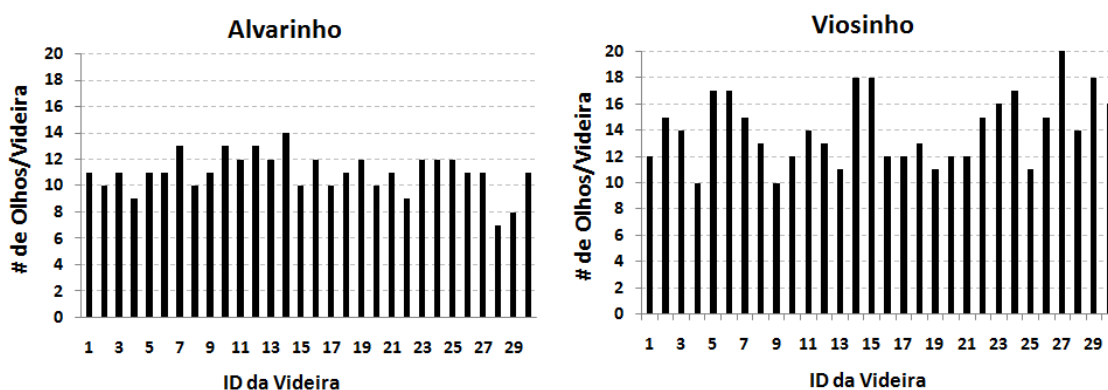


Figura 21 – Variabilidade do número de olhos por videira (# de Olhos/Videira) nas castas Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).

A casta Alvarinho apresentou uma média de 11 ± 0.3 olhos por videira com um coeficiente de variação de 13.7%. O maior número de olhos verificou-se na videira 14 (14), tendo a videira 28 registado o menor número de olhos (7).

Quanto à casta Viosinho, exibiu uma média de 14.1 ± 0.5 olhos por videira com um coeficiente de variação de 19.0%. O maior número de olhos verificou-se na videira 27 (20), tendo as videiras 4 e 9 registado o menor número de olhos (9).

4.1.2 Número de sarmentos

O número de sarmentos registado por videira nas duas castas pode ser consultado na Figura 22. Estes valores foram registados após a monda e desladrão das videiras, correspondendo, portanto, ao número de sarmentos definitivo.

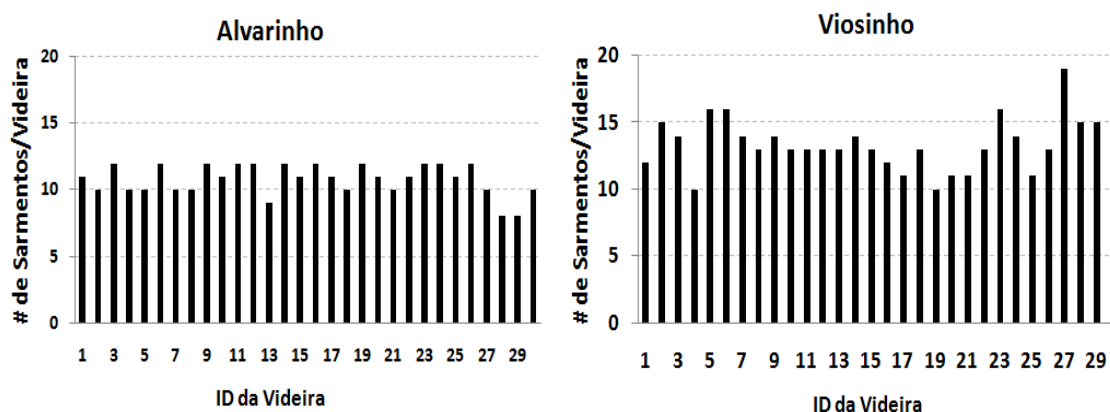


Figura 22 – Variabilidade do número de sarmentos por videira (# de Sarmentos/Videira) nas castas Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).

Observa-se que em média a casta Alvarinho ficou com 11 ± 0.2 sarmentos por videira (com um coeficiente de variação de 11.0%). Várias videiras (3, 6, 9, 11, 12, 14, 16, 19, 23, 24 e 26) ficaram com o número máximo de sarmentos observado (12), enquanto as videiras 28 e 29 ficaram com 8 sarmentos (o menor valor observado).

Já a casta Viosinho ficou com 13 ± 0.4 sarmentos por videira (com um coeficiente de variação de 15.4%). A videira 19 teve o maior número de sarmentos (19), enquanto as videiras 4 e 19 ficaram com 10 sarmentos.

4.1.3 Número de inflorescências

Relativamente ao número de inflorescências por videira (Fig. 23), em média na casta Alvarinho registaram-se 18 ± 1.0 inflorescências com um coeficiente de variação de 30.7%. A videira 3 foi a que teve maior número de inflorescências (30), ao passo que a videira 2 teve o menor valor neste componente do rendimento (7).

Em média na casta Viosinho registaram-se 19.8 ± 0.8 inflorescências com um coeficiente de variação de 21.5%. As videiras 5 e 6 foram as que tiveram maior número de inflorescências (31), ao passo que a videira 18 teve o menor valor neste componente do rendimento (14).

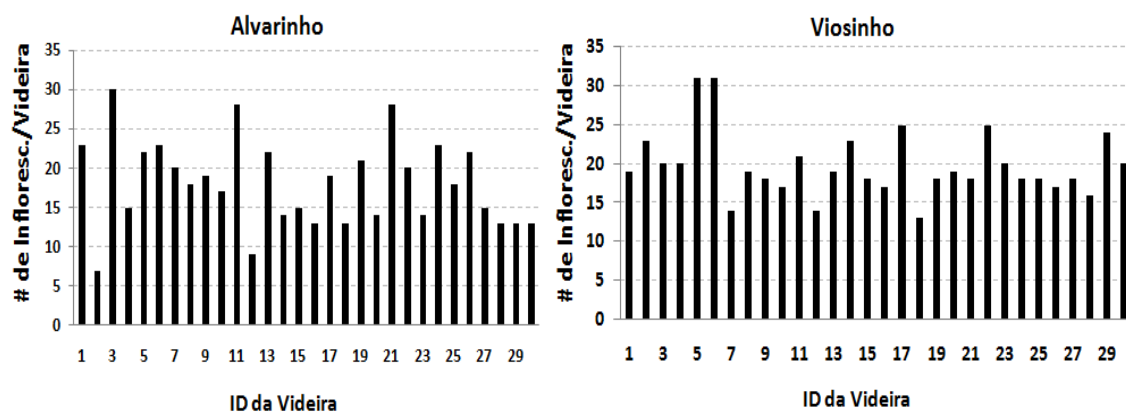


Figura 23 – Variabilidade do número de inflorescências (# de Infloresc.) por videira nas castas Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).

Relativamente aos índices de fertilidade (Fig. 24), a casta Alvarinho obteve em média um índice de fertilidade por videira de 1.6 ± 0.1 e um coeficiente de variação de 24.5%, enquanto que a casta Viosinho apresentou um índice de fertilidade ligeiramente menor (1.4 ± 0.1) e com um coeficiente de variação de 20.0%.

Verifica-se que a casta Alvarinho foi ligeiramente mais fértil que a casta Viosinho o que está de acordo com os valores médios de índice de fertilidade referidos por Böhm (2010) (1.8 para a casta Alvarinho e cerca de 1.7 para a casta Viosinho), no entanto ambas castas estão abaixo dos valores referidos por este autor.

Comparando estes índices de fertilidade com outros mencionados na bibliografia, verifica-se que são da mesma ordem de grandeza que o observado por Martins (2011) na casta Sauvignon Blanc e por Lopes (2009) na casta Syrah, ambos com ensaios na região da Merceana (região de Lisboa), mas superiores ao verificado por Lima (2014) na casta Touriga Franca na região demarcada do Douro. Esta diferença poderá justificar-se pelas condições da região demarcada do Douro, caracterizada por condições de sequeiro e solo rochoso onde as videiras se desenvolvem, passíveis de influenciar o índice de fertilidade.

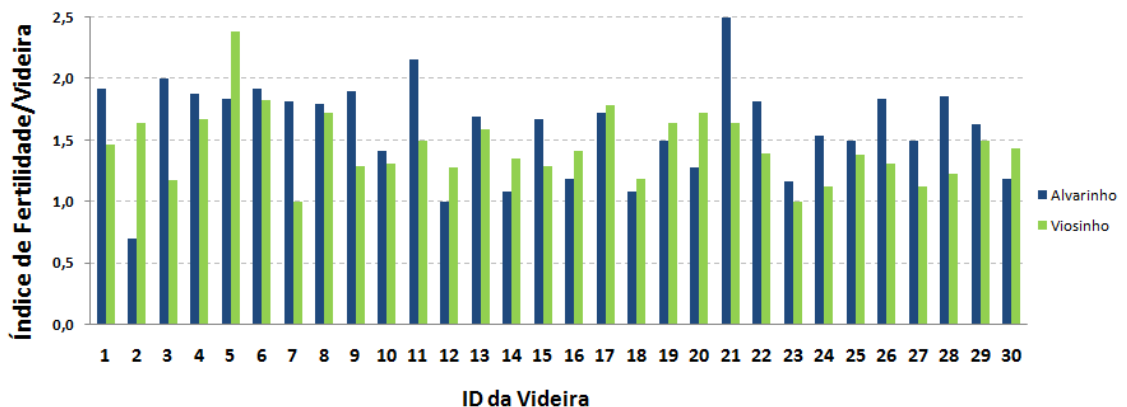


Figura 24 – Índice de fertilidade por videira para as castas Alvarinho e Viosinho.

4.1.4 Número de botões florais por inflorescência

O número de botões florais por inflorescência (Fig. 25) apresenta uma maior variabilidade que as componentes do rendimento referidas acima. Na casta Alvarinho obteve-se em média 210.2 ± 13.9 botões florais com um coeficiente de variação de 36.2%. Na casta Viosinho obteve-se em média de 347.5 ± 27.3 botões florais com um coeficiente de variação de 43.0%. Verifica-se que a casta Viosinho apresenta mais botões florais por inflorescência (aproximadamente mais 60%) do que a casta Alvarinho.

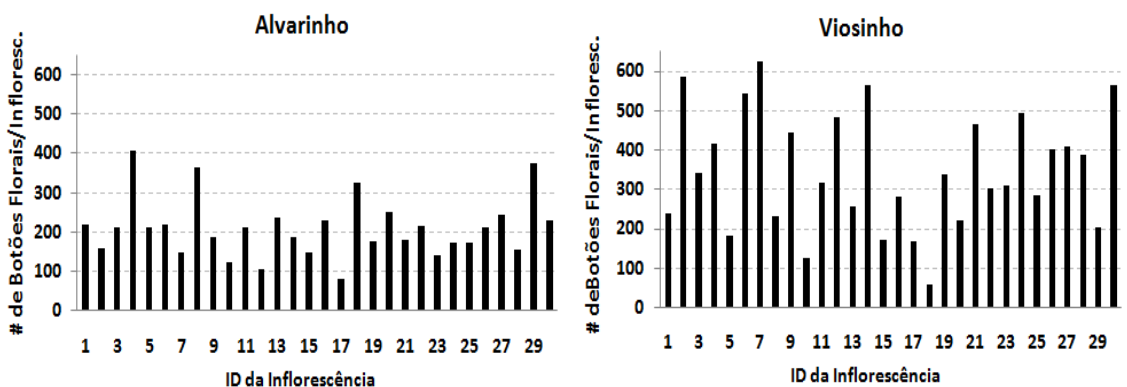


Figura 25 – Variabilidade do número de botões florais por inflorescência (# de Botões Florais/Infloresc.) na casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).

Relativamente ao índice de compacidade da inflorescência (número de botões florais /comprimento de inflorescência), na casta Alvarinho obteve-se uma média de 27.0 ± 1.7 botões florais por centímetro com um coeficiente de variação de 32.9%. Já na casta Viosinho obteve-se em média 33.8 ± 2.0 botões florais por centímetro com um coeficiente de variação de 31.9%.

4.1.5 Número de cachos

Relativamente ao número de cachos (Fig. 26), na casta Alvarinho obteve-se em média 17.5 ± 0.8 cachos com um coeficiente de variação de 26.2%, enquanto que na casta Viosinho se obteve em média 18.8 ± 0.7 cachos com um coeficiente de variação de 21.1%. Verificam-se assim valores similares nesta componente do rendimento entre as duas castas.

Na casta Alvarinho a videira 11 foi a que obteve maior número de cachos (28) enquanto que a videira 2 foi a que registou menor número de cachos (8). Na casta Viosinho a videira 5 foi a que obteve maior número de cachos (31) enquanto que a videira 18 foi a que registou menor número de cachos (12).

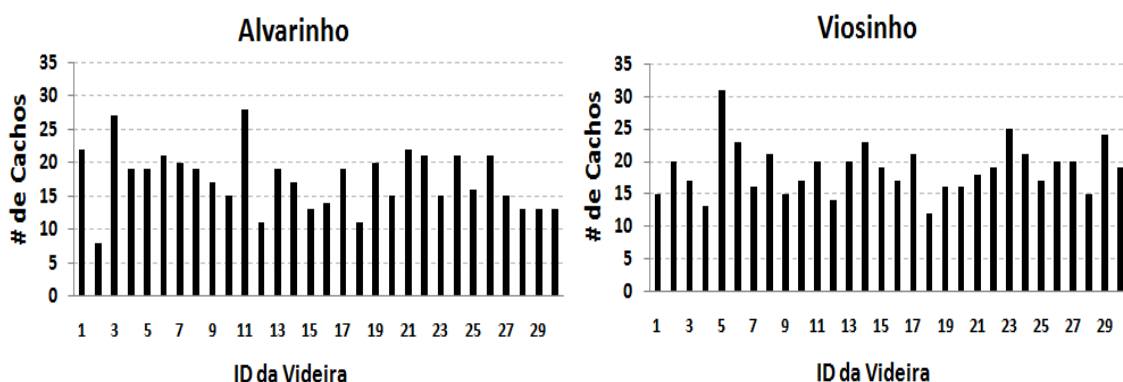


Figura 26 – Variabilidade do número de cachos observado em cada videira da casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).

4.1.6 Produção por videira

Relativamente à produção obtida por videira (Fig. 27), na casta Alvarinho obteve-se em média 2.4 ± 0.2 kg por videira com um coeficiente de variação de 39.7% enquanto que na casta Viosinho se obteve em média 4.7 ± 0.2 kg por videira com um coeficiente de variação de 28.9%. Verifica-se que na casta Viosinho se obtiveram valores de produção mais elevados (aproximadamente 51%) que na casta Alvarinho.

Na casta Alvarinho a videira 11 foi a que obteve maior produção (4.5 kg) enquanto que a videira 18 foi a que registou menor produção (0.7 kg). Na casta Viosinho a videira 5 foi a que obteve maior produção (8.2 kg) enquanto a videira 22 foi a que registou menor produção (2.4 kg).

Destaca-se o facto de, em ambas as castas, a videira mais produtiva ter sido a videira com maior número de cachos, ao contrário da videira menos produtiva que não foi a que obteve menos cachos.

A diferença na variação da produção por videira entre castas, em que a casta Alvarinho apresentou maior heterogeneidade, é corroborada por Böhm (2010) que refere que a casta Viosinho é mais uniforme que a casta Alvarinho na uniformidade da produção.

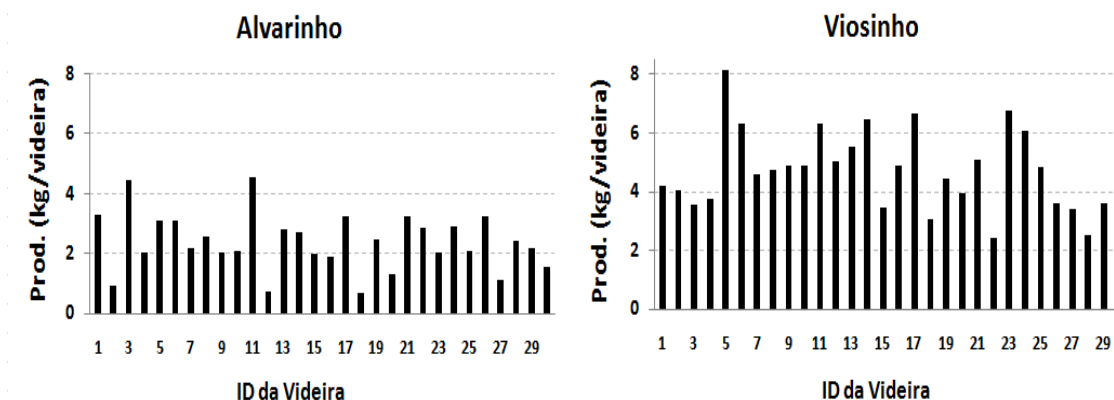


Figura 27 – Variabilidade da produção (Prod.) por videira da casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).

4.1.7 Peso médio por cacho

Na casta Alvarinho obteve-se um peso médio por cacho (Fig. 28) de 133.5 ± 5.6 g com um coeficiente de variação de 23.2%, sendo a videira 28 a que obteve maior peso médio por cacho (186.9 g) enquanto que a videira 18 foi a que registou menor peso médio por cacho (63.6 g). Já na casta Viosinho obteve-se um peso médio por cacho de 251.9 ± 10.4 g com um coeficiente de variação de 22.6%, sendo a videira 12 a que obteve maior peso médio por cacho (358.6 g) enquanto que a videira 22 foi a que registou menor peso médio por cacho (126.8 g).

Analisando os valores obtidos relativamente a esta componente do rendimento, observa-se que a casta Viosinho obteve em média cachos mais pesados (cerca de 53%) que a casta Alvarinho. Esta diferença de peso por cacho entre as duas castas não é corroborada por Böhm, (2010) que refere peso por cacho semelhantes entre ambas castas.

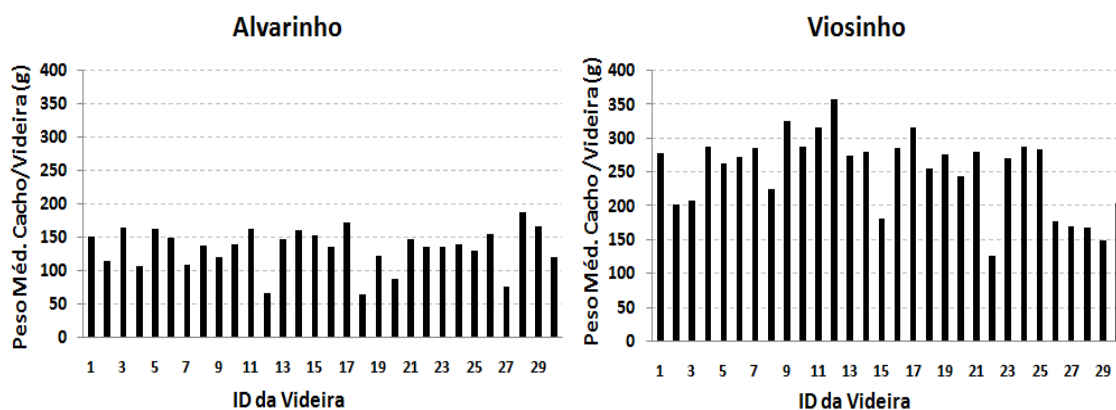


Figura 28 – Variabilidade do peso médio por cacho (Peso Méd. Cacho/Videira) observado em cada videira da casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).

A Tabela 2 apresenta um resumo dos valores referidos acima relativos ao rendimento e suas principais componentes

Tabela 2 – Resumo geral dos valores de produção das 30 videiras de cada casta.

Casta	Cachos (#/vid)	Produção (kg/vid)	Peso Médio Cacho (g/cacho)	Rendimento (t/ha)
<i>Alvarinho</i>	17.5 ± 0.8	2.4 ± 0.2	133.5 ± 5.6	9.6
<i>Viosinho</i>	18.8 ± 0.7	4.7 ± 0.2	251.9 ± 10.4	18.8

Legenda: Média ± erro padrão do número médio de cachos por videira (#/vid), da produção por videira, do peso médio por cacho e o rendimento estimado.

Em geral as duas castas apresentaram uma variabilidade espacial ao longo da linha da mesma ordem de grandeza (CV de 10 a 40%) excepto no número de olhos e de sarmentos por videira (CV < 10%). Estas duas variáveis registaram menor variabilidade uma vez que são variáveis muito dependentes da acção do homem, o que, conseqüentemente, reduz a sua variabilidade. Os valores de variabilidade observados são da mesma ordem de grandeza que os referidos por Clingeleffer (2001) que verificou um coeficiente de variação de 35% na produção por videira ao longo de uma linha de Cabernet Sauvignon com 13 anos, na Austrália. O mesmo autor refere que estes valores de variabilidade se devem habitualmente às diferenças de desenvolvimento das videiras devido às heterogeneidades da textura do solo que ao longo dos anos vão exercendo uma influência mais marcada. Estas diferenças são ainda intensificadas pelo efeito de competição entre plantas ou pelo efeito das operações culturais exercidas pelos viticultores. Assim, destacam-se os elevados valores de variabilidade espacial no número de inflorescências e no seu número de botões florais, no peso médio por cacho e, conseqüentemente, na produção por videira.

4.1.8 Modelos de previsão da produção por videira

Neste capítulo analisou-se a hipótese de aplicação da regressão linear múltipla passo-a-passo entre as principais componentes do rendimento e a produção por videira.

Analisando a matriz de correlação de *Pearson* baseada nas variáveis obtidas nas 30 videiras de cada uma das castas (Tab. 3), verifica-se que nas duas castas as variáveis que apresentam melhor correlação com a produção por videira são o número de inflorescências e o número de cachos. Na casta Alvarinho obtiveram-se, nestas duas variáveis, coeficientes de correlação mais elevados que na casta Viosinho.

Tabela 3 – Matriz de correlação de *Pearson* para as castas Alvarinho e Viosinho com destaque para a produção por videira.

	Casta=Alvarinho; n=30					Casta=Viosinho; n=30				
	cargapoda	#sar	#inflor	#cachos	prodvid	cargapoda	#sar	#inflor	#cachos	prodvid
cargapoda	1					1				
#sar	0,60	1				0,76	1			
#inflor	0,18	0,31	1			0,46	0,36	1		
#cachos	0,15	0,35	0,97	1		0,62	0,49	0,85	1	
prodvid	0,02	0,23	0,88	0,90	1	0,07	0,07	0,52	0,63	1

Legenda: correlações entre as variáveis produção por videira (prodvid), carga à poda (cargapoda), número de sarmentos (#sar), número de inflorescências (#inflor) e número de cachos (#cachos). A negrito estão as melhores correlações com a produção por videira

Com base na matriz de correlação foi desenvolvida uma regressão linear múltipla passo-a-passo (Tab. 4) entre a produção por videira e as variáveis referidas na Tabela 3. Na casta Alvarinho a primeira variável a entrar no modelo foi o número de cachos explicando uma grande parte da variabilidade da produção por videira ($R^2 = 0.80$). No segundo passo entrou a variável carga à poda que, apesar da sua significância (0.1390), teve uma reduzida contribuição na explicação da variabilidade da produção por videira (R^2 parcial = 0.02). O modelo final incluiu estas duas variáveis, explicando cerca de 82% da variabilidade da produção por videira (Eq. 5).

Na casta Viosinho a variável a entrar no primeiro passo do modelo foi o número de cachos à semelhança da casta Alvarinho, a qual explicou 40% da variabilidade da produção por videira. No segundo passo do modelo entrou a variável carga à poda, que contribuiu para explicar 16% da produção por videira ($R^2 = 0.16$). O modelo final incluiu estas duas variáveis e explicou cerca de 56% da variabilidade da produção por videira (Eq. 6).

As variáveis número de sarmentos e número de inflorescências não entraram em qualquer dos modelos por não atingirem o nível de significância ($P = 0.15$)

$$\text{Prod_Alv} = - 0.06911 - 0.07910\text{cargapoda} + 0.19098\#\text{cachos} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$\text{Prod_Vio} = 2.22503 - 0.25720\text{cargapoda} + 0.32473\#\text{cachos} \quad (\text{Eq. 6})$$

Ao se analisarem os modelos com mais pormenor verifica-se que na equação de cada casta o número de cachos é de facto o componente do rendimento que maior percentagem da variabilidade explica (cerca 80% na casta Alvarinho e cerca de 40% na casta Viosinho) (Eq. 5 e Eq. 6, respectivamente). De facto, já Clingeleffer (2001) menciona que este componente explica em média 60% da variabilidade do rendimento, valor corroborado por Nuske *et al.* (2011) e Martins (2011), evidenciando que o número de cachos é uma variável bastante robusta no que à capacidade de explicação da variabilidade da produção por videira diz respeito.

Tabela 4 – Sumário da regressão linear múltipla passo-a-passo para o modelo de previsão da produção por videira.

<i>Casta = Alvarinho; Var.dependente = prodvid; n=30; P = 0.15;</i>					
Passo	Var.selecionada	Nº de var.	QMRE	R ² modelo	Sig. F
1	#cachos	1	0.18	0.80	0.0000
2	cargapoda	2	0.17	0.82	0.1390
<i>Casta = Viosinho; Var.dependente = prodvid; n=30; P = 0.15;</i>					
Passo	Var.selecionada	Nº de var.	QMRE	R ² modelo	Sig. F
1	#cachos	1	1.17	0.40	0.0002
2	cargapoda	2	0.89	0.56	0.0045

Legenda: Variável dependente – produção por videira (prodvid); variáveis independentes – número de cachos (#cachos) e carga à poda (cargapoda); indicação do QMRE - quadrado médio residual, R² - coeficiente de determinação não ajustado e Sig. F- significância do teste F.

Com o objectivo de se avaliar a possibilidade de se realizarem estimativas de produção numa fase mais precoce do ciclo da cultura, testou-se a existência de outro modelo que permitisse uma estimativa da produção antes da floração (fase fenológica inflorescências visíveis). Para o efeito a variável número de cachos foi substituída pela variável número de inflorescências. Analisando a regressão linear múltipla passo-a-passo (Tab. 5), verifica-se que na casta Alvarinho a primeira variável a entrar no modelo foi o número de inflorescências, explicando uma grande parte da variabilidade da produção por videira (R² = 0.78). No segundo passo entrou a variável carga à poda que, apesar da sua significância (0.1077), teve uma reduzida contribuição na explicação da variabilidade da produção por videira (R² parcial = 0.02). O modelo final incluiu estas duas variáveis e explicou cerca de 80% da variabilidade da produção por videira (Eq. 7).

Na casta Viosinho a variável a entrar no primeiro e único passo do modelo foi o número de inflorescências, explicando parte da variabilidade da produção por videira ($R^2 = 0.27$). O modelo final incluiu apenas o número de inflorescências e explicou assim cerca de 27% da variabilidade da produção por videira (Eq. 8).

A variável número de sarmentos não entrou em qualquer dos modelos por não atingir o nível de significância ($P = 0.15$).

$$\text{Prod_Alv} = 0.33585 - 0.09262\text{cargapoda} + 0.16617\#\text{inflor} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$\text{Prod_Vio} = 1.23063 + 0.17023\#\text{inflor} \quad (\text{Eq. 8})$$

Verifica-se assim que o número de inflorescências também poderá ser uma componente a ter em conta para antecipar a previsão da produção, pela significativa percentagem de variabilidade que conseguiu explicar na casta Alvarinho, embora não tendo sido tão eficaz na casta Viosinho.

Tabela 5 – Sumário da regressão linear múltipla passo-a-passo para o modelo de previsão da produção por videira (inflorescências).

<i>Casta = Alvarinho; Var.dependente = prodvid; n=30; P = 0.15;</i>					
Passo	Var.selecionada	Nº de var.	QMRE	R ² modelo	Sig. F
1	#inflor	1	0.21	0.78	0.0000
2	cargapoda	2	0.20	0.80	0.1077
<i>Casta = Viosinho; Var.dependente = prodvid; n=30; P = 0.15;</i>					
Passo	Var.selecionada	Nº de var.	QMRE	R ² modelo	Sig. F
1	#inflor	1	1.41	0.27	0.0033

Legenda: Variável dependente – produção por videira (prodvid); variáveis independentes – número de inflorescências (#inflor) e carga à poda (cargapoda); indicação do QMRE – quadrado médio residual, R² – coeficiente de determinação não ajustado e Sig. F – significância do teste F.

Analisando os resultados da substituição da variável independente número de cachos pela variável número de inflorescências na casta Alvarinho (Eq. 5 vs Eq. 7), verifica-se que se perde cerca de 2% de explicação da variabilidade da produção por videira mas que se ganha na precocidade da estimativa que este modelo pode permitir comparativamente ao anterior. Com efeito, o número de inflorescências e a carga à poda explicaram quase 80% da variabilidade da produção por videira na casta Alvarinho, indicando uma elevada robustez. Na casta Viosinho a mesma substituição ditou a perda da variável carga à poda levando à criação de um modelo com menor capacidade explicativa da variabilidade da produção (27%).

Ao se analisarem os valores do quadrado médio residual (QMRE) dos modelos obtidos para a produção por videira, observa-se uma diferença entre castas. Tal diferença traduz-se num menor erro de estimativa da produção por videira no caso da casta Alvarinho, como se pode verificar pela Figura 29.

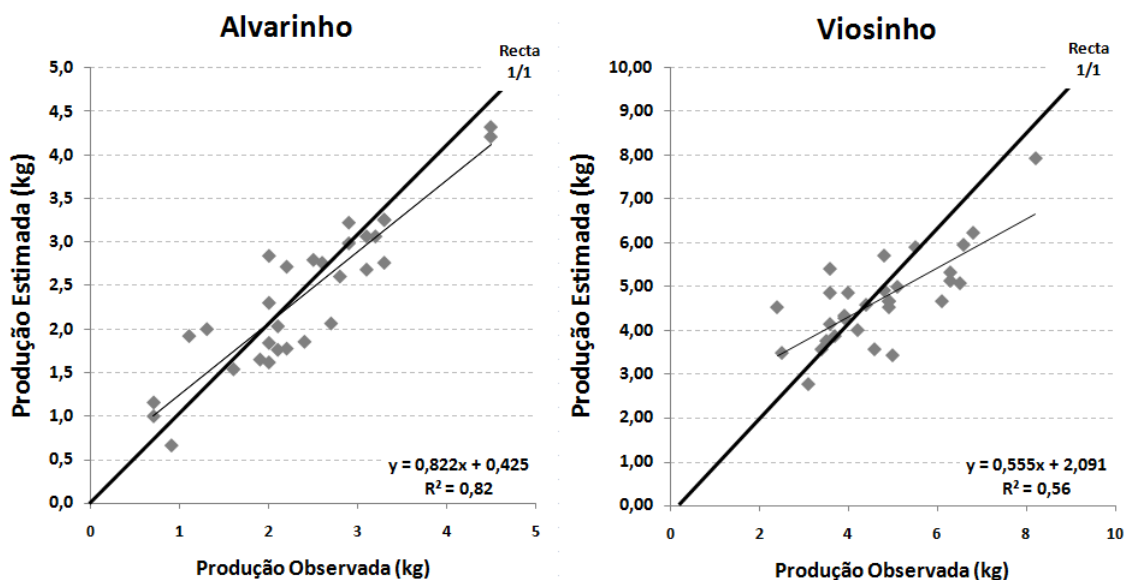


Figura 29 – Gráfico exemplificativo da diferença entre valores de produção observada e estimada por videira na casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta), com indicação da equação de regressão e recta 1/1.

Na casta Alvarinho há uma boa relação entre os valores observados e os estimados, além de um elevado e significativo coeficiente de determinação ($R^2 = 0.82$) e uma inclinação próxima da linha 1/1. Na casta Viosinho nem a relação entre valores observados e estimados nem o coeficiente de determinação ($R^2 = 0.56$) são tão bons quanto os da casta Alvarinho. Para além disso, a diferença de inclinações entre a recta de tendência da casta Viosinho e a linha 1/1 também indica o maior erro de previsão.

4.2 Variabilidade entre videiras - medições detalhadas

4.2.1 Número de bagos por cacho

Na casta Alvarinho obteve-se em média 92.4 ± 4.6 bagos por cacho com um coeficiente de variação de 42.8%, enquanto na casta Viosinho se obteve em média 97.1 ± 3.6 bagos por cacho, com um coeficiente de variação de 36.3%.

4.2.2 Volume por cacho

Relativamente ao volume por cacho (Fig. 30), na casta Alvarinho obteve-se um volume médio de 126.0 ± 6.4 ml com um coeficiente de variação de 44.3% enquanto que na casta Viosinho se obteve um volume médio por cacho de 160.6 ± 6.3 ml com um coeficiente de variação de 39.0%. Verifica-se que a casta Viosinho apresenta cachos com aproximadamente mais 25% de volume que a casta Alvarinho.

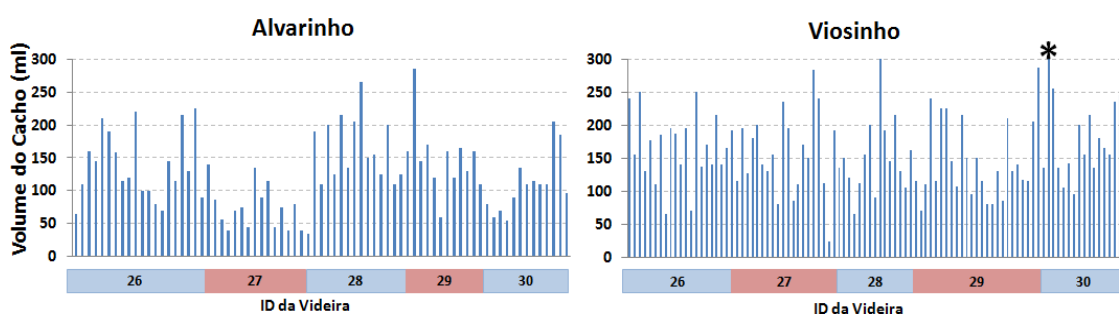


Figura 30 – Variabilidade do volume dos cachos das 5 videiras seleccionadas para medições detalhadas na casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).

4.2.3 Peso médio por bago

Quanto ao peso médio por bago (Fig. 31), na casta Alvarinho obteve-se um peso médio de 1.4 ± 0.0 g com um coeficiente de variação de cerca de 10.3%, enquanto que na casta Viosinho se obteve um peso médio por bago de 1.7 ± 0.0 g com um coeficiente de variação de 11.7%.

Estes valores de peso médio por bago são superiores aos referidos por Böhm (2010) que menciona um peso médio por bago entre 0.8 a 1.3 g na casta Alvarinho e cerca de 1.3 g na casta Viosinho. Assim é com naturalidade que também o peso médio por cacho tenha sido superior ao referido pelo mesmo autor, como mencionado no capítulo “4.1.7 Peso médio por cacho”.

¹ * *Outlier* verificado num dos cachos da videira 30 da casta Viosinho

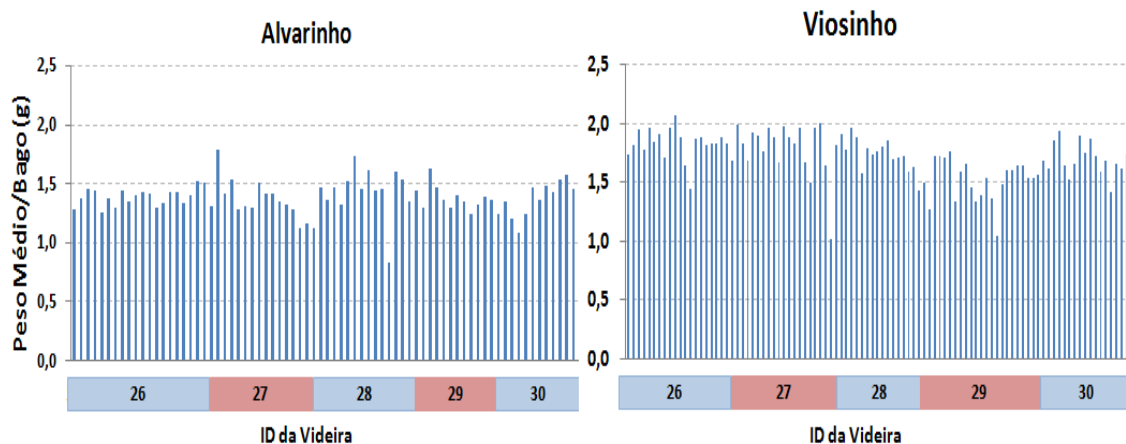


Figura 31 – Variabilidade do peso médio por bago (Peso Médio/Bago) em cada cacho das 5 videiras seleccionadas na casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta) para medições mais detalhadas.

4.2.4 Comprimento do ráquis

Relativamente ao comprimento do ráquis (Fig. 32), os cachos da casta Alvarinho obtiveram um comprimento médio de ráquis de 10.3 ± 0.2 cm com um coeficiente de variação de cerca de 16.3%, enquanto que os cachos da casta Viosinho obtiveram um comprimento médio de ráquis de 13.7 ± 0.2 cm com um coeficiente de variação de cerca de 12.2%.

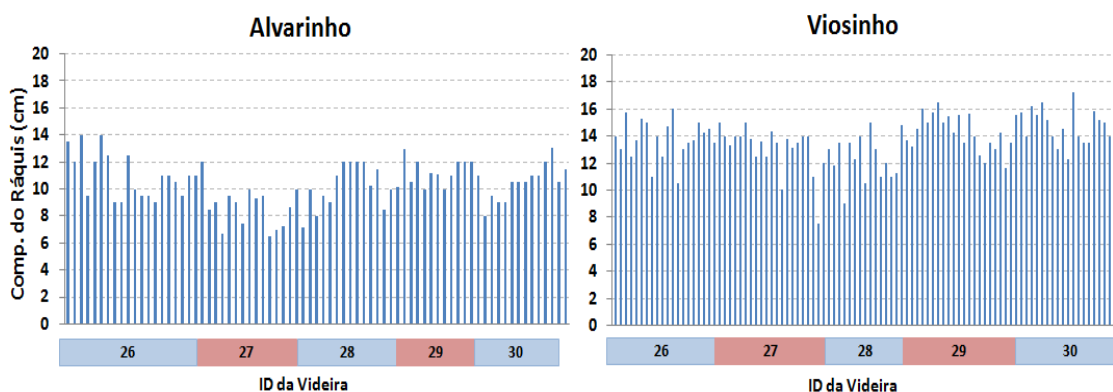


Figura 32 – Variabilidade do comprimento (Comp.) do ráquis em cada cacho das 5 videiras seleccionadas na casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta) para medições mais detalhadas.

4.2.5 Peso do ráquis

Quanto ao peso do ráquis (Fig. 33), os cachos da casta Alvarinho obtiveram em média um ráquis mais pesado que os da casta Viosinho. Com efeito, os cachos da casta Alvarinho obtiveram um ráquis com um peso médio de 8.5 ± 0.5 g com um coeficiente de variação de cerca de 51.3%, enquanto que os cachos da casta Viosinho obtiveram

um ráquis com um peso médio de 4.8 ± 0.2 g com um coeficiente de variação de cerca de 40.7%.

Verifica-se que os ráquis da casta Alvarinho são cerca de 56% mais pesados que os da casta Viosinho. Estes valores constituem uma surpresa visto que até agora os cachos da casta Viosinho tinham demonstrado ser mais pesados, mais volumosos e possuírem ráquis mais compridos (*vide* Tab. 2, Fig. 30 e Fig. 32, respectivamente).

Uma possível justificação para estes valores poderá residir no facto dos bagos da casta Alvarinho se deteriorarem mais depressa e como consequência dificultarem a sua remoção do ráquis deixando mais pedicelo agarrado a este, o que poderá ter contribuído para que os seus ráquis se tornassem mais pesados durante a sua pesagem, influenciando assim esta componente do rendimento.

As características do ráquis em si, nomeadamente a sua constituição e densidade, também poderão levar a que o ráquis da casta Alvarinho seja mais pesado que o da casta Viosinho. No entanto estes dados referem-se apenas a um ano de estudo o que significa que em anos seguintes esta situação poderá não se verificar.

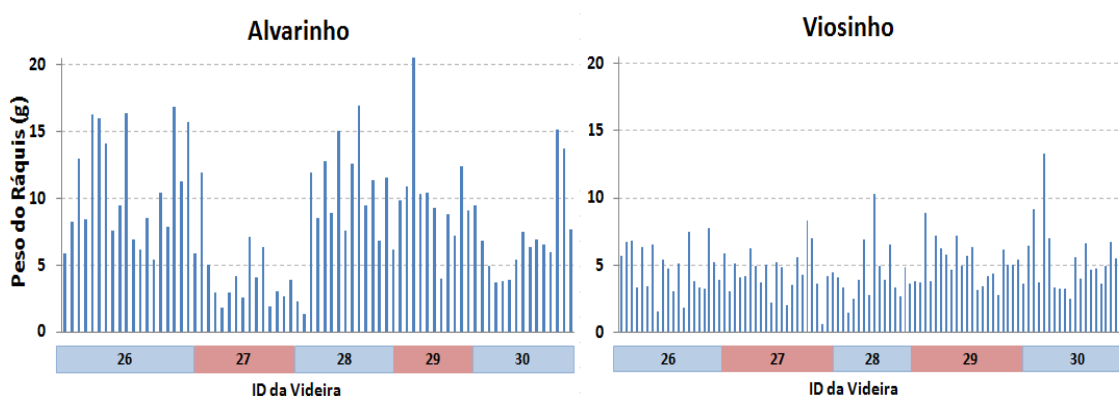


Figura 33 – Variabilidade do peso do ráquis em cada cacho das 5 videiras seleccionadas na casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta) para medições mais detalhadas.

4.2.6 Número de ramificações por ráquis

Relativamente ao número de ramificações (ou ramos) por ráquis (Fig. 34), na casta Alvarinho obteve-se uma média de 13.9 ± 0.3 ramificações por cacho com um coeficiente de variação de cerca de 19.7% enquanto que na casta Viosinho se obteve uma média de 15.7 ± 0.3 ramificações com um coeficiente de variação de 20.6%.

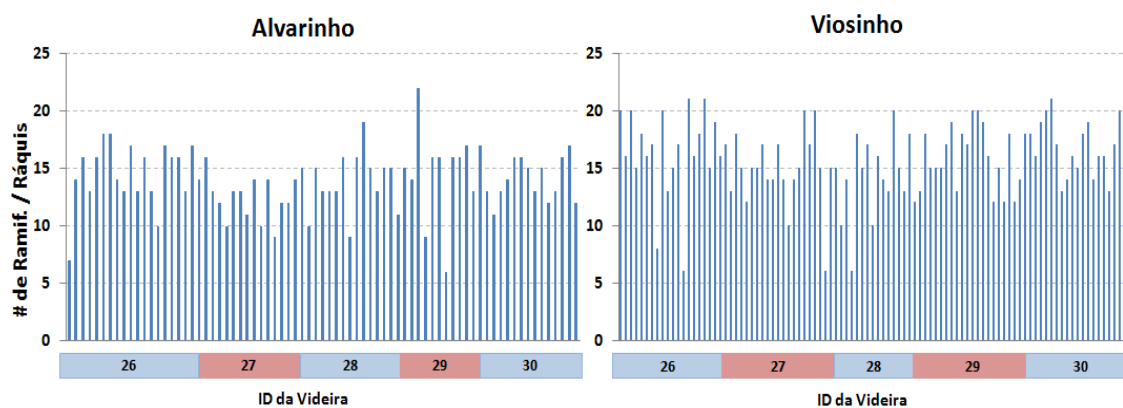


Figura 34 – Variabilidade do número de ramificações por ráquis (# de Ramif. / Ráquis) em cada cacho das 5 videiras seleccionadas na casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta) para medições mais detalhadas.

A Tabela 6 apresenta um resumo geral dos valores de produção destas videiras.

Tabela 6 – Resumo geral dos valores de produção de cinco videiras de cada casta.

<i>Casta</i>	<i>Cachos</i> (#/vid)	<i>Produção</i> (kg/vid)	<i>Peso Cacho</i> (g/cacho)	<i>Rendimento</i> (t/ha)
<i>Alvarinho</i>	15.0 ± 1.5	2.1 ± 0.4	140.4 ± 19.5	8.4
<i>Viosinho</i>	19.6 ± 1.4	3.4 ± 0.2	174.6 ± 8.8	13.6

Legenda: Média ± erro padrão do número médio de cachos por videira (#/vid), da produção por videira, do peso médio por cacho e o rendimento estimado.

Analisando a Tabela 6 verifica-se que as 5 videiras da casta Viosinho acompanharam a tendência verificada na Tabela 2, tendo estas videiras sido mais produtivas que as da casta Alvarinho.

Comparando o rendimento destas 5 videiras com o rendimento global das 30 videiras (vide Tab. 2), na casta Viosinho verifica-se uma significativa redução do peso médio por cacho, o que conseqüentemente levou a uma redução da produção por videira. Tais valores poderão estar relacionados com o facto destas 5 videiras terem sido alvo do mesmo processo de desfolhas (descrito na metodologia) no ano anterior (ano 1 do projecto Vinbot). Estas videiras ao perderem as folhas à vindima viram-se privadas das reservas presentes nas mesmas, não lhes sendo possível a mobilização dessas reservas para a sua estrutura permanente (lenha), como acontece antes da queda natural das folhas em pleno Outono. Esse défice de reservas terá influenciado a capacidade produtiva da planta, que nestas 5 videiras foi significativamente inferior à das restantes 25.

Ao se analisarem os parâmetros determinados pelas medições detalhadas observa-se uma variabilidade mais elevada entre as 5 videiras que ao longo das 30 videiras. Com efeito, além da magnitude da variação ter aumentado, vários componentes do rendimento registaram coeficientes de variação superiores a 40%, nomeadamente o volume dos cachos, o número de bagos por cacho e o peso do ráquis.

4.2.7 Modelo de previsão do peso por cacho

Neste capítulo analisou-se a hipótese de aplicação da regressão linear múltipla passo-a-passo entre o peso por cacho e as componentes do rendimento determinados nas medições detalhadas.

Analisando a matriz de correlação de *Pearson* elaborada para variáveis dos cachos de três videiras de ambas as castas (Tab. 7), verifica-se que nas duas castas as variáveis que apresentam melhor correlação com o peso por cacho são o peso do ráquis, o número de bagos, o peso dos bagos e o volume dos cachos.

Em ambas castas, o volume do cacho e o peso dos bagos foram as variáveis que apresentaram os maiores coeficientes de correlação com o peso por cacho.

Tabela 7 – Matriz de correlação de *Pearson* para as castas Alvarinho e Viosinho com destaque para o peso por cacho.

		Casta=Alvarinho; n=37								
		pcacho	praquis	#florvirt	#bagos	pbagos	volcacho	L	L0	#ramif
Casta=Alvarinho; n=37	pcacho	1								
	praquis	0,97	1							
	#florvirt	0,58	0,60	1						
	#bagos	0,97	0,96	0,65	1					
	pbagos	0,99	0,96	0,59	0,96	1				
	volcacho	0,99	0,96	0,57	0,97	0,99	1			
	L	0,30	0,30	-0,05	0,24	0,27	0,29	1		
	L0	0,61	0,60	0,59	0,62	0,58	0,61	0,53	1	
	#ramif	0,59	0,59	0,64	0,68	0,57	0,60	0,08	0,59	1
			Casta=Viosinho; n=57							
		pcacho	#florvirt	nbagos	pbagos	volcacho	L	L0	#ramif	praquis
Casta=Viosinho; n=57	pcacho	1								
	#florvirt	0,47	1							
	#bagos	0,98	0,54	1						
	pbagos	0,99	0,47	0,97	1					
	volcacho	0,99	0,47	0,97	0,99	1				
	L	0,45	0,53	0,50	0,44	0,45	1			
	L0	0,51	0,75	0,58	0,51	0,51	0,83	1		
	#ramif	0,46	0,61	0,52	0,46	0,46	0,61	0,69	1	
	praquis	0,90	0,62	0,91	0,89	0,90	0,53	0,61	0,49	1

Legenda: Correlações entre as variáveis peso por cacho (pcacho), peso do ráquis (praquis), número estimado de botões florais (#florvirt), número de bagos (#bagos), peso dos bagos (pbagos), volume do cacho (volcacho), comprimento total do ráquis (L), comprimento do ráquis desde a primeira ramificação (L0) e o número de ramificações (#ramif). A negrito estão as melhores correlações com o peso por cacho.

Com base na matriz de correlação foi desenvolvida uma regressão linear múltipla passo-a-passo (Tab. 8) entre o peso por cacho e as variáveis referidas na Tabela 7.

Analisando o sumário da regressão linear múltipla verifica-se que na casta Alvarinho a primeira variável a entrar no modelo foi o volume do cacho, explicando praticamente toda a variabilidade do peso por cacho ($R^2 = 0.99$). No segundo passo do modelo entrou a variável peso dos bagos que, apesar da sua significância (0.0097), teve uma contribuição muito reduzida na explicação da variabilidade do peso por cacho ($R^2_{parcial} < 0.01$). No terceiro passo do modelo entrou a variável peso do ráquis que também teve uma contribuição muito reduzida na explicação da variabilidade do peso por cacho ($R^2_{parcial} < 0.01$), apesar da sua significância (0.0534). O modelo final incluiu estas três variáveis e explicou cerca de 99% da variabilidade da produção por videira (Eq. 9). As variáveis número estimado de botões florais, número de bagos, comprimento total do ráquis, comprimento do ráquis desde a primeira ramificação e

número de ramificações não entraram no modelo por não atingirem o nível de significância ($P = 0.15$).

Na casta Viosinho a variável a entrar no primeiro passo do modelo foi o peso dos bagos a qual também explicou praticamente toda a variabilidade do peso por cacho ($R^2 = 0.99$).

No segundo, terceiro e quarto passo do modelo entraram respectivamente as variáveis peso do ráquis, comprimento total do ráquis e número estimado de botões florais que, apesar dos suas significâncias (0.0020, 0.0285, 0.0143 respectivamente), tiveram uma contribuição muito reduzida na explicação da variabilidade do peso por cacho (R^2 parcial < 0.01 para as três variáveis).

O modelo final incluiu quatro variáveis e explicou assim cerca de 99% da variabilidade do peso por cacho (Eq. 10).

As variáveis número de bagos, volume do cacho, comprimento do ráquis desde a primeira ramificação e número de ramificações não entraram no modelo por não atingirem o nível de significância ($P = 0.15$).

$$\text{Peso_Cacho_Alv} = - 1.29197 + 1.48220\text{praquis} + 0.18045\text{pbagos} + 0.84184\text{volcacho} \quad (\text{Eq. 9})$$

$$\text{Peso_Cacho_Vio} = - 3.46173 + 1.80067\text{praquis} - 0.00531\#\text{florvirt} + 1.00042\text{pbagos} + 0.50833\text{L} \quad (\text{Eq. 10})$$

Tabela 8 – Sumário da regressão linear múltipla passo-a-passo para o modelo de previsão do peso do cacho.

<i>Casta = Alvarinho; Var.dependente = pcacho; n=37; P = 0.15;</i>					
Passo	Var.selecionada	Nº de var.	QMRE	R ² modelo	Sig. F
1	volcacho	1	25.58	0.99	0.0000
2	pbagos	2	21.56	0.99	0.0097
3	praquis	3	19.81	0.99	0.0534
<i>Casta = Viosinho; Var.dependente = pcacho; n= 57; P = 0.15;</i>					
Passo	Var.selecionada	Nº de var.	QMRE	R ² modelo	Sig. F
1	pbagos	1	4.19	0.99	0.0000
2	praquis	2	3.56	0.99	0.0020
3	L	3	3.30	0.99	0.0285
4	#florvirt	4	2.99	0.99	0.0143

Legenda: Variável dependente – peso por cacho (pcacho); variáveis independentes – peso dos bagos (pbagos), número estimado de botões florais (#florvirt), comprimento total do ráquis (L) e peso do ráquis (praquis); indicação do QMRE – quadrado médio residual, R² – coeficiente de determinação não ajustado e Sig. F – significância do teste F.

As variáveis volume do cacho e peso dos bagos explicaram cerca de 99% da variabilidade do peso por cacho nas castas Alvarinho e Viosinho (respectivamente). Além destas variáveis, qualquer uma das outras com uma relação próxima com o peso do cacho (peso do ráquis por exemplo) deverá explicar grande parte da variabilidade do peso por cacho e como tal tornar-se uma variável robusta para predição desta componente do rendimento.

Destaca-se a variável número de bagos que embora tenha apresentado um elevado coeficiente de correlação com o peso por cacho não entrou em qualquer dos modelos (eventualmente pela ocorrência de colinearidade). No entanto acredita-se que será das variáveis com maior potencial para a estimativa automática de rendimento uma vez que alguns dos projectos de viticultura de precisão, nomeadamente o de Nuske *et al.* (2011), incidem na detecção e contagem de bagos para elaboração das previsões de rendimento.

4.2.8 Modelo de previsão do número de bagos

Neste capítulo analisou-se a hipótese de aplicação da regressão linear múltipla passo-a-passo entre o número de bagos e as componentes do rendimento determinadas nas medições detalhadas.

Analisando a matriz de correlação de *Pearson* elaborada para variáveis dos cachos de três videiras de ambas as castas (Tab. 9) verificam-se que em ambas as castas as variáveis que apresentam melhores correlações com o número de bagos são o peso do cacho, o peso do ráquis, o peso dos bagos e o volume do cacho. Em ambas as castas o maior coeficiente de correlação relativamente ao número de bagos foi apresentado pela variável peso do cacho. Destaca-se o facto de na casta Alvarinho, o número estimado de botões florais, o comprimento do ráquis desde a primeira ramificação e o número de ramificações, apresentaram um coeficiente de correlação entre os 0.62 e os 0.67.

Tabela 9 – Matriz de correlação de *Pearson* para as castas Alvarinho e Viosinho com destaque para o número de bagos.

Casta=Alvarinho; n=37									
	pcacho	praquis	#florvirt	#bagos	pbagos	volcacho	L	L0	#ramif
pcacho	1								
praquis	0,97	1							
#florvirt	0,58	0,60	1						
#bagos	0,97	0,96	<u>0,65</u>	1					
pbagos	0,99	0,96	0,59	0,96	1				
volcacho	0,99	0,96	0,57	0,97	0,99	1			
L	0,30	0,30	-0,05	0,24	0,27	0,29	1		
L0	0,61	0,60	0,59	<u>0,62</u>	0,58	0,61	0,53	1	
#ramif	0,59	0,59	0,64	<u>0,68</u>	0,57	0,60	0,08	0,59	1

Casta=Viosinho; n=57									
	pcacho	#florvirt	#bagos	pbagos	volcacho	L	L0	#ramif	praquis
pcacho	1								
#florvirt	0,47	1							
#bagos	0,98	0,54	1						
pbagos	0,99	0,47	0,97	1					
volcacho	0,99	0,47	0,97	0,99	1				
L	0,45	0,53	0,50	0,44	0,45	1			
L0	0,51	0,75	0,58	0,51	0,51	0,83	1		
#ramif	0,46	0,61	0,52	0,46	0,46	0,61	0,69	1	
praquis	0,90	0,62	0,91	0,89	0,90	0,53	0,61	0,49	1

Legenda: Correlações entre as variáveis peso por cacho (pcacho), peso do ráquis (praquis), número estimado de botões florais (#florvirt), número de bagos (#bagos), peso dos bagos (pbagos), peso dos bagos (pbagos), volume do cacho (volcacho), comprimento total do ráquis (L), comprimento do ráquis desde a primeira ramificação (L0) e o número de ramificações (#ramif). A negrito estão as melhores correlações com o número de bagos.

Com base na matriz de correlação foi desenvolvida uma regressão linear múltipla passo-a-passo (Tab. 10) entre o número de bagos e as variáveis referidas na Tabela 9.

Analisando o sumário da regressão linear múltipla verifica-se que na casta Alvarinho a primeira variável a entrar no modelo foi o peso por cacho, explicando uma grande parte da variabilidade do número de bagos ($R^2 = 0.95$). No segundo e terceiro passos do modelo entraram respectivamente as variáveis número de ramificações e peso do ráquis que, apesar das suas significâncias (0.0003 e 0.0117), tiveram uma contribuição muito reduzida na explicação da variabilidade do peso por cacho (R^2 parcial = 0.01 para ambas variáveis). O modelo final incluiu estas três variáveis e explicou cerca de 97% da variabilidade do número de bagos (Eq. 11). As variáveis número estimado de botões florais, peso dos bagos, volume do cacho, comprimento

total do ráquis e comprimento do ráquis desde a primeira ramificação não entraram no modelo por não atingirem o nível de significância ($P = 0.15$).

Na casta Viosinho a variável a entrar no primeiro do modelo foi o peso do cacho, a qual também explicou uma grande parte da variabilidade do número de bagos ($R^2=0.95$).

No segundo e terceiro passos do modelo entraram respectivamente as variáveis comprimento do ráquis desde a primeira ramificação e número estimado de botões florais que, apesar dos suas significâncias (0.0012, 0.1377 respectivamente), tiveram uma contribuição muito reduzida na explicação da variabilidade do peso por cacho (R^2 parcial = 0.01 e R^2 parcial < 0.01, respectivamente). O modelo final incluiu estas três variáveis e explicou assim cerca de 96% da variabilidade do número de bagos (Eq. 12).

As variáveis peso do ráquis, volume do cacho, comprimento do ráquis e número de ramificações não entraram no modelo por não atingirem o nível de significância ($P = 0.15$).

$$\#Bagos_Alv = - 8.73383 + 0.35319pcacho + 3.06554praquis + 1.97913\#ramif \quad (\text{Eq. 11})$$

$$\#Bagos_Vio = 0.17833 + 0.47536pcacho + 0.01547\#florvirt + 1.08318L0 \quad (\text{Eq. 12})$$

Tabela 10 – Sumário da regressão linear múltipla passo-a-passo para o modelo de previsão do número de bagos.

<i>Casta = Alvarinho; Var.dependente = #bagos; n=37; P = 0.15;</i>					
Passo	Var.selecionada	Nº de var.	QMRE	R ² modelo	Sig. F
1	pcacho	1	73.80	0.95	0.0000
2	#ramif	2	51.02	0.96	0.0003
3	praquis	3	43.23	0.97	0.0117
<i>Casta = Viosinho; Var.dependente = #bagos; n= 57; P = 0.15;</i>					
Passo	Var.selecionada	Nº de var.	QMRE	R ² modelo	Sig. F
1	pcacho	1	72.76	0.95	0.0000
2	L0	2	60.63	0.96	0.0012
3	#florvirt	3	59.21	0.96	0.1377

Legenda: Variável dependente (número de bagos (#bagos); variáveis independentes (peso do cacho (pcacho), número de ramificações (#ramif), peso do ráquis (praquis), comprimento do ráquis desde a primeira ramificação (L0) e número estimado de botões florais (#florvirt); indicação do QMRE – quadrado médio residual, R² –coeficiente de determinação não ajustado e Sig. F – significância do teste F.

Tendo em conta que o bago é a componente dominante no peso do cacho é com naturalidade que se verifica que de facto foi a variável peso do cacho que explicou a maior parte da variabilidade do número de bagos em ambas as castas. Desta forma reforça-se a possibilidade de utilização da variável número de bagos para prever o peso do cacho e, conseqüentemente, prever o rendimento, como foi referido no anterior capítulo sobre o modelo de previsão do peso do cacho em que se fez referência ao estudo de Nuske *et al.* (2011) que utiliza esta premissa.

Destaca-se ainda o facto da variável volume do cacho apresentar elevados coeficientes de correlação com as variáveis peso do cacho e número de bagos. Apesar do volume do cacho não ser uma componente do rendimento fácil de atingir por parte do viticultor antes da vindima, poderá ser útil nos métodos automáticos de previsão de rendimento, nomeadamente no projecto Vinbot. Esta componente poderá ser estimada após análise de imagem através de relações entre a área que o cacho ocupa na imagem e o seu volume real, podendo originar um preditor do rendimento a ter em conta.

4.3 Análise preliminar de imagens de componentes do rendimento

Com o objectivo de se fazer uma análise exploratória em termos da possibilidade de utilização da análise de imagem para estimativa das componentes do rendimento, fizeram-se alguns testes de contagens de botões florais e bagos através de imagem. Relacionou-se ainda o número de bagos contados na imagem com o peso do cacho.

4.3.1 Número real de botões florais versus número de botões florais contados na imagem

Com vista a testar a metodologia utilizada por Diago *et al.* (2013) (explicada no capítulo 3.4.1 Medições gerais) apresenta-se a relação entre o número real de botões florais e o número de botões florais contados na imagem para ambas castas (Fig. 35).

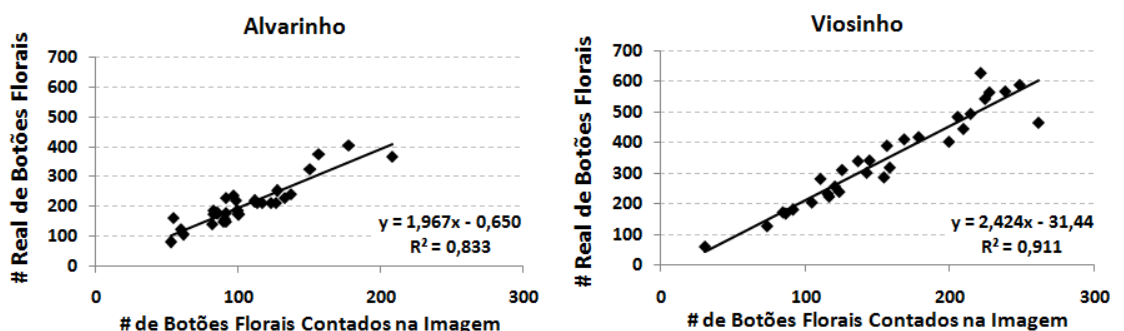


Figura 35 – Relação entre o número real de botões florais (# real de botões florais) existentes na inflorescência e o número de botões florais (# de botões florais) contados na imagem, com respectiva equação de regressão e coeficiente de determinação, para as castas Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).

Verifica-se que apesar de ambas castas apresentarem um elevado e significativo coeficiente de determinação (R^2), na casta Viosinho obteve-se maior R^2 que o valor apresentado pela casta Alvarinho (0.91 contra 0.83 respectivamente). Em média só se contaram na imagem uma fracção ($\leq 50\%$) dos botões florais existentes pelo facto de na imagem só se ter um plano da inflorescência, não sendo possível contar os botões florais oclusos pelos botões florais em primeiro plano, levando a um declive das rectas de cerca de 2 na casta Alvarinho e de cerca de 2.5 na casta Viosinho.

Estes modelos permitem uma boa estimativa do número de botões florais. Assim, com base nas equações de regressão obtidas, obteve-se uma estimativa do número real de botões florais de todas as inflorescências de três videiras de cada casta (Fig. 36).

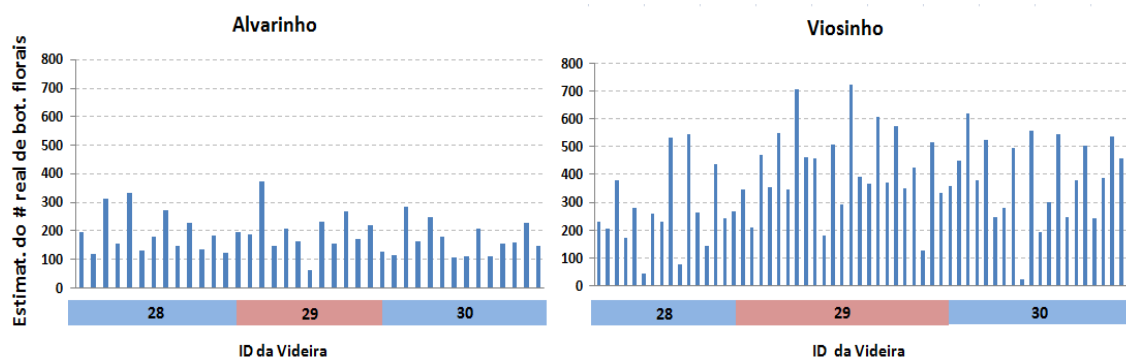


Figura 36 – Estimativas (Estimat.) do número real de botões florais (# real de botões florais) existentes nas inflorescências de três videiras das linhas eleitas das castas Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).

Verifica-se que o número de botões florais estimado apresenta uma grande variação dentro de cada videira em qualquer das castas. Na casta Alvarinho obteve-se em média 186.3 ± 10.8 botões florais por inflorescência com um coeficiente de variação de 36.2%, enquanto que na casta Viosinho se obteve em média 372.6 ± 20.6 botões florais por inflorescência com um coeficiente de variação de 42.8%. Estes valores indicam que na casta Viosinho se obteve cerca do dobro dos botões florais relativamente à casta Alvarinho.

Após a elaboração da estimativa do número de botões florais de cada inflorescência e de se saber o número real de bagos de cada cacho, calculou-se a taxa de vingamento. Na casta Alvarinho obteve-se uma taxa de vingamento média de 58.2 ± 2.5 % enquanto que na casta Viosinho se obteve pouco mais de metade, com uma média de 30.7 ± 1.8 %.

A menor taxa de vingamento da casta Viosinho levou a que ambas as castas ficassem com aproximadamente o mesmo número de bagos por cacho, uma vez que as três videiras da casta Alvarinho obtiveram em média 102.6 ± 5.9 bagos por cacho enquanto que as três videiras da casta Viosinho obtiveram em média 100.9 ± 5.1 bagos por cacho.

A menor capacidade produtiva das três videiras da casta Viosinho (uma vez que fazem parte das cinco videiras eleitas para medições mais detalhadas) poderão ter influenciado estes resultados e levado a um menor número de bagos por cacho.

4.3.2 Número real de bagos versus número de bagos contados na imagem

Na casta Alvarinho contaram-se em média cerca de 25.2 ± 0.9 bagos por cacho com um coeficiente de variação de 29.4% enquanto que na casta Alvarinho se contaram em média 46.1 ± 1.4 bagos por cacho com um coeficiente de variação de 29.9%. A relação entre o número real de bagos e o número de bagos contados na imagem (Fig. 37) revela coeficientes de determinação elevados e significativos em ambas as castas, com destaque para a casta Viosinho com cerca de 0.91, contra os cerca de 0.70 da casta Alvarinho. Estes modelos permitem antever com optimismo a possibilidade de se estimar o número de bagos com elevada robustez, utilizando análise de imagem.

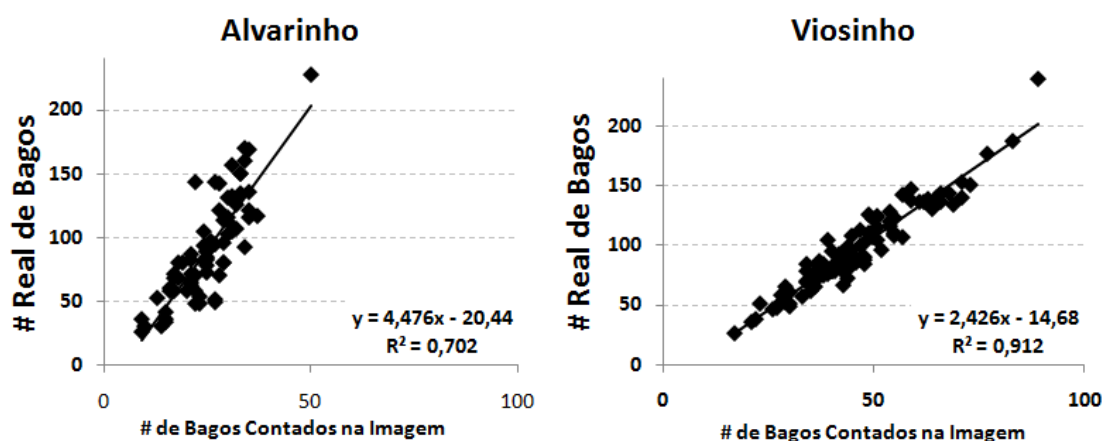


Figura 37 – Relação entre o número real de bagos (# real de bagos) e o número de bagos contados na imagem (# de bagos contados na imagem) com respectiva equação de regressão e coeficiente de determinação, para a casta Alvarinho (esq) e Viosinho (dta).

À semelhança do que ocorreu na contagem das inflorescências em imagem, também na contagem dos bagos apenas uma fracção (< 50%) dos bagos realmente existentes foram contados pelo facto de só se ter um plano do cacho não sendo possível contar os bagos oclusos pelos bagos em primeiro plano. Assim, só se contabilizaram os bagos perfeitamente identificáveis.

Com o objectivo de se avaliar a possibilidade de se estimar o peso do cacho com base no número de bagos contados na imagem (Fig. 38), relacionaram-se as duas variáveis.

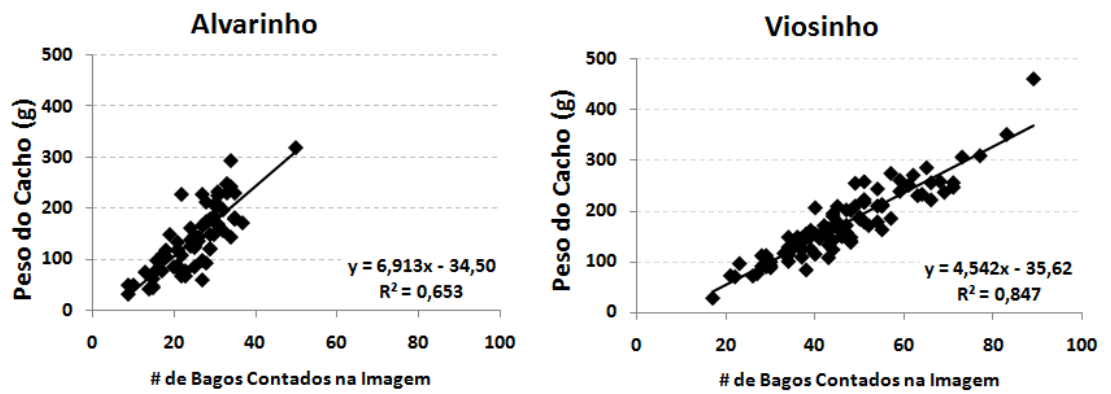


Figura 38 – Relação entre o peso do cacho e o número de bagos contados na imagem com respectiva equação de regressão e coeficiente de determinação para as castas Alvarinho (esq) e Viosinho (da).

Observando-se a figura 38 verificam-se novamente coeficientes de correlação elevados em ambas castas (com destaque para a casta Viosinho), Os testes de análise de imagem realizados neste capítulo, principalmente os que relacionam o número real de botões florais e de bagos e os seus números contados na imagem, ajudam a perceber que um dos desafios deste projecto é o facto de cada casta ter diferentes características, nomeadamente a nível da densidade da sebe, morfologia do cacho, entre outros.

A casta Viosinho revelou coeficientes de correlação mais elevados nestes testes de análise de imagem, o que indica que esta casta tem cachos maiores e por isso mais facilmente identificáveis ou cachos mais expostos ou eventualmente uma sebe menos densa, entre outras diferenças. A ocorrência de carências nutritivas e/ou o estado hídrica das videiras também poderá influenciar a visualização dos seus órgãos vegetativos e desta forma influir nesta complexa equação.

Os testes efectuados e os seus resultados obtidos permitem antever com optimismo a possibilidade de utilização da análise de imagem para estimativa automática do rendimento e das suas componentes. A prova de que esta realidade estará mais perto do que parece é-nos trazida por Diago *et al.* (2014) que elaboraram um estudo onde, através de imagens dos cachos recolhidas manualmente, conseguiram obter um modelo com uma boa capacidade preditiva do número e peso dos bagos e o peso do cacho. Os mesmos autores referem ainda a robustez do modelo obtido mesmo em castas com cachos com diferentes características morfológicas, o qual já foi apontado como um dos grandes desafios a este projecto e a esta nova forma de prever o rendimento.

5. Conclusões

Em geral as duas castas apresentaram uma variabilidade espacial ao longo da linha da mesma ordem de grandeza (C.V. de 10 a 40%) excepto no número de olhos e de sarmentos por videira (CV < 10%). Dentro das componentes do rendimento as variáveis com maior variabilidade foram o número de inflorescências, o número de botões florais e o número de cachos, enquanto que as variáveis com menor variabilidade foram o número de olhos e de sarmentos por videira e o peso médio por cacho. Destaca-se a variabilidade do número de cachos que foi maior na casta Alvarinho (CV = 26.2%) do que na casta Viosinho (CV = 21.1%). Com efeito já no número de inflorescências a casta Alvarinho revelou maior variabilidade (CV = 30.7%) do que a casta Viosinho (CV = 21.5%).

A casta Alvarinho revelou-se mais fértil que a casta Viosinho a qual por sua vez se mostrou mais produtiva, uma vez que obteve cerca do dobro da produção por videira e, conseqüentemente, o dobro do rendimento.

Relativamente às medições detalhadas, a variabilidade espacial entre videiras situou-se entre os 10% e os 50%. Dentro das componentes do rendimento as variáveis com maior variabilidade foram o volume do cacho, o número de bagos por cacho e o peso do ráquis, enquanto que a variável com menor variabilidade foi o peso por bago.

Analisando as relações entre variáveis, observou-se um padrão similar nas duas castas. Assim verificou-se que as variáveis mais bem correlacionadas com a produção por videira foram o número de inflorescências e o número de cachos, enquanto que as variáveis menos correlacionadas foram a carga à poda e o número de sarmentos. Quanto à correlação com o peso do cacho, as variáveis volume do cacho, peso dos bagos, número de bagos e peso do ráquis foram as variáveis que apresentaram coeficientes de correlação mais elevados, enquanto que as variáveis comprimento do ráquis e número de ramificações foram as que apresentaram os coeficientes de correlação mais baixos. Relativamente ao número de bagos, as variáveis mais bem correlacionadas foram o peso do cacho, o volume do cacho, peso dos bagos e peso do ráquis, enquanto a variável menos bem correlacionada foi o comprimento do ráquis.

No que se refere aos modelos matemáticos obtidos verificou-se em ambas castas que o número de cachos foi a variável que explicou maior percentagem da variabilidade da produção por videira ($R^2 = 82\%$ e 40% para Alvarinho e Viosinho, respectivamente). No entanto o número de inflorescências permitiu explicar cerca de 78% da variabilidade da produção por videira na casta Alvarinho, o que possibilita a realização

de estimativas mais precoces comparativamente à utilização do modelo com o número de cachos.

No modelo de previsão do peso por cacho, o volume dos cachos (Alvarinho) e o peso dos bagos (Viosinho) explicaram praticamente toda a variabilidade do peso por cacho ($R^2 = 99\%$)

O peso do cacho foi, em ambas castas, a variável que explicou maior percentagem da variabilidade do número de bagos ($R^2 = 95\%$).

Apesar do modelo de previsão do peso do cacho ter excluído a variável número de bagos, esta tendo em conta o seu elevado coeficiente de correlação poderá ser útil via análise de imagem para relacionar com o peso por cacho, visto existirem estudos que o comprovam e dada a sua elevada correlação com o peso por cacho. O facto de 95% da variabilidade desta variável ter sido explicada pelo peso do cacho, confere robustez a esta ideia.

A variável volume dos cachos também se revelou uma variável a considerar pois apresentou elevados coeficientes de correlação com o peso por cacho e o número de bagos. Se forem desenvolvidos algoritmos que façam a relação entre a área dos cachos observados pelos dispositivos de recolha de imagem e os seus volumes, poderá ser feita uma estimativa de produção com base neste parâmetro.

Relativamente aos testes de análise de imagem, com uma simples metodologia e um programa básico de edição de imagem obtiveram-se boas estimativas do número de botões florais, verificou-se a existência de uma boa correlação entre o número real de bagos e o número de bagos contados na imagem e verificou-se ser possível estimar o peso do cacho com base no número de bagos contados na imagem. Assim, o desenvolvimento de algoritmos de análise de imagem em curso com *software* mais poderoso por parte de outros parceiros deste projecto, irão permitir estimativas ainda mais precisas e robustas, sendo de esperar sucesso deste projecto e uma revolução na forma de prever o rendimento, o que se espera que se traduza num incremento na eficiência no sector vitivinícola.

6. Referências Bibliográficas

Agrotec (2015). UTAD desenvolve Robots para ajudar Agricultores do Douro. *Agrotec Website*. Acedido em Julho 24, 2015 em <http://www.agrotec.pt/noticias/utad-desenvolve-robots-para-ajudar-agricultores-do-douro/>;

Alcalá, T. (2015). Una app para smartphones permite predecir el volumen de la cosecha de uva. Acedido em Agosto 2, 2015 em <http://www.cope.es/detalle/app-vitis-flower-.html>;

Allan, W. (2003). Winegrape Assessment in the Vineyard and at the Winery. Acedido em Abril 14, 2015 em <http://wgga.com.au/wp-content/uploads/Winegrape-Assessment-Report-2003.pdf>;

Blom, P.E. e Tarara, J.M. (2009). Trellis Tension Monitoring Improves Yield Estimation in Vineyards. *HortScience*, 44 (3), 678–685.

Böhm, J. (2010). *O Grande Livro das Castas*. Chaves. Chaves Ferreira Publicações.

Bramley, R.G.V., Ouzman, J. e Boss, P.K. (2011). Variation in vine vigour, grape yield and vineyard soils and topography as indicators of variation in the chemical composition of grapes, wine and wine sensory attributes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 17(2), 217–229. doi:10.1111/j.1755-0238.2011.00136.x

Cardoso, J.V.J.C. (1965). *Os solos de Portugal: sua classificação, caracterização e génese*. Secretaria de estado da agricultura. Direcção-Geral dos Serviços Agrícolas.

Clingeffer, P. (2001). Crop Development, Crop Estimation and Crop Control to Secure Quality and Production of Major Wine Grape Varieties: A National Approach. *Final report to Grape and Wine Research & Development Corporation*, (September).

Cunha, M., Costa, P., Abreu, I., Pinto, P. e Castro, R. (1999). Estimativa precoce da produção de vinho pelo método aeropolínico. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 14 (2), 45-54;

Diago, M.P., Correa, C., Millán, B., Bareiro, P., Valero, C. e Tardaguila, J. (2013). Grapevine Yield and Leaf Area Estimation Using Supervised Classification Methodology on RGB Images Taken under Field Conditions. *Sensors*, 12(12), 16988-17006; doi:10.3390/s121216988;

Diago, M.P., Sanz-Garcia, A., Millán, B., Blasco, J. e Tardaguila, J. (2013). Assessment of flower number per inflorescence in grapevine by image analysis under field conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Publicado online em Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). doi: 10.1002/jsfa.6512;

Diago, M.P., Tardaguila, J., Aleixos, N., Millan, B., Prats-Montalban, J.M., Cubero, S. e Blasco, J. (2014). Assessment of cluster yield components by image analysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Publicado online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). doi: 10.1002/jsfa.6819;

Dokoozlian, N.K. (2000). Grape Berry Growth and Development. *Raisin Production Manual*. 30-37. Acedido em Março 13, 2015 em <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=rMoAET18u9YC&oi=fnd&pg=PA30&dq=Grape+Berry+Growth+and+Development&ots=0gLy8BKFN3&sig=JWpcM0ATvMOqmFvDBp2xSxI5DE>;

Dunn, M.G. e 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. doi:10.1111/j.1755-0238.2004.tb00022.x;

Dunn, M.G., 2010. Yield Forecasting. *GWRDC Innovators Network. Australian Government – Grape and Wine Research and Development Corporation*. Austrália.

Federici, J.F., Wample, R.L., Rodriguez, D. e Mukherjee, S. (2009). Application of terahertz Gouy phase shift from curved surfaces for estimation of crop yield. *Applied Optics*, 48 (7), 1382-1388;

Fuentes, S., Bei, R. B., Pozo, C. e Tyerman, S. (2012). Development of a smartphone application to characterise temporal and spatial canopy architecture and leaf area index for grapevines. *Wine & Viticulture Journal*, 27 (6). 56-60;

Gommes, R. (1998). Agrometeorological crop yield forecasting methods. *International Conference of Agricultural Statistics*, 11;

Grossetête, M., Berthoumieu, Y., e Costa, J. Da. (2012). Early estimation of vineyard yield: site specific counting of berries by using a smartphone. *Cigr.Ageng2012.Org*, 1–6. Acedido em Junho 3, 2015 em: <http://www.researchgate.net/publication/267943064>;

Hall, A., Lamb, D.W., Holzapfel, B. e Louis, J. (2002). Optical remote sensing applications in viticulture – a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8, 36–47. doi:10.1111/j.1755-0238.2002.tb00209.x;

Hor, Y.L., Federici, J.F., Wample, R. L. (2008). Nondestructive evaluation of cork enclosures using terahertz_millimeter wave spectroscopy and imaging. *Applied Optics*, 47(1).72-78. doi:10.1364/AO.47.000072;

Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), 2015. Monitorização da Seca - Índice PDSI – Evolução. IPMA Website. Acedido em Outubro 3, 2015 em <https://www.ipma.pt/pt/oclima/observatorio.secas/pdsi/monitorizacao/evolucao/>;

Jones, G. (2013). Uma Avaliação do Clima para a Região Demarcada do Douro: Uma análise das condições climáticas do passado, presente e futuro para a produção de vinho. *ADVID - Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense*.

Komm, B. e Moyer, M.M. (2015). Vineyard Yield Estimation. *Washington State University Extension*, 0-11. Acedido em Maio 5, 2015 em <http://clbarchive.wsu.edu/xmlui/bitstream/handle/2376/5265/EM086E.pdf?sequence=2&isAllowed=y>;

Lima, I.M.S.B.A. (2014) *Previsão de Produção da casta Touriga Franca na região do Douro com base nas Componentes de Rendimento*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa;

Lopes C.M.A. e Pinto P.A., 2005. Easy and accurate estimation of grapevine leaf area with simple mathematical models. *Vitis* 44(2), 55-61;

Lopes, A.J.O. (2009). *Previsão quantitativa de vindimas*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa;

MacMillan, I. e Fisher, K. (2005). Yield estimation – can we do it better? The Tintin McLaren Vale Shiraz experience. *The Australian & New Zealand Grape grower & Winemaker*, 500, 26-28;

Magalhães, N. (2008). *Tratado de Viticultura - A videira, a vinha e o Terroir* (Vol. 1). Lisboa. Chaves Ferreira - Publicações S.A;

Martins, A.L. (2011). *Seleção das castas de videira — uma história com raízes nas Regiões do Douro e dos Vinhos Verdes*. In: Barros, A., Mendes, A., Martins, A., Cardoso, A.B., Almeida, J.N.De., Dias, J., Pinheiro, M., Magalhães, N. e Castro, R. De,

Francisco Girão: Um inovador da vitivinicultura do Norte de Portugal. Vol 1, 79p.
Fundação Francisco Girão;

Martins, J.D.V.F. (2011). *Previsão da produção na casta Sauvignon Blanc com base nas componentes do rendimento*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa;

Nuske, S., Achar, S., Gupta, K., Narasimhan, S. e Singh, S. (2011). *Visual Yield Estimation in Vineyards: Experiments with Different Varietals and Calibration Procedures*. Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania;

Polling B., e Spayd, S. (2015). *Crop Prediction*. In: *The North Carolina Winegrape Grower's Guide*. North Carolina State University and North Carolina A&T State University;

Vinbot, 2015. *Powerful precision viticulture tool to break traditional yield estimation in vineyards*. Vinbot Website. Acedido em Março 23,2015 em <http://www.vinbot.eu>;

ROS, 2015. *Powering the world's robots*. Acedido em Março 24, 2015 em <http://www.ros.org/>;

Regulamento n.º 242/2010. CAPÍTULO II Denominação de origem Douro. *Diário da República, 2.ª série — N.º 51 — 15 de Março de 2010*;

Sánchez, L.A. e Dokoozlian, N.K. (2005). *Bud Microclimate and Fruitfulness in Vitis vinifera*. L. American Journal of Enology and Viticulture 56 (4), 319-329;

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 Agrónomo, Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa (actual Universidade de Lisboa);

Serrano, E., Roussel, S., Guizard, C., e Dias, F. (2008). *Sistema óptico de estimativa dos rendimentos à parcela*. Conferências da Tapada, Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa;

Shanmuganathan, S., Sallis, P. e Narayanan, A. (2010). *Modelling the seasonal climate effects ongrapevine yield at different spatial and unconventional temporal scales*. International Environmental Modeling and Software Society (iEMSs). International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting, Ottawa, Canada;

Smart, R.; Robinson, M.; 1991: Sunlight into the wine. *A Handbook for Winegrape Canopy Management*. Adelaide. Wine titles;

Suszkiw, J. (2006). Trellis-Tension Technology Fine-Tunes Grape-Yield Estimates. *Agricultural Research*.12-13;

Tarara, J.M., Ferguson, J.C., Blom, P.E., Pitts, M.J. e Pierce, F.J. (2004). Estimation of grapevine crop mass and yield via automated measurements of trellis tension. *American Society of Agricultural Engineers*, 47(2), 647–657;

Vine to winecircle: castas estudadas (2015). Winetowinecircle Website. Acedido em Outubro 8, 2015 em <http://www.vinetowinecircle.com/castas/castas-estudadas/>

Vinerobot (2015). Vinerobot Website. Acedido em Abril 4, 2015 em [http://www.vinerobot.eu](http://www.vinerobot.eu;);

Whalley, J. e Shanmuganathan, S. (2013). Applications of image processing in viticulture: A review. 20th International Congress on Modelling and Simulation, 1–6. Adelaide, Australia.