



Avaliação da Capacidade Produtiva da Pereira ‘Rocha’ no Sistema de Condução em “Duplo-eixo”

Daniel Ferreira Félix

Orientadores

António Maria dos Santos Ramos

João Paulo Rodrigues Abreu

Trabalho de Projeto Final apresentado à Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agronómica, realizada sob a orientação científica do Professor António Maria dos Santos Ramos, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Abril 2024

Agradecimentos

Por este meio, expresso um reconhecido agradecimento a todos aqueles que, das mais diversas formas, desde a transmissão de conhecimento à mão-de-obra, colaboraram para a concretização deste trabalho.

Quero expressar minha gratidão à Escola Superior Agrária de Castelo Branco, bem como a todos os docentes que contribuíram para a minha formação durante o Mestrado em Engenharia Agronómica, proporcionando-me novos conhecimentos e o desenvolvimento de novas competências.

Ao meu orientador externo, o Eng. João Abreu, um especial agradecimento, por todo o apoio dado ao longo do meu percurso académico, desde o meu primeiro estágio no CTeSP, na Licenciatura e agora no Mestrado, pela transmissão de ensinamentos práticos da Fruticultura e pelo contributo para uma visão abrangente e holística da Fruticultura praticada no nosso país. Agradecer ainda por ter sido facilitador, na comunicação com os produtores, que cederam os seus pomares.

Ao meu orientador interno, o Professor António Ramos, pelos seus ensinamentos, apoio e acompanhamento contínuo na elaboração deste trabalho, desde o acompanhamento no campo, na estruturação do trabalho e discussão dos resultados. Por ter escutado as minhas perspetivas e me ter direcionado o desafio deste trabalho.

Aos produtores, Sr. Mário Rodrigues, Luís Costa, Filipe Ribeiro e à gerência da Goldfruit, Lda., pela disponibilização dos pomares utilizados neste trabalho.

Um agradecimento ao COTHN-CC e à DRAPC, pela cedência dos dados das estações meteorológicas.

Um especial agradecimento ao Eng. Rui de Sousa e à Eng^a Carmo Martins, pela agilidade que me proporcionaram na conciliação do Trabalho com os Estudos, que me permitiu crescer como Técnico e como Pessoa.

Aos meus amigos e colegas, por todo o apoio, em especial ao meu amigo Bruno Fernandes, pela ajuda no campo, na colheita dos frutos.

Ao meu pai, mãe e irmão, pelo apoio, amor e carinho que me deram. Por me incentivarem a ser a pessoa que sou hoje.

Á minha namorada, que nesta última etapa me incentivou e apoiou.

Aos restantes familiares, pelo apoio, amparo e confiança que me transmitiram para que fosse possível concluir esta tão importante etapa na minha vida.

Resumo

Com o objetivo de estudar e avaliar a capacidade produtiva da pereira 'Rocha' no sistema de condução em duplo-eixo, foram acompanhados quatro pomares já instalados, um na região da Cova da Beira e os restantes três localizados na região Oeste, com diferentes idades e densidades de plantação. Para tal, foram marcadas 15 árvores por pomar e, em cada uma delas foram marcados 2 frutos, um por cada eixo, cujo diâmetro foi medido periodicamente. À colheita, os frutos foram contados e pesados por árvore por cada árvore individual. Após a colheita as árvores foram medidas em altura e largura máximas, também individualmente. A avaliação dos pomares foi efetuada através da obtenção das curvas e das taxas de crescimento do fruto (ao longo do período de desenvolvimento do fruto) e pela relação entre o peso médio do fruto e o número de frutos à colheita (expresso em relação à unidade de volume do espaço ocupado pela árvore; densidade de frutos, frutos/m³). A eficiência produtiva dos pomares foi expressa de duas formas: em relação à unidade de volume (kg/m³) e em relação à área (t/ha). A capacidade produtiva foi avaliada por comparação com os resultados estimados por ferramentas desenvolvidas em pomares de pera 'Rocha' conduzidos em eixo vertical. As diferenças no crescimento do fruto e nos ganhos de peso diário entre os Pomares 2 e 4 (região do Oeste, Alcobaça) e os Pomares 1 (região da Cova da Beira, Covilhã) e 3 (região do Oeste, Cadaval) foram consistentes com os resultados do desempenho da árvore (relação entre o peso médio do fruto e a densidade de frutos) e da eficiência produtiva. Essa diferença terá sido devida a condições externas desfavoráveis, nomeadamente, temperaturas excessivas nas 2^a e 3^a semanas de julho e/ou tecnologias de rega inadequadas. A utilização de uma ferramenta de "monitorização do crescimento do fruto" teria permitido detetar com antecedência o mau desempenho dos Pomares 1 e 3. Comparando os resultados médios observados com os resultados estimados com a ferramenta "diagnóstico do desempenho do pomar" verificou-se que a capacidade produtiva dos pomares conduzidos em duplo-eixo, em igualdade de outros fatores, é similar à dos pomares conduzidos em eixo vertical com o mesmo volume. No entanto, a sebe dos pomares em duplo-eixo mostrou-se mais eficiente, mas apenas em condições externas não limitantes. Nestas condições, as árvores conduzidas em duplo-eixo produziram frutos maiores com maior número de frutos por unidade de volume, ou seja, frutos com calibres mais homogêneos, provavelmente por darem origem a sebes mais homogêneas e com melhor distribuição dos frutos.

Palavras-chave

Pyrus communis L., eficiência produtiva, monitorização do crescimento do fruto, diagnóstico do desempenho do pomar.

Abstract

To study the evaluation and the productive capacity of 'Rocha' pear with a double-axis training system, four orchards were monitored, one located at the "Cova da Beira" region and three in the "Oeste" region (both regions in Portugal), with different ages and planting densities. For this purpose, 15 trees per orchard were marked, and two fruits were per tree were marked to periodically measuring the diameter. At harvest, total fruits number and production were registered by individual tree. After harvest, the trees were individually measured for maximum height and width. Orchard evaluation was performed by obtaining fruit growth curves and growth rates (along the fruit development period) and by the relationship between the average fruit weight and the number of fruits at harvest (expressed in relation to the tree-space volume unit of fruit density, fruits/m³). Orchard productivity was expressed in relation to tree-space volume unit (yield efficiency, kg/m³) and in relation to area (t/ha). Productive capacity was evaluated by comparison with results estimated by tools developed in 'Rocha' pear orchards trained in the vertical axis. Differences in fruit growth and daily weight gains between Orchards 2 and 4 ("Oeste" region, Alcobaça) and Orchards 1 ("Cova da Beira" region Covilhã) and 3 ("Oeste" region, Cadaval) were consistent with tree performance results (relationship between average fruit weight and fruit density) and productive efficiency. This difference may have been due to unfavorable external conditions, namely excessive temperatures in the 2nd and 3rd weeks of July and/or potentially inadequate irrigation technologies. The use of a "fruit growth monitoring" tool would have allowed early detection of poor tree performance in Orchards 1 and 3. Comparing the observed average results with the estimated results using the "orchard performance diagnosis" tool, the productive capacity of orchards trained with the double-axis, seemed to be similar to that of orchards trained with the vertical axis with the same volume, other factors being equal. However, the double-axis hedgerows appear to be more efficient, but only under non-limiting external conditions. Under these conditions, trees trained with the double-axis produced larger fruits with a greater number of fruits per unit volume, i.e., fruits with more homogeneous calibers, probably because they originated more homogeneous hedgerows with a better fruit distribution.

Keywords

Pyrus communis L., productive efficiency, fruit growth monitoring, orchard performance diagnosis.

Índice

1. Introdução.....	1
2. Sistema de plantação.....	2
2.1. Porta-enxerto.....	2
2.2. Densidade de plantação.....	5
2.3. Formas de condução.....	7
2.4. Poda.....	8
3. Forma de condução em Duplo-eixo.....	9
4. Avaliação de produtividade.....	10
5. Material e métodos.....	12
5.1. Procedimento experimental.....	15
5.2. Tratamento dos dados.....	16
5.2.1. Crescimento do fruto.....	16
5.2.2. Desempenho da árvore e eficiência produtiva.....	17
5.2.3. Capacidade produtiva.....	18
6. Resultados e discussão.....	19
6.1. Crescimento do fruto.....	19
6.1.1. Pomar 1 (Orjais).....	19
6.1.2. Pomar 2 (Valado dos Frades).....	20
6.1.3. Pomar 3 (Peral).....	22
6.1.4. Pomar 4 (Alfeizerão).....	24
6.2. Eficiência produtiva.....	25
6.3. Capacidade produtiva.....	28
6.3.1. Pomar 1 (Orjais).....	29
6.3.2. Pomar 2 (Valado dos Frades).....	31
6.3.3. Pomar 3 (Peral).....	32
7. Conclusões.....	33
Referências bibliográficas.....	36

Índice de Figuras

Figura 1 - Evolução das formas de condução comumente utilizadas na pereira, desde os tradicionais vasos, passando pelo eixo vertical modificado (ou guia modificada), eixo central (com porta-enxertos de vigor médio e vareta atarracada), eixo vertical (com porta-enxertos ananizantes e vareta inteira, com ou sem antecipadas), duplo-eixo e multi-eixo.	8
Figura 2 - Representação da distribuição de frutos em duas formas de condução, a) Eixo central e b) Duplo-eixo.	10
Figura 3 - Aspeto geral do Pomar 1 (Orjais) na fase final do crescimento do fruto.	13
Figura 4 - Aspeto geral do Pomar 2 (Valado dos Frades) na fase final do crescimento do fruto.	13
Figura 5 - Aspeto geral do Pomar 3 (Peral) na fase final do crescimento do fruto.	14
Figura 6 - Aspeto geral do Pomar 4 (Alfeizerão) no início do crescimento vegetativo.	14
Figura 7 - Medição do diâmetro dos frutos, com uma craveira digital.	15
Figura 8 - Representação gráfica dos valores observados do peso médio do fruto (esquerda) e da taxa de crescimento absoluta (direita) em função da data (a partir do DOY 100 - 10 de abril) e respetivas curvas estimadas, para o Pomar 1.	19
Figura 9 - Temperaturas máximas, médias e mínimas diárias observadas na EMA de Belmonte no período de 21 de junho a 10 de agosto.....	20
Figura 10 - Representação gráfica dos valores observados do peso médio do fruto (esquerda) e da taxa de crescimento absoluta (direita) em função da data (a partir do DOY 100 - 10 de abril) e respetivas curvas estimadas, para o Pomar 2.	21
Figura 11 - Temperaturas máximas, médias e mínimas diárias observadas na EMA de Maiorga no período de 21 de junho a 10 de agosto.	22
Figura 12 - Representação gráfica dos valores observados do peso médio do fruto (esquerda) e da taxa de crescimento absoluta (direita) em função da data (a partir do DOY 100 - 10 de abril) e respetivas curvas estimadas, para o Pomar 3.	22
Figura 13 - Temperaturas máximas, médias e mínimas diárias observadas na EMA de Alguber no período de 21 de junho a 10 de agosto.	23

Figura 14 - Representação gráfica dos valores observados do peso médio do fruto (esquerda) e da taxa de crescimento absoluta (direita) em função da data (a partir do DOY 100 – 10 de abril) e respectivas curvas estimadas, para o Pomar 4.	24
Figura 15 - Comparação dos 4 pomares, dos valores observados do peso médio do fruto (esquerda) e da taxa de crescimento absoluta (direita) em função da data (a partir do DOY 100 – 10 de abril).	25
Figura 16 - Valores do peso médio do fruto observados por árvore, nos três pomares, e respetivo ajustamento às curvas de desempenho (peso médio do fruto em função da carga) e de eficiência produtiva (kg/m ³).	27
Figura 17 - Representação gráfica das curvas de desempenho da árvore (esquerda) e de eficiência produtiva (direita).	28
Figura 18 - Resultados da aplicação das ferramentas “monitorização do crescimento do fruto” (esquerda) e “diagnóstico do pomar” (direita) ao Pomar 1.	29
Figura 19 - Resultados da aplicação das ferramentas “monitorização do crescimento do fruto” (esquerda) e “diagnóstico do pomar” (direita) ao Pomar 2.	31
Figura 20 - Resultados da aplicação das ferramentas “monitorização do crescimento do fruto” (esquerda) e “diagnóstico do pomar” (direita) ao Pomar 3.	32

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Parâmetros da equação da curva de crescimento estimados pelo modelo e grau de significância do respectivo ajustamento, no Pomar 1.	20
Tabela 2 – Parâmetros da equação da curva de crescimento estimados pelo modelo e grau de significância do respectivo ajustamento, no Pomar 2.	21
Tabela 3 – Parâmetros da equação da curva de crescimento estimados pelo modelo e grau de significância do respectivo ajustamento, no Pomar 3.	22
Tabela 4 – Parâmetros da equação da curva de crescimento estimados pelo modelo e grau de significância do respectivo ajustamento, no Pomar 4.	24
Tabela 5 – Valores médios observados dos principais indicadores de eficiência, produtividade e qualidade nos três pomares.	26
Tabela 6 – Valores médios observados e estimados pela ferramenta de diagnóstico (para o desempenho “padrão” de um pomar com o mesmo volume e mesma carga; 3,03 m ³ ; 26,7 frutos/m ³) dos principais indicadores de produtividade e calibre no Pomar 1.	30
Tabela 7 – Valores médios observados e estimados pela ferramenta de diagnóstico (para o desempenho “padrão” de um pomar com o mesmo volume e mesma carga; 1,25 m ³ ; 60,5 frutos/m ³) dos principais indicadores de produtividade e calibre no Pomar 2.	31
Tabela 8 – Valores médios observados e estimados pela ferramenta de diagnóstico (para o desempenho “padrão” de um pomar com o mesmo volume e mesma carga; 3,05 m ³ ; 45,5 frutos/m ³) dos principais indicadores de produtividade e calibre no Pomar 3.	33

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

cv. - Cultivar

CV – Volume da copa (*canopy volume*)

DRAPC - Direção Regional de Agricultura e Pescas do Centro

EMA - Estação Meteorológica Automática

LDP – Baixa Densidade de Plantação

MDP – Média Densidade de Plantação

HDP – Alta Densidade de Plantação

PAR - Radiação Fotossinteticamente Ativa (*photosynthetically active radiation*)

pp – Pontos percentuais

SQE - Soma de Quadrados do Erro

SQR - Soma de Quadrados da Regressão

Taxa_abs – Taxa de crescimento absoluto

TCA – Área de Secção do Tronco (*trunk cross-sectional area*)

UHDP – Ultra Alta Densidade de Plantação

VHDP – Muito Alta Densidade de Plantação

wt – Peso máximo do fruto

ML - *Multi Leader*

1. Introdução

A pera ‘Rocha’ é um fruto com epiderme de tonalidade amarelo-verde claro, distinguível pela sua carepa típica em torno do pedúnculo, e com suaves pontuações dispersas pela superfície. A sua polpa caracteriza-se por uma cor branca, com textura macia-crocante (à maturação comercial) ou macia-fundente (à maturação fisiológica), granulosa, doce, muito sumarenta e de perfume ligeiramente acentuado (Soares et al., 2001).

A pereira ‘Rocha’ é originária de Sintra, tendo sido descoberta na propriedade Sr. Pedro António Rocha (em homenagem do qual adquiriu o nome) em 1836. A partir de então, expandiu-se a toda a região do litoral oeste de Portugal (ANP, 2023). Segundo a mesma fonte, a denominação de DOP (Denominação de Origem Protegida) “Pera Rocha do Oeste” foi obtida em 2003, abrangendo 29 concelhos da região, ocupando uma área de cerca de 11 mil hectares e produzindo, em média, cerca de 173 mil toneladas.

A pereira ‘Rocha’ é a cultivar mais plantada em Portugal, estimando-se que 99% da produção de peras seja daquela cultivar (Sousa, 2020). O consumo *per capita* de pera ‘Rocha’ é bastante elevado, sendo de cerca de 6,3 quilos por ano, quarto valor mais elevado a nível nacional (ANP, 2023). Segundo a mesma fonte e apesar do elevado consumo, cerca de 60% da produção nacional tem como destino os mercados internacionais, em especial para o Brasil, o Reino Unido, a França, a Alemanha e Marrocos.

A produção de frutos da pereira ‘Rocha’ depende do seu regime de cultivo (Soares et al., 2001). Em pomares de sequeiro, predominam as árvores de grande porte, com sistemas de condução em vaso clássico, com árvores extremamente envelhecidas e compassos de plantação muito largos. A rentabilidade económica destes pomares é baixa, em resultado dos elevados encargos em mão-de-obra, das reduzidas produtividades e da baixa qualidade dos frutos (Soares et al., 2003). As atuais condições de exploração de espécies fruteiras, com mercados exigentes em qualidade e com preços condicionados pela distribuição, exigem sistemas de produção com maior intensificação cultural e elevadas produtividades, pelo que não faz sentido instalar pomares de sequeiro (Soares et al., 2001).

Em regime de regadio, as produtividades dos pomares são maiores, comparativamente aos pomares de sequeiro, sendo mais competitivas face às imposições do mercado (Soares et al., 2001). A rega, só por si, mostrou ser responsável por um aumento significativo da percentagem de frutos com calibres superiores a 55 mm à colheita (Naor et al., 2000). Para além do regadio, serão também necessárias tecnologias de produção mais inovadoras, para produzir mais, com qualidade e a custos mais reduzidos, pelo que o objetivo deste trabalho será o estudo de alguns aspetos mais recentes e inovadores ao nível da estrutura da plantação (ou sistema de plantação), com particular destaque para a forma de condução em duplo-eixo.

2. Sistema de plantação

A luz solar é uma fonte de energia gratuita, essencial para a atividade frutícola, devendo ser rentabilizada da melhor forma possível, através da máxima exposição à radiação solar, com benefício do rendimento fotossintético (Soares et al., 2003). Uma vez que o aproveitamento da luz solar é, ainda, muito baixo (Tustin e van Hooijdonk, 2016), torna-se necessário aumentar o nível da utilização dessa energia, instalando novos sistemas de plantação, mais intensivos, capazes de responder aos problemas e desafios que o setor frutícola enfrenta atualmente.

Deste modo, torna-se fundamental instalar pomares mais produtivos e com melhor qualidade dos frutos, maximizando a utilização e eficiência da área explorada (Tustin e van Hooijdonk, 2016). A intensificação dos pomares, reúne vantagens a nível produtivo e económico, conseguindo-se obter frutos de melhor qualidade e, ao mesmo tempo, ter rendimentos económicos mais cedo e com menores custos de mão-de-obra, como resultado da redução do tamanho das árvores (Wagenmakers e Wertheim, 1991; Wagenmakers, 1995).

Nas últimas décadas, têm sido realizados inúmeros esforços no melhoramento de plantas, de forma a obter árvores mais pequenas, com menor espaçamento e produção mais precoce (Robinson, 2007). Os sistemas de plantação são limitados especialmente pelo espaçamento entre árvores, pelo porta-enxerto utilizado e pela forma de condução adotada (Robinson et al., 1991; Robinson e Lakso, 1991; Wagenmakers e Wertheim, 1991; Hrotkó, 2013), sendo a capacidade produtiva do pomar determinada pela combinação destes três fatores (Robinson et al., 1991; Hester e Cacho, 2003; Lordan et al., 2017).

Após a escolha e instalação do sistema produtivo e em igualdade de outros fatores, a produtividade (ou eficiência produtiva) fica limitada pelos problemas fitossanitários (Wagenmakers, 1995) e pela capacidade de interceção da luz solar (Tustin e van Hooijdonk, 2016). A pereira 'Rocha' já demonstrou um grande potencial de produção, quando se combinam os benefícios da alta densidade, da forma de condução e da poda (Leão, 2017).

Nos capítulos seguintes serão aprofundados alguns aspetos particulares relativos ao porta-enxerto, à densidade de plantação e à forma de condução, mas há que ressaltar que a escolha do sistema de plantação tem de conjugar todos esses aspetos, não se podendo dissociar a escolha de um deles de forma independente em relação aos restantes.

2.1. Porta-enxerto

O porta-enxerto desempenha um papel fundamental na promoção da frutificação, rendimentos estáveis e qualidade da fruta (Sansavini e Musacchi, 2002). Deste modo, a escolha do porta-enxerto é uma decisão muito importante a ter em conta à plantação

do pomar, não só porque se pretende uma boa adaptação ao solo, mas também uma boa afinidade com a cultivar que se quer instalar (Soares et al., 2001; Maas, 2008). Para além do crescimento e do vigor das árvores (Webster, 1995; Robinson, 2007), pretende-se que os porta-enxertos confirmem uma boa adaptabilidade a diferentes condições ambientais, influenciando a qualidade dos frutos, reduzindo a suscetibilidade a pragas e doenças (Webster, 1995; Maas, 2008) e conferindo precocidade às produções (Maas, 2008). Segundo o mesmo autor, na Holanda, os critérios principais para seleção de porta-enxertos para pereira são: i) tamanho da árvore; ii) a produção; iii) a eficiência de produção; e iv) a distribuição por classes de calibre.

Nas variedades de pera europeias predomina a utilização de porta-enxertos provenientes de seleções de marmeleiro (*Cydonia oblonga* L.) (Maas, 2008). A pera 'Rocha' não é exceção (Sousa e Calouro, 2007a; Sousa, 2020), sendo predominantes as seleções de marmeleiro: o 'BA-29', o 'EMA', o 'SYDO' e o 'EMC' (Soares et al., 2001; Sousa e Calouro, 2007b; 2014).

Os porta-enxertos francos ('Franc' e o 'OHF 333') de pereira (*Pyrus communis* L.) induzem vigor excessivo, tendo como consequência frutos de calibres pequenos, de menor qualidade e baixas produtividades (Masseron, 1989; Sousa e Calouro, 2007a; Sousa, 2020). Segundo Sousa (2020), as árvores de maiores dimensões dificultam as operações em todo o ciclo da cultura e propiciam condições mais favoráveis à proliferação de pragas e doenças.

Os porta-enxertos utilizados em pereira apresentam diferentes características de vigor, sendo, por ordem decrescente (Masseron, 1989): o 'Franc', o 'OHF 333', o 'BA-29', o 'EMA', o 'SYDO', o 'Adams 332' e o 'EMC'. No entanto, na pereira 'Rocha', o 'SYDO' tem-se manifestado ligeiramente mais vigoroso que o 'EMA' (Sousa e Calouro, 2007b; Sousa, 2020). Sousa e Calouro (2007b) referem ainda o 'CTS 212' com vigor intermédio entre o 'Adams 332' e o 'EMC'.

O 'BA-29', quando comparado com os demais porta-enxertos, é o que tem melhor afinidade com a pereira 'Rocha' (Soares et al., 2001; Faoro et al., 2019), possuindo um sistema radicular profundo, o que lhe garante melhor resposta em plantações com baixas disponibilidades de água para rega ou em sequeiro. Deste modo, será indicado para terrenos pouco férteis, apesar da sua utilização provocar uma entrada em frutificação mais lenta, uma taxa de vingamento das flores mais baixa e, por vezes, uma forte queda fisiológica, em resultado da competição entre os lançamentos vegetativos e os frutos em crescimento (Soares et al., 2001). O 'BA-29' é menos produtivo que o 'EMA' (Sousa e Calouro, 2007b) e tem tendência para produzir maior percentagem de frutos de calibre inferior a 60 mm. As percentagens de frutos com calibres mais elevados tendem a ser inferiores às que são produzidas com o 'SYDO' (Sousa e Calouro, 2007a).

Em plantações de alta densidade, o vigor do porta-enxerto deve situar-se entre o 'EMA', e o 'EMC' (Wertheim, 2002), podendo também o 'SYDO' ser um excelente porta-enxerto para culturas mais intensivas, em substituição do 'EMA' (Soares et al., 2001). O 'EMA', apresenta um vigor e arborescência inferiores ao Provence 'BA-29', possuiu um sistema radicular superficial e um desenvolvimento vegetativo equilibrado (Soares et al., 2001). O 'EMA' é mais produtivo que o 'BA-29' e menos produtivo que o 'SYDO' (Sousa e Calouro, 2007b), apresentando uma distribuição de calibres homogénea, com destaque para o calibre 65-70 mm (Sousa e Calouro, 2007a).

O 'SYDO' apresenta um vigor inferior ao 'BA-29 e semelhante (Soares et al., 2001) ou ligeiramente superior (Sousa e Calouro, 2007b; Sousa, 2020) ao 'EMA', possuindo um sistema radicular mais superficial (Soares et al., 2001; Sousa e Calouro, 2014). O 'SYDO' é o porta-enxerto mais indicado para a pereira 'Rocha', conferindo-lhe rápida entrada em produção, maior regularidade na produção, maiores produções e melhoria da qualidade dos frutos, com calibres mais homogéneos e tendencialmente mais altos, comparativamente ao 'BA-29' (Soares et al., 2003; Sousa e Calouro, 2007a; 2007b; 2014; Sousa, 2020). A afinidade do 'SYDO' com a pereira 'Rocha' é menor em comparação com o 'BA-29' (Soares et al., 2003; Sousa e Calouro, 2014), mas ligeiramente melhor em comparação com o 'EMA' (Soares et al., 2001). Para além disso, o 'SYDO' é sensível a solos com calcário ativo (Soares et al., 2003; Sousa e Calouro, 2014) e requer terrenos com recursos hídricos medianos a altos, pouco compactos e com boa fertilidade (Soares et al., 2003).

Os porta-enxertos 'Adams' e o 'CTS 212', estão entre o 'EMA' e o 'EMC' em termos de vigor (Soares et al., 2001; Sousa e Calouro, 2007b), sendo mais produtivos que o 'EMC', mas menos produtivos que o 'SYDO', e tendem a produzir frutos com calibres superiores ao 'BA-29' (Sousa e Calouro, 2007a).

O 'EMC' caracteriza-se como o porta-enxerto com menor vigor (Soares et al., 2001; Sousa e Calouro, 2007b) e sistema radicular pouco profundo, dando origem a árvores de menor arborescência (Soares et al., 2001). Dos porta-enxertos referidos é o que apresenta menor produção média anual, apesar da tendência para produzir frutos das classes de calibre mais elevadas (Sousa e Calouro, 2007a; 2007b).

Outros porta-enxertos têm vindo a ser estudados em relação à sua afinidade e comportamento com a pereira 'Rocha'. Entre eles, destaca-se (Sousa e Calouro, 2014): i) o 'Fox 11[®]' (uma seleção de *Pyrus communis*), que é menos produtivo e mais vigoroso que o 'SYDO'; ii) o 'Pyrodwarf[®]' (um franco clonal de Old Home × Bonne Louise d'Avranches), ainda mais vigoroso que o anterior e com uma entrada em produção mais lenta que o 'SYDO'; e iii) o 'Cydomalus[®]' (resultante do cruzamento *Malus communis* × *Cydonia oblonga*), que se verificou ser incompatível com a pereira 'Rocha'.

Em estudos na Holanda, destacaram-se os porta-enxertos provenientes de marmeleiro, 'MH', 'Eline[®]' e 'C132', com um vigor muito semelhante ao 'EMC'. O 'MH' é mais ananicante e o 'C132' produz frutos com melhores calibres (Maas, 2008). O

'Eline®' demonstrou induzir maior resistência à geada e frutos com menos carepa num ensaio com a pereira 'Conference', sendo um aspeto favorável face a um mercado cada vez mais restritivo em relação à carepa naquelas peras (Maas, 2008; 2015). Em condições idênticas de fertirrega, obtiveram-se produções semelhantes com os porta-enxertos 'Adams', 'EMC' e 'Eline®', mas sem fertirrega o 'Adams' foi o mais produtivo (Maas, 2015).

2.2. Densidade de plantação

A densidade de plantação sempre gerou controvérsia, muito provavelmente desde a plantação do primeiro pomar. O compasso e a forma de condução mais adequados são questões que ainda se colocam aos investigadores na atualidade (Hugard, 1981; Robinson et al., 2007; Lordan et al., 2019).

Na década de 1960, foram efetuados diversos estudos sobre a distribuição de luz nas árvores com copas arredondadas, tendo-se concluído que na maior parte da árvore (especialmente no interior da copa) a luz era recebida com uma intensidade insuficiente para que os frutos, caso existissem, fossem de boa qualidade (Robinson et al., 2007). Segundo o mesmo autor, foram adotadas, desde então, copas com formas mais estreitas, em cone ou pirâmide, mantendo o tronco (eixo) central. Mais tarde, com a utilização de porta-enxertos mais ananizantes, foram adotadas outras formas de condução, como Slender Spindle, o Eixo Vertical e, posteriormente, árvores com perfil em V e Y, que permitiram maior densidade de árvores por hectare (Robinson et al., 2007).

As plantações de elevada densidade fazem melhor uso da luz disponível (radiação fotossinteticamente ativa, PAR), impulsionando a produtividade nos primeiros anos e permitindo rendimentos mais elevados, quando comparados com densidades de plantação mais baixas (Hampson et al., 2002).

A vantagem das altas densidades, provém dos rendimentos cumulativos, da produção dos primeiros 3 a 4 anos, em comparação com as baixas densidades, diminuindo essa vantagem à medida que as árvores de baixa densidade vão preenchendo o espaço alocado (área foliar) (Hampson et al., 2002). A relação entre a densidade e os rendimentos cumulativos é linear nos primeiros 3 anos, tornando-se curvilínea a partir do 6º ano, uma relação típica da lei dos acréscimos decrescentes, na qual aumentos adicionais em um fator de entrada (densidade de árvores) produzem um aumento cada vez menor em um fator de saída (rendimento) (Robinson et al., 2007).

Deste modo, a densidade ótima de árvores por hectare é uma questão económica e será sempre menor do que a densidade com rendimento mais alto (Robinson et al., 2007), uma vez que, em algum momento, o custo adicional das árvores é maior que o ganho no rendimento (Robinson et al., 2013).

Nos pomares europeus, tem-se verificado uma tendência para a plantação de pomares com densidades cada vez mais elevadas (Sansavini e Musacchi, 2002; Robinson et al., 2007), caminhando para o maior número possível de fruta de alta qualidade, compatível com sistemas ecológicos e modos de produção que promovam uma produção de fruta com menores custos gerais e ambientais. A tendência para o século XXI parece ir no sentido de limitar os pomares a uma produção sustentável de cerca de 40 t/ha, com 90-95% de frutos de alta qualidade (Sansavini e Musacchi, 2002).

A ocupação do volume de copa que corresponde a cada árvore, no menor período possível (Robinson, 2011), permitirá obter retornos do investimento mais rápidos, produtividades mais homogêneas e maior mecanização, com custos mais baixos (Sansavini e Corelli-Grappadelli, 1997; Soares et al., 2003). Deste modo, diminui-se o fenómeno de alternância (Soares et al., 2003) e acelera-se a entrada em plena produção (Wagenmakers e Wertheim, 1991; Hampson et al., 2002; Soares et al., 2003).

Os critérios de classificação das densidades de plantação variam consoante os autores, o que dificulta a padronização dos diferentes casos. Segundo estudos recentes realizados em Itália, os pomares de pereira modernos podem ter a seguinte classificação (Musacchi et al., 2021): i) baixa densidade de plantação (LDP), até 1500 árvores/ha; ii) média densidade de plantação (MDP), de 1500 a 3000 árvores/ha; iii) alta densidade de plantação (HDP), de 3000 a 4000 árvores/ha; iv) muito alta densidade de plantação (VHDP), de 5000 a 8000 árvores/ha; e v) ultra alta densidade de plantação (UHDP), mais de 9000 árvores/ha.

De acordo com aquela classificação, os pomares europeus de pereira modernos estão baseados em sistemas de HDP a VHDP, com densidades de plantação de cerca de 4000 a 5000 árvores/ha (Sansavini e Musacchi, 2002) e recurso a porta-enxertos de marmeleiro selecionados ('Anger', 'SYDO', 'BA-29' e 'EMC') (Sansavini e Musacchi, 2002). As densidades de 6000 a 8000 árvores/ha ou superiores, para além do significativo investimento inicial, envolvem um período de rendimentos negativos mais longo e um risco pronunciado de perda de qualidade dos frutos (Sansavini e Musacchi, 2002). De modo geral, os resultados mostram que quanto maior a intensificação cultural, maiores os custos e os riscos no retorno do investimento, levando a que as densidades de plantação muito altas não sejam tão lucrativas como as densidades de plantação moderadas (Robinson et al., 2007; Robinson et al., 2013).

O aumento da densidade de plantação faz com que haja maior competição ao nível das raízes, podendo levar à obtenção de frutos de menor calibre, se as necessidades de água e nutrientes não forem devidamente supridas (Robinson, 2011). O mesmo autor refere ainda que os sistemas de HDP só serão possíveis em pomares de pereira, com a utilização de porta-enxertos ananizantes, com a utilização de reguladores de crescimento ou com outras práticas culturais específicas.

2.3. Formas de condução

Segundo Sousa (2020), a forma de condução mais adequada é aquela que permite tirar o máximo partido das árvores, com um máximo rendimento e com o mínimo de fatores de produção, assumindo uma importância tanto maior quanto maior a intensificação do pomar (Sousa, 2013). A necessidade de alterar os atuais sistemas de plantação, com a utilização de densidades mais elevadas, terá como consequência a alteração das formas de condução, de modo a aumentar a produtividade e a qualidade dos frutos (Leão, 2017).

Os novos conceitos para a arquitetura das árvores, como parte integrante do sistema de plantação, pretendem atender aos requisitos fisiológicos das plantas e obter frutos de alta qualidade, combinados com uma maior eficiência de interceção da luz solar e, portanto, um maior potencial produtivo (Tustin e van Hooijdonk, 2016). As formas de condução dos pomares de pereira atuais, são concebidas para aumentar a densidade de plantação, com redução do tamanho das árvores, produções precoces e cargas elevadas, para permitir uma fácil manutenção, para permitir a máxima mecanização, para obter melhor retorno económico e permitir renovações mais frequentes (Musacchi et al., 2021), ou seja, com um período de vida útil de cerca de 20 anos (Sansavini e Musacchi, 2002).

As principais formas de condução a nível mundial, sem ordem específica, são: solaxe (Robinson et al., 2013), eixo central (*spindle*), condução em "V" (*V-system*), duplo-eixo (bi-axis), muro fruteiro (*fruiting wall*) (Robinson et al., 2013; Musacchi et al., 2021), multi-eixo (*multileader* ou *planar cordon system*, ML) (Tustin et al., 2018; Musacchi et al., 2021), vaso aberto, palmeta e eixo vertical (Musacchi et al., 2021).

No geral, estas diferentes formas de condução (e suas múltiplas variantes) podem agrupar-se em dois grandes grupos: as formas **em volume ou abertas** (vasos abertos e formas com perfil em "V" ou "Y" na direção da entrelinha); formas **em superfície ou sebes** altas e relativamente estreitas, também referidas como "muros fruteiros" (eixos, solaxe, palmetas, duplo-eixo e multi-eixo), tendo um impacto significativo na interceção da luz pela copa da árvore e, conseqüentemente, na sua eficiência (Musacchi et al., 2021). A Figura 1 ilustra a evolução das principais formas de condução da pereira.

Em países do Norte da Europa, onde a radiação é mais reduzida, adotam-se formas de condução em "V", em "Y" e suas variantes (Leão, 2017). Estas formas de condução, em "V" ou "Y", em dois planos inclinados para a entrelinha, trazem certos benefícios, tais como, aumento do rendimento e do calibre dos frutos, tanto maiores quanto maior a inclinação dos planos (Leão de Sousa e Melo-Abreu, 2015). Estudos mais recentes sobre a intensificação dos pomares, propõem as formas de condução em eixo (central ou vertical) e duplo-eixo (árvores com dois eixos que se abrem na direção da linha) em vez das formas de condução com eixos inclinados para a entrelinha, por serem economicamente menos dispendiosas em infraestruturas e mais bem adaptadas à mecanização (Musacchi et al., 2021).

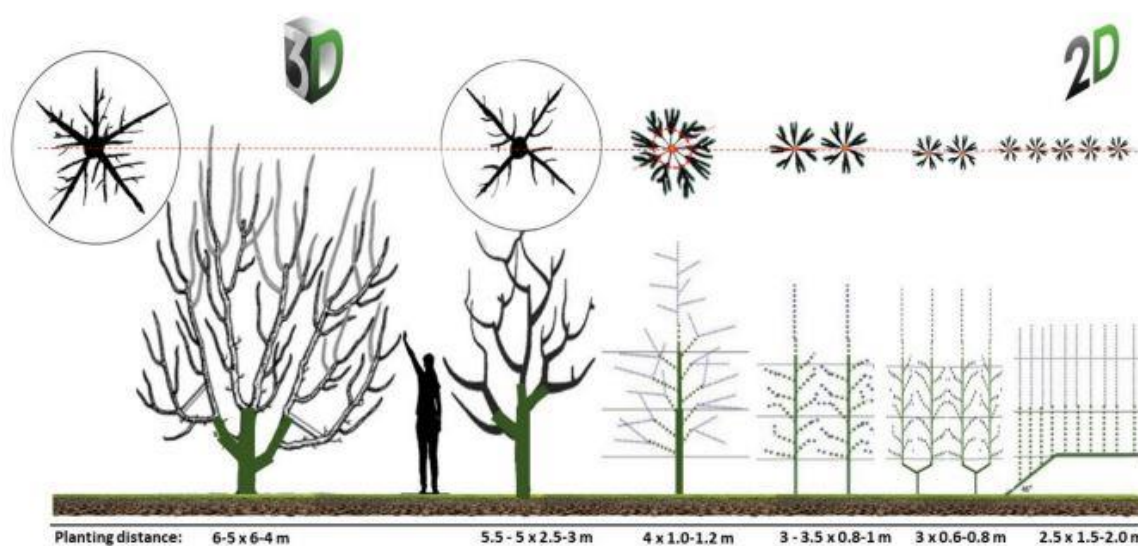


Figura 1 - Evolução das formas de condução comumente utilizadas na pereira, desde os tradicionais vasos, passando pelo eixo vertical modificado (ou guia modificada), eixo central (com porta-enxertos de vigor médio e vareta atarracada), eixo vertical (com porta-enxertos ananícantes e vareta inteira, com ou sem antecipadas), duplo-eixo e multi-eixo (adaptado de Musacchi et al., 2021).

Estudos ecofisiológicos realizados na última década mostraram que nos sistemas de plantação mais intensivos de macieira e pereira, com base nos sistemas de condução em eixo central, haverá um limite máximo de intercepção de 65% da radiação da luz incidente (Tustin e van Hooijdonk, 2016). Segundo (Robinson et al., 2013), para alcançar altos rendimentos, os pomares têm de conseguir intercepar 70 a 75% da radiação disponível. Porém, Tustin e van Hooijdonk (2016), desafiaram-se a chegar mais longe, de modo a atingir um objetivo de intercepção 85-90% de radiação incidente. Reduzir o espaço da entrelinha é o passo necessário para atingir tal objetivo e poder aproveitar até 90% da luz disponível, tal como acontece nas culturas anuais, mas tal implicaria também uma alteração no “design” das árvores (Tustin et al., 2018).

2.4. Poda

De forma resumida, a poda é um conjunto de práticas que controlam o crescimento da árvore e maximizam a rentabilidade do pomar (Musacchi et al., 2021). Quando a poda é efetuada de uma forma racional (equilibrada) promove o desenvolvimento rápido e a entrada da árvore em plena produção, melhorando a produtividade (Musacchi et al., 2021), mantendo o equilíbrio entre a frutificação e a vegetação e reduzindo a alternância (Sousa, 2020). Deste modo, a poda permitirá a entrada de luz em toda a copa das árvores, a obtenção de frutos de qualidade e em quantidade (Sousa, 2020; Musacchi et al., 2021), o aumento da vida económica do pomar e a sua competitividade (Sousa, 2020).

A pereira ‘Rocha’ caracteriza-se por ser de vigor médio, quando comparada com a maioria das outras cultivares (Soares et al., 2003), demonstrando um comportamento

acrótono, isto é, com tendência para crescer na vertical e emitir ramificações mais vigorosas na parte superior da copa (Sousa, 2020). Os principais órgãos de frutificação da pereira, responsáveis pela sua produção, são as verdascas e os esporões, podendo apresentar, também, alguma frutificação em ramos mistos (Soares et al., 2003).

Segundo Sousa (2020), na pereira 'Rocha' os ramos posicionados na horizontal são mais produtivos do que os ramos na vertical, devendo promover-se os primeiros, aquando da poda de formação. O mesmo autor dá grande importância à poda em verde, uma vez que as podas efetuadas durante o período de repouso promovem a formação de madeira, enquanto as podas efetuadas durante o período vegetativo favorecem a produção e melhoram a qualidade dos frutos.

A poda de manutenção tem evoluído nas últimas décadas de forma a reduzir as necessidades de mão-de-obra, simplificando as operações, e a controlar a qualidade dos frutos. A interpretação da fisiologia das árvores e uma coerente aplicação dos conhecimentos agronómicos têm sido fundamentais para o sucesso das novas plantações de pereira 'Rocha' (Sousa, 2013), adequando as técnicas de poda ao vigor da planta (condicionado também pelo porta-enxerto), ao nível de intensificação cultural (densidade e compassos) e à forma de condução (Sousa, 2013; Musacchi et al., 2021).

3. Forma de condução em Duplo-eixo

A forma de condução em duplo-eixo na cultura da pereira é uma ideia inovadora em relação à condução das plantas, consistindo na formação de dois ramos ou pernas a partir do mesmo ponto de inserção, com o objetivo de dividir o vigor pelos ramos (Musacchi, 2008; Dorigoni et al., 2011; Lima et al., 2012). Os dois ramos (eixos ou sub-eixos) formam um perfil em "V", com um ângulo de cerca de 30-40° (Musacchi, 2017), mas, ao contrário dos outros sistemas abertos (em "V", em "U" ou em "Y"), a abertura dos eixos dá-se longitudinalmente e não transversalmente em relação à direção das linhas (Musacchi, 2008; 2017; Musacchi et al., 2021).

O duplo-eixo altera a forma do perfil cónico ou piramidal da copa da árvore (ou da sebe) nas formas de condução do tipo "eixo", para um perfil mais retangular, formando uma sebe estreita e alta, semelhante à palmeta, mas com maior densidade e menor vigor (Dorigoni, 2016; Musacchi et al., 2021).

De acordo com Musacchi (2017), o duplo-eixo pode ser obtido de três formas distintas: i) através de compra em viveiro, patenteado como "Bibaum®"; ii) através da adaptação de uma árvore no campo (contudo, necessita de mais um ano para adquirir a estrutura); e iii) através da enxertia na árvore em campo. Dado que as plantas são orientadas com os dois eixos no sentido das linhas do pomar, será necessário dispor de uma estrutura em arames para manter a sua forma, semelhante a uma sebe em duas dimensões (Dorigoni, 2016; Musacchi, 2017).

Uma vez que o vigor é dividido pelos dois eixos, haverá menos energia para formar pernadas (Dorigoni, 2016), pelo que as plantas conduzidas em duplo-eixo apresentam ramificações curtas e uniformes ao longo dos eixos (Dorigoni, 2016; Musacchi et al., 2021). De igual modo, a necessidade de poda do duplo-eixo, são mais reduzidas, nos primeiros anos após a plantação (Musacchi, 2008; 2011; Musacchi et al., 2021).

Por outro lado, o menor vigor pode provocar o aparecimento de espaços vazios, sem ramificação, uma vez que se pretende obter produção o mais junto possível aos eixos. Para promover uma ocupação dos espaços mais homogénea, podem ser feitas incisões sobre os gomos dormentes dos eixos, para estimular novos lançamentos (Musacchi, 2017). Segundo o mesmo autor, devem eliminar-se também os ramos mais vigorosos, com um diâmetro superior a 30% em relação ao do tronco, renovando cerca de 20% dos ramos da árvore anualmente, para minimizar a produção em ramos envelhecidos.

Graças às ramificações curtas e à baixa altura do pomar, este tipo de condução facilita, todas as formas de mecanização, por exemplo, com máquinas de monda de flores, poda, pulverizadores em túnel e controlo da vegetação espontânea (Dorigoni, 2016), para além de necessitar de menores volumes de calda nos tratamentos fitossanitários (Dorigoni, 2016; Musacchi et al., 2021) e da redução da deriva causada pelas pulverizações (Dorigoni, 2016).

Com o duplo-eixo, as classes de calibres dos frutos são mais homogéneas à colheita, quando comparados com formas de condução em eixo (Figura 2) (Dallabetta et al., 2014; Jajo et al., 2014).

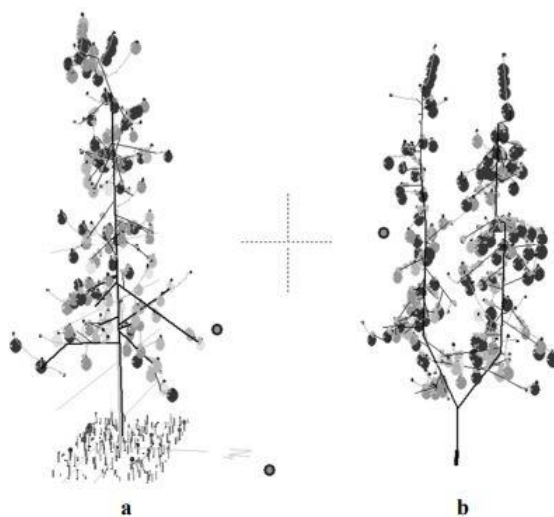


Figura 2 - Representação da distribuição de frutos em duas formas de condução, a) Eixo central e b) Duplo-eixo (adaptado de Robinson et al., 2013).

4. Avaliação de produtividade

A produtividade de um pomar é o resultado de cada processo produtivo anual e pode ser expresso de diversas formas. A produção de uma árvore pode obter-se

diretamente pela pesagem dos frutos e traduz o resultado da multiplicação do número de frutos pelo peso médio do fruto. O número de frutos depende da diferenciação floral e do vingamento, enquanto peso médio do fruto à colheita depende do número de frutos e da sua interação com os fatores ambientais (com destaque para a radiação e temperatura) e agronômicos (com destaque para a nutrição hídrica e mineral) (Ramos, 2017).

Como os resultados da produção se referem às condições específicas em que são obtidos, para comparar a produtividade entre pomares é necessário que os valores (número de frutos ou quilos de produção) estejam padronizados pelo tamanho da árvore, podendo expressar-se em relação à unidade de área de secção do tronco (n° ou kg/cm^2 TCA), em relação à unidade de volume da copa (n° ou kg/m^3 de copa), pela unidade de área foliar (n° ou kg/m^2 de área foliar) ou, ainda, em relação à fração de energia luminosa interceptada ou ao peso da lenha de poda (Lombard et al., 1988; Robinson et al., 1991; Autio et al., 1996; Reginato et al., 2007). Esta padronização é denominada de "normalização" em relação à carga e de "eficiência" relativamente à produção (Reginato et al., 2007).

A frutificação (número de frutos) ou carga, é o principal fator que influencia a produção e o calibre dos frutos (Ramos et al., 2010a). Há uma relação negativa entre a carga da árvore e o peso dos frutos, donde cargas mais elevadas correspondem a frutos mais pequenos e com menor peso, enquanto as cargas mais reduzidas levam à produção de frutos maiores (Autio et al., 1996; Ramos et al., 2010a; Reig et al., 2019). A carga é, por isso, um indicador de produtividade utilizado na comparação de árvores e pomares, em quantidade (número e/ou peso) dos frutos produzidos (Robinson e Lakso, 1991; Autio et al., 1996; Embree et al., 2007; Reginato et al., 2007).

Vários autores apontam a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) como um indicador de produtividade mais correto (Robinson e Lakso, 1991; Wright et al., 2006; Reginato et al., 2007; Ramos et al., 2010a; Ramos et al., 2010b), independentemente do sistema de condução utilizado (Robinson e Lakso, 1991; Reginato et al., 2007), estando correlacionada com os outros indicadores de produtividade: TCA/ha e CV/ha (Robinson e Lakso, 1991).

A expressão da carga ou da produtividade em relação à TCA é útil e tem sido comumente utilizada para expressar a produção em relação ao tamanho da árvore (Lombard et al., 1988; Robinson e Lakso, 1991). Apesar da TCA/ha ser um método simples de estimar, a sua correlação com a PAR altera-se à medida que o pomar envelhece, especialmente a partir do momento em que a árvore preenche o espaço que lhe é designado, uma vez que a área foliar tende a estabilizar enquanto a TCA continua a aumentar (Robinson e Lakso, 1991; Wright et al., 2006).

O volume da árvore torna-se uma opção viável para pomares com formas de condução idênticas, no caso de não se possuir os equipamentos necessários para calcular a PAR (Robinson e Lakso, 1991; Ramos, 2017).

A expressão da carga ou da produtividade em relação ao volume de copa, é também comumente utilizado para expressar a produção em relação ao tamanho da árvore (Robinson e Lakso, 1991), que se pode obter pela medição da altura da árvore, do espaçamento entre árvores e da largura da entrelinha (Middleton, 2007). Wright et al. (2006) mostraram que a relação entre a “densidade de frutos” (frutos/m³ de copa) e o peso médio do fruto era curvilínea e apresentava a mesma tendência em diferentes locais e anos, enquanto a relação da “carga de frutos” (frutos/cm² TCA) com o peso médio do fruto era linear e dependente do local.

Vários trabalhos coordenados pelo Prof. António Ramos na Escola Superior Agrária de Castelo Branco têm utilizado o volume de copa (mais precisamente, o espaço máximo que a árvore pode ocupar) para padronizar a expressão da produtividade na pereira ‘Rocha’ e em pessegueiro (Fernandes et al., 2010; Marques et al., 2010; Ramos et al., 2010a; Ramos et al., 2010b; Ribeiro et al., 2010; Martins, 2014; Ramos et al., 2014a; 2014b; Ramos, 2017; Ramos et al., 2022).

5. Material e métodos

O presente estudo foi realizado na campanha de 2022, em quatro pomares de pereira ‘Rocha’ conduzidos em duplo-eixo, pertencentes a diferentes produtores e, conseqüentemente, com diferentes idades, diferentes compassos e diferentes localizações geográficas.

O Pomar 1 (Fig. 3), localizado em Orjais, município da Covilhã, foi instalado em 2019, com o porta-enxerto ‘BA-29’. A orientação das árvores é NE-SO, com o compasso de 3,60 × 1,05 m, perfazendo uma densidade de 2645 árvores/ha. A quantidade de água utilizada para a rega foi de 4871 m³/ha no ano de 2022.

O Pomar 2 (Fig. 4), localizado em Valado dos Frades, município da Nazaré, foi instalado em 2017, com o porta-enxerto ‘BA-29’. A orientação das árvores é E-O, com o compasso 3,50 × 0,80 m, perfazendo uma densidade de 3571 árvores/ha. O tipo de solo é franco-argilo-arenoso, com um pH de 6,8 e uma percentagem de matéria orgânica de 1,69%. A quantidade de água utilizada para a rega foi de 5136 m³/ha no ano de 2022.

O Pomar 3 (Fig. 5), localizado no Peral, município do Cadaval, foi instalado em 2015, com o porta-enxerto ‘BA-29’. A orientação das árvores é N-S, com o compasso de 3,30 × 1,00 m, perfazendo uma densidade de 3030 árvores/ha. O tipo de solo é argilo-limoso, com um pH de 6,4 e uma percentagem de matéria orgânica de 0,44%. A quantidade de água utilizada para a rega foi de 1393 m³/ha no ano de 2022.

O Pomar 4 (Fig. 6), localizado em Alfeizerão, município de Alcobaça, foi instalado em 2017, com porta-enxerto ‘BA-29’. A orientação das árvores é NE-SO, de compasso 2,90 × 0,60 m, que perfaz uma densidade de 5747 árvores/ha. O tipo de solo é argiloso,

com um pH de 7,0 e uma percentagem de matéria orgânica de 3,15%. A quantidade de água utilizada para a rega foi de 7000 m³/ha no ano de 2022.



Figura 3 - Aspeto geral do Pomar 1 (Orjais) na fase final do crescimento do fruto.



Figura 4 - Aspeto geral do Pomar 2 (Valado dos Frades) na fase final do crescimento do fruto.



Figura 5 - Aspeto geral do Pomar 3 (Peral) na fase final do crescimento do fruto.



Figura 6 - Aspeto geral do Pomar 4 (Alfeizerão) no início do crescimento vegetativo.

A imagem do Pomar 4 (Fig. 6), não foi tirada no dia da colheita dos frutos, como nos restantes pomares, uma vez que, por lapso de comunicação com o produtor, não se

efetuou a colheita neste pomar. Como tal, foi selecionada a imagem que melhor demonstra a estrutura do pomar, isto é, a arquitetura das árvores.

5.1. Procedimento experimental

Em cada pomar e após o vingamento dos frutos, foram selecionadas e marcadas 15 árvores numa determinada zona ou setor representativo do pomar. Havendo disponibilidade, as 15 árvores foram marcadas consecutivamente na mesma linha ou, não sendo possível, em duas linhas contíguas.

Posteriormente (próximo da época de monda), marcaram-se 2 frutos por árvore, procurando repartir a amostragem (total de 30 frutos) em corimbos com um único fruto e corimbos com 2 ou mais frutos, de forma que a amostra pudesse ser representativa da parcela. A partir da data de marcação dos frutos, procedeu-se à medição e registo semanal do diâmetro de cada fruto individual com uma craveira digital (Figura 7).



Figura 7 - Medição do diâmetro dos frutos, com uma craveira digital.

Em cada pomar, a colheita foi realizada em momentos diferentes, tendo em conta a data definida pelo produtor e atendendo às condições específicas de cada pomar e à localização geográfica. Por lapso de comunicação com o produtor, no Pomar 4 não se efetuou a colheita das árvores marcadas, como atrás se referiu. As datas de colheita dos frutos nos restantes pomares foram as seguintes:

- Pomar 1 – 28 de agosto;
- Pomar 2 – 15 de agosto;
- Pomar 3 – 21 de agosto.

À data de colheita, todos os frutos foram colhidos e contados árvore a árvore, tendo-se registado o número de frutos e a produção de cada árvore. Após a colheita, procedeu-se à medição da altura e da largura máximas de cada árvore individual.

5.2. Tratamento dos dados

5.2.1. Crescimento do fruto

Com as medições semanais dos diâmetros dos frutos elaboraram-se as curvas de crescimento do fruto para cada um dos pomares, utilizando-se a equação logística simples, com a seguinte fórmula (equação de Verhulst):

$$Y = \frac{wt}{1 + e^{-r(t-tm)}}$$

em que:

- Y – peso médio do fruto (g);
- t – tempo (dia do ano);
- w , r e tm – parâmetros estimados pelo modelo.

Os parâmetros w , r e tm foram estimados por ajustamento de uma equação não-linear (curva sigmoide) por minimização da soma dos quadrados das diferenças entre os valores estimados e os valores observados. O parâmetro w representa o peso máximo do fruto (assíntota da sigmoide), o parâmetro r representa a taxa média de crescimento relativo e o parâmetro tm representa a data do ponto de inflexão da curva sigmoide.

A referida equação logística simples dá origem à curva sigmoide característica do desenvolvimento dos frutos nas pomóideas, quando esse crescimento se expressa em peso fresco (Fernandes et al., 2010; Ramos, 2017). Deste modo, foi necessário transformar os resultados da medição do diâmetro em peso, por ajustamento de uma relação linear entre o cubo do diâmetro e o peso do fruto obtido em amostras destrutivas de frutos ao longo de todo o período de crescimento. Nestas amostras destrutivas, os frutos são medidos e pesados individualmente.

Dada a existência de trabalhos prévios em pereira ‘Rocha’ (Ribeiro et al, 2010; Marques et al., 2010; Fernandes et al., 2010), não se efetuaram as amostragens destrutivas e utilizou-se a seguinte fórmula (obtida a partir dos resultados dos trabalhos acima referidos, A. Ramos, com. oral):

$$Y = 0,58. X^3$$

em que:

- Y – peso médio do fruto (g);
- X – diâmetro (cm).

A partir dos valores semanais observados e dos valores estimados pelas curvas de crescimento podem também calcular-se as taxas de crescimento absoluto, que expressam os ganhos médios de peso diário. De referir que o ganho de peso diário máximo (pico da curva) ocorre aquando da inflexão da curva (sigmoide) de crescimento, ou seja, no momento da transição dos acréscimos crescentes para os acréscimos decrescentes.

A qualidade do ajustamento da curva sigmoide (não linear) foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2), calculado de acordo com a seguinte fórmula (Zeviani et al., 2013): $R^2 = 1 - SQE/SQR$, em que SQE representa a soma de quadrados do erro e SQR representa a soma de quadrados da regressão. Por sua vez, a SQE calcula-se pelo somatório dos quadrados das diferenças entre os valores estimados e os valores observados, enquanto a SQR se calcula pelo somatório dos quadrados das diferenças entre os valores estimados e a média dos valores observados.

5.2.2. Desempenho da árvore e eficiência produtiva

De modo a tornar comparáveis os resultados de diferentes pomares, é necessário expressar os resultados da produção (número e peso dos frutos) em relação à unidade de área da secção transversal do tronco (TCA, *trunk cross-sectional area*, cm^2) ou em relação à unidade de volume da copa (CV, *canopy volume*, m^3) (Robinson e Lakso, 1991; Wright et al., 2006).

Neste trabalho, o desempenho da árvore (efeito do número de frutos no crescimento do fruto) e a eficiência produtiva (índice de produtividade) foram expressos por unidade de volume. Deste modo, o número de frutos será expresso pela densidade de frutos (n° de frutos/ m^3), devido à tendência similar em vários pomares e anos da relação entre a densidade de frutos e o peso médio do fruto (Wright et al., 2006). A eficiência produtiva será expressão pela produção por unidade de volume (kg/m^3).

Como o cálculo do volume de copa (*canopy volume*) pode ser bastante complexo, neste trabalho, e à semelhança de outros trabalhos de A. Ramos e colaboradores, utilizou-se o volume do paralelepípedo que engloba a árvore, ou seja, o volume máximo que a árvore pode ocupar (*tree-space volume*), calculado pela fórmula:

$$V = a.l.d$$

em que:

- a – altura máxima da árvore (m);
- l – largura máxima da árvore (m)
- d – distância entre plantas na linha (m).

Como o peso médio do fruto mostrou ter uma tendência curvilínea em relação à densidade de frutos (frutos/ m^3) e similar em diferentes anos e pomares (Wright et al., 2006), a avaliação do sistema produtivo através da relação entre o número de frutos e o peso médio do fruto em árvores individuais (desempenho da árvore), foi proposto inicialmente por Ramos et al., (2008) e utilizado subsequentemente em diversos trabalhos (Fernandes et al., 2010; Marques et al., 2010; Ramos et al., 2010a; Ramos et al., 2010b; Ribeiro et al., 2010; Martins, 2014; Ramos et al., 2014a; 2014b; Ramos, 2017; Ramos et al., 2022), de forma a ter uma visão mais dinâmica e uma melhor compreensão sobre o comportamento produtivo das árvores. Para tal avaliação,

utilizou-se a seguinte equação, que representa o arco de uma hipérbole (Ramos et al., 2010a; Ramos et al., 2014a):

$$Y = \frac{1}{aX + \frac{1}{b}}$$

em que:

- Y – peso médio do fruto (kg);
- X – densidade de frutos (frutos/m³);
- a e b – parâmetros estimados pelo modelo (por minimização da soma dos quadrados das diferenças).

A eficiência produtiva (kg/m³) é o resultado da multiplicação do peso médio do fruto (Y) pela densidade de frutos (X).

Para determinar a qualidade do ajustamento da relação não linear entre o peso médio dos frutos e a densidade de frutos, utilizou-se a metodologia atrás descrita para as curvas de crescimento dos frutos (cap. 5.2.1.).

5.2.3. Capacidade produtiva

Como referem diversos autores (Robinson et al., 1991; Hester e Cacho, 2003; Tustin e van Hooijdonk, 2016; Lordan et al., 2017), a capacidade produtiva do pomar é determinada pela capacidade de interceptar a radiação solar (condicionada pelo sistema de plantação, ou seja, pela combinação do vigor do porta-enxerto, do espaçamento entre árvores e pela forma das árvores) e pelo uso eficiente da radiação interceptada (que depende da distribuição da área foliar). Com base nos princípios referidos por aqueles autores e a partir de um total de 72 casos de estudo em pera ‘Rocha’ (1173 árvores), Ramos (com. oral) desenvolveu algumas ferramentas para avaliar a capacidade produtiva do pomar, nomeadamente para: i) apoio às decisões da monda; ii) previsão da colheita; iii) monitorização do crescimento do fruto; e iv) diagnóstico do desempenho do pomar.

Uma vez que as referidas ferramentas foram desenvolvidas em pomares de pereira ‘Rocha’ com forma de condução do tipo “eixo vertical” (sebes contínuas, mas não homogéneas, altas e relativamente estreitas), neste trabalho, foram utilizadas duas daquelas ferramentas, com a finalidade de testar a sua funcionalidade com os sistemas de “duplo-eixo” (formas mais estreitas). As referidas ferramentas foram as seguintes (Ramos, com. oral):

- i) monitorização do crescimento do fruto, em que se entra com as medições do diâmetro do fruto e um objetivo de peso médio do fruto (em função do calibre desejado). A saída mostra a evolução da curva de crescimento que pode ir sendo comparada com uma curva “padrão” para o objetivo pretendido. Deste modo, é possível verificar se o desempenho (real) da árvore (pomar) está de acordo com aquele objetivo, se está melhor ou se está pior. Alguns aspetos como a carga da

árvore ou as tecnologias de produção (fertilização, rega) podem ser alvo de apreciação e, se possível, de correção ao longo do período de monitorização;

- ii) diagnóstico do desempenho do pomar, em que se entra com as medições do compasso e da sebe e com o número de frutos e o peso da produção por árvore individual. A saída mostra (para as mesmas cargas) os resultados observados do peso médio do fruto, da percentagem da produção acima de determinado calibre e a produção (por árvore e por hectare) observados por árvore individual (e respetiva média), comparando-os com os equivalentes valores estimados pela ferramenta do desempenho "padrão", em função do volume do espaço da árvore (determinado pelo sistema de plantação, ou seja, pela estrutura do pomar). Através dessa comparação podem discutir-se os fatores que podem ter sido responsáveis por um desempenho abaixo ou acima do "padrão" e delinear estratégias para melhorar (ou manter) o desempenho do pomar.

6. Resultados e discussão

6.1. Crescimento do fruto

6.1.1. Pomar 1 (Orjais)

Os valores observados do peso médio do fruto, obtidos a partir das medições do diâmetro em campo, de 27 de maio a 28 de agosto no Pomar 1, os valores observados dos acréscimos diários e as respetivas curvas estimadas apresentam-se na Figura 8. Os parâmetros da curva de crescimento estimados e a respetiva significância apresentam-se na Tabela 1. Pela análise da Figura 8 e da Tabela 1, é possível verificar que o ajustamento dos valores observados à equação da curva sigmoide tem uma significância elevada. A data de ocorrência da inflexão da curva sigmoide, coincidente com o valor máximo do ganho de peso diário (pico da taxa de crescimento absoluta: 1,78 g) ocorreu a 8 de agosto, ou seja, cerca de 3 semanas antes da colheita.

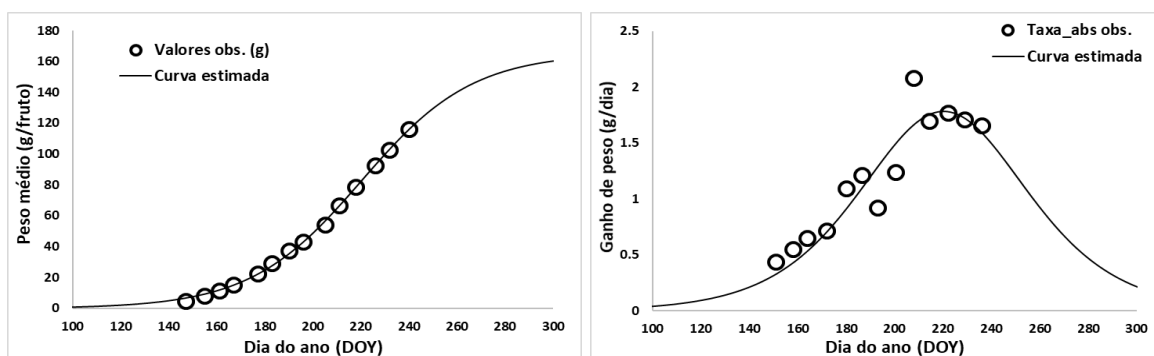


Figura 8 - Representação gráfica dos valores observados do peso médio do fruto (esquerda) e da taxa de crescimento absoluta (direita) em função da data (a partir do DOY 100 - 10 de abril) e respetivas curvas estimadas, para o Pomar 1.

Tabela 1 - Parâmetros da equação da curva de crescimento estimados pelo modelo e grau de significância do respetivo ajustamento, no Pomar 1.

wt (g)	r	tm (DOY / data)	R ²
165,3	0,043	220 / 08 ago	0,999

É de salientar que os ganhos de peso diários observados foram regulares e próximos dos estimados até à medição de 9 de julho. Entre os períodos de 9 a 15 e de 15 a 24 de julho os ganhos de peso diários observados foram inferiores aos estimados, recuperando no período seguinte (24 a 30 de julho). Nas medições a partir de 6 de agosto até à colheita, os acréscimos observados voltam a ser regulares e próximos dos estimados. Este comportamento das taxas de crescimento absolutas terá certamente a ver com o período de temperaturas muito elevadas (onda de calor) que ocorreu no mês de julho de 2022 (Fig. 9), provavelmente insuficientemente compensadas pela rega (4871 m³/ha).

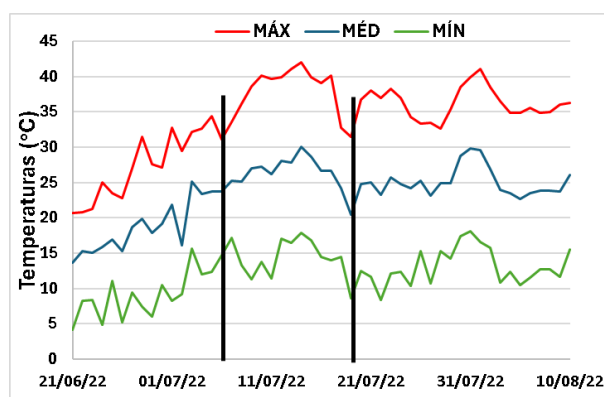


Figura 9 - Temperaturas máximas, médias e mínimas diárias observadas na EMA de Belmonte no período de 21 de junho a 10 de agosto. As linhas verticais limitam o período entre 6 e 19 de julho (dados gentilmente cedidos pela DRAPC).

Com efeito e segundo os dados gentilmente cedidos pela DRAPC, a média das temperaturas médias diárias no período de 21 de junho a 2 de julho foi de 17,1°C, tendo subido drasticamente para 25,1°C de 3 a 10 de julho e mantendo-se superior a 25°C nos períodos seguintes (11 a 20 e 21 a 31 de julho). Os picos máximos de temperaturas médias (30°C) e máximas (42°C) ocorreram no dia 14 de julho.

6.1.2. Pomar 2 (Valado dos Frades)

Os dados referentes ao peso médio do fruto, derivados das medições do diâmetro realizadas no campo entre 24 de junho e 14 de agosto no Pomar 2, juntamente com os valores observados dos acréscimos diários e as curvas estimadas correspondentes, estão apresentados na Figura 10. Os parâmetros estimados da curva de crescimento, assim como a sua significância, podem ser encontrados na Tabela 2. Ao analisar tanto a Figura 10 como a Tabela 2, é evidente que a qualidade do ajustamento da curva sigmoide aos valores observados foi muito elevada. A inflexão da curva sigmoide,

alinhada com o valor máximo do ganho de peso diário (pico da taxa de crescimento absoluta: 2,34 g), foi registada em 2 de agosto, aproximadamente duas semanas antes da colheita.

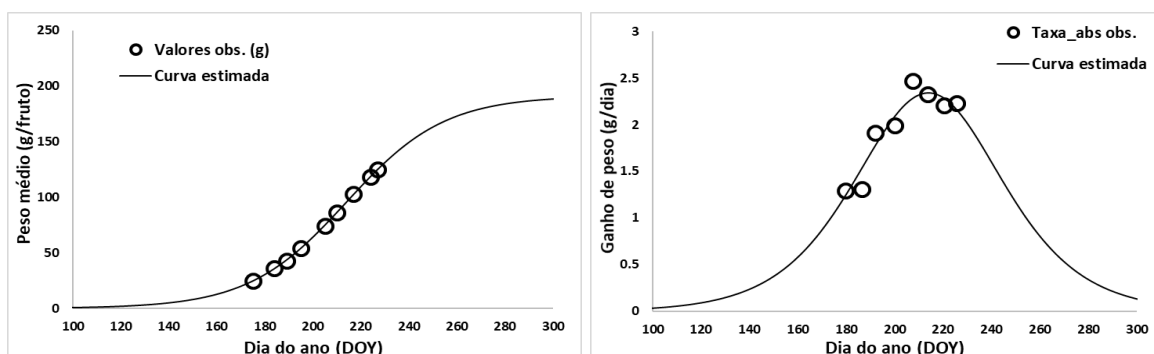


Figura 10 - Representação gráfica dos valores observados do peso médio do fruto (esquerda) e da taxa de crescimento absoluta (direita) em função da data (a partir do DOY 100 - 10 de abril) e respectivas curvas estimadas, para o Pomar 2.

Tabela 2 - Parâmetros da equação da curva de crescimento estimados pelo modelo e grau de significância do respetivo ajustamento, no Pomar 2.

wt (g)	r	tm (DOY / data)	R ²
191,4	0,049	214 / 02 ago	1,000

Na Figura 10, evidencia-se que os ganhos de peso diário observados foram regulares e próximos dos estimados. No entanto, é de referir que nos períodos de 3 a 8 e de 14 a 24 de julho os ganhos de peso diários observados foram inferiores aos estimados, recuperando no período seguinte.

A região onde se localiza o Pomar 2 é bastante mais fresca e a quantidade de água aplicada (5136 m³/ha) foi superior, justificando a menor variação dos ganhos de peso diário em comparação com o que se observou no Pomar 1. Com efeito, nos mesmo períodos referidos para o Pomar 1, a média das temperaturas médias diárias subiu de 18°C de 21 junho a 2 de julho para 20,7°C de 3 a 10 de julho, mantendo-se superior a 20°C no período de 11 a 20 de julho e inferior no período de 21 a 23 de julho a 8 de agosto. De referir ainda a ocorrência de temperaturas máximas de 37°C, e de 36,1°C, nos dias 8 e 14 de julho, respetivamente, pouco comuns na região (Fig. 11).

Comparativamente com o Pomar 1, o Pomar 2 apresenta um **wt** superior e uma data no ponto de inflexão da curva sigmoide de menos 6 dias, confirmando um crescimento mais intenso e rápido dos frutos, em virtude, certamente, das diferentes condições hídricas e das temperaturas diferentes nas duas regiões, para além de uma possível diferença nas datas de abrolhamento e de plena floração.

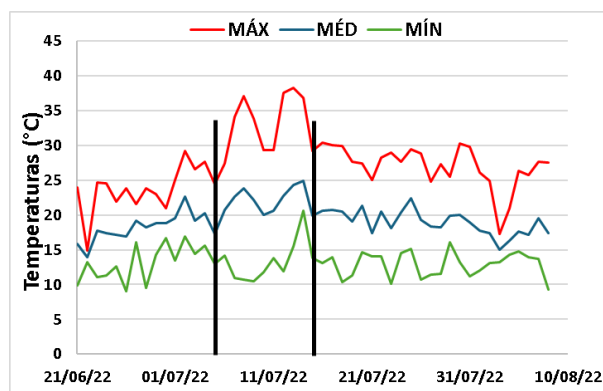


Figura 11 - Temperaturas máximas, médias e mínimas diárias observadas na EMA de Maiorga no período de 21 de junho a 10 de agosto. As linhas verticais limitam o período entre 5 e 15 de julho (dados gentilmente cedidos pelo COTHN-CC).

6.1.3. Pomar 3 (Peral)

Os registos do peso médio do fruto, provenientes das medições do diâmetro em campo entre 18 de junho e 21 de agosto no Pomar 3, juntamente com os valores observados dos acréscimos diários e as correspondentes curvas estimadas, estão representados na Figura 12. Os parâmetros estimados da curva de crescimento, bem como sua significância, são apresentados na Tabela 3. Ao analisar tanto a Figura 12 quanto a Tabela 3, destaca-se a notável significância do ajuste dos valores observados à equação da curva sigmoide. A inflexão da curva sigmoide, coincidindo com o valor máximo do ganho de peso diário (pico da taxa de crescimento absoluta: 1,35 g), foi registada em 5 de agosto, aproximadamente duas semanas antes da colheita.

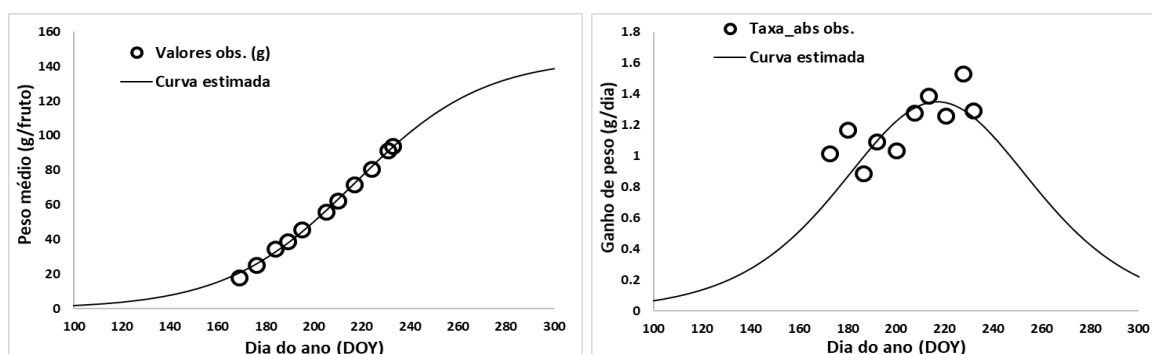


Figura 12 - Representação gráfica dos valores observados do peso médio do fruto (esquerda) e da taxa de crescimento absoluta (direita) em função da data (a partir do DOY 100 - 10 de abril) e respectivas curvas estimadas, para o Pomar 3.

Tabela 3 - Parâmetros da equação da curva de crescimento estimados pelo modelo e grau de significância do respetivo ajustamento, no Pomar 3.

wt (g)	r	tm (DOY / data)	R ²
144,8	0,037	217 / 05 ago	0,998

Destaca-se na Figura 12 que os ganhos médios de peso diários observados entre as medições de campo foram irregulares e, por vezes, distantes dos estimados. Até 3 de julho os ganhos de peso diários foram superiores aos valores estimados. Nos períodos de 3 a 8 de julho e de 14 a 24 de julho ganhos médios de peso diários observados foram inferiores aos estimados, recuperando no período seguinte. Nestes períodos, a variação das taxas de crescimento absoluto terá tido a ver as temperaturas elevadas que ocorreram nesse período (Fig. 13). As oscilações que ocorreram posteriormente poderão estar relacionadas com regas irregulares ou insuficientes (1393 m³/ha), afetando o crescimento do fruto.

Com efeito, nos mesmo períodos referidos para o Pomar 1 e 2, a média das temperaturas médias diárias subiu de 17,4°C de 21 a 30 de junho para 21,6°C de 1 a 5 de julho, para 23,3°C de 6 a 17 de julho, mantendo-se com uma média de 20,8°C na década seguinte, aumentando para 23,7°C de 30 de julho a 2 de agosto, diminuindo para 19,8°C até 7 de agosto. De referir ainda a ocorrência de temperaturas máximas de 36,1°C, 41,6°C, e de 36,9°C, nos dias 7, 13 e 31 de julho, respetivamente, pouco comuns na região (Fig. 13).

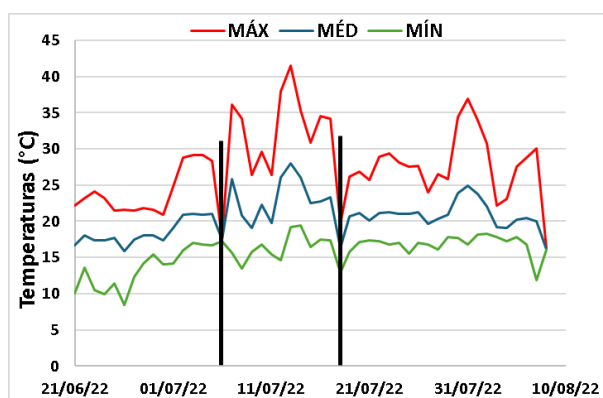


Figura 13 - Temperaturas máximas, médias e mínimas diárias observadas na EMA de Alguber no período de 21 de junho a 10 de agosto. As linhas verticais limitam o período entre 5 e 18 de julho (dados gentilmente cedidos pelo COTHN-CC).

Comparando os dados meteorológicos dos 3 locais (Pomar 1; Pomares 2 e 4; Pomar 3), é possível verificar (ou confirmar) as diferentes condições climáticas entre a região da Cova da Beira e a região do Oeste (Figs. 9, 11 e 13). Nesta região, ainda é possível verificar que a zona do Peral (concelho do Cadaval) também é um pouco mais quente que a região de Valado dos Frades/Alfeizerão (concelho de Alcobaça). Também é possível verificar que na Cova da Beira se verifica um único período de temperaturas muito altas nas duas primeiras décadas de julho, enquanto na região do Oeste existem vários picos de temperaturas altas alternando com dias de temperaturas mais baixas.

O valor do **wt** e do ganho máximo de peso diário (no ponto de inflexão da curva de crescimento) no Pomar 3, inferior ao dos Pomares 1 e 2 é revelador de condições menos favoráveis ao crescimento do fruto, sejam fatores naturais (temperatura, precipitação, ...), sejam agronómicos (número excessivo de frutos, deficiência hídrica, desequilíbrio nutritivo, ...).

6.1.4. Pomar 4 (Alfeizerão)

Os resultados referentes ao peso médio do fruto, derivados das medições do diâmetro em campo entre 25 de junho e 26 de agosto no Pomar 4, juntamente com os valores observados dos acréscimos diários e as respectivas curvas estimadas, estão apresentados na Figura 14. Os parâmetros estimados da curva de crescimento e sua significância correspondente são detalhados na Tabela 4. A análise conjunta da Figura 14 e da Tabela 4 revela que o ajuste dos valores observados à equação da curva sigmoide é altamente significativo. A data de inflexão da curva sigmoide, coincidindo com o valor máximo do ganho de peso diário (pico da taxa de crescimento absoluta: 2,17 g), foi registada em 3 de agosto, cerca de 3 semanas antes da data de colheita.

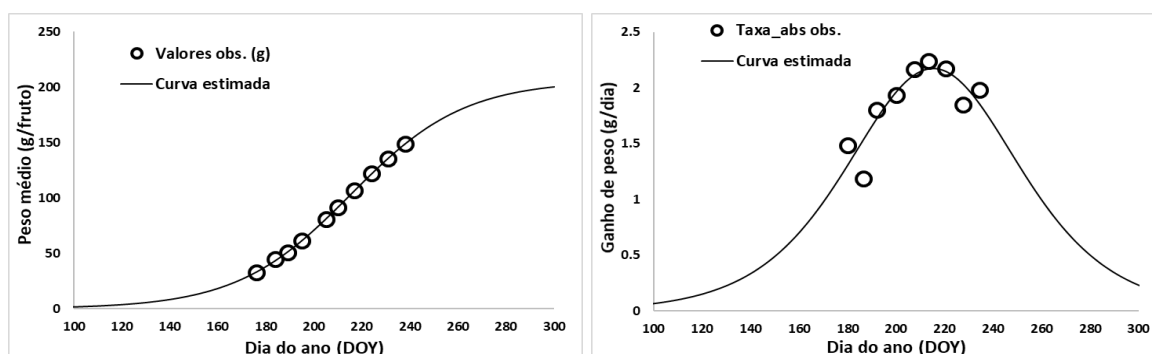


Figura 14 - Representação gráfica dos valores observados do peso médio do fruto (esquerda) e da taxa de crescimento absoluta (direita) em função da data (a partir do DOY 100 - 10 de abril) e respectivas curvas estimadas, para o Pomar 4.

Tabela 4 - Parâmetros da equação da curva de crescimento estimados pelo modelo e grau de significância do respetivo ajustamento, no Pomar 4.

wt (g)	r	tm (DOY / data)	R ²
206,2	0,042	215 / 03 ago	1.000

No Pomar 4, os ganhos médios de peso diário foram regulares e próximos dos estimados, exceto no período de 3 a 8 de julho, coincidindo com a ocorrência do primeiro período de temperaturas mais elevadas (Fig. 11), com um pico de temperatura máxima de 37,01°C no dia 8 de julho. A não ocorrência de outros períodos de diminuição do crescimento do fruto a coincidir com outros picos/períodos de temperaturas mais elevadas pode revelar um melhor ajuste na prática de rega (7000 m³/ha) ou uma influência marítima mais marcada, com temperaturas (particularmente as mínimas) mais baixas.

Comparativamente com os pomares anteriores, o Pomar 4 possui o **wt** mais elevado, apesar do pico de ganho de peso diário (ponto de inflexão da curva de crescimento) ter sido superior no Pomar 2. Dada a proximidade dos dois pomares, este facto poderá ser devido a uma maior antecipação do abrolhamento e da plena floração no Pomar 2, com a conseqüente antecipação de cerca de duas semanas na data de colheita.

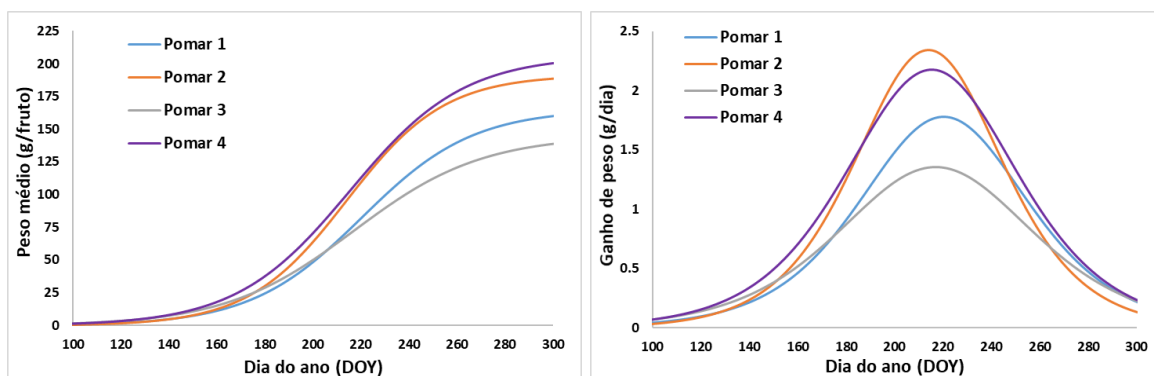


Figura 15 - Comparação dos 4 pomares, dos valores observados do peso médio do fruto (esquerda) e da taxa de crescimento absoluta (direita) em função da data (a partir do DOY 100 - 10 de abril).

Na Figura 15, são apresentadas as curvas de crescimento e de ganho médio de peso diário dos 4 pomares, evidenciando a diferença na antecipação e nas taxas de crescimento entre os Pomares 2 e 4 (concelho de Alcobaça) e os Pomares 1 (Orjais) e 3 (Peral). Também é evidente o menor crescimento do fruto no Pomar 3 em relação aos restantes, pondo em evidência uma tecnologia de rega inadequada para as necessidades das plantas.

6.2. Eficiência produtiva

Os valores médios observados dos principais indicadores de eficiência, produtividade e qualidade são apresentados na Tabela 5. Como atrás referido, a colheita do Pomar 4 não foi registada por falha de comunicação com o produtor. De acordo com os valores da referida Tabela, o Pomar 3 é o que apresentou maior número de frutos, maior produção por árvore e frutos mais pequenos (menor peso médio). Os Pomares 1 e 2 tiveram um número de frutos e produção aproximados, mas foi no Pomar 2 que se obtiveram os frutos com maior peso médio.

Dada a diferença de volume da árvore entre o Pomar 2 e os restantes, a densidade de frutos e a eficiência produtiva foram praticamente o dobro em relação aos Pomares 1 e 3. Desta maior eficiência, resultou uma produtividade mais elevada e calibres superiores no Pomar 2 em relação aos Pomares 1 e 3.

Estes resultados estão de acordo com a relação negativa entre o número de frutos por árvore e o peso médio do fruto, amplamente referida na literatura (Robinson e Lackso 1991; Robinson et al., 1991; Wright et al., 2006; Embree et al., 2007; Ramos et al., 2010a; Reginato et al., 2007; Martins, 2014; Ramos, 2017; Reig et al., 2019, Ramos et al., 2022), mas tal relação não se verifica quando o número de frutos se expressa pela densidade de frutos (frutos/m³). Por outro lado, a eficiência produtiva (expressa por unidade de volume ou por hectare) está positivamente relacionada com a densidade de frutos, mas não com o número de frutos por árvore. Também é de salientar que o

Pomar 2, com árvores mais pequenas (menor volume da árvore), seja o mais eficiente, como referem Robinson e Lackso (1991), Robinson et al. (1991), Autio et al. (1996), Ramos et al. (2010a) e Reig et al. (2019).

Tabela 5 - Valores médios observados dos principais indicadores de eficiência, produtividade e qualidade nos três pomares

Pomar (volume, m ³)	Valores médios por árvore			Valores médios por unidade de volume		Produti- vidade (t/ha)	Porcentagem da produção*	
	Nº de frutos	Produção (kg)	P_médio (g/fruto)	Densidade de frutos (frutos/m ³)	Eficiência produtiva (kg/m ³)		> 60 mm	> 65 mm
1 (3,03)	80,7	9,3	116,2	26,7	3,1	24,5	52,6	16,9
2 (1,25)	75,5	9,5	128,1	60,5	7,6	34,1	67,6	30,1
3 (3,05)	137,8	11,7	95,0	45,5	3,9	31,8	23,2	9,8

*Valores estimados por um algoritmo de transformação da distribuição por classes de calibre em uma variável contínua em função do peso médio (Ramos et al., 2014a).

Os resultados apresentados na Tabela 5 também mostram diferentes eficiências entre os 3 pomares, refletindo as diferentes localizações e as tecnologias de produção específicas que terão sido praticadas em cada pomar. Deste modo, parece evidente que o Pomar 2 foi o mais eficiente (mais produção por unidade de volume com peso médio do fruto superior), o que estará de acordo com os resultados das curvas e das taxas de crescimento (Fig. 15), com os diferentes valores do parâmetro **wt** e com os valores máximos de ganho de peso diário (no ponto de inflexão das curvas de crescimento).

A Figura 16 apresenta graficamente os resultados do ajustamento não linear da equação de uma hipérbole (ver cap. 5.2.2) entre o número de frutos (expresso como densidade de frutos, frutos/m³) e o peso médio registado à colheita (desempenho da árvore) e a relação entre a densidade de frutos e a eficiência produtiva (expressa em kg/m³), para os Pomares 1, 2 e 3. Pela observação da referida Figura, confirma-se a relação inversa entre a densidade de frutos e o peso médio dos frutos, bem como a relação positiva entre a densidade de frutos e a eficiência produtiva (Wright et al., 2006; Embree et al., 2007; Ramos et al., 2010a; Reginato et al., 2007; Ramos et al., 2014a; Martins, 2014; Ramos, 2017; Reig et al., 2019, Ramos et al., 2022).

Na Figura 16 é possível obter uma visualização mais “dinâmica” de cada sistema produtivo (pomar), nomeadamente em relação à caracterização das árvores individuais que constituem a amostra. No Pomar 1, a densidade de frutos é relativamente baixa, entre cerca de 10 e 40 frutos/m³, com um peso médio do fruto que varia entre cerca de 100 e 140 g. Como o número de frutos é baixo, o menor crescimento do fruto não será devido a esse fator, pelo que a razão do baixo peso médio do fruto (Tabela 5) será devido a fatores externos, tais como as elevadas temperaturas e o stress hídrico, já referidos a propósito das curvas de crescimento.

No Pomar 2, a densidade de frutos é mais alta, entre cerca de 30 a 90 frutos/m³, com pesos médios do fruto a variar entre cerca de 100 e 150 g. Como os pesos médios

do fruto com as densidades de frutos mais elevadas (≈ 90 frutos/ m^3) são semelhantes ao do Pomar 1 (≈ 40 frutos/ m^3), é de supor que as condições externas, nomeadamente a temperatura e a rega, foram mais favoráveis ou adequadas. Estas melhores condições externas do Pomar 2 foram também referidas atrás a propósito das curvas de crescimento.

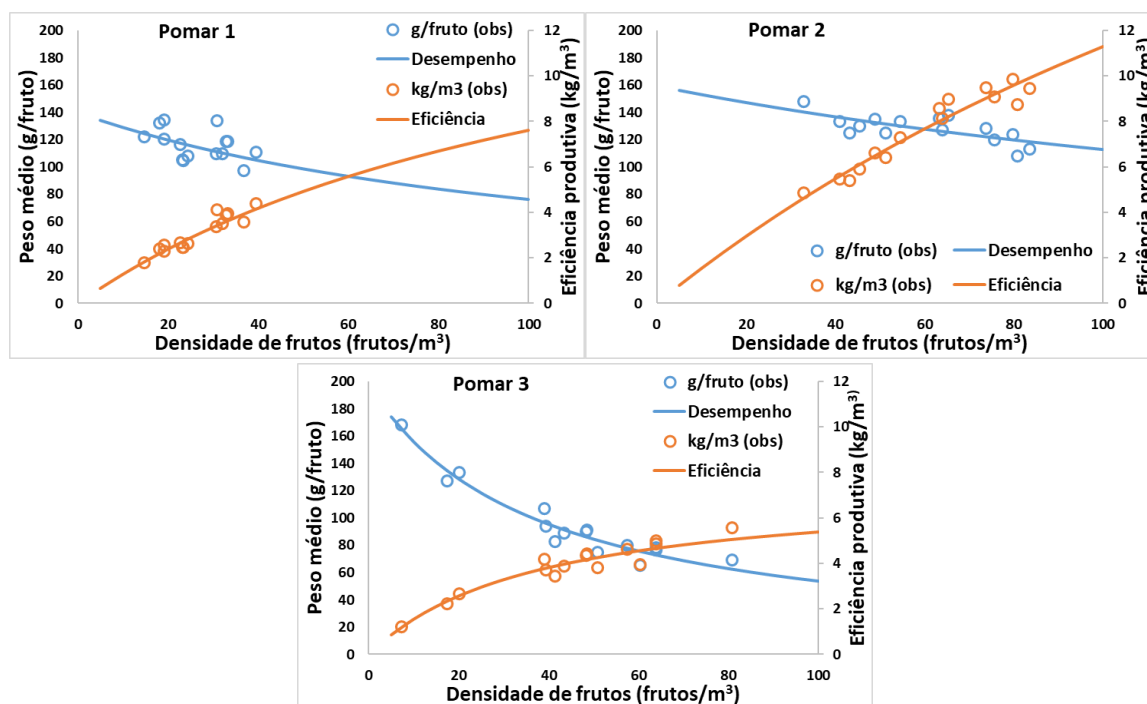


Figura 16 - Valores do peso médio do fruto observados por árvore, nos três pomares, e respetivo ajustamento às curvas de desempenho (peso médio do fruto em função da carga) e de eficiência produtiva (kg/m^3). Qualidade do ajustamento às curvas de desempenho (R^2): Pomar 1 = 0,247; Pomar 2 = 0,491; Pomar 3 = 0,945.

No Pomar 3, a densidade de frutos é díspar, com densidades desde cerca de 10 a 80 frutos/ m^3 . Apenas as 3 árvores com cerca de 10 a 20 frutos/ m^3 foram capazes de expressar um peso médio do fruto mais elevado. Nas restantes árvores, com mais de 40 frutos/ m^3 foram obtidos pesos médios do fruto entre cerca de 70 e 100 g. Como a densidade de frutos varia até valores máximos similares aos do Pomar 2, o efeito do excesso de frutos terá sido agravado por fatores externos desfavoráveis, tal como foi já assinalado a propósito das curvas de crescimento.

A Figura 17 mostra uma representação comparativa do efeito da densidade de frutos no peso médio do fruto e na eficiência produtiva, confirmando a análise detalhada que se efetuou em relação a cada Pomar. Além disso, deve salientar-se que as equações das curvas de desempenho da árvore e de eficiência produtiva traduzem matematicamente o efeito da redução do número de frutos, que pode ser regulado através da operação de monda.

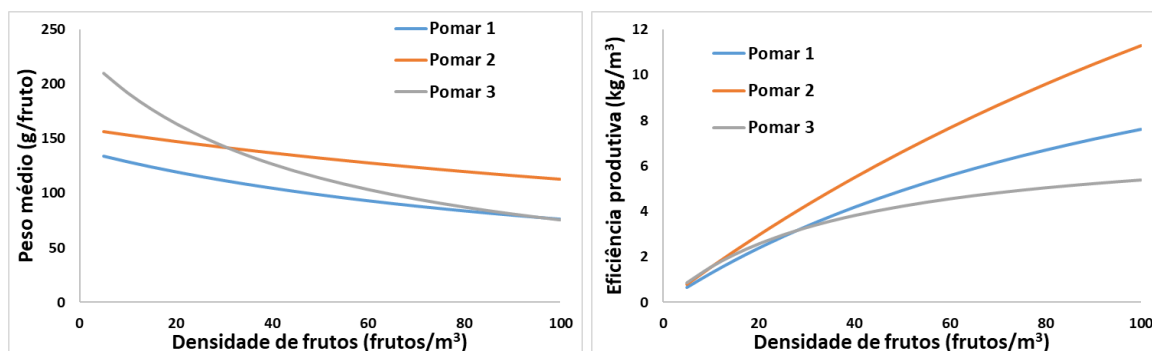


Figura 17 - Representação gráfica das curvas de desempenho da árvore (esquerda) e de eficiência produtiva (direita).

Na representação gráfica das curvas de desempenho e da eficiência produtiva, a posição superior das curvas do Pomar 2 refletem a sua maior eficiência (maiores pesos médios do fruto e mais produção por unidade de volume para a mesma densidade de frutos), pelo menos a partir de 30 frutos/m³. Abaixo de cerca de 30 frutos/m³, o Pomar 3 apresenta pesos médios superiores, refletindo porventura o efeito da redução do número de frutos no crescimento do fruto (Dennis Jr., 2000; Link, 2000; Tromp, 2000; Whiting e Lang, 2004; Embree et al., 2007).

Nos Pomares 1 e 2, pela sua maior “horizontalidade”, parece haver uma “fraca” resposta do crescimento do fruto à redução da densidade de frutos. No Pomar 1 isso poderá dever-se à sua idade, um pomar ainda jovem e com as árvores a não ocupar (ainda) a totalidade o espaço que lhe é alocado, para além das condições externas desfavoráveis e já atrás referidas. No Pomar 2, sem esses constrangimentos externos ao crescimento do fruto, aquela maior horizontalidade pode dever-se à obtenção de frutos com calibres mais uniformes, em virtude da melhor distribuição dos frutos nas árvores conduzidas em duplo-eixo (Dallabetta et al., 2014; Jajo et al., 2014).

6.3. Capacidade produtiva

De acordo com o exposto no capítulo 5.2.3, e a partir de um total de 72 casos de estudo em pera ‘Rocha’ (1173 árvores), Ramos (com. oral) desenvolveu algumas ferramentas para avaliar a capacidade produtiva do pomar, nomeadamente para: i) apoio às decisões da monda; ii) previsão da colheita; iii) monitorização do crescimento do fruto; e iv) diagnóstico do desempenho do pomar. O resultado da aplicação das ferramentas para monitorizar o crescimento do fruto e para fazer o diagnóstico do pomar irão ser apresentadas para cada um dos três pomares onde se registaram os dados à colheita. Como a base de dados obtidos por A. Ramos e colaboradores é constituída por pomares conduzidos em eixo central, os resultados “padrão”, obtidos pelas referidas ferramentas serão representativos da condução em eixo, servindo de comparação com a condução em duplo-eixo.

Os resultados da monitorização do crescimento do fruto serão apresentados em comparação com uma curva de crescimento “padrão” para um determinado objetivo

final de calibre. Esta curva "objetivo" refere-se a um peso médio do fruto (à colheita) de 140 g, que corresponde a cerca de 80% da produção acima do calibre 60 mm. À medida que se vão introduzindo os registos das medições periódicas, a trajetória da curva de crescimento vai sendo corrigida, afastando-se ou aproximando-se da curva "objetivo". Um elevado número de frutos ou um mau desempenho da árvore irão "corrigindo" a curva para "baixo" (e vice-versa).

Os resultados do diagnóstico do pomar são apresentados em comparação com o desempenho "padrão". Este desempenho "padrão" é estimado em função do volume de cada árvore individual (valores estimados) e em função do volume médio das 15 árvores amostradas (curva de desempenho). Dos 72 casos de estudo utilizados como base de dados, foram excluídos os casos com notórias limitações ao crescimento do fruto, nomeadamente devido a stresses térmicos, hídricos ou nutricionais, ou devido a um comportamento alternante (como o que ocorreu em 2012, após uma produção excecional em 2011). Deste modo, o desempenho "padrão" representará o desempenho da sebe "média" (em relação à base de dados de partida) de um pomar de pera 'Rocha' conduzido em eixo central e em condições (supostamente) não limitantes (A. Ramos, com. oral).

6.3.1. Pomar 1 (Orjais)

Os resultados da aplicação das ferramentas "monitorização do crescimento do fruto" e "diagnóstico do desempenho do pomar" relativas ao Pomar 1 apresentam-se na Figura 18. A Tabela 6 compara os valores médios observados com os valores estimados para um desempenho "padrão" pela ferramenta "diagnóstico do desempenho do pomar", para um pomar com o mesmo volume e com o mesmo valor médio da densidade de frutos do Pomar 1.

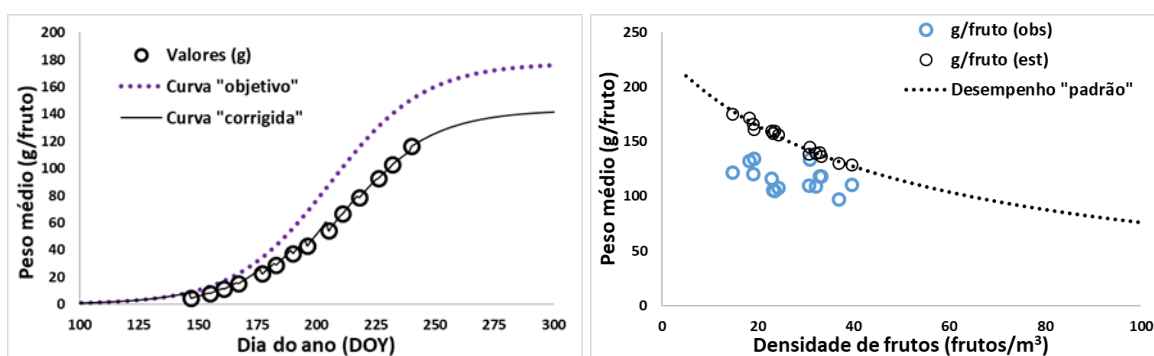


Figura 18 - Resultados da aplicação das ferramentas "monitorização do crescimento do fruto" (esquerda) e "diagnóstico do pomar" (direita) ao Pomar 1.

Tabela 6 - Valores médios observados e valores estimados pela ferramenta de diagnóstico (para o desempenho “padrão” de um pomar com o mesmo volume e mesma densidade de frutos; 3,03 m³; 26,7 frutos/m³) dos principais indicadores de produtividade e calibre no Pomar 1

	Produção (kg/árvore)	Eficiência produtiva (kg/m ³)	Peso médio (g/fruto)	Produtividade (t/ha)	Porcentagem da produção*	
					> 60 mm	> 65 mm
Observados	9,3	3,1	116,2	24,5	52,6	16,9
Estimados	11,9	3,9	151,2	31,4	84,0	56,1

*Valores estimados por um algoritmo de transformação da distribuição por classes de calibre em uma variável contínua em função do peso médio (Ramos et al., 2014a).

Os resultados da ferramenta “monitorização do crescimento do fruto” (Fig. 18, esquerda) mostram que o crescimento do fruto se foi afastando do “objetivo” (estabelecido em 140 g/fruto ⇔ 80% da produção acima do calibre 60 mm) ao longo de todo o período de monitorização, como se pode verificar pelas sucessivas correções que foram efetuadas à medida que as medições em campo foram sendo introduzidas (curva “corrigida”). O afastamento do crescimento do fruto em relação ao “objetivo” deveu-se certamente ao mau desempenho do pomar, como se confirma pela comparação com os resultados estimados em função do volume de cada árvore e pela respetiva curva de desempenho “padrão” (Fig. 18, direita).

O mau desempenho do Pomar 1 também se confirma pelos valores médios observados mais baixos que os estimados (Tabela 6), ou seja, em condições não limitantes o peso médio do fruto à colheita deveria ser superior, influenciando (positivamente) a eficiência produtiva, a produtividade e o calibre. Estes resultados estão de acordo com os anteriormente obtidos nos capítulos 6.1 e 6.2 e com as condições externas desfavoráveis (temperatura, défice hídrico) anteriormente apontadas para justificar o mau desempenho do Pomar1.

Apesar dos resultados da ferramenta “monitorização do crescimento do fruto” (Fig. 18, esquerda) confirmarem o mau desempenho do Pomar 1, é de referir que a utilização da ferramenta e a comparação com a curva “objetivo” teria permitido antever que o crescimento do fruto não estaria a decorrer da melhor forma, podendo tomar-se, eventualmente, medidas corretivas para se obter um melhor desempenho. Nas Figuras do capítulo 6.1., a comparação com a curva “objetivo” não era possível, não permitindo prever com antecedência o mau desempenho do pomar, nem permitindo a tomada de eventuais medidas corretivas atempadamente.

Os resultados da ferramenta “diagnóstico do desempenho do pomar” confirmam todos os resultados que foram sendo discutidos desde as curvas de crescimento do fruto, ao desempenho da árvore e à eficiência produtiva. O mau desempenho do Pomar 1 é visível pelas diferenças árvore a árvore (em função do volume de cada árvore) entre os valores médios observados e os valores estimados do peso médio do fruto e, também, pela curva de desempenho “padrão”, estimada pela ferramenta para um

pomar com um volume igual ao volume médio das 15 árvores que constituíram a amostra.

Como esta ferramenta só se aplica após a colheita, a sua maior utilidade tem a ver com a possibilidade de analisar o desempenho do pomar *a posteriori*, para compreender a motivo do mau desempenho e, se possível, estabelecer estratégias para prevenir ou ultrapassar os constrangimentos ao crescimento do fruto no(s) ano(s) seguinte(s).

6.3.2. Pomar 2 (Valado dos Frades)

Os resultados referentes à aplicação das ferramentas "monitorização do crescimento do fruto" e "diagnóstico do desempenho do pomar" para o Pomar 2 são apresentados na Figura 19. Na Tabela 7, apresentam-se os valores médios observados e os valores estimados para um desempenho "padrão", obtidos através da ferramenta "diagnóstico do desempenho do pomar", considerando um pomar com o mesmo volume e com a mesma densidade de frutos que o Pomar 2.

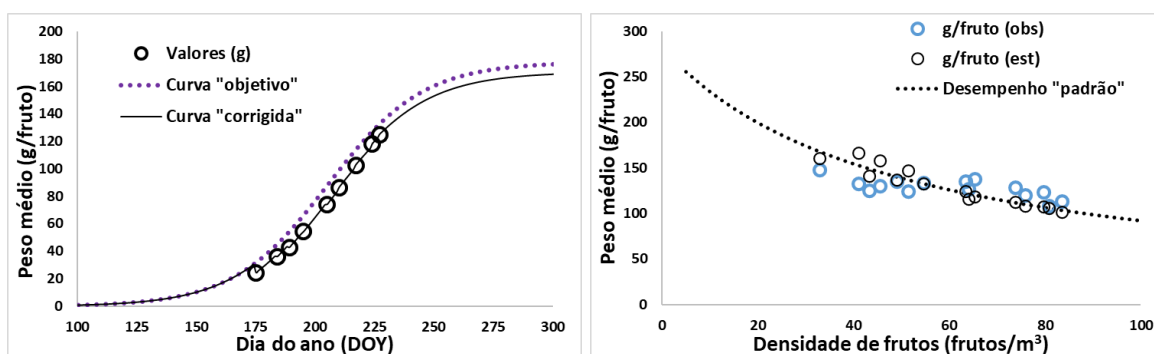


Figura 19 - Resultados da aplicação das ferramentas "monitorização do crescimento do fruto" (esquerda) e "diagnóstico do pomar" (direita) ao Pomar 2.

Tabela 7 - Valores médios observados e valores estimados pela ferramenta de diagnóstico (para o desempenho "padrão" de um pomar com o mesmo volume e mesma densidade de frutos; 1,25 m³; 60,5 frutos/m³) dos principais indicadores de produtividade e calibre no Pomar 2

	Produção (kg/árvore)	Eficiência produtiva (kg/m ³)	Peso médio (g/fruto)	Produtividade (t/ha)	Porcentagem da produção*	
					> 60 mm	> 65 mm
Observados	9,5	7,6	128,1	34,1	67,6	30,1
Estimados	9,3	7,5	129,1	33,2	64,1	31,7

*Valores estimados por um algoritmo de transformação da distribuição por classes de calibre em uma variável contínua em função do peso médio (Ramos et al., 2014a).

Os resultados obtidos por meio da ferramenta "monitorização do crescimento do fruto" (Fig. 19, esquerda) indicam que o crescimento do fruto se manteve muito próximo do objetivo (estabelecido em 140 g/fruto ⇔ 80% da produção acima do calibre 60 mm) durante todo o período de monitorização. Isso é evidenciado pelas correções sucessivas realizadas à medida que as medições de campo foram sendo

introduzidas, dando origem a uma curva “corrigida” praticamente paralela, embora abaixo da curva “objetivo”, provavelmente devido a um número de frutos ligeiramente excessivo.

Como se pode confirmar pela curva de desempenho “padrão” (Fig. 19, direita), o pomar demonstrou um bom desempenho, visto que o peso dos frutos observados foi muito próximo dos estimados. Este bom desempenho do Pomar 2 é também evidente pelos valores médios observados, praticamente idênticos aos valores estimados (Tabela 7) para o desempenho “padrão”. O bom desempenho do Pomar 2 (Fig. 19; Tabela 7) está de acordo com os resultados obtidos anteriormente (cap. 6.1.2 e 6.2.2) e com as condições mais favoráveis de temperatura e de irrigação.

De salientar ainda o facto das árvores com menos frutos terem apresentado peso médios estimados mais elevados que os observados, enquanto nas árvores com mais frutos os pesos médios observados foram superiores aos estimados. Dado que o desempenho do Pomar 2 foi bom e muito próximo ao desempenho “padrão” será de supor que tal facto se possa dever a uma sebe mais estreita e homogénea, ou seja, com as folhas e os frutos mais bem distribuídos. Aquela maior homogeneidade de calibres foi referida por Dallabetta et al. (2014) e Jajo et al. (2014) como uma vantagem do duplo-eixo relativamente às formas de condução em eixo.

6.3.3. Pomar 3 (Peral)

A Figura 20 exhibe os resultados da utilização das ferramentas “monitoramento do crescimento do fruto” e “avaliação do desempenho do pomar” obtidos no Pomar 3. Os valores médios observados são contrastados com os valores médios previstos para um desempenho “padrão” (determinado pela ferramenta “avaliação do desempenho do pomar”) num pomar com o volume e carga semelhantes ao do Pomar 3, conforme se apresenta na Tabela 8.

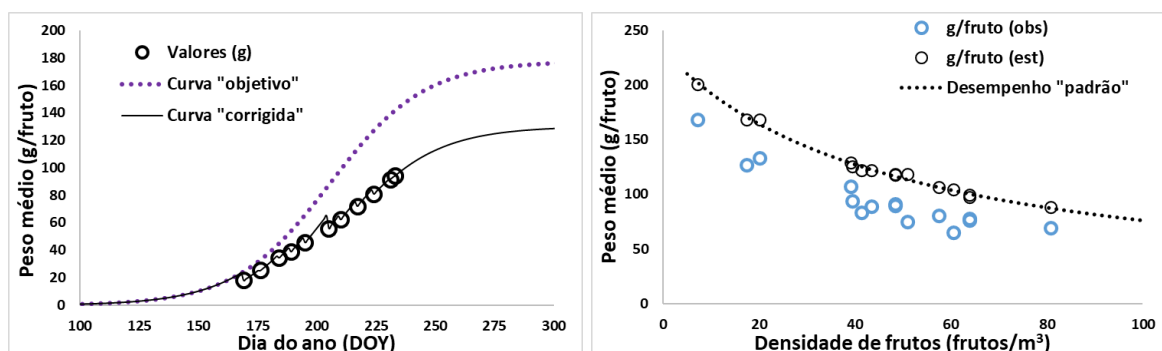


Figura 20 - Resultados da aplicação das ferramentas “monitorização do crescimento do fruto” (esquerda) e “diagnóstico do pomar” (direita) ao Pomar 3.

Tabela 8 - Valores médios observados e estimados pela ferramenta de diagnóstico (para o desempenho "padrão" de um pomar com o mesmo volume e mesma carga; 3,05 m³; 45,5 frutos/m³) dos principais indicadores de produtividade e calibre no Pomar 3

	Produção (kg/árvore)	Eficiência produtiva (kg/m ³)	Peso médio (g/fruto)	Produtividade (t/ha)	Porcentagem da produção*	
					> 60 mm	> 65 mm
Observados	11,7	3,9	95,0	31,8	23,2	9,8
Estimados	15,7	5,2	125,6	42,8	56,5	26,9

*Valores estimados por um algoritmo de transformação da distribuição por classes de calibre em uma variável contínua em função do peso médio (Ramos et al., 2014a).

Os resultados provenientes da ferramenta "monitorização do crescimento do fruto" (Fig. 20, esquerda) revelam que o crescimento do fruto divergiu do objetivo (140 g/fruto ⇔ 80% da produção acima do calibre 60 mm) ao longo de todo o período de monitorização. Para além da divergência das curvas de crescimento, as curvas de desempenho (Fig. 20, direita) também são reveladoras de um desempenho insatisfatório do Pomar 3, à semelhança do que se verificou no Pomar 1.

Deste modo, a aplicação da ferramenta "diagnóstico do desempenho do pomar" permitiu confirmar os resultados do crescimento do fruto, do desempenho da árvore e da eficiência produtiva já referidas anteriormente (cap. 6.1.3 e 6.2.3). Analisando as prováveis causas do mau desempenho (tanto do Pomar 1 como do Pomar 3) seria possível estabelecer estratégias para tornar os pomares mais eficientes, produtivos e com frutos de maior calibre. No caso do Pomar 3, não restarão dúvidas de que o principal fator limitante ao crescimento do fruto foi o stress hídrico, como se comprova pela baixa de dotação de rega (1393 m³/ha)

A inferioridade do desempenho do Pomar 3 também se evidencia pelos valores médios observados, que são inferiores aos valores estimados (Tabela 8), apesar dos valores médios observados terem sido mais elevados com densidades de fruto mais baixas.

7. Conclusões

A avaliação do sistema produtivo de pereira 'Rocha' em duplo-eixo, com os dados recolhidos no ano de 2022, em diferentes pomares e regiões, permitiu estudar e compreender o comportamento produtivo daquela cultivar em relação à interação do número de frutos com os outros fatores que influenciam o crescimento dos frutos. De entre esses fatores, destacam-se fatores as condições ambientais onde são cultivadas e as tecnologias de produção utilizadas.

É de salientar que a contagem de frutos, efetuada manualmente à colheita, foi uma tarefa morosa e dispendiosa, contudo necessária, uma vez que o número de frutos é um fator que influencia positivamente a produção e negativamente o crescimento do fruto. Deste modo, a sua "normalização" pelo tamanho da árvore (expressando-se por

unidade de volume) foi essencial para a compreensão das produtividades dentro de cada pomar e entre pomares. As temperaturas excessivamente elevadas em julho de 2022 e uma tecnologia de rega insuficiente para as compensar, parecem ter sido críticas para o desempenho de dois dos pomares (Pomares 1 e 3), influenciando os ganhos de peso diários em determinadas fases e o crescimento final dos frutos, apesar da diferente localização dos dois pomares.

O mau comportamento produtivo dos Pomares 1 e 3 foi consistente em todas as formas de avaliação utilizadas neste trabalho, nomeadamente: i) valor máximo das curvas de crescimento do fruto mais baixo; menor valor do pico máximo das taxas de crescimento (menores ganhos de peso diário); menor desempenho da árvore (peso médio inferior para a mesma densidade de frutos); menor eficiência produtiva (menos produção por unidade de volume).

A utilização da ferramenta “monitorização do crescimento do fruto” permitiu comparar o crescimento do fruto com o crescimento “padrão” para um determinado objetivo de calibre e, conseqüentemente, prever com alguma antecedência o mau desempenho dos Pomares 1 e 3, o que poderia ter sido útil para tentar alterar algumas tecnologias de produção, especialmente a rega (havendo água disponível).

A utilização da ferramenta de “diagnóstico do desempenho do pomar”, revelou-se também uma mais-valia, uma vez que compara os diversos resultados observados, por árvore de forma individual, com valores estimados pela ferramenta em função do volume do espaço da árvore, que é determinado pela estrutura do pomar. Deste modo, torna-se possível avaliar a eficiência do pomar, identificar eventuais fatores limitantes da produção e desenvolver estratégias, nomeadamente ao nível das tecnologias de produção (ou páticas culturais), que visem prevenir e ultrapassar eventuais constrangimentos ao crescimento do fruto.

Para além da sua relevância na análise e correção da eficiência produtiva de cada pomar, a ferramenta “diagnóstico do desempenho do pomar”, também permite avaliar a capacidade produtiva de qualquer pomar em função da sua estrutura, uma vez que o volume que a árvore ocupa (ou pode ocupar) depende da distância entre árvores, das dimensões da sebe e do vigor.

Desta forma, pode dizer-se que em condições externas não (muito) limitantes (como no Pomar 2 e, eventualmente, no Pomar 4) a capacidade produtiva dos pomares em duplo-eixo é similar à dos pomares em eixo com o mesmo volume, mas a eficiência da sebe conduzida em duplo-eixo será superior uma vez que os calibres são mais uniformes em resultado das sebes mais estreitas e homogêneas e de uma melhor distribuição dos frutos na árvore.

Em condições externas (mais) limitantes (como nos Pomares 1 e 3), o efeito negativo dessas condições é preponderante, não permitindo que se atinja a plena capacidade produtiva desses pomares (determinada pela estrutura da plantação).

Nesses casos, a maior eficiência da sebe ou a melhor distribuição dos frutos nas árvores conduzidas em duplo-eixo torna-se insignificante.

Com a conclusão deste trabalho, é de salientar a importância de se concretizarem mais estudos deste tipo, que transmitem informações importantes aos fruticultores, sobre a eficiência dos respectivos pomares. Estudos sobre novos sistemas de condução, aliados com a eficiência produtiva dos pomares (com eventual recurso às ferramentas utilizadas neste trabalho) são uma mais-valia aquando da tomada de decisão da instalação de um pomar, uma vez que a sua eficiência produtiva é, em grande parte, determinada pela escolha do sistema de plantação (vigor do porta-enxerto; densidade e compassos; forma de condução).

Referências bibliográficas

- ANP. 2023. Rocha do Oeste - Portugal. Available from: <http://perarocha.pt/>
- Autio, W. R., D. W. Greene, e W. J. Lord. 1996. Performance of 'McIntosh' Apple Trees on Seven Rootstocks and a Comparison of Methods of Productivity Assessment. *HortScience*. 31:1160–1163. doi:10.21273/HORTSCI.31.7.1160.
- Dallabetta, N., F. Costa, J. Pasqualini, R. Wehrens, M. Noferini, e G. Costa. 2014. The influence of training system on apple fruit quality. *Acta Hort.* 1058:55–62. doi:10.17660/ActaHortic.2014.1058.4.
- Dennis Jr, F.G. 2000. The history of fruit thinning. *Plant Growth Regulation*, 31: 1-6.
- Dorigoni, A. 2016. Innovative fruit tree architecture as a nexus to improve sustainability in orchards. *Acta Hort.* 1–10. doi:10.17660/ActaHortic.2016.1137.1.
- Dorigoni, A., P. Lezzer, N. Dallabetta, S. Serra, e S. Musacchi. 2011. Bi-axis: an alternative to splendor spindle for apple orchards. *Acta Hort.* 581–588. doi:10.17660/ActaHortic.2011.903.80.
- Embree, C. G., M. T. D. Myra, D. S. Nichols, e A. H. Wright. 2007. Effect of Blossom Density and Crop Load on Growth, Fruit Quality, and Return Bloom in 'Honeycrisp' Apple. *HortScience*. 42:1622–1625. doi:10.21273/HORTSCI.42.7.1622.
- Faoro, I. D., A. A. Sezerino, M. S. De Martin, e M. da S. Pasa. 2019. A pereira cv. Rocha. *Agropecuária Catarinense*. 32:38–40. doi:10.22491/RAC.2019.v32n1.2.
- Fernandes, B., A. S. Ramos, E. Silva, A. C. Duarte, e J. M. S. Martins. 2010. Expressão do potencial produtivo e qualitativo da pereira "Rocha" sob diferentes regimes hídricos. 2. ° Simpósio Nacional de Fruticultura. 98–104.
- GPP. 2022. Monitorização agrometeorológica e hidrológica.
- Hampson, C. R., H. A. Quamme, e R. T. Brownlee. 2002. Canopy growth, yield, and fruit quality of "Royal Gala" apple trees grown for eight years in five tree training systems. *HortScience*. 37:627–631. doi:10.21273/HORTSCI.37.4.627.
- Hester, S. M., e O. Cacho. 2003. Modelling apple orchard systems. *Agric Syst*. 77:137–154. doi:10.1016/S0308-521X(02)00106-3.
- Hrotkó, K. 2013. Development In Fruit Trees Production Systems. *AgroLife Scientific Journal*. 2:28–35.
- Hugard, J. 1981. High density planting in French orchards: development and current achievements. *Acta Hort.* 300–308. doi:10.17660/ActaHortic.1981.114.42.
- Jajo, A., M. A. Rahim, S. Serra, F. Gagliardi, N. K. Jajo, S. Musacchi, G. Costa, C. Bonghi, e L. Trainotti. 2014. Impact of tree training system, branch type and position in the canopy on the ripening homogeneity of 'Abbé Fétel' pear fruit. *Tree Genet Genomes*. 10:1477–1488. doi:10.1007/s11295-014-0777-2.
- Leão de Sousa, M., e J. P. De Melo-Abreu. 2015. Improved training and pruning techniques increased productivity of "Rocha" pear. *Acta Hort.* 213–222. doi:10.17660/ActaHortic.2015.1094.27.
- Leão, M. 2017. Gestão da luz como factor de competitividade na produção de pomóideas. *Frutas, Legumes e Flores*. 22–23.
- Lima, A. P. F. de, A. de R. Rufato, e L. Rufato. 2012. Sistema de condução de macieira. *Jornal da Fruta*.

- Link H. 2000. Significance of flower and fruit thinning on fruit quality. *Plant Growth Regulation*, 31: 17-26.
- Lombard, P. B., N. W. Callan, F. G. Dennis, N. E. Looney, G. C. Martin, A. R. Renquist, e E. A. Mielke. 1988. Towards a Standardized Nomenclature, Procedures, Values, and Units in Determining Fruit and Nut Tree Yield Performance. *HortScience*. 23:813–817. doi:10.21273/HORTSCI.23.5.813.
- Lordan, J., S. Alegre, R. Montserrat, e L. Asín. 2017. Yield and profitability of 'Conference' pear in five training systems in North East of Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 15:e0904. doi:10.5424/sjar/2017153-10705.
- Lordan, J., M. Gomez, P. Francescatto, e T. L. Robinson. 2019. Long-term effects of tree density and tree shape on apple orchard performance, a 20 year study – part 2, economic analysis. *Sci Hortic*. 244:435–444. doi:10.1016/j.scienta.2018.03.031.
- Maas, F. 2008. Evaluation of pyrus and quince rootstocks for high density pear orchards. *Acta Hortic*. 599–610. doi:10.17660/ActaHortic.2008.800.80.
- Maas, F. 2015. Evaluation of yield efficiency and winter hardiness of quince rootstocks for "conference" pear. *Acta Hortic*. 93–101. doi:10.17660/ActaHortic.2015.1094.8.
- Marques, L., A. S. Ramos, P. Almeida, I. Pacheco, e J. M. S. Martins. 2010. Expressão do potencial produtivo e qualitativo da pereira "Rocha" tratada com produtos bioestimulantes. 2. ° Simpósio Nacional de Fruticultura. 83–88.
- Martins, S. F. 2014. Avaliação da eficiência em pomares de macieira na região de Carrazeda de Ansiães. Available from: <https://repositorio.ipcb.pt/handle/10400.11/2671>
- Masseron, A. 1989. Les porte-greffe pommier, poirier et nashi. CTIFL, Paris.
- Middleton, S. 2007. Maximising the light interception and productivity of Australian apple orchards. Queensland (DPI&F).
- Musacchi, S. 2008. Bibaum®: A New Training System For Pear Orchards. *Acta Hortic*. 763–769. doi:10.17660/ActaHortic.2008.800.104.
- Musacchi, S. 2011. Training system and management for a high density orchard of "Abbé Fetel." *Acta Hortic*. 225–240. doi:10.17660/ActaHortic.2011.909.25.
- Musacchi, S. 2017. Developing the tree architecture: Bi-axis for pear orchard. *Interpera*. Disponível em: http://www.interpera.org/uploads/1/7/0/4/17040934/musacchi_presentation_2.pdf Acedido a: 10/10/2020
- Musacchi, S., I. Iglesias, e D. Neri. 2021. Training Systems and Sustainable Orchard Management for European Pear (*Pyrus communis* L.) in the Mediterranean Area: A Review. *Agronomy*. 11:1765. doi:10.3390/agronomy11091765.
- Naor, A., M. Peres, Y. Greenblat, I. Doron, Y. Gal, e R. A. Stern. 2000. Irrigation and crop load interactions in relation to pear yield and fruit-size distribution. *J Hortic Sci Biotechnol*. 75:555–561. doi:10.1080/14620316.2000.11511285.
- Ramos, A. 2017. Avaliação da eficiência do pomar. Aplicação de modelos empíricos à produção de pêssego . In: +Pêssego - Inovação nas Técnicas de Produção. Vol. 2. Centro Operativo e Tecnológico Hortofrutícola Nacional. p. 241–262.
- Ramos, A., H. Fonseca, D. Ferreira, A. Barateiro, C. Ramos, P. Silvino, P. D. Gaspar, e M. P. Simões. 2022. Avaliação da capacidade produtiva do pomar de pessegueiros. In: *PrunusBOT: Aplicação da robótica à*

produção de pêsego e cereja. Vol. 1. Centro Operativo e Tecnológico Hortofrutícola Nacional – Centro de Competências. p. 108–125.

Ramos, A., R. Ribeiro, B. Fernandes, L. Marques, J. P. Dias, T. Duarte, J. P. Lopes, D. Fialho, P. Santa-Bárbara, J. M. S. Martins, e J. P. De Melo-Abreu. 2014a. Eficiência do pomar de pera “Rocha” no Oeste (Portugal). I - modelo para avaliação da eficiência produtiva e económica. *Actas Portuguesas de Horticultura*. 23:174–178.

Ramos, A., E. Ribeiro, B. Fernandes, L. Marques, J. P. Dias, T. Duarte, J. P. Lopes, D. Fialho, P. Santa-Bárbara, J. M. S. Martins, e J. P. De Melo-Abreu. 2014b. Eficiência do pomar de pera “Rocha” no Oeste (Portugal). II - modelo para previsão e gestão da carga. *Actas Portuguesas de Horticultura*. 23:179–183.

Ramos, A. S., E. Ribeiro, L. Marques, R. Lopes, e J. M. S. Martins. 2010a. A metodologia do potencial produtivo na gestão integrada do pomar. I - Carga óptima. 2.º Simpósio Nacional de Fruticultura. 7–15.

Ramos, A. S., E. Ribeiro, B. Fernandes, T. Duarte, J. P. Dias, e J. M. S. Martins. 2010b. A metodologia do potencial produtivo na gestão integrada do pomar. II - Expressão do potencial produtivo e qualitativo. 2.º Simpósio Nacional de Fruticultura. 16–22.

Reginato, G. H., V. G. de Cortázar, e T. L. Robinson. 2007. Predicted Crop Value for Nectarines and Cling Peaches of Different Harvest Season as a Function of Crop Load. *HortScience*. 42:239–245. doi:10.21273/HORTSCI.42.2.239.

Reig, G., J. Lordan, M. Miranda Sazo, S. Hoying, M. Fargione, G. Reginato, D. J. Donahue, P. Francescato, G. Fazio, e T. Robinson. 2019. Long-term performance of ‘Gala’, Fuji’ and ‘Honeycrisp’ apple trees grafted on Geneva® rootstocks and trained to four production systems under New York State climatic conditions. *Sci Hortic*. 244:277–293. doi:10.1016/j.scienta.2018.09.025.

Ribeiro, E., A. S. Ramos, J. P. Abreu, e J. M. S. Martins. 2010. Expressão do potencial produtivo e qualitativo da pereira “Rocha” segundo a forma de condução. *Actas Portuguesas de Horticultura*. 16:23–29.

Robinson, T. 2011. Advances in apple culture worldwide. *Rev Bras Frutic*. 33:37–47. doi:10.1590/S0100-29452011000500006.

Robinson, T., S. A. Hoying, A. DeMaree, K. Lungerman, and M. Fargione. 2007. The evolution towards more competitive apple orchard systems in New York. *New York Fruit Quaterly*. 15:3–9.

Robinson, T., S. Hoying, M. M. Sazo, A. DeMarree, and L. Dominguez. 2013. A vision for apple orchard systems of the future. *New York Fruit Quarterly*. 21:11–16.

Robinson, T. L. 2007. Recent advances and future directions in orchard planting systems. *Acta Hortic*. 367–381. doi:10.17660/ActaHortic.2007.732.57.

Robinson, T. L. 2011. High density pear production with *Pyrus communis* rootstocks. *Acta Hortic*. 259–269. doi:10.17660/ActaHortic.2011.909.28.

Robinson, T. L., e A. N. Lakso. 1991. Bases of Yield and Production Efficiency in Apple Orchard Systems. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 116:188–194. doi:10.21273/JASHS.116.2.188.

Robinson, T. L., A. N. Lakso, e S. G. Carpenter. 1991. Canopy Development, Yield, and Fruit Quality of ‘Empire’ and ‘Delicious’ Apple Trees Grown in Four Orchard Production Systems for Ten Years. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 116:179–187. doi:10.21273/JASHS.116.2.179.

Sansavini, S., e L. Corelli-Grappadelli. 1997. Yield and light efficiency for high quality fruit in apple and peach high density planting. *Acta Hortic*. 559–568. doi:10.17660/ActaHortic.1997.451.65.

Sansavini, S., e S. Musacchi. 2002. European pear orchard design and HDP management: A review. *Acta Hortic*. 589–601. doi:10.17660/ActaHortic.2002.596.103.

- Soares, J., A. Silva, e Alexandre José. 2001. O Livro da Pera Rocha. (ANP, editor.). Cadaval.
- Soares, J., A. Silva, e H. Marques. 2003. O Livro da Pera Rocha. 1st ed. (ANP, editor.). Cadaval.
- Sousa, M. A. L. de. 2013. Avaliação de novos sistemas de produção de Pera Rocha em alta densidade com recurso à modelação e à integração de processos fisiológicos. Instituto Superior de Agronomia.
- Sousa, R., e F. Calouro. 2007a. Efeito de sete porta-enxertos no calibre, na qualidade dos frutos e nos teores foliares de nutrientes do clone 2 da pereira "Rocha". Cadaval.
- Sousa, R., e F. Calouro. 2007b. Efeito de sete porta-enxertos no vigor e na produção do clone 2 da pereira "Rocha." Cadaval.
- Sousa, R., e F. Calouro. 2014. Avaliação do comportamento de quatro porta-enxertos de pereira com a cv. 'Rocha.' Simpósio Nacional de Fruticultura. 3:101-107.
- Sousa, R. M. de. 2020. Manual de Boas Práticas de Fruticultura - A Pereira "Rocha." Revista Frutas, Legumes e Flores, em parceria com INIAV, I.P. (Estação Nacional de Fruticultura Vieira Natividade) e COTR. 3º Fascículo.
- Tromp, J. 2000. Flower-bud formation in pome fruits as affected by fruit thinning. *Plant Growth Regulation*, 31: 27-34.
- Tustin, D. S., e B. M. van Hooijdonk. 2016. Can light interception of intensive apple and pear orchard systems be increased with new approaches to tree design? *Acta Hort.* 139-144. doi:10.17660/ActaHortic.2016.1130.20.
- Tustin, D. S., B. M. van Hooijdonk, and K. C. Breen. 2018. The Planar Cordon – new planting systems concepts to improve light utilisation and physiological function to increase apple orchard yield potential. *Acta Hort.* 1-12. doi:10.17660/ActaHortic.2018.1228.1.
- Wagenmakers, P. S. 1995. Light relations in orchard systems. Wageningen University and Research.
- Wagenmakers, P. S., e S. J. Wertheim. 1991. Planting systems for fruit trees in temperate climates. *CRC Crit Rev Plant Sci.* 10:369-385. doi:10.1080/07352689109382317.
- Webster, A. D. 1995. Rootstock and interstock effects on deciduous fruit tree vigour, precocity, and yield productivity. *N Z J Crop Hortic Sci.* 23:373-382. doi:10.1080/01140671.1995.9513913.
- Wertheim, S. J. 2002. Rootstocks for european pear: A review. *Acta Hort.* 299-309. doi:10.17660/ActaHortic.2002.596.47.
- Whiting, M.D. e Lang G.A. 2004. 'Bing' sweet cherry on the dwarfing rootstock 'Gisela 5': thinning affects fruit quality and vegetative growth but not net CO₂ exchange. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129 (3): 407-415.
- Wright, A. H., C. G. Embree, D. S. Nichols, R. K. Prange, P. A. Harrison, e J. M. DeLong. 2006. Fruit mass, colour and yield of 'Honeycrisp'TM apples are influenced by manually-adjusted fruit population and tree form. *J Hort Sci Biotechnol.* 81:397-401. doi:10.1080/14620316.2006.11512079.
- Zeviani, W. M., Júnior, P.J.R., Bonat, W.H. 2013. Modelos de regressão não linear. Laboratório de Estatística e Geoinformação. Departamento de Estatística. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <https://www.ime.unicamp.br/~cnaber/cursomodelosnaolinearesR.pdf>. Acedido a: 26/03/2024