



Adaptação da fenologia do pessegueiro a uma escala numérica. Estudo preliminar

Hugo Alexandre Vidinha Fonseca

Orientadores

Professor Coordenador António Maria dos Santos Ramos

Professora Adjunta Maria Cristina Canavarro Teixeira

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agronómica, realizada sob a orientação científica dos Professores António Maria dos Santos Ramos e Maria Cristina Canavarro Teixeira, da Escola Superior Agrária de Castelo Branco do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Abril de 2023

Agradecimentos

À Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco, que me acolheu nestes dois últimos anos, e a todos os docentes que contribuíram para a minha formação académica, profissional e pessoal.

Ao projeto GO PrunusBOT e ao PDR 2020 (entidade financiadora), pela bolsa atribuída e pela oportunidade de contactar com a realidade do setor frutícola, em especial do pessegueiro.

Ao Professor António Ramos, pelo esclarecimento de dúvidas, pela partilha de conhecimentos, pelo acompanhamento durante as atividades práticas do projeto e pela orientação do Projeto Final do Mestrado em Engenharia Agronómica.

À Professora Cristina Canavarro, na qualidade de orientadora deste Projeto Final, particularmente nas questões estatísticas.

À Professora Paula Simões, na qualidade de corresponsável pelo projeto GO PrunusBOT na ESACB, à Eng. Dora Ferreira, na qualidade de bolseira, pela recolha e registo de dados em parte dos anos do PrunusBOT, aos técnicos das Associações de Produtores (APIZÊZERE e AAPIM) pelo auxílio prestado em algumas tarefas, nomeadamente nas colheitas e a todos os produtores onde estiveram instaladas as Unidades de Observação.

Aos meus familiares, por todo o carinho, força, apoio e confiança que me deram, pois sem eles não teria sido possível concluir esta etapa tão importante na minha vida.

E, finalmente, aos meus amigos e colegas pelo convívio e boa disposição fundamentais para ultrapassar os obstáculos da distância.

Cofinanciado por:



Resumo

Com o objetivo de estudar a fenologia do pessegueiro com base em escalas numéricas, foram acompanhados 3 pomares de pessegueiro na região da Beira Interior (cada pomar com uma diferente cultivar), durante 4 anos. A fenologia do pessegueiro foi inicialmente registada de acordo com os estados fenológicos de Baggiolini (1952). O crescimento do fruto foi acompanhado pela medição dos diâmetros e posterior elaboração de uma curva de crescimento em dupla sigmoide. Para estudar a influência das temperaturas no desenvolvimento do gomo e do fruto, utilizou-se o somatório das temperaturas médias positivas ($> 0^{\circ}\text{C}$) a partir do início do ano. Posteriormente, adaptou-se uma escala numérica de 1 (estado 1 – intumescimento do gomo) a 16 (data da colheita), permitindo o ajustamento de um modelo fenológico em função do somatório dos graus.dia, que se mostrou altamente significativo ($P < 0,001$) e com uma precisão elevada ($R^2 \approx 99\%$). Este modelo permitiu caracterizar todo o período de desenvolvimento reprodutivo do pessegueiro, tendo-se verificado diferentes somatórios de graus-dia do início do ano até ao estado 1 e somatórios de graus.dia idênticos, para a mesma cultivar e local, do estado 1 à plena floração e do estado 1 à colheita. Este facto só foi possível porque o modelo permitiu fazer coincidir a contagem do somatório dos graus.dia com o início da atividade do gomo (estado 1), sugerindo a possibilidade de fazer previsões sem necessidade de estabelecer valores fixos para a data de início do somatório dos graus.dia e para a respetiva temperatura base.

Palavras chave:

Prunus persica, fenologia do pessegueiro, modelo fenológico, escala numérica, somatório de graus.dia.

Abstract

Peach phenology adaptation to a numeric scale. Preliminary study. To study peach phenology with numeric scales, 3 different peach orchards, which one with a different cultivar, were monitored during 4 years at “Beira Interior” region of Portugal. At first, peach phenological stages were recorded as in Baggiolini (1952). To elaborate a growth curve (double sigmoid), the fruit diameter was measured. To study the influence of temperatures on bud and fruit development, the sum of mean positive temperatures from 1st January was used. Afterwards, a modified numeric scale from 1 (stage 1 - bud swelling) to 16 (harvest date), allowing to fit a phenological model as a function of the sum of degree.days, which proved to be highly significant ($P < 0.001$) and efficient ($R^2 \approx 99\%$). This model allowed to characterize all the peach reproductive development period, with different sums of degree.days from the beginning of the year to stage 1 and identical sums of degree.days, for the same cultivar and location, from stage 1 to full bloom and to stage 1 to harvest. This fact was only possible because the model has made possible to match the count of the sum of degree.days with the beginning of the activity of the bud (stage 1), suggesting the possibility of making predictions without establishing fixed values for the moment to start accounting the degree.days and the respective base temperature.

Keywords:

Prunus persica, peach phenology, phenological model, numeric scale, sum of degree.days.

Índice Geral

	Pág.
1. Introdução	1
2. Enquadramento da cultura do pessegueiro	1
3. Importância dos estudos da fenologia	4
4. Fenologia do pessegueiro e temperatura	6
5. Estados fenológicos do pessegueiro	7
5.1. Escala de Baggiolini	8
5.2. Escala BBCH	9
6. Material e métodos	12
6.1. Unidades de observação (UO)	12
6.2. Recolha de dados	14
7. Resultados e discussão	16
7.1. Registos fenológicos	16
7.2. Crescimento do fruto	18
7.3. Definição da escala numérica e do modelo fenológico	20
7.4. Aplicação e validação do modelo	23
7.4.1 UO “Belmonte” - ‘Royal Time’	23
7.4.2. UO “Ferro” - ‘Sweet Dream’	25
7.4.3. UO “Soalheira” - ‘Catherine’	26
7.4.4. Discussão geral	27
8. Conclusões	28
Referências Bibliográficas	29
Apêndices	33
Anexos	41

Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1 - Evolução da área de pessegueiro em Portugal e na Beira Interior de 2010 a 2021	2
Figura 2 - Produção de pêsego em Portugal e na Beira Interior de 2010 a 2021	3
Figura 3 - Produtividade da cultura do pessegueiro em Portugal e na Beira Interior de 2010 a 2021	3
Figura 4 - Consumo de pêsego per capita em Portugal de 2010/2011 a 2020/2021	4
Figura 5 - Importação e exportação de pêsego em 2019 e 2020	4
Figura 6 Estados fenológicos do pessegueiro	8
Figura 7 - Escala geral BBCH – Subdivisão do ciclo de desenvolvimento das plantas em fases principais	10
Figura 8 - Comparação da escala BBCH com a de Baggiolini (1952) no pessegueiro	11
Figura 9 - Aspeto geral das árvores na UO “Belmonte” na época de floração	13
Figura 10 - Aspeto geral das árvores na UO “Ferro” na época de floração	13
Figura 11 - Aspeto geral das árvores na UO “Soalheira” na época de floração	13
Figura 12 - Relação linear entre o peso médio do fruto e o diâmetro ao cubo	15
Figura 13 - Período de floração e data de plena floração registados na UO “Belmonte” no período de 2019 a 2022	16
Figura 14 - Somatório dos graus.dia (> 0°C) de 1 de janeiro a 31 de março na EMA de Belmonte	16
Figura 15 - Período de floração e data de plena floração registados na UO “Ferro” no período de 2021 e 2021	17
Figura 16 - Somatório dos graus.dia (> 0°C) de 1 de janeiro a 31 de março na EMA do Ferro	17
Figura 17 - Período de floração e data de plena floração registados na UO “Soalheira” no período de 2019 a 2022	17
Figura 18 - Somatório dos graus.dia (> 0°C) de 1 de janeiro a 31 de março na EMA da Soalheira	18
Figura 19 - Curvas de crescimento do pêsego ‘Royal Time’ na UO “Belmonte” em 2020 e 2021	18
Figura 20 - Curvas de crescimento do pêsego ‘Sweet Dream’ na UO “Ferro” em 2021	19
Figura 21 - Curvas de crescimento do pêsego ‘Catherine’ na UO “Soalheira” em 2020 e 2021	19

Figura 22 - Relação linear (esquerda) e polinomial (direita) entre o somatório dos graus.dias ($>0^{\circ}\text{C}$) e os estados fenológicos	21
Figura 23 - Relação linear (esquerda) e polinomial (direita) entre o somatório dos graus.dias ($>7^{\circ}\text{C}$) e os estados fenológicos	21
Figura 24 - Aplicação do modelo fenológico com dados individuais (em cada ano) nas UO “Belmonte” (esquerda) e “Soalheira” (direita)	23
Figura 25 - Valores dos estados fenológicos registados nos 4 anos de observação na UO “Belmonte” e a representação do respetivo modelo fenológico (n = 31; P < 0,001; R2 = 0,993)	24
Figura 26 - Valores dos estados fenológicos registados nos 2 anos de observação na UO “Ferro” e a representação do respetivo modelo fenológico (n = 18; P < 0,001; R2 = 0,996)	25
Figura 27 - Valores dos estados fenológicos registados nos 4 anos de observação na UO “Soalheira” e a a representação do respetivo modelo fenológico (n = 30; P < 0,001; R2 = 0,986)	26

Índice de Quadros

	Pág.
Quadro 1 - Somatório de horas de frio de novembro a fevereiro e de graus.dia até 31 de março na EMA de Belmonte	16
Quadro 2 - Somatório de horas de frio de novembro a fevereiro e de graus.dia até 31 de março na EMA do Ferro	17
Quadro 3 - Somatório de horas de frio de novembro a fevereiro e de graus.dia até 31 de março na EMA da Soalheira	18
Quadro 4 - Valores estimados dos parâmetros das equações das curvas de crescimento da 'Royal Time' na UO "Belmonte"	18
Quadro 5 - Valores estimados dos parâmetros das equações das curvas de crescimento na 'Sweet Dream' na UO "Ferro"	19
Quadro 6 - Valores estimados dos parâmetros das equações das curvas de crescimento da 'Catherine' na UO "Soalheira"	19
Quadro 7 - Escala numérica proposta neste Projeto Final para caracterizar o desenvolvimento dos gomos e a respectiva correspondência com a escala alfanumérica de Baggiolini (1952)	20
Quadro 8 - Escala numérica desenvolvida e utilizada neste Projeto Final e a respectiva correspondência com a escala alfanumérica de Baggiolini (1952) e com alguns valores da escala numérica BBCH adaptada às prunóideas (Anexo A)	22
Quadro 9 - Valores dos parâmetros estimados para o modelo e o valor estimado para cada ano dos graus.dia até ao EF 1 na UO "Belmonte"	24
Quadro 10 - Datas observadas da ocorrência da plena floração e da colheita e datas estimadas pelo modelo fenológico para os estados fenológicos 1, 5 e 16 nos 4 anos de observação na UO "Belmonte"	24
Quadro 11 - Valores dos parâmetros estimados para o modelo e o valor exato para cada ano dos graus.dia até ao EF 1 na UO "Ferro"	25
Quadro 12 - Datas observadas da ocorrência da plena floração e da colheita e datas estimadas pelo modelo fenológico para os estados fenológicos 1, 5 e 16 nos 3 anos de observação na UO "Ferro"	26
Quadro 13 - Valores dos parâmetros estimados para o modelo fenológico e o valor estimado, para cada ano, dos graus.dia até ao estado 1 na UO "Soalheira"	26
Quadro 14 - Datas observadas da ocorrência da plena floração e da colheita e datas estimadas pelo modelo fenológico para os estados fenológicos 1, 5 e 16 nos 4 anos de observação na UO "Soalheira"	27

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

BBCH – Biologische Bundesantalt Bundessortenamt und Chemische Industrie

DOY – Dia do ano (Day of the year)

DRAPC – Direção Regional de Agricultura e Pescas do Centro

EF – Estado fenológico

EPPO – European Mediterranean Plant Protection Organization

EST. – Estimado

FAO – Food and Agriculture Organization

GD – Graus.dia

GO – Grupo Operacional

INE – Instituto Nacional de Estatística

OBS. – Observado

PDR – Plano Desenvolvimento Rural

UO – Unidades de Observação

1. Introdução

Em Portugal, a principal área de produção do pessegueiro localiza-se na região da Beira Interior, uma região que se caracteriza pela sua elevada aptidão para aquela cultura (Dias et al., 2016; Simões 2021). Segundo os mesmos autores, o desenvolvimento e o melhoramento genético do pessegueiro teve um papel imprescindível na expansão da espécie para zonas distintas da sua origem natural, permitindo uma maior plasticidade climática e uma boa adaptação a regiões com invernos cada vez mais amenos.

O estudo da fenologia do pessegueiro, constitui-se como um tema relevante e essencial para a região e com capacidade para avaliar e aprofundar os efeitos (tanto a curto, como a longo prazo) dos efeitos do clima sobre a cultura. Como referem Kushwaha e Singh (2008), as mudanças nas condições ambientais, nas diferentes fases de desenvolvimento das culturas, influenciam diretamente o rendimento da cultura, pelo impacto que têm sobre os fatores que influenciam a produção. Deste modo, aqueles autores apresentam a fenologia como “um avaliador do impacto das mudanças climáticas”.

A influência de determinados fatores endógenos e das condições ambientais em que as plantas se desenvolvem, principalmente as temperaturas, determinam as etapas fenológicas, nomeadamente o início da atividade vegetativa e do desenvolvimento floral (Luedeling et al., 2009; 2011). Além disso, e segundo os mesmos autores, o atual quadro de previsível aumento das temperaturas globais pode comprometer o sucesso da produção de determinadas culturas ou cultivares em regiões onde outrora estavam bem adaptadas.

Desta forma, torna-se imprescindível descrever e realizar um controlo organizado e uma monitorização detalhada dos vários estados de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas, o qual é possível através da utilização de escalas fenológicas. No entanto, as escalas fenológicas mais utilizadas têm sido as escalas alfanuméricas (descontínuas), com baixa capacidade preditiva. Com a realização deste trabalho, pretende-se aprofundar o conhecimento sobre as etapas do desenvolvimento fenológico do pessegueiro, através da monitorização dos estados fenológicos e a sua adaptação a escalas numéricas, de modo a tornar possível criar um sistema auxiliar de apoio na tomada de decisão dos fruticultores.

2. Enquadramento da cultura do pessegueiro

O pessegueiro (*Prunus persica* (L.) Batsch) pertence à família das Rosáceas e subfamília das Prunóideas, inserindo-se na categoria das plantas frutícolas, caducifólias e perenes. O tipo de fruto característico desta subfamília é a drupa, cujo endocarpo lenhoso se designa na linguagem corrente por caroço, pelo que também é corrente chamar a esta subfamília “frutos de caroço”. Esta subfamília engloba também

outras espécies frutícolas bastante conhecidas como a cerejeira, a ameixeira, a ginjeira, o damasqueiro e a amendoeira.

O pessegueiro é uma cultura de zonas temperadas e assume elevada importância como cultura agrícola em todo o mundo, sendo um fruto rico em vitaminas, minerais, fibras e compostos antioxidantes (Simões e Ferreira, 2016). Segundo estatísticas da FAO (FAOSTAT, 2020), no ano de 2020 foram produzidos, em todo o mundo, 24 milhões de toneladas de pêsego.

A cultura do pessegueiro em Portugal tem sofrido ligeiras oscilações no que respeita às áreas totais de produção, sendo 3759 hectares em 2021 (Fig. 1). Esta cultura está fortemente representada na região da Beira Interior com cerca de 48% da área de produção nacional, perfazendo um total de 1840 hectares em 2021. De 2010 a 2018, houve uma tendência crescente da área da cultura na Beira Interior (Fig. 1), enquanto a área total nacional se manteve mais constante. A partir de 2018, ambas as áreas (nacional e da Beira Interior) parecem tender para a estabilização.

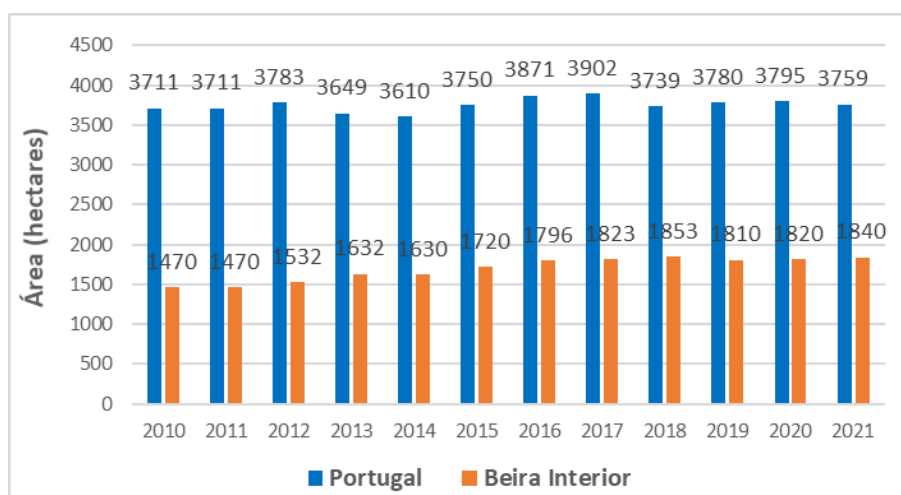


Figura 1 - Evolução da área de pessegueiro em Portugal e na Beira Interior de 2010 a 2021 (Fonte: INE, 2022).

A Figura 2 apresenta a evolução da produção de pêsego nos anos de 2010 a 2021, em Portugal e na região da Beira Interior. A produção média desses anos ronda as 42 mil toneladas de pêsego, com um máximo em 2015 e um mínimo em 2013. Pela observação da Figura 2, constata-se que as produções têm oscilado bastante de ano para ano e que a produção média da Beira Interior de 2010 a 2021 representou cerca de 46% da produção total do país.

Com base em relatórios anuais do INE (INE, 2021)), a produtividade média em Portugal e na região da Beira Interior é semelhante, situando-se em cerca de 12 toneladas por hectare, embora com bastante irregularidade ao longo dos anos (Fig. 3). A priori pode afirmar-se que a produtividade do pomar de pessegueiros em Portugal é relativamente baixa em comparação com outros países (Chile, França, Grécia e Itália), com produções médias acima das 20 toneladas por hectare (Rodrigues, 2022).

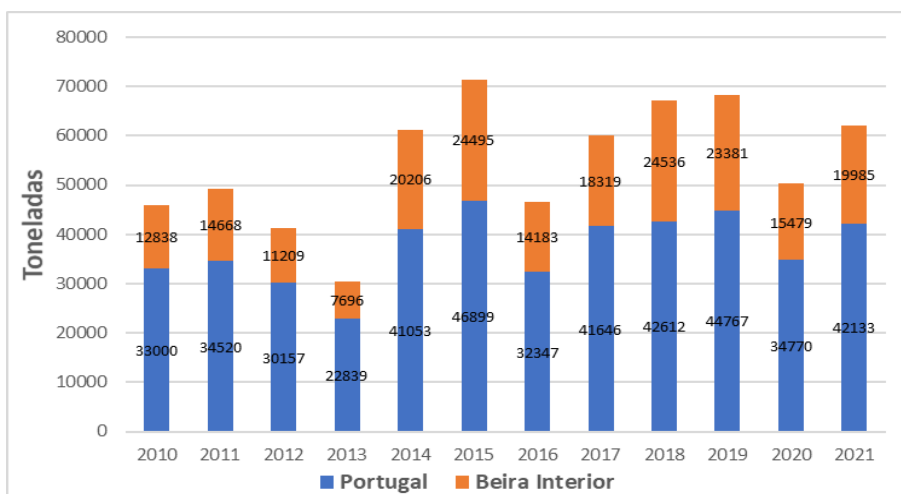


Figura 2 - Produção de pêsego em Portugal e na Beira Interior de 2010 a 2021 (Fonte: INE, 2022).

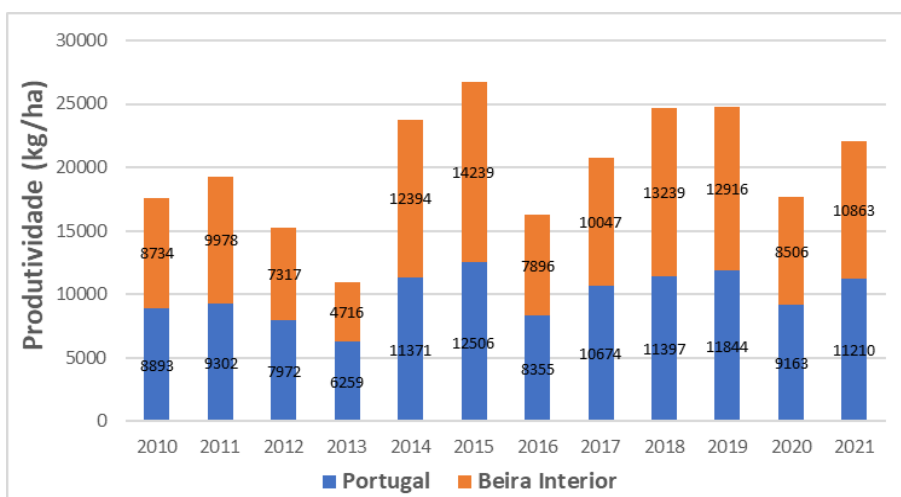


Figura 3 - Produtividade da cultura do pessegueiro em Portugal e na Beira Interior de 2010 a 2021 (Fonte: INE, 2022).

O consumo de pêsego per capita em Portugal (Fig. 4) situava-se abaixo 8,0 kg/ano até 2014/2015, tendo ultrapassado aquele valor em 4 das 6 campanhas seguintes. Apesar de ter alguma relevância, a produção em Portugal é claramente insuficiente para o consumo, como mostra o balanço entre as importações e as exportações em 2019 e 2020 (Fig. 5). Com efeito, as exportações são diminutas e as importações ultrapassam a produção nacional, resultando daí uma oportunidade para se investir mais na instalação de novos pomares e no aumento das produções e das produtividades. De acordo com dados oficiais (INE, 2021), a Polónia é o principal destino das exportações portuguesas (cerca de 65%), seguindo-se a Espanha (14%), enquanto as importações são provenientes essencialmente de Espanha.

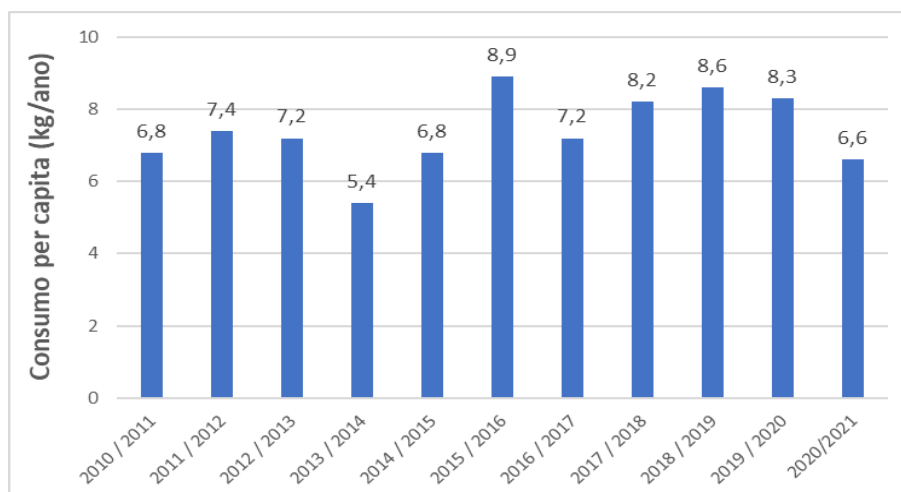


Figura 4 - Consumo de pêsego per capita em Portugal de 2010/2011 a 2020/2021 (Fonte: INE, 2022)

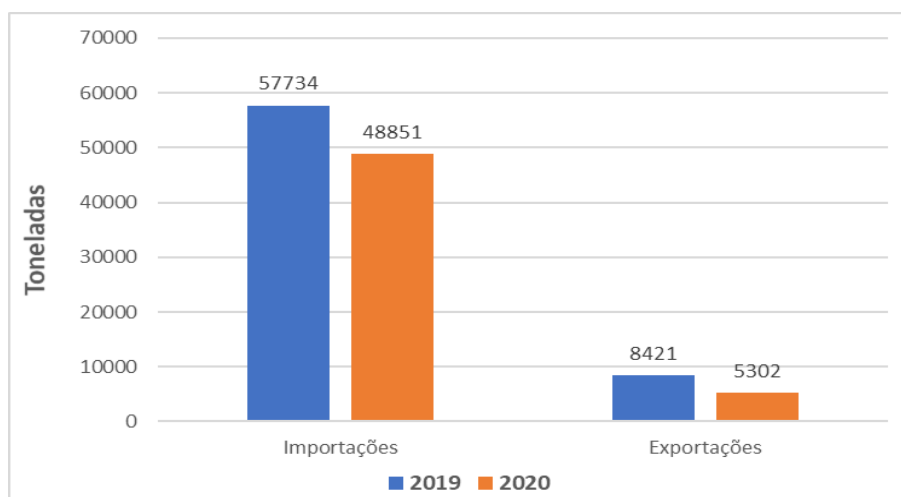


Figura 5 - Importação e exportação de pêsego em 2019 e 2020 (Fonte: INE, (2021).

3. Importância dos estudos da fenologia

A vida humana no século XXI enfrenta dois grandes desafios (Costa, 2018): i) suprir as necessidades de alimentos para acompanhar o crescimento da população mundial; e ii) garantir a sustentabilidade ambiental. Neste contexto, a situação climática é uma questão que adquire cada vez mais importância e preocupação, dada a tendência que se tem verificado para o contínuo aumento das temperaturas médias a nível global e, por consequência, verões mais longos, quentes e secos e invernos mais curtos e amenos, aspetos relevantes na atividade produtiva do setor frutícola (Ray et al., 2019).

De forma a caracterizar o ciclo vegetativo das plantas, surgiu a ciência que estuda a morfologia e o desenvolvimento dos gomos florais, a fenologia. A fenologia refere-se ao estudo dos fenómenos e dos estados de desenvolvimento dos gomos, em cada ano, desencadeados por mudanças ambientais (Hawerroth et al., 2010; Simões, 2021). Os registos fenológicos permitem datar e descrever o desenvolvimento dos gomos florais, sendo uma ferramenta decisiva ao longo do ciclo para o correto posicionamento das técnicas culturais. A observação ao longo do ciclo permite obter um plano temporal dos

estados fenológicos, que dependem diretamente das características intrínsecas da própria cultivar e da sua interação com os fenômenos ambientais (Amaral, 2020).

Nas plantas frutícolas, o ciclo de vida útil corresponde ao período desde a plantação ao arranque do pomar. Durante esse período, sucedem-se vários períodos ou ciclos anuais. Sendo uma planta perene, cada ciclo anual de desenvolvimento e crescimento é constituído por uma sucessão alternada de períodos de atividade vegetativa e períodos de repouso vegetativo. Segundo Villiers (1975), o período de repouso invernal das plantas lenhosas perenes é fundamental na sua estratégia de sobrevivência a um período com condições desfavoráveis ao seu metabolismo.

Com base nas exigências dos mercados, os trabalhos de investigação têm sido direcionados para o desenvolvimento e seleção de cultivares com baixas necessidades de frio, permitindo colonizar e produzir em novas áreas (Liverani, 2008). Atualmente, outros objetivos e desafios se colocam, passando para primeiro plano a questão da adaptabilidade climática e da tolerância a fatores bióticos e abióticos, entre outros (Byrne et al, 2012; Córdoba, 2013). Segundo os mesmos autores, aqueles objetivos e desafios decorrem num quadro de mudanças climáticas, com ocorrência cada vez mais frequente de fenômenos climáticos extremos que colocam em risco a sobrevivência e a sustentabilidade da produção agrícola em largas faixas do globo terrestre.

Uma vez que o início da atividade vegetativa é de grande sensibilidade aos fatores ambientais, é de primordial importância que ocorra em condições que lhe sejam favoráveis ou, caso contrário, pode colocar-se em risco a produção desse ano (Hawerth et al., 2010; Simões, 2021). Desta forma, e dado que a regulação dos períodos de paragem e arranque do crescimento, a partir dos gomos, se baseia essencialmente na temperatura, Meier et al. (2009) referem que os eventos fenológicos são indicadores do impacto das variações do tempo e do clima, pelo que se torna necessário melhorar o conhecimento sobre a relação da temperatura com os processos de floração. A questão que se coloca é de saber que condições devidas ao aquecimento global se tornarão excessivas, desenquadrando o desenvolvimento das árvores do seu comportamento normal.

Como as árvores de fruto entram em repouso vegetativo para ultrapassar um período desfavorável (Villiers, 1975) e só respondem às subidas de temperatura depois de ultrapassado esse período, as questões que se podem colocar serão as seguintes (Fan et al., 2010): i) será que a subida extemporânea das temperaturas interrompe a preparação e o desenvolvimento dos gomos que ocorre durante o final do período de repouso; ou ii) poderá existir uma formação incompleta dos gomos, fazendo com que estes se desenvolvam precocemente quando aumenta a temperatura, tornando-os mais suscetíveis aos danos causados pelas geadas.

Por outro lado, em cada período de atividade vegetativa anual ocorrem eventos relacionados com o crescimento e eventos relacionados com a reprodução, pelo que Citadin et al. (2014) referem também que o aquecimento global, devido ao estímulo

extemporâneo do abrolhamento, poderá afetar diretamente a qualidade e a uniformidade da floração, refletindo-se negativamente na produção.

Para além dos aspetos relacionados com a regulação dos períodos de crescimento e repouso e dos impactos do aquecimento global no desenvolvimento e sucesso da floração (como “indicador do impacto das mudanças climáticas” – Kushwaha e Singh 2008; Meier et al., 2009), os estudos sobre a fenologia são também relevantes como ferramenta auxiliar na tomada de decisão dos fruticultores, uma vez que podem ser utilizados para (Velarde, 1996): i) testar a adaptabilidade de diferentes cultivares às condições edafoclimáticas; ii) enquadrar a oportunidade e a eficiência no âmbito da gestão das operações culturais; e iii) fazer previsões em relação à data de colheita para preparar atempadamente toda a logística associada à colheita.

Diversos autores defendem e assumem que a grande importância do estudo da fenologia pode ter aplicações mais abrangentes do que a produção agrícola, tornando-se cada vez mais relevante nas florestas, no setor socioeconómico e na saúde (Kushwaha e Singh, 2008).

4. Fenologia do pessegueiro e temperatura

Uma vez que são as condições meteorológicas que influenciam diretamente o arranque da atividade vegetativa, a contabilização do número de horas de frio (abaixo de uma determinada temperatura) tem sido utilizada como metodologia de caracterização do período de repouso invernal (Velarde, 1996; Agustí, 2010). Por outro lado, e de acordo com os mesmos autores, uma vez terminado o período de repouso, é o somatório das temperaturas acima de uma determinada temperatura (expressa em graus.dia) que determina, em primeiro lugar, o desenvolvimento vegetativo.

Para além do valor da temperatura base para a contabilização das horas de frio ou dos graus.dia acumulados, há outra questão que suscita discussão: qual a data inicial e final da contagem das horas de frio e qual a data de início da contabilização dos graus.dia?

A exigência de um maior ou menor número de horas de frio acumuladas é variável consoante a espécie, cultivar e para além disso, do estado nutricional das plantas (Velarde, 1996; Agustí, 2010). Um método simples para calcular as horas de frio acumuladas é o de Crossa-Raynaud (1956), que considera apenas os dias com temperatura mínima inferior a 7,2°C, entre novembro e fevereiro. A maioria das cultivares de pessegueiro inicia a sua atividade vegetativa com cerca de 400 a 1000 horas de frio acumuladas (Velarde, 1996).

As condições meteorológicas em que ocorre a floração são fatores determinantes do sucesso reprodutivo do pessegueiro e, conseqüentemente, da produção e do rendimento da cultura (Simões, 2021). Segundo Bassi e Piagnani (2008), as inúmeras variedades cultivadas de pessegueiro podem ser divididas em três grupos, de acordo com a sua época de floração e com o número acumulado de horas de frio que ocorrem

em determinada região: i) temporã, se iniciarem o desenvolvimento floral com menos de 600 horas de frio acumuladas; ii) média, quando o desenvolvimento floral ocorrer entre as 600 e as 900 horas de frio acumuladas; e iii) tardia, quando iniciam o desenvolvimento floral com valores superiores a 900 horas de frio acumuladas.

Para caracterizar o desenvolvimento floral (após o repouso invernal), é comum utilizar-se a soma das temperaturas médias superiores a 7°C (Córdoba, 2013). No entanto, em estudos efetuados em países tropicais, têm sido também utilizadas temperaturas de 7.2, 8, 10 e, até 12°C, como valor base para a contagem do somatório de graus.dia (Richardson et al. 1974; Citadin et al., 2002; Gariglio et al., 2009; Citadin et al. 2014). O estudo desenvolvido por Citadin et al. (2014) revelou bem a dificuldade de estabelecer uma temperatura fixa na contabilização dos somatórios de temperaturas.

No âmbito do Grupo Operacional (GO) PrunusBOT, foram registados e publicados os estados fenológicos (de acordo com a escala de Baggiolini) em três locais da Beira Interior e em 4 anos consecutivos (2018 a 2021), cada qual com uma diferente cultivar (Ramos et al., 2022a). Com o registo das temperaturas mínimas, médias e máximas diárias, nos diferentes locais e anos, não se verificou qualquer relação entre: i) a acumulação de horas de frio, do início de novembro ao fim de fevereiro (segundo o método de Crossa-Raynaud, 1956), e a data de plena floração; ii) o somatório de graus.dia (> 7°C) a partir de 15 de fevereiro e a data de plena floração; ou iii), o somatório de graus.dia (> 7°C), a partir da plena floração com a data média de colheita.

Em suma, há que desenvolver esforços para aumentar a capacidade de observar e investigar no âmbito do desenvolvimento, seleção e monitorização das diferentes culturas e cultivares, com o propósito de proporcionar orientações mais assertivas do impacto das mudanças climáticas, assegurando as futuras produções. A necessidade de descrever e de realizar um controlo mais organizado e uma monitorização mais detalhada dos vários estados de desenvolvimento, levou ao aparecimento de vários tipos de escalas fenológicas.

5. Estados fenológicos do pessegueiro

Devido à influência de determinados fatores endógenos e das condições climáticas, principalmente as temperaturas, nas diferentes etapas do desenvolvimento fenológico do pessegueiro, nomeadamente o início do desenvolvimento floral, tornou-se imprescindível encontrar uma forma expedita e uniformizada de caracterizar e compreender as diferentes fases do desenvolvimento, recorrendo-se desde há várias décadas a escalas fenológicas para descrever e caracterizar os denominados “estados fenológicos” (Meier et al., 2009; Ghrab et al., 2016).

5.1. Escala de Baggiolini

Os registos fenológicos iniciam-se logo após o repouso vegetativo, assim que ocorrem as primeiras manifestações de atividade dos gomos florais. A utilização de escalas fenológicas com o intuito de descrever os estados de desenvolvimento floral ao longo do ciclo reprodutivo, ou seja, para caracterizar os estados fenológicos, remontam a meados do séc. XX, sendo a escala alfanumérica desenvolvida por Baggiolini (1952), uma das primeiras e a mais conhecida e utilizada internacionalmente (Gautier, 1988). A escala de Baggiolini (1952) utiliza letras para caracterizar os principais estados fenológicos do pessegueiro, tal como se ilustra na Figura 6.



Figura 6 - Estados fenológicos do pessegueiro (Fonte: Gautier, 1988).

Na caracterização da fenologia do pessegueiro, uma classificação dos estados fenológicos como a de Baggiolini (1952) tem sido importante para melhorar a escolha de espécies, de cultivares e de sistemas de irrigação por gotejamento, melhorando a produtividade da água (Zoebl, 2006).

Apesar de fáceis de utilizar, a descrição das diferentes fases é abrangente e, por vezes, imprecisa, uma vez que vários estados fenológicos podem coincidir na mesma árvore, em cada observação. Deste modo, tem havido diferentes critérios para fazer uma apreciação global do pomar e definir a fase mais representativa e generalizada em cada momento de observação. Segundo Simões (2016), o estado de plena floração ocorre quando a maior percentagem de gomos se encontra no estado fenológico F (flor aberta), ou seja, quando 50 a 70% das flores já terão passado pelo estado de flor aberta (Oliveira, 2016).

Apesar da baixa capacidade preditiva das escalas alfanuméricas (descontínuas) (Meier et al., 2009), diversos trabalhos de pesquisa têm sido desenvolvidos para utilizar os somatórios de graus-dia (após as horas de frio acumuladas), em diferentes condições e regiões, como indicadores para monitorizar os diferentes estados fenológicos (Verma et al. 2022). Valores de 329 graus.dia (acima de 4°C) até à plena floração e 1246 graus.dia até à colheita dos frutos foram referidos para uma variedade de pêsego precoce cultivada em condições mediterrâneas (Mounzer et al., 2008). Em condições de clima “subtemperado” (noroeste dos Himalais), foram obtidos valores entre 814 e 1004 graus.dia para 2 cultivares classificadas como sendo de maturação precoce e cerca de 1894 graus.dia para uma cultivar considerada como tardia (Verma et al., 2022).

Não obstante as dificuldades das escalas alfanuméricas em fazer previsões e as divergências inerentes ao estabelecimento das datas para iniciar a contagem do

somatório de graus.dia, Irvine et al. (2019) referem que será sempre importante efetuar um acompanhamento fenológico minucioso, para permitir maior precisão, tanto nas intervenções culturais como no planeamento da maturação e colheita.

5.2. Escala BBCH

A caracterização fenológica evoluiu com a sua aplicação a estudos práticos, tendo surgido, por isso, as escalas numéricas como alternativa às escalas alfanuméricas. Uma dessas escalas é a escala BBCH (Biologische Bundesantalt Bundessortenamt und Chemische Industrie), baseada num código decimal para cereais, desenvolvido por Zadocks et al. (1974), aplicando-se tanto a plantas monocotiledóneas como a dicotiledóneas (Lancashire et al., 1991).

A escala BBCH permite atualmente a comunicação e a partilha facilitada de dados e resultados científicos de forma transversal e com aptidão mundial, após ter sido aceite internacionalmente pela EPPO (European Mediterranean Plant Protection Organization). A aceitação dos códigos BBCH na proteção de plantas foi um passo muito importante para se generalizar a sua utilização, tendo-se tornado obrigatória para todos os ensaios oficiais da proteção fitossanitária (Mounzer et al., 2008; Meier et al., 2009).

Como refere a EPPO (2012), a escala BBCH é extensível e com aplicabilidade em diversas áreas, tais como: i) definir o tempo e a gestão da aplicação de nutrientes; e ii) escolher o momento correto para as operações na proteção fitossanitária. Além disso, e uma vez que está diretamente interligado com a avaliação da evolução do clima, pode tornar-se uma ferramenta útil na correlação e no estabelecimento de uma base de dados em determinada fase de crescimento específico da planta.

Deste modo, pode realçar-se a importância dos estudos fenológicos com escalas numéricas na compreensão da ação direta dos fatores climáticos, incluindo a temática do impacto das mudanças climáticas no desenvolvimento vegetativo das plantas (Bruns et al., 2003). Para além destas valências, a escala BBCH é alargada para uma grande panóplia de culturas, abrangendo as culturas cerealíferas, hortícolas, vinha e, evidentemente, as fruteiras: citrinos, pomóideas, prunóideas, etc. (Rajan et al., 2011). A escala BBCH pode ser generalizada inclusive a espécies sem escalas publicadas, cultivadas ou não, sendo referida como uma tentativa bem-sucedida de normalização dos estados fenológicos das plantas monocotiledóneas e dicotiledóneas (Aguiar, 2014).

A escala geral BBCH (Fig. 7) envolve toda a atividade vegetativa das plantas e não apenas as fases do desenvolvimento reprodutivo, estando dividida em 10 fases, em ordem crescente, com início na germinação/abrolhamento (fase 0) e término na senescência/início da dormência (fase 9) (Meier, 2001):

- Fase 0 – Abrolhamento e desenvolvimento dos gomos foliares;
- Fase 1 – Desenvolvimento das folhas;
- Fase 2 – Emissão de ramos laterais

- Fase 3 – Desenvolvimento dos ramos;
- Fase 4 – Formação das partes/órgãos vegetativos
- Fase 5 – Abrolhamento dos gomos florais;
- Fase 6 – Floração;
- Fase 7 – Desenvolvimento do fruto;
- Fase 8 – Amadurecimento dos frutos e das sementes;
- Fase 9 – Senescência, início da dormência.

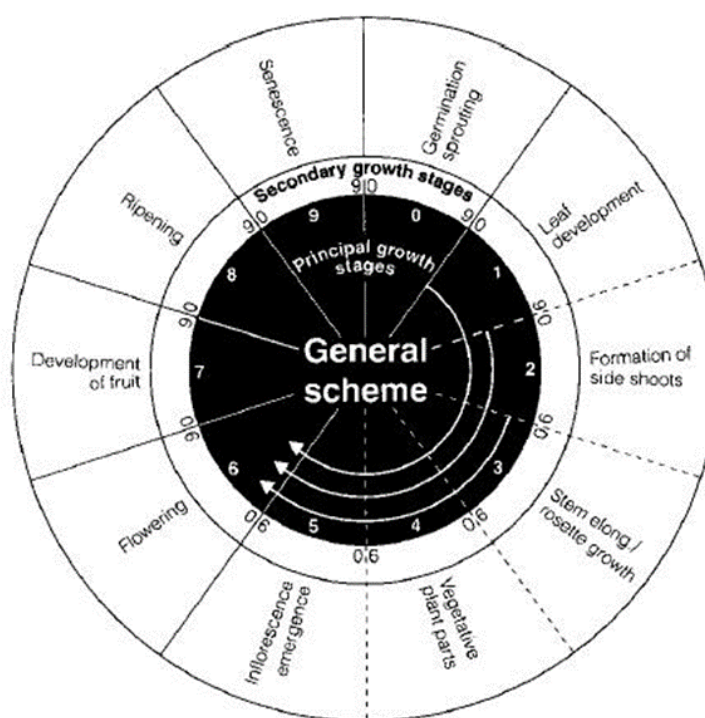


Figura 7 - Escala geral BBCH - Subdivisão do ciclo de desenvolvimento das plantas em fases principais (Fonte: Meier, 2001).

De acordo com Meier (2001), a escala geral BBCH foi depois adaptada para plantas de ciclo curto (anuais e bianuais) e plantas de ciclo longo (perenes). No Anexo A, apresenta-se uma adaptação da escala BBCH às prunóideas proposta por aquele autor, na qual se descrevem os estados ou fases de desenvolvimento principais e secundários.

Na escala BBCH adaptada às prunóideas por Meier, 2001 (Anexo A) não são contempladas as fases 2 (emissão de ramos laterais, apesar dessa emissão ocorrer em ramos excessivamente vigorosos do pessegueiro) e 4 (formação das partes/órgãos vegetativos). Além disso, é de destacar que as fases 0, 1 e 3 se referem ao desenvolvimento resultante dos gomos foliares, enquanto as fases 5 a 8 dizem respeito ao desenvolvimento a partir dos gomos florais.

As fases secundárias compreendem etapas curtas no desenvolvimento de características intrínsecas da respetiva planta, acompanhando sucessivamente o respetivo estado principal (Meier, 2001). A codificação segue normas idênticas, utilizando-se a numeração de 0 a 9. A junção dos dois estados, do principal e do secundário, resulta num código com 2 dígitos. A Figura 8 mostra a codificação de 2

dígitos de alguns estados fenológicos da escala BBCH adaptada às prunóideas (proposta por Meier, 2001) e a sua correspondência aos estados fenológicos de Baggiolini (1952), proposta por Mounzer (2008).

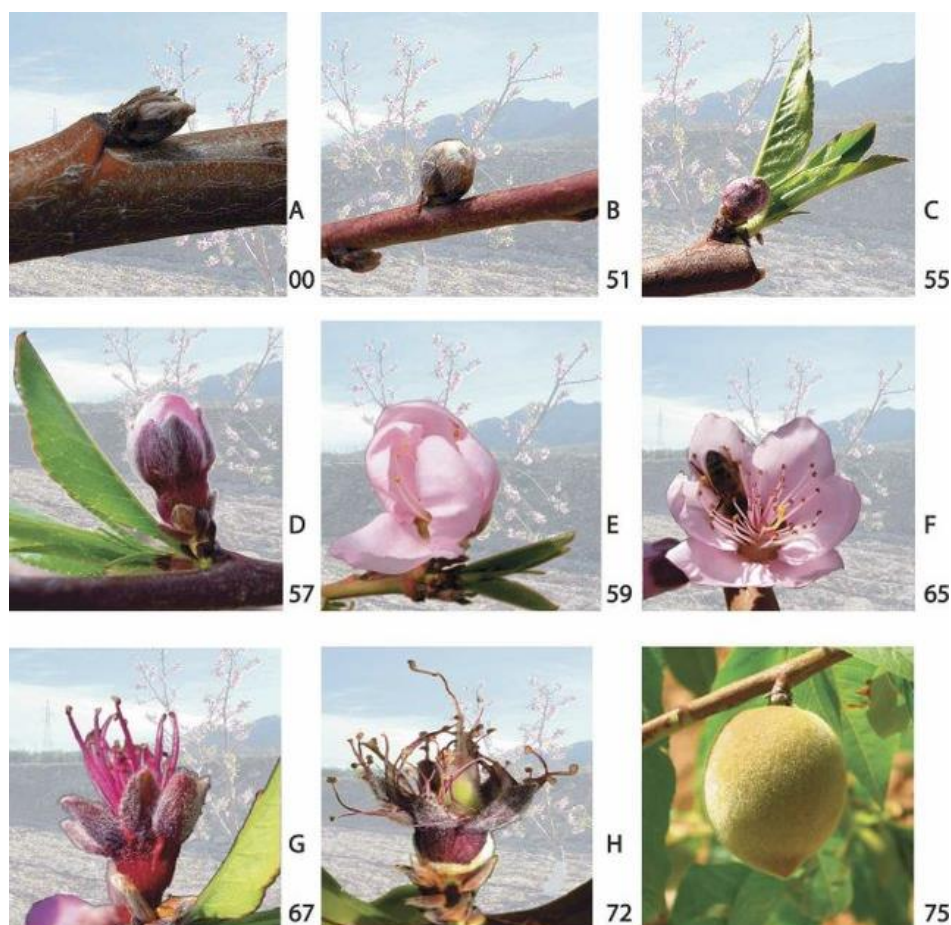


Figura 8 - Comparação da escala BBCH com a de Baggiolini (1952) no pessegueiro (Fonte: Mounzer, 2008).

Como a escala de Baggiolini (1952) descreve as fase de desenvolvimento reprodutivo, desde o gomo (floral) de inverno (A) até ao início do desenvolvimento do fruto (I), apenas se verifica correspondência daquela escala com alguns estados da escala BBCH adaptada às prunóideas relativos aos estados principais 5 (desenvolvimento dos gomos), 6 (floração) e 7 (crescimento do fruto) (Meier, 2001; Mounzer, 2008). Relativamente aos estados secundários da escala BBCH adaptada às prunóideas, alguns coincidem com os estados de Baggiolini (1952), como se verifica na Figura 8, mas alguns dos estados secundários não têm correspondência na escala de Baggiolini (1952).

Para além da dificuldade na correspondência dos estados fenológicos de Baggiolini (1952) com a escala BBCH adaptada às prunóideas (Meier, 2001), é de salientar que o desenvolvimento do gomo até à formação do fruto é um processo contínuo que se enquadra bem na descrição e caracterização proporcionadas pela escala de Baggiolini (1952), enquanto na escala BBCH adaptada às prunóideas (Meier, 2001) tal desenvolvimento aparece separado, dando ideia de uma certa descontinuidade. Com efeito, a fase 6 da escala BBCH adaptada à prunóideas (Meier, 2001) refere apenas as

percentagens de flores abertas (estado F), de uma forma descontínua em relação às outras fases prévias (estados B a E, incluídas na fase 5), o que torna difícil avaliar o EF dominante, já que muitas flores abrem quando outros gomos estão ainda em estados fenológicos mais atrasados.

Por outro lado, também se verifica que a fase 7 (crescimento do fruto) aparece separada da fase 8 (maturação do fruto) na escala BBCH adaptada às prunóideas (Meier, 2001), quando, na prática, se observa que o fruto vai amadurecendo ao mesmo tempo que vai ganhando peso, embora a mudança de cor do fruto seja mais notória apenas nas últimas semanas antes da colheita.

6. Material e métodos

Nem a escala de Baggiolini (1952), por descrever os estados fenológicos com letras do alfabeto e terminar só no início do desenvolvimento do fruto, nem a escala BBCH adaptada às prunóideas por Meier (2001), por caracterizar o desenvolvimento floral de uma forma descontínua, apesar de completa (gomos, flores e frutos) e numérica, parecem adequar-se a um modelo contínuo e preditivo. Deste modo, o objetivo deste estudo preliminar foi o desenvolvimento de um modelo que caracterize de uma forma contínua todo o desenvolvimento reprodutivo, desde o início do desenvolvimento do gomo até à colheita. Um modelo similar foi já desenvolvido e apresentado para a videira (Dry e Coombe, 2004).

Os dados utilizados neste trabalho de Projeto Final foram recolhidos no âmbito do projeto Grupo Operacional “PrunusBOT – Sistema robótico aéreo autónomo de pulverização controlada e previsão de produção frutícola” (PDR2020-101-031362), que se iniciou em 2018 e decorreu até 30 de junho de 2022. Neste projeto, o desenvolvimento do gomo até ao início do crescimento do fruto foi caracterizado pelos estados fenológicos de Baggiolini (1952) e o crescimento do fruto foi caracterizado pela monitorização do crescimento e pela elaboração das respetivas curvas. Serão estas caracterizações, parcialmente já publicadas (Ramos et al., 2022a; 2022b), a base de trabalho para o desenvolvimento do modelo.

6.1. Unidades de observação (UO)

As unidades de observação (UO) do GO PrunusBOT foram instaladas na região da Beira Interior (distrito de Castelo Branco), em três pomares de pessegueiro em plena produção, cada um com uma cultivar distinta. A UO “Belmonte” é a que está localizada mais a norte, em Orjais, e está instalada com a cultivar ‘Royal Time’, com um compasso de 4,5 metros na entrelinha e 2,5 metros na linha (Fig. 9). A UO “Ferro”, com a cultivar ‘Sweet Dream’ está localizada mais ao centro e está instalada com um compasso de 4,75 metros na entrelinha e 2,5 metros de espaçamento na linha (Fig. 10). Por último, a UO “Soalheira” é a que está mais a sul, com a cultivar ‘Catherine’, apresentando uma distância de 5,0 metros na entrelinha e 2,5 metros na linha (Fig. 11).



Figura 9 - Aspeto geral das árvores na UO “Belmonte” na época de floração.



Figura 10 - Aspeto geral das árvores na UO “Ferro” na época de floração.



Figura 11 - Aspeto geral das árvores na UO “Soalheira” na época de floração.

A condução das árvores é em vaso em todas as UO. Todas as UO praticam o modo de Produção Integrada, sendo acompanhadas pelas Associações de Produtores que exercem atividade na Beira Interior, a AAPIM (mais a norte) e a APIZÊZERE (mais a sul). A superfície do solo é mantida de uma forma mista, ou seja, com herbicida na linha

e com enrelvamento natural na entrelinha. O controlo das infestantes na entrelinha é efetuado mecanicamente com um destroçador.

6.2. Recolha de dados

A recolha e dos dados que serviu de base à elaboração do presente trabalho foi efetuada periodicamente no período de 2019 a 2022, compreendendo 4 ciclos vegetativos. Para recolha e registo dos dados da fenologia, foram marcadas 16 árvores em cada UO, em duas linhas aleatórias do pomar. Em cada linha foram marcados 2 blocos com 4 árvores contíguas, num total de 16 árvores por UO. Em todo o período de observação e registo, foram utilizadas as mesmas plantas nos diferentes ciclos, de modo a evitar algum eventual efeito do local específico em que cada árvore está instalada, nomeadamente ao nível do terreno (solo, declive, posição dos gotejadores, etc.). Apesar do ano de 2018 estar também incluído no projeto GO PrunusBOT, a marcação das árvores só ocorreu em maio, razão pela qual só se utilizaram os registos a partir de 2019. Por outro lado, a UO “Ferro” só foi incluída no projeto mais tarde, pelo que só se apresentam os registos fenológicos a partir de 2021.

Em cada UO, em cada árvore marcada e em cada ano, selecionou-se e marcou-se um ramo misto de comprimento entre 50 e 60 cm, num total de 16 ramos mistos. Em cada ramo, foram contados e registados, em geral semanalmente, o número de gomos em cada estado fenológico, de acordo com a escala de Baggiolini (1952). Por vezes, os registos foram efetuados mais do que uma vez por semana, em especial à floração, época em que é útil fazer-se uma caracterização mais detalhada.

A colheita foi efetuada em geral de uma forma escalonada, uma vez que a maturação dos frutos do pessegueiro não é uniforme. Em cada colheita, contaram-se e pesaram-se os frutos por cada árvore individual. A data média da colheita foi determinada de forma ponderada, considerando a percentagem da produção em cada colheita. De referir ainda a falta de registo das colheitas em alguns casos, tais como: i) em 2022 em todas as UO, por ser já depois de finalizado o projeto; ii) em 2019 na UO “Belmonte” por motivo da colheita ter sido antecipada pelo produtor; e iii) em 2021 na UO “Soalheira” por ter ocorrido queda de granizo.

Após o início do crescimento do fruto (estado I) efetuou-se a monda nos ramos marcados. Após a monda, marcou-se o fruto terminal de cada ramo, para medição do diâmetro equatorial do fruto (com uma craveira digital). Foi utilizado o fruto terminal por ser mais fácil de localizar e de medir. A curva de crescimento do fruto do pessegueiro segue uma “dupla sigmoide” quando se expressa em peso fresco, podendo obter-se através da soma de duas equações logísticas simples (após transformação dos diâmetros em peso). A equação logística simples utilizada foi a seguinte:

$$Y = Wt / (1 + e^{-r(t - t_m)})$$

em que:

Y – peso médio do fruto (g);

Wt – peso máximo do fruto (assíntota da curva);

- r – taxa média de crescimento relativo;
- t – tempo (nº dias);
- tm – tempo correspondente ao ponto de inflexão da curva.

Para transformar os diâmetros em peso, utilizou-se a relação linear que existe entre o cubo do diâmetro e o peso do fruto (Fig. 12). Para se obter a referida relação, foi necessário efetuar amostras destrutivas periódicas para medir e pesar os frutos individualmente.

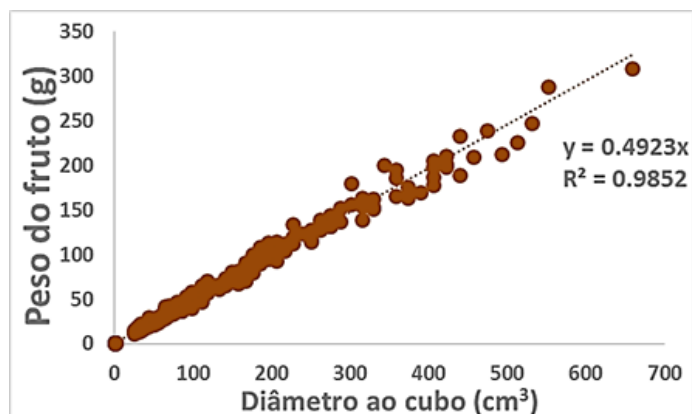


Figura 12 - Relação linear entre o peso médio do fruto e o diâmetro ao cubo (Fonte: Ramos, 2017).

O registo de dados para acompanhamento do crescimento dos frutos, com auxílio de uma craveira digital, só se realizou em 2020 e 2021, nas UO “Belmonte” e “Soalheira”, e em 2021, na UO “Ferro”. No ano de 2019 nas UO “Belmonte” e “Soalheira” e em 2022 nas três UO não foi efetuado este acompanhamento por questões de ordem prática e de planeamento.

Todos os dados climáticos necessários para caracterizar a ocorrência das fases do desenvolvimento dos gomos foram gentilmente cedidos pela Direção Regional de Agricultura e Pescas do Centro (DRAPC). Para caracterizar o período de repouso invernal, de 2018/19 a 2021/22, utilizaram-se os dados das três estações meteorológicas automáticas (EMA) da Beira Interior mais próximas de cada UO. As HF acumuladas foram calculadas pelo método de Crossa-Raynaud (1956), utilizando a seguinte fórmula:

$$HF = 24 \times [(7,2 - T_{min}) / (T_{Max} - T_{min})]$$

em que T_{min} e T_{Max} são as temperaturas mínima e máxima diárias, respetivamente, considerando-se apenas os dias em que a temperatura mínima é inferior a 7,2°C (temperatura base ou umbral) de novembro a fevereiro.

Para caracterizar o período de desenvolvimento vegetativo, de 2019 a 2022, utilizaram-se os dados meteorológicos das mesmas três EMA, calculando-se o somatório das temperaturas médias diárias superiores a um determinado umbral de temperatura, que se expressam em graus.dia. O umbral de temperatura mais utilizado para calcular os graus.dia em pessegueiro é de 7°C (DeJong e Goudriaan, 1989; Agustí,

Quadro 3 - Somatório de horas de frio de novembro a fevereiro e de graus.dia até 31 de março na EMA da Soalheira

Ano	Soma HF*	Soma graus.dia	
		> 0°C	> 7°C
2019	784,0	923,4	309,0
2020	552,2	976,4	358,2
2021	479,5	906,4	326,5
2022	739,3	871,7	256,3

* HF: horas de frio (Crossa-Raynaud, 1956).

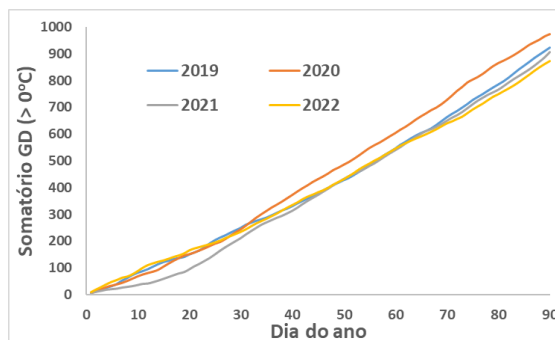


Figura 18 - Somatório dos graus.dia (> 0°C) de 1 de janeiro a 31 de março na EMA da Soalheira.

7.2. Crescimento do fruto

A Figura 19 mostra as curvas de crescimento do fruto em 2020 e 2021 na UO “Belmonte”. O Quadro 4 mostra os parâmetros das curvas de crescimento. A Figura 19 mostra que o crescimento do fruto foi maior em 2021, atingindo maior peso à colheita. Este resultado pode estar relacionado com uma progressão mais regular do somatório de graus.dia após o maior somatório de horas de frio em 2021. De referir, por outro lado, que o maior somatório de graus.dia em 2020 se manteve durante todo o período de crescimento do fruto (Apêndice B).

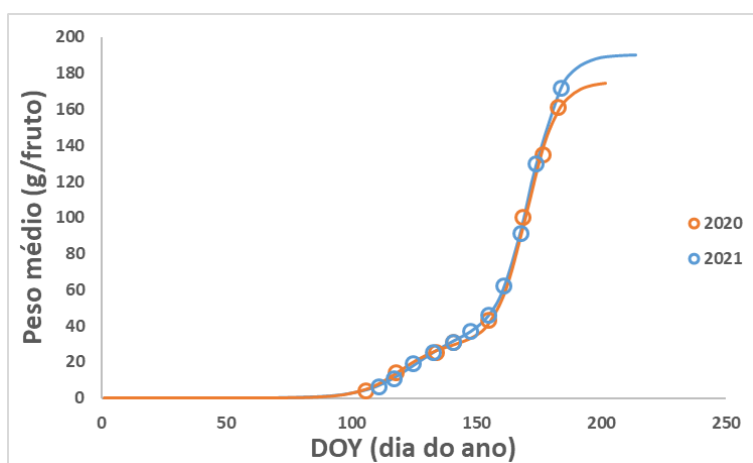


Figura 19 - Curvas de crescimento do pêsego ‘Royal Time’ na UO “Belmonte” em 2020 e 2021.

Quadro 4 - Valores estimados dos parâmetros das equações das curvas de crescimento da ‘Royal Time’ na UO “Belmonte”

Ano	1ª sigmoide			2ª sigmoide			R ²
	Wt	r	tm	Wt	r	tm	
2020	30,4	0,122	119,7	145,0	0,163	170,3	0,999
2021	36,7	0,101	125,3	153,9	0,158	171,4	0,999

Na Figura 20 e no Quadro 5 está ilustrada a curva de crescimento do fruto e os parâmetros das curvas de crescimento para 2021, respetivamente, na UO “Ferro”. Pela análise da Figura 20, pode observar-se que a cultivar ‘Sweet Dream’ na UO “Ferro” atingiu pesos médios próximos de 300 gramas por fruto, confirmando-a como uma cultivar de frutos grandes a muito grandes (Nunes et al., 2017).

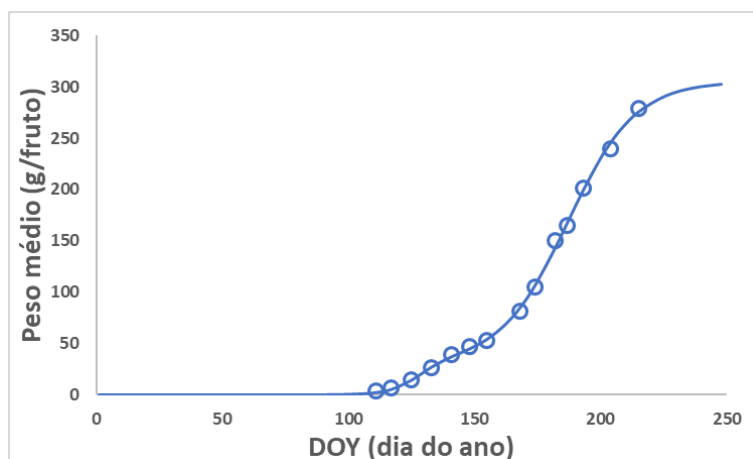


Figura 20 - Curvas de crescimento do pêssgo 'Sweet Dream' na UO "Ferro" em 2021.

Quadro 5 - Valores estimados dos parâmetros das equações das curvas de crescimento na 'Sweet Dream' na UO "Ferro"

Ano	1ª sigmoide			2ª sigmoide			R ²
	Wt	r	tm	Wt	r	tm	
2021	31,9	0,177	128,0	273,8	0,075	187,1	0,999

As curvas de crescimento do fruto da UO "Soalheira" em 2020 e 2021 apresentam-se na Figura 21. Para os mesmos anos, apresentam-se os parâmetros das curvas de crescimento no Quadro 6. O crescimento do fruto foi maior em 2021 e verifica-se que no ano 2020 ocorreu uma maior estagnação do crescimento na fase de endurecimento do endocarpo, provavelmente devido às temperaturas mais altas nesse ano (Apêndice B).

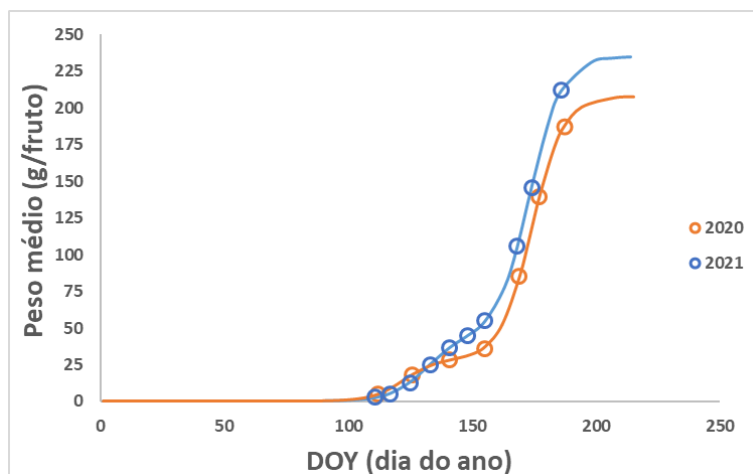


Figura 21 - Curvas de crescimento do pêssgo 'Catherine' na UO "Soalheira" em 2020 e 2021.

Quadro 6 - Valores estimados dos parâmetros das equações das curvas de crescimento da 'Catherine' na UO "Soalheira"

Ano	1ª sigmoide			2ª sigmoide			R ²
	Wt	r	tm	Wt	r	tm	
2020	28,5	0,155	122,2	179,2	0,157	173,9	0,999
2021	44,6	0,138	131,5	190,5	0,153	173,1	0,999

7.3. Definição da escala numérica e do modelo fenológico

Uma vez que a base de trabalho foram as observações fenológicas com a escala de Baggiolini (1952), o primeiro passo para definir uma escala numérica foi a substituição das letras da escala de Baggiolini por números. Dado que os primeiros estados fenológicos, até à floração são relativamente rápidos (cerca de 3 a 4 semanas) e que o estado de queda das pétalas (estado G) costuma durar cerca de 2-3 semanas até que sejam visíveis os primeiros gomos no estado H, optou-se por estabelecer uma maior diferença entre os estados F e G e entre os estados G e H.

O Quadro 7 mostra a correspondência entre os estados de Baggiolini (1952) e a escala numérica proposta. Uma vez que, em cada data, se conta e regista o número de gomos em cada estado fenológico, o valor numérico do estado fenológico, em cada data, resultará então da média dos valores numéricos correspondentes aos estados de Baggiolini (1952), ponderada pela sua frequência. No Apêndice C mostram-se os resultados da aplicação da escala do Quadro 7 a todos os casos.

Quadro 7 - Escala numérica proposta neste Projeto Final para caracterizar o desenvolvimento dos gomos e a respetiva correspondência com a escala alfanumérica de Baggiolini (1952)

ESCALA ADOTADA	DESCRIÇÃO	Baggiolini (1952)
0	Gomo de inverno	A
1	Intumescimento dos gomos	B
2	Aparecimento do cálice (botão verde)	C
3	Aparecimento das pétalas (botão rosa)	D
4	Aparecimento dos estames	E
5	Flor aberta	F
7	Queda das pétalas	G
9	Fruto vingado	H
10	Fruto em desenvolvimento	I

A Figura 22 mostra que há uma boa relação entre o conjunto de todos os valores numéricos dos estados fenológicos e os somatórios de graus.dia ($> 0^{\circ}\text{C}$), seja uma relação linear ($R^2 > 94\%$) ou polinomial ($R^2 > 96\%$) na UO “Belmonte” (como exemplo), sugerindo o bom critério na atribuição dos valores numéricos do Quadro 7 e na obtenção dos estados fenológicos (Apêndice C). A Figura 23 mostra que tal relação é bastante débil quando se utiliza o somatório de graus.dia calculados com a temperatura base de 7°C .

Nas UO “Ferro” e “Soalheira” (Apêndice D), os resultados foram similares, embora com um efeito menos pronunciado quando se utiliza a temperatura umbral de 7°C . Isto poderá justificar-se pela ocorrência de menor número de dias com temperaturas médias inferiores a 7°C nas regiões mais quentes. Uma vez que a relação com o somatório dos graus.dia com base nas temperaturas positivas ($> 0^{\circ}\text{C}$) foi mais regular, optou-se por utilizar este somatório no desenvolvimento do modelo fenológico.

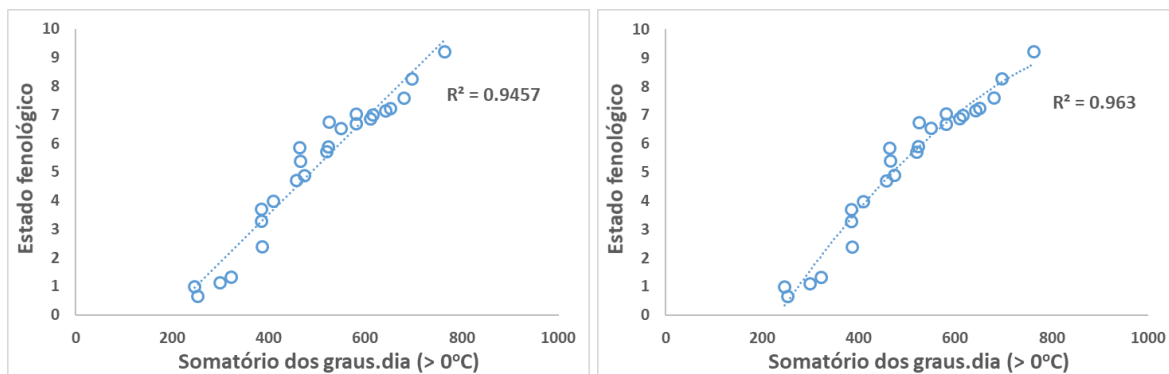


Figura 22 - Relação linear (esquerda) e polinomial (direita) entre o somatório dos graus.dias (>0°C) e os estados fenológicos.

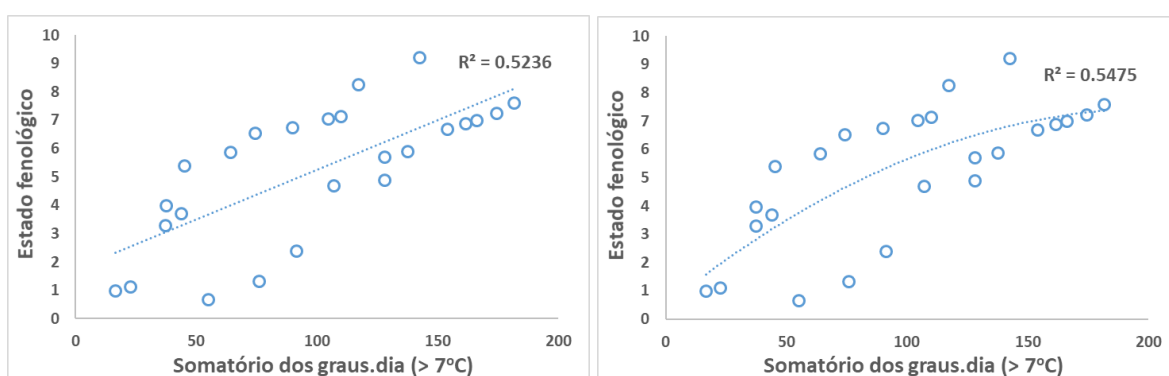


Figura 23 - Relação linear (esquerda) e polinomial (direita) entre o somatório dos graus.dias (>7°C) e os estados fenológicos.

A partir do estado I de Baggiolini (1952) ou do estado 10 na escala numérica proposta no Quadro 7, o restante período de desenvolvimento do fruto até à colheita foi caracterizado pelas curvas de crescimento. Como os valores do parâmetro tm da equação da curva de crescimento se refere à data (expressa em dia do ano) de ocorrência do ponto de inflexão da curva, optou-se por utilizar os valores desse parâmetro nas duas sigmóides e, também, a data de colheita para concluir a definição da escala numérica.

Para se atribuir um valor numérico para a definição da escala correspondente aos valores do crescimento do fruto, foi necessário pensar no tipo de modelo a utilizar. De facto, o desenvolvimento do gomo (do estado 1 ao estado 10) decorre durante um curto período e com temperaturas relativamente baixas, enquanto o crescimento do fruto (a partir do estado 10) decorre num período longo e com temperaturas relativamente elevadas.

Uma curva que traduza tal tendência parece ser similar a um modelo já utilizado por Ramos et al. (2014), em pera 'Rocha', e por Ramos (2017; 2022c), em pessegueiro, para relacionar a carga com a produção por árvore. Como a referida curva tem origem na interceção dos eixos cartesianos, a sua adaptação no contexto deste estudo resultou na seguinte equação:

$$Y = 1 + \frac{X - X_0}{a(X - X_0) + b}$$

em que:

- Y – estado fenológico (escala numérica);
- X – graus.dia (soma de temperaturas médias diárias positivas);
- X_0 , a e b – parâmetros do modelo.

Esta equação do modelo apresenta duas particularidades, o valor 1 e o parâmetro X_0 . O parâmetro X_0 corresponde ao valor estimado do somatório dos graus.dia que ocorre desde o início do ano até ao início da atividade do gomo, fazendo coincidir o início do somatório dos graus.dia com a origem dos eixos cartesianos. O valor 1 determina que o início da atividade dos gomos seja considerado apenas a partir do estado 1 (estado B, de Baggiolini), já que o estado A (gomo de inverno) é muito impreciso, ou seja, está presente desde o outono até meados do inverno (fevereiro).

Esta metodologia apresenta a vantagem de não ser necessário definir uma temperatura umbral nem uma data fixa para o início do somatório dos graus.dia, fatores que foram apontados como importantes dificuldades na implementação do somatório de graus.dia como uma variável determinante da evolução dos estados fenológicos e da sua inferência para diferentes locais e cultivares (Richardson et al. 1974; Citadin et al., 2002; Gariglio et al., 2009; Citadin et al. 2014).

Após algumas tentativas, foi possível chegar aos valores 12, 15 e 16 para as datas do ponto de inflexão da 1ª sigmoide, para o ponto de inflexão da 2ª sigmoide e para a colheita, respetivamente. O Quadro 8 mostra a versão completa da escala numérica utilizada neste estudo.

Quadro 8 - Escala numérica desenvolvida e utilizada neste Projeto Final e a respetiva correspondência com a escala alfanumérica de Baggiolini (1952) e com alguns valores da escala numérica BBCH adaptada às prunóideas (Anexo A)

ESCALA ADOTADA	DESCRIÇÃO	Baggiolini (1952)	Escala BBCH adaptada (Anexo A)
0	Gomo de inverno	A	50
1	Intumescimento dos gomos	B	51
2	Aparecimento do cálice (botão verde)	C	54
3	Aparecimento das pétalas (botão rosa)	D	57
4	Aparecimento dos estames	E	59
5	Flor aberta	F	65
7	Queda das pétalas	G	69
9	Fruto vingado	H	71
10	Fruto em desenvolvimento	I	72
12	Data do ponto de inflexão da 1ª sigmoide	----	----
15	Data do ponto de inflexão da 2ª sigmoide	----	----
16	Data da colheita (data média, se escalonada)	----	87

7.4. Aplicação e validação do modelo

Uma vez que nos três locais as cultivares são diferentes, não permitindo comparação de cultivares no mesmo local, nem comparação de locais com a mesma cultivar, os resultados e respetiva discussão irão ser apresentados em separado.

Apesar dos dados terem sido recolhidos em 4 anos nas UO “Belmonte” e “Soalheira” e em 2 anos na UO “Ferro”, as séries de dados só foram completas (estados fenológicos e curvas de crescimento do fruto) em metade dos anos (2020 e 2021 nas UO “Belmonte” e “Soalheira” e 2021 na UO “Ferro”). A Figura 24 mostra que a aplicação do modelo em 2020 e 2021 nas UO “Belmonte” e “Soalheira”, com os dados individuais de cada ano, apesar de ligeiras diferenças nos parâmetros a e b estimados, resulta praticamente na sobreposição das curvas do modelo.

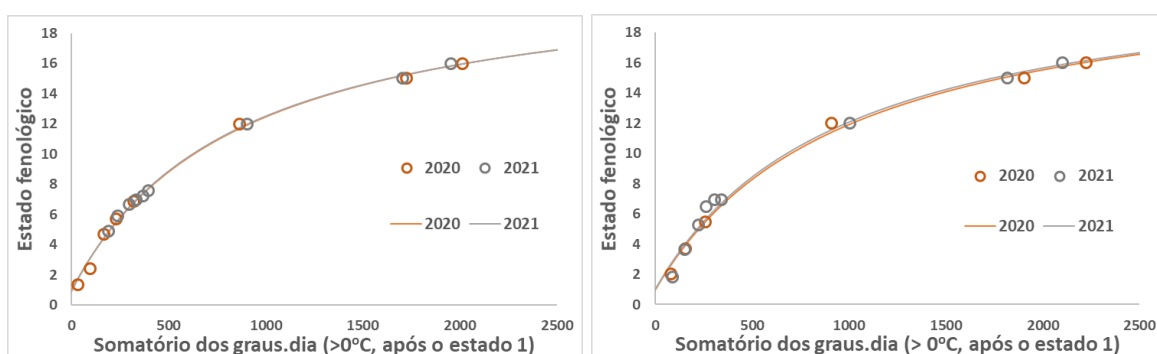


Figura 24 - Aplicação do modelo fenológico com dados individuais (em cada ano) nas UO “Belmonte” (esquerda) e “Soalheira” (direita).

Deste modo, optou-se por aplicar o modelo ao conjunto de todos os dados (dos 4 anos), uma vez que a sua variação se deveu essencialmente à diferente data do início do desenvolvimento do gomo que, por sua vez, ficará “eliminada” pela introdução do parâmetro $X0$ e do valor 1 na equação do modelo. Isto significa que os parâmetros a e b foram considerados iguais em todos os anos (em cada UO) e apenas o parâmetro $X0$ foi diferente de ano para ano.

A significância estatística do modelo estimado (para cada UO) foi avaliada através do teste F para a regressão e pela determinação da precisão do modelo ajustado (R^2). A validação dos resíduos foi efetuada graficamente (Murteira et al., 2007). Os cálculos foram todos modelados com recurso à folha de cálculo Excel.

7.4.1. UO “Belmonte” - ‘Royal Time’

A Figura 25 apresenta os resultados obtidos dos estados fenológicos (EF) de acordo com a escala numérica adotada (Quadro 8), nos 4 anos de observação, e a representação do modelo fenológico (curva) para o conjunto dos mesmos 4 anos. O Quadro 9 mostra os parâmetros estimados para o modelo. De salientar que o modelo ajustado é altamente significativo ($F_{obs}=1964,21$; $P(F>F_{obs})\sim 0<0,001$), sendo a sua precisão bastante elevada ($R^2=99,3\%$) (Apêndice E) em relação às observações dos 4 anos, caracterizando de uma forma adequada todo o período de desenvolvimento reprodutivo, desde o início da atividade do gomo até à colheita.

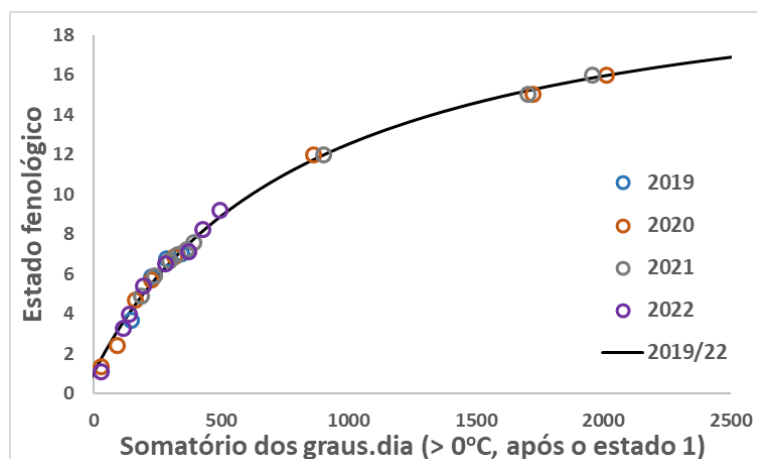


Figura 25 - Valores dos estados fenológicos registados nos 4 anos de observação na UO “Belmonte” e a representação do respetivo modelo fenológico ($n = 31$; $P < 0,001$; $R^2 = 0,993$).

Quadro 9 - Valores dos parâmetros estimados para o modelo e o valor estimado para cada ano dos graus.dia até ao EF 1 na UO “Belmonte”

Ano	Parâmetro X_0	Parâmetro a	Parâmetro b	R^2
2019	237,2			
2020	291,1			
2021	284,2	0,047	39,7	0,993
2022	268,0			

No Quadro 10 mostra-se a estimativa da data de início do desenvolvimento do gomo (estado 1 ou estado B de Baggiolini) e comparam-se os valores observados e estimados das datas de plena floração e da colheita em cada ano. Dessa comparação pode verificar-se que existem muito pequenas ou nenhuma diferenças entre valores observado e estimados pelo modelo (no máximo, 2 dias em relação à data de plena floração e 3 dias em relação à data de colheita),

De referir ainda a utilidade do parâmetro X_0 para estimar a data de início da atividade do gomo (estado 1 ou estado B) e para estimar o somatório das temperaturas a partir do estado 1 até à plena floração (≈ 200 graus.dia) e até à colheita (≈ 2030 graus.dia) da cultivar ‘Royal Time’.

Quadro 10 - Datas observadas da ocorrência da plena floração e da colheita e datas estimadas pelo modelo fenológico para os estados fenológicos 1, 5 e 16 nos 4 anos de observação na UO “Belmonte”

ANO	X_0	Estado 1 GD = 0		Estado 5 (PF) GD \approx 200		Estado 16 (colheita) GD \approx 2030	
		EST.	OBS.	EST.	OBS.	EST.	
2019	237,2	08 fev	03 - 04 mar	03 - 04 mar	-	08 - 09 jul	
2020	291,1	09 fev	27 - 28 fev	29 fev - 1 mar	1 jul	01 - 02 jul	
2021	284,2	13 fev	04 - 05 mar	04 - 05 mar	3 jul	06 - 07 jul	
2022	268,0	17 fev	12 - 13 mar	13 - 14 mar	-	07 - 08 jul	

PF - plena floração; GD - graus.dia; Obs. - valores observados; Est. - valores estimados pelo modelo.

Como a data de ocorrência do estado 1 varia de ano para ano, torna-se evidente que não teria sido possível estabelecer uma data fixa (de calendário) para iniciar a

contabilização do somatório dos graus.dia, confirmando a dificuldade referida por Byrne e Bacon (1992) e Citadin et al. (2014), e a falta de relação entre a fenologia e o somatório das temperaturas médias $\geq 7,0^{\circ}\text{C}$ a partir de 15 de fevereiro, referida por Ramos et al. (2022b).

7.4.2. UO “Ferro” - ‘Sweet Dream’

A Figura 26 ilustra os valores dos estados fenológicos nos 2 anos de observação com a escala numérica adotada para a UO “Ferro” e a curva do respetivo modelo. À semelhança da UO “Belmonte” o modelo fenológico da ‘Sweet Dream’ na UO “Ferro” foi altamente significativo ($F_{\text{obs}}=1687,5$; $P(F > F_{\text{obs}}) \sim 0 < 0,001$), sendo a sua precisão bastante elevada ($R^2=99,6\%$) (Apêndice E). O Quadro 11 mostra os parâmetros estimados para o modelo e o valor exato para cada ano de registo (2021 e 2022) dos graus.dia até ao estado 1.

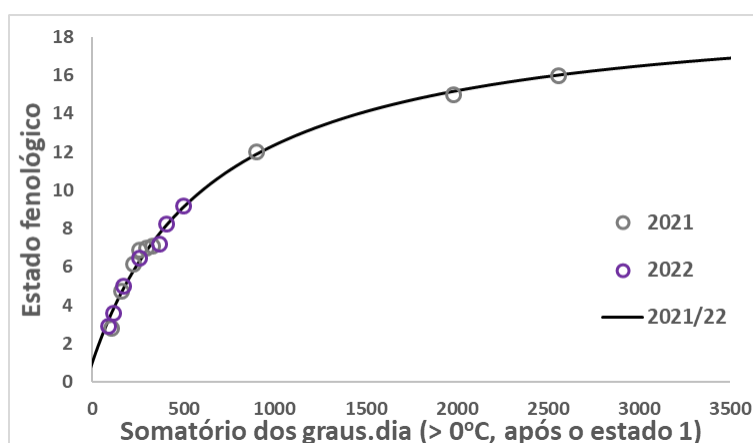


Figura 26 - Valores dos estados fenológicos registados nos 2 anos de observação na UO “Ferro” e a representação do respetivo modelo fenológico ($n = 18$; $P < 0,001$; $R^2 = 0,996$).

Quadro 11 - Valores dos parâmetros estimados para o modelo e o valor exato para cada ano dos graus.dia até ao EF 1 na UO “Ferro”

Ano	Parâmetro X_0	Parâmetro a	Parâmetro b	R^2
2021	393,3	0,053	35,2	0,996
2022	401,1			

O Quadro 12 mostra tendências idênticas às referidas para a UO “Belmonte”, ou seja, valores observados e estimados coincidentes apenas com um dia de diferença. No entanto, verifica-se que o início da atividade do gomo ocorre mais tarde e com valores do somatório de graus.dia mais elevados. Estas diferenças podem ser devidas à interação dos fatores genético (cultivar) e região (mais quente) na resposta ao somatório dos graus.dia, embora não se possa descartar o eventual efeito do frio invernal. Na UO “Ferro”, a plena floração e a colheita da cultivar ‘Sweet Dream’ ocorreram com valores de ≈ 180 e ≈ 2550 graus.dia (somatório das temperaturas médias positivas contabilizadas após o estado 1), respetivamente.

Quadro 12 - Datas observadas da ocorrência da plena floração e da colheita e datas estimadas pelo modelo fenológico para os estados fenológicos 1, 5 e 16 nos 3 anos de observação na UO “Ferro”

ANO	X0	Estado 1	Estado 5 (PF)		Estado 16 (colheita)	
		GD = 0	GD ≈ 180		GD ≈ 2550	
		EST.	OBS.	EST.	OBS.	EST.
2021	393,3	22 fev	11 - 12 mar	11 - 12 mar	31 jul	30 - 31 jul
2022	401,1	22 fev	13 - 14 mar	14 - 15 mar	-	23 - 24 jul

PF - plena floração; GD - graus.dia; Obs. - valores observados; Est. - valores estimados pelo modelo.

7.4.3. UO “Soalheira” - ‘Catherine’

Para a cultivar ‘Catherine’ na UO “Soalheira”, a Figura 27 representa graficamente a curva do modelo fenológico, com início no estado 1, relacionando os estados fenológicos obtidos de acordo com a escala numérica adotada ao longo dos 4 anos de observação na UO “Soalheira” com o respetivo modelo fenológico. De salientar que o modelo estimado é altamente significativo ($F_{obs}=958,32$; $P(F>F_{obs})\sim 0<0,001$), sendo a sua precisão bastante elevada ($R^2=98,6\%$) (Apêndice E). No Quadro 13 mostram-se os parâmetros estimados para o modelo fenológico da ‘Catherine’.

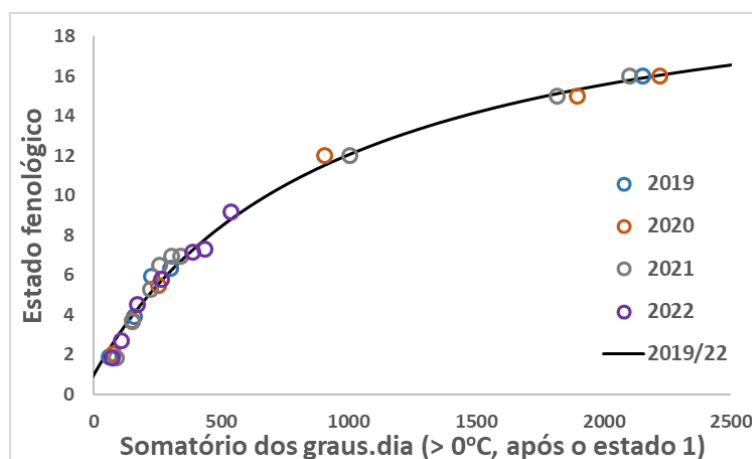


Figura 27 - Valores dos estados fenológicos registados nos 4 anos de observação na UO “Soalheira” e a representação do respetivo modelo fenológico ($n = 30$; $P < 0,001$; $R^2 = 0,986$).

Quadro 13 - Valores dos parâmetros estimados para o modelo fenológico e o valor estimado, para cada ano, dos graus.dia até ao estado 1 na UO “Soalheira”

Ano	Parâmetro X0	Parâmetro a	Parâmetro b	R ²
2019	460,8			
2020	489,5			
2021	487,9	0,047	43,6	0,986
2022	491,6			

No Quadro 14, destaca-se o ano de 2020 como o mais adiantado, tanto em relação ao estado 1 como ao estado 5. Os valores dos graus.dia necessários para se atingir o estado 1 tendem a ser superiores aos das outras UO, provavelmente por se tratar de uma região mais quente. Também nesta UO as diferenças entre valores observados e estimados não foram, em geral, além de 1-2 dias em relação à plena floração e de 2-3 dias em relação à data de colheita. Do início da atividade do gomo (estado 1) até à data de plena floração (estado 5) e até à colheita (estado 16) na cultivar ‘Catherine’, na UO “Soalheira”, registaram-se somatórios de graus dias de ≈ 215 e ≈ 2185 , respetivamente.

Quadro 14 - Datas observadas da ocorrência da plena floração e da colheita e datas estimadas pelo modelo fenológico para os estados fenológicos 1, 5 e 16 nos 4 anos de observação na UO “Soalheira”

ANO	X0	Estado 1	Estado 5 (PF)		Estado 16 (colheita)	
		GD = 0	GD ≈ 215		GD ≈ 2185	
		EST.	OBS.	EST.	OBS.	EST.
2019	460,8	23 fev	12 - 13 mar	12 - 12 mar	6 jul	07 - 08 jul
2020	489,5	20 fev	09 - 10 mar	08 - 09 mar	5 jul	03 - 04 jul
2021	487,9	25 fev	15 - 16 mar	15 - 16 mar	5 jul	08 - 09 jul
2022	491,6	25 fev	16 - 17 mar	17 - 18 mar	-	05 - 06 jul

PF - plena floração; GD - graus.dia; Obs. - valores observados; Est. - valores estimados pelo modelo.

7.4.4. Discussão geral

A aplicação de um modelo fenológico, com valores entre 1 (intumescimento dos gomos) e 16 (colheita) mostrou ser altamente significativo ($P < 0,001$) em três locais e em três cultivares (diferentes nos três locais) e com uma precisão elevada ($R^2 \approx 99\%$). Com efeito, muitas datas de plena floração e colheita estimadas coincidem com as observadas ou apresentam diferenças de 1-2 dias. Apenas alguns (poucos) casos as diferenças podem chegar a 2-3 dias em relação à data de colheita.

De salientar que as datas de plena floração determinadas com as escalas numéricas (usando as médias ponderadas) foram muito próximas das datas determinadas pelo critério “data de ocorrência da percentagem mais elevada de gomos no estado F (flor aberta)” (Simões, 2016; Oliveira, 2016), o que permite afirmar que, *a priori*, os valores adotados na elaboração da escala numérica terão sido adequados para a aplicação do modelo fenológico enunciado.

Outro aspeto relevante do modelo adotado, apesar de preliminar, tem a ver com a utilização do estado 1, como sendo o início do desenvolvimento do gomo, e a utilização do parâmetro X_0 , para estimar o somatório das temperaturas médias positivas necessárias para se iniciar aquela atividade (estado 1). Como o início da atividade do gomo variou de ano para ano, de local para local e de cultivar para cultivar, a introdução do parâmetro X_0 no modelo permitiu fazer coincidir o início do somatório das temperaturas com o início da atividade do gomo (estado 1) em cada caso, mesmo que esse momento não tivesse sido registado nas observações de campo.

Estes resultados sugerem que esta metodologia pode ter utilidade para uniformizar os critérios relativos à data de início do somatório dos graus.dia e ao respetivo valor limiar, sem necessidade de fixar os respetivos valores. Com efeito, diferentes limiares de temperaturas e datas de início da contagem do somatório de temperaturas “fixos” têm sido utilizados por diversos autores (Richardson et al. 1974; Citadin et al., 2002; Gariglio et al., 2009; Córdova, 2013; Citadin et al. 2014; Ramos et al., 2022b), dificultando a padronização dos registos fenológicos, em diferentes regiões e cultivares.

Com esta metodologia, o somatório das temperaturas necessário para se atingir a plena floração (estado 5) e a colheita (estado 16) foi constante nos diferentes anos,

para cada local e cultivar, o que permite caracterizar o desenvolvimento dos frutos e programar as práticas culturais, incluindo as tarefas inerentes à logística da colheita. Um adequado modelo climático que permita prever a acumulação das temperaturas médias pode dar ao modelo fenológico um carácter preditivo, com utilização mais ampla como ferramenta de apoio à tomada de decisões dos produtores.

8. Conclusões

O estudo preliminar apresentado neste Relatório de Projeto Final foi realizado em 4 anos e em 3 locais e cultivares diferentes. Não obstante o seu carácter preliminar e a falta de dados em alguns dos casos, a validação estatística e a comparação dos resultados observados com os valores estimados pelo modelo permitiram, desde já, retirar as seguintes conclusões:

- a escala numérica e o modelo fenológico adotados são coerentes com o desenvolvimento reprodutivo do pessegueiro, de uma forma contínua desde o início da atividade do gomo (estado 1) até à colheita do fruto (estado 16);
- a introdução do valor 1 e do parâmetro X_0 no modelo fenológico permitiu estimar o somatório dos graus.dia ($> 0^\circ\text{C}$) necessário para se iniciar a atividade do gomo (estado 1);
- uma vez que o início da atividade do gomo (estado 1) varia de ano para ano, de local para local e de cultivar para cultivar, a introdução do valor 1 e do parâmetro X_0 no modelo fenológico permitiu ultrapassar o problema relacionado com as datas para iniciar a contabilização do somatório dos graus.dia;
- uma vez que se utilizaram os graus.dia como sendo o somatório das temperaturas médias diárias positivas ($> 0^\circ\text{C}$), também foi possível ultrapassar o problema relacionado com a determinação da temperatura base (umbral ou limiar) a utilizar;
- entre o estado 1 e os estados 5 (plena floração) e 16 (colheita), os somatórios dos graus.dia foram constantes em cada local/cultivar, uma vez que os parâmetros a e b do modelo fenológico se mantêm constantes;
- para além do modelo fenológico proposto ser contínuo e, conseqüentemente, poder ser um modelo preditivo, a aplicação dos parâmetros a e b permitirá fazer a previsão das datas de plena floração e de colheita, para os locais e cultivares deste estudo, logo que seja possível observar (em campo) a ocorrência do estado 1, utilizando o somatório dos graus.dia nessa data como valor do parâmetro X_0 ;
- a realização de estudos idênticos em outros locais e cultivares pode permitir estudar o comportamento da mesma cultivar em diferentes locais e o comportamento de diferentes cultivares no mesmo local, de forma a compreender melhor: i) o carácter mais precoce ou tardio das cultivares ou dos locais; ii) a adaptação das diferentes espécies e cultivares de pessegueiro no âmbito da implantação da cultura; iii) o impacto das mudanças climáticas no

desenvolvimento e produção do pessegueiro; e iv) fazer uma gestão mais cuidada e rigorosa dos recursos e das tecnologias de produção.

Referências Bibliográficas

- Aguiar C. (2014). Arquitetura de plantas. Escola Superior Agrária de Bragança. ISBN: 978-972-745-178-4.
- Agustí M. (2010). Fruticultura. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. ISBN: 978-84-8476-398-7.
- Amaral A. (2020). Influência das condições climáticas na fenologia do pessegueiro cv. 'Royal Time'. Ed. APH, Lisboa. ISBN: 978-972-8936-35-8.
- Baggiolini M. (1952). Stade repères du pêcher. *Revue Romande d'Agriculture, Viticulture et Arboriculture*, 4: 29.
- Bassi D. e Piagnani M.C. (2008). Morfologia e Fenologia. *In*: Angelini, R., Fidghelli, C., Ponti, I. (eds.), *Il pesco*, pgs. 2-18. Bayer CropScience S.r.l., Milano.
- Bruns E. e van Vliet A.J. (2003). Standardization of phenological monitoring in Europe. European Phenology Network. Brussels.
- Byrne D.H. e Bacon T. (1992). Chilling accumulation and its importance and estimation. *The Texas Horticulturist*, 18: 8-9.
- Byrne D.H., Bassols M., Bassi D., Piagnani M.C., Gasic K., Reighard G.L., Moren, M.A. e Pérez, S., (2012). The peach. *In*: Badenes, M.L., Byrne, D.H. (Eds.), *Fruit Breeding, Handbook of Plant Breeding*, pgs. 505-569. Springer Science and Business Media. New York.
- Câmara G. (2006). Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção. *Visão Agrícola*, 5: 63-66.
- Citadin I., Raseira M.C., Herter F.G e Silveira C.A. (2002). Avaliação da necessidade de frio em pessegueiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24 (3): 703-706.
- Citadin I., Raseira M., Denardi F., Kvitschal M. e Dalbó M. (2014). Estratégia de melhoramento de fruteiras de clima temperado em regiões subtropicais. *Anais do II Simpósio Paranaense de Fruticultura*: 31-40.
- Córdoba G. (2013). Selección de nuevas variedades de melocotón [*Prunus persica* (L.) Batsch] en función de caracteres agronómicos, morfológicos, de calidad y de conservación del fruto. Tesis Doctoral en Ingeniería Agronómica, Universidade de Lleida, Leida.
- Costa A. (2018). Produção alimentar terá que aumentar 70% para responder a crescimento populacional. *Vida Rural*. Disponível em: <https://www.vidarural.pt/producao/producao-alimentar-tera-que-aumentar-70-para-responder-a-crescimento-populacional/>. Acedido a: 2/1/2023.
- Crossa-Raynaud C. (1956). Effects des hivers doux sur le comportement des arbres fruitiers à feuillers caduques. *Ann. Serv. Bot. Agron.* 29: 1-22.
- Dias C., Alberto D. e Simões M.P. (2016). Produção de pêssego e nectarina na Beira Interior. *In* Simões, M.P. (coord). *+pêssego – Guia Prático da Produção*. Centro Operativo e Tecnológico Hortofrutícola Nacional: 15-31. ISBN 978-972-8785-04-8.
- Dry, P. e Coombe, B. 2004. Revised version of "Grapevine growth stages—The modified E-L

- system” Viticulture 1 – Resources. 2nd edition. Winetitles. Broadview. Australia.
- Irvine A., Barbeau G., Rességuier L., Dufourcq T., Dumas V., Cortazar-Atauri I., Ojeda H., Saurin N., Leewen C. e Duchêne, E. (2019). Measuring the phenology to more effectively manage the vineyard. IVES Technical Reviews, DOI: 10.20870/IVES-TR.2019.2586.
- EPPO (2012). Conduct and reporting of efficacy evaluation trials, including good experimental practice. EPPO Bulletin, 42: 382-393.
- Fan S., Bielenberg D.G., Zhebentyayeva T.N., Reighard G.L., Okie, WR., Holland, D. e Abbott A.G. (2010). Mapping quantitative trait loci associated with chilling requirement, heat requirement and bloom date in peach (*Prunus persica*). New Phytologist, 185 (4): 917-930.
- FAOSTAT (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. Disponível em: fao.org/statistics/en/. Acedido a: 3/1/2023.
- Gariglio N., Mendow M., Weber M., Favaro M., González-Rossia D. e Pilatti R. (2009). Phenology and reproductive traits of peaches and nectarines in Central-East Argentina. Scientia Agricola, 66 (6): 757-763.
- Gautier M. (1988). La culture fruitière. Les productions fruitières. Vol. 2. J.B.Baillière, Lavoisier, Paris.
- Ghrab M., Zitouna R., Masmoudi M. e Mechlia N. (2016). Phenology and yield efficiency of early, mid-, and late-maturing cultivars of peach in irrigated orchards under mediterranean climate. International Journal of Fruit Science, 16 (3) : 323–334.
- Hawerroth F.J., Herter F.G., Petri J.L., Leite G.B. e Pereira J.F. (2010). Dormência em frutíferas de clima temperado. Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS.
- INE (2021). Estatísticas Agrícolas, 2020. Instituto Nacional de Estatística IP. Lisboa.
- INE (2022). Instituto Nacional de Estatística IP. Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_main. Acedido a: 3/01/2023.
- Kushwaha C.P. e Singh K.P. (2008). India needs phenological stations network. Current Science, 95(7): 832-834.
- Lancashire P., Bleiholder H., Boom T., Langeluddeke P., Stauss R., Weber E. e Witzemberger A. (1991). A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. Ann. Appl. Biol. 119: 561-601.
- Liverani A. (2008). Miglioramento genetico. In: Angelini, R., Fidghelli, C., Ponti, I. (Eds.), Il pesco, pgs. 306-309. Bayer CropScience S.r.l., Milano.
- Luedeling E., Girvetz E.H., Semenov M.A. e Brown P.H. (2011). Climate change affects winter chill for temperate fruit and nut trees. PLOS ONE 6(5): e20155. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020155>.
- Luedeling E., Zhang M. e Girvetz E.H. (2009). Climate changes lead to declining winter chill for fruit and nut trees in California during 1950–2009. PLOS One, 4, e6166. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006166>.
- Meier U., Graf H., Hack H., Hess M., Kennel W., Klose R., Mappes D., Seipp D., Stauss R., Streif J. e van den Boom T. (1994). Phenological growth stages of development pome fruit (*Malus domestica* Borkh. and *Pyrus communis* L.), stone fruit (*Prunus* species), currants (*Ribes*

- species) and strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DE19950062793>. Acedido a: 5/1/2023.
- Meier U., Bleiholder H., Buhr L., Feller C., Hack H., Heß M., Lancashire P.D., Schnock U., Stauß R., van den Boom T., Weber E. e Zwerger P. (2009). The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants-history and publications. *Journal für Kulturpflanzen*, 61 (2): 41-52.
- Meier U. (ed.) (2001). Growth stages of mono and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry. Berlin.
- Mounzer O.H., Conejero W., Nicolás E., Abrisqueta I., García-Orellana Y.V., Tapia L.M., Vera J., Abrisqueta J.M. e Ruiz-Sánchez C. (2008). Growth pattern and phenological stages of early-maturing peach trees under a Mediterranean climate. *HortScience*, 43 (6): 1813-1818.
- Murteira B., Ribeiro C. S., Silva J. A. e Pimenta C. (2007). Introdução à estatística. McGraw-Hill. Lisboa.
- Nunes, A., Pintado, C.L., Beato, H., Paulo, L., Resende, M. e Antunes, P. (2017). Qualidade dos pêssegos recolhidos e analisados pela CATAA. In M.P. Simões (coord), +pêssego (vol. III) Resultados de apoio à gestão, pgs 51-66. COTHN, Alcobaça. ISBN: 978-972-8785-06-2.
- Oliveira P.D. (2016). Raleio manual e químico de flores e frutos em pessegueiro (*Prunus persica* L. Batsch). Dissertação de Mestrado em Fitotecnia. Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Rajan S., Tiwari D., Singh V.K., Saxena P., Singh S., Reddy Y.T.N., Upreti K.K., Burondkar M.M., Bhagwan A. e Kennedy R. (2011). Application of extended BBCH Scale for phenological studies in mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of Applied Horticulture*, 13 (2): 108-114.
- Ramos A., Ribeiro E., Fernandes B., Marques L., Dias J.P., Duarte T., Lopes J.P., Fialho D., Santa-Bárbara P., Martins J.M.S. e De Melo-Abreu J.P. (2014). 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. (2017). Avaliação da Eficiência do pomar. Aplicação de modelos empíricos à produção de pêssego. In Simões, M.P. (coord). +pêssego – Inovação nas técnicas de produção. Centro Operativo e Tecnológico Hortofrutícola Nacional: 241-262. ISBN: 978-972-8785-05-5.
- Ramos A., Fonseca H., Ferreira D. e Simões M.P. (2022a). Fenologia e crescimento do fruto. In M.P. Simões (coord). PrunusBOT – Aplicação da robótica à produção de pêssego e cereja. Vol I: 17-24. COTHN-CC. ISBN: 978-972-8785-21-5.
- Ramos A., Fonseca H., Ferreira D. e Simões M.P. (2022b). Horas de frio, somatório de graus.dia e sua relação com a fenologia do pessegueiro. In M.P. Simões (coord). PrunusBOT – Aplicação da robótica à produção de pêssego e cereja. Vol I: 27-45. COTHN-CC. ISBN: 978-972-8785-21-5.
- Ramos A., Fonseca H., Ferreira D., Barateiro A., Ramos C., Silvino P., Dinis-Gaspar P. e Simões M.P. (2022c). Avaliação da capacidade produtiva do pomar de pessegueiros. In M.P. Simões (coord). PrunusBOT – Aplicação da robótica à produção de pêssego e cereja. Vol I: 107-124.

COTHN-CC. ISBN: 978-972-8785-21-5.

- Ray D., West P.C., Clark M., Gerber J.S., Prishchepov A.V. e Chatterjee S. (2019). Climate change has likely already affected global food production. PLOS ONE, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217148>.
- Richardson E.A., Seeley S.D. e Walker D.R. (1974). A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. HortScience. 9 (4): 331-332.
- Rodrigues M.A. (2022). Estatísticas Agrícolas: o que nos mostram e o que nos escondem. Disponível em: <https://www.agroportal.pt/estatisticas-agricolas-o-que-nos-mostram-e-o-que-nos-escondem/>. Acedido a: 4/1/2023.
- Simões M.P. 2016. Ciclo biológico do pessegueiro [*Prunus persica* (L.) Batsch]. In Simões, M.P. (coord). +pêssego – Guia Prático da Produção. Centro Operativo e Tecnológico Hortofrutícola Nacional: 37-51. ISBN 978-972-8785-04-8.
- Simões M.P. (2021). Manual de boas práticas de fruticultura. Frutos, Legumes & Flores, 10: 103-113.
- Simões M.P. e Ferreira D. (2016). Qualidade dos frutos. In Simões, M.P. (coord). +pêssego – Guia Prático da Produção. Centro Operativo e Tecnológico Hortofrutícola Nacional: 195-214. ISBN 978-972-8785-04-8.
- Simões M.P. (coord). (2022). PrunusBOT – Aplicação da robótica à produção de pêssego e cereja. Vol I. COTHN-CC. ISBN: 978-972-8785-21-5.
- Verma P., Singh J., Sharma S. e Thakur H. (2022). Phenological growth stages and growing degree days of peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] in sub-temperate climatic zone of North-Western Himalayan region using BBCH scale. Ann. Appl. Biol. 1-11. <https://doi.org/10.1111/aab.12815>.
- Velarde F. (1996). Tratado de arboricultura frutal. Vol. 1: Morfología y fisiología del árbol frutal. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Villiers T.A. (1975). Dormancy and the survival of plants. Edward Arnold (Publishers) Limited. London.
- Zadocks J.C., Chang T.T. e Konzak C.F.. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research, 14 (6): 415-421.
- Zoebl, D. (2006). Is water productivity a useful concept in agriculture water management? Agriculture Water Management, 84 (3): 265-273.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Resultados dos estados fenológicos de acordo com a escala de Baggioini (1952)

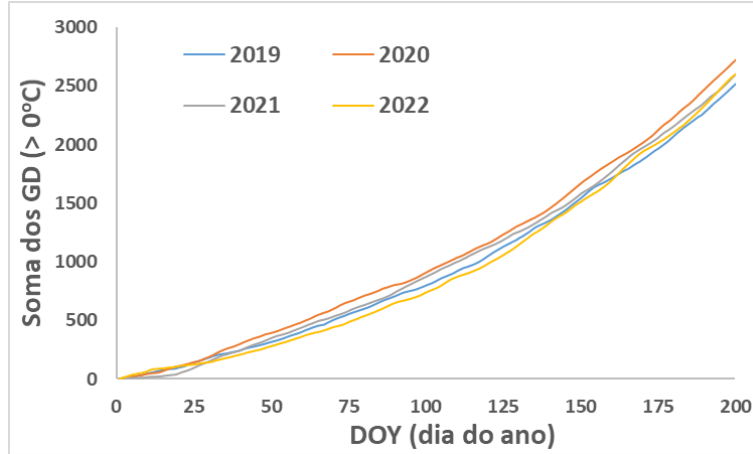
UO "Belmonte" - EMA Belmonte									
Data	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	E (%)	F (%)	G (%)	H (%)	I (%)
2019/02/27	0.0	0.0	13.0	39.3	13.0	34.7	0.0	0.0	0.0
2019/03/08	0.0	0.0	1.3	3.8	2.5	42.8	49.6	0.0	0.0
2019/03/13	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	14.9	79.3	4.3	0.0
2019/03/19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.4	1.6	0.0
Data	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	E (%)	F (%)	G (%)	H (%)	I (%)
2020-02-04	34.0	66.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2020-02-11	0.0	67.9	31.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2020-02-18	0.0	16.6	55.0	13.2	4.0	11.3	0.0	0.0	0.0
2020-02-26	0.0	0.0	11.0	9.7	14.8	46.5	18.1	0.0	0.0
2020-03-03	0.0	0.0	0.0	8.7	14.7	25.3	51.3	0.0	0.0
2020-03-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	93.4	0.0	0.0
Data	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	E (%)	F (%)	G (%)	H (%)	I (%)
2021-03-04	0.0	0.0	2.2	14.5	20.8	40.1	22.3	0.0	0.0
2021-03-10	0.0	0.0	0.0	1.1	9.8	38.9	50.2	0.0	0.0
2021-03-16	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	13.0	85.0	0.0	0.0
2021-03-19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	96.7	1.3	0.0
2021-03-23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	88.5	11.5	0.0
2021-03-26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.9	28.2	0.9
Data	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	E (%)	F (%)	G (%)	H (%)	I (%)
2022-02-14	2.9	96.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2022-02-21	0.0	88.9	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2022-03-03	0.0	4.6	16.8	43.1	17.4	18.0	0.0	0.0	0.0
2022-03-07	0.0	0.6	9.6	30.2	15.1	42.3	2.2	0.0	0.0
2022-03-14	0.0	0.0	0.0	7.4	24.7	29.0	38.9	0.0	0.0
2022-03-22	0.0	0.0	0.0	0.3	8.0	11.1	80.6	0.0	0.0
2022-03-30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.1	6.9	0.0
2022-04-06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.1	62.9	0.0
2022-04-12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	69.3	27.7

UO "Ferro" - EMA Ferro									
Data	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	E (%)	F (%)	G (%)	H (%)	I (%)
04/03/2021	0.0	0.0	43.4	41.8	4.9	9.8	0.0	0.0	0.0
10/03/2021	0.0	0.0	1.7	14.2	3.3	77.5	3.3	0.0	0.0
16/03/2021	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.1	55.9	0.0	0.0
19/03/2021	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	93.2	0.0	0.0
23/03/2021	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	99.2	0.0	0.0
26/03/2021	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.6	3.4	0.0
Data	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	E (%)	F (%)	G (%)	H (%)	I (%)
14/02/2022	0.0	98.3	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21/02/2022	0.0	93.4	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
03/03/2022	0.0	5.9	33.7	37.9	13.0	8.9	0.6	0.0	0.0
07/03/2022	0.0	3.0	22.3	33.1	7.2	30.1	4.2	0.0	0.0
14/03/2022	0.0	0.0	0.6	23.6	12.1	33.3	30.3	0.0	0.0
22/03/2022	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	22.7	74.2	0.0	0.0
01/04/2022	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	89.8	9.6	0.0
06/04/2022	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	37.7	61.7	0.0
14/04/2022	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.2	15.8

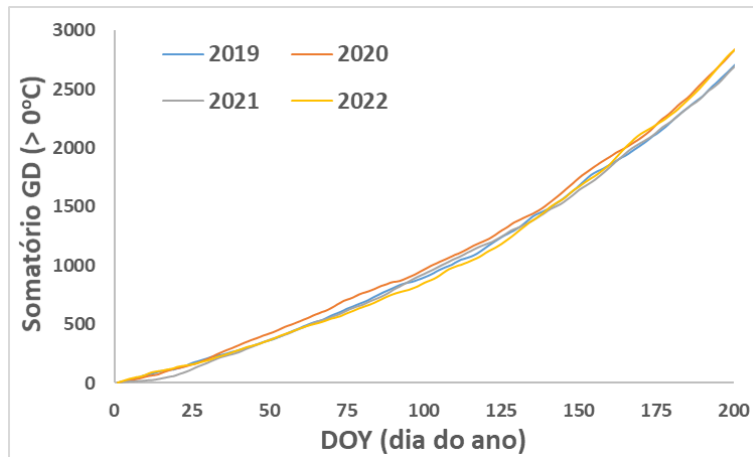
UO "Soalheira" - EMA Soalheira									
Data	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	E (%)	F (%)	G (%)	H (%)	I (%)
2019-02-27	0.0	35.5	47.7	11.2	2.2	3.4	0.0	0.0	0.0
2019-03-08	0.0	0.0	14.9	31.6	10.1	38.6	4.8	0.0	0.0
2019-03-13	0.0	0.0	0.0	0.8	4.6	44.4	50.3	0.0	0.0
2019-03-19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.7	54.3	6.0	0.0
Data	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	E (%)	F (%)	G (%)	H (%)	I (%)
2020-02-04	52.6	47.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2020-02-11	24.6	47.9	27.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2020-02-18	0.0	64.7	35.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2020-02-26	0.0	33.6	46.9	10.0	4.1	5.4	0.0	0.0	0.0
2020-03-03	0.0	0.0	18.7	34.3	13.5	29.6	3.9	0.0	0.0
2020-03-11	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	73.0	24.6	0.0	0.0
Data	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	E (%)	F (%)	G (%)	H (%)	I (%)
2021-03-04	0.0	28.9	59.6	10.4	0.7	0.4	0.0	0.0	0.0
2021-03-10	0.0	5.3	13.5	34.2	8.6	37.2	1.1	0.0	0.0
2021-03-16	0.0	0.0	5.7	4.9	2.3	58.2	28.9	0.0	0.0
2021-03-19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.8	74.2	0.0	0.0
2021-03-23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	96.4	0.0	0.0
2021-03-26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	97.7	0.0	0.0
Data	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	E (%)	F (%)	G (%)	H (%)	I (%)
2022-02-14	6.8	93.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2022-02-21	0.0	83.7	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2022-03-03	0.0	50.6	31.9	10.0	1.9	5.0	0.6	0.0	0.0
2022-03-07	0.0	15.2	45.7	18.3	4.3	12.8	3.7	0.0	0.0
2022-03-14	0.0	0.0	2.6	27.8	20.5	31.1	17.9	0.0	0.0
2022-03-22	0.0	0.0	0.0	2.9	5.0	47.9	44.3	0.0	0.0
2022-04-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.2	6.8	0.0
2022-04-06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.7	14.3	0.0
2022-04-14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	78.7	19.7

APÊNDICE B - Representação gráfica dos somatórios de graus.dia até meados de julho, de 2019 a 2022

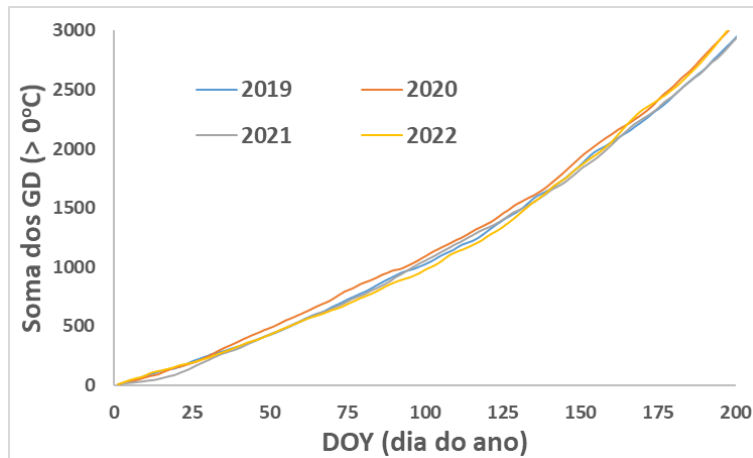
EMA de Belmonte



EMA do Ferro

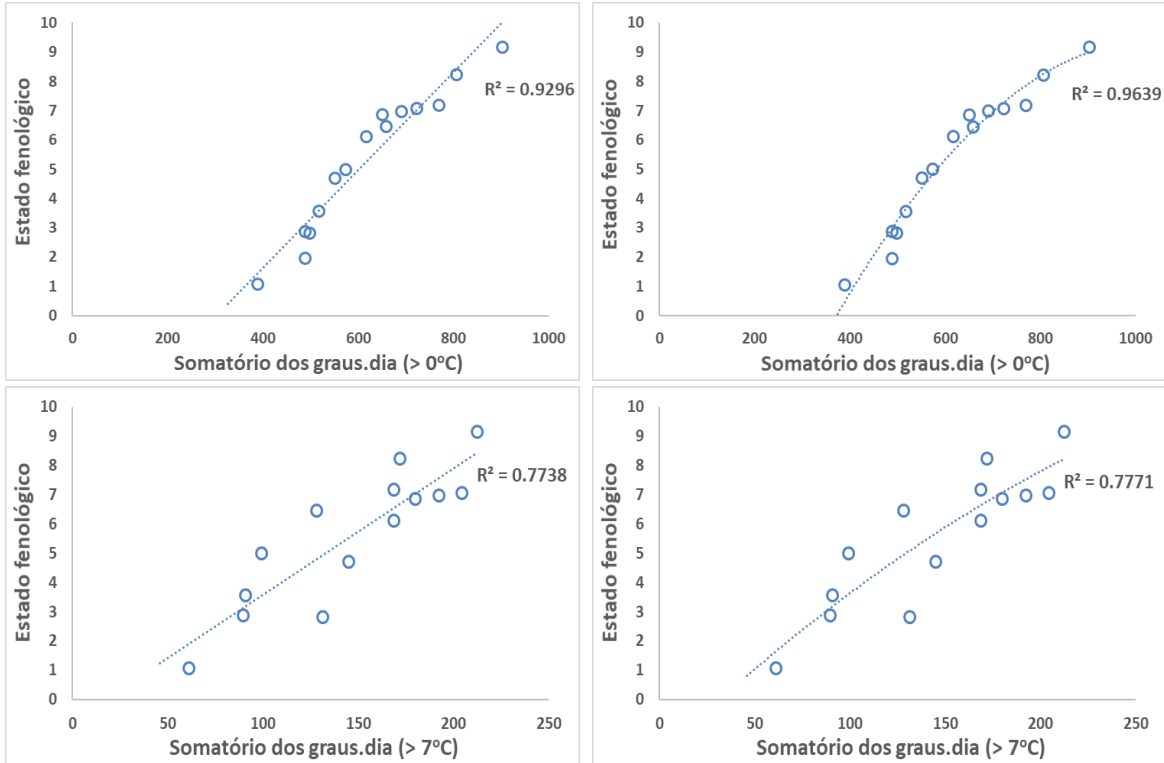


EMA da Soalheira

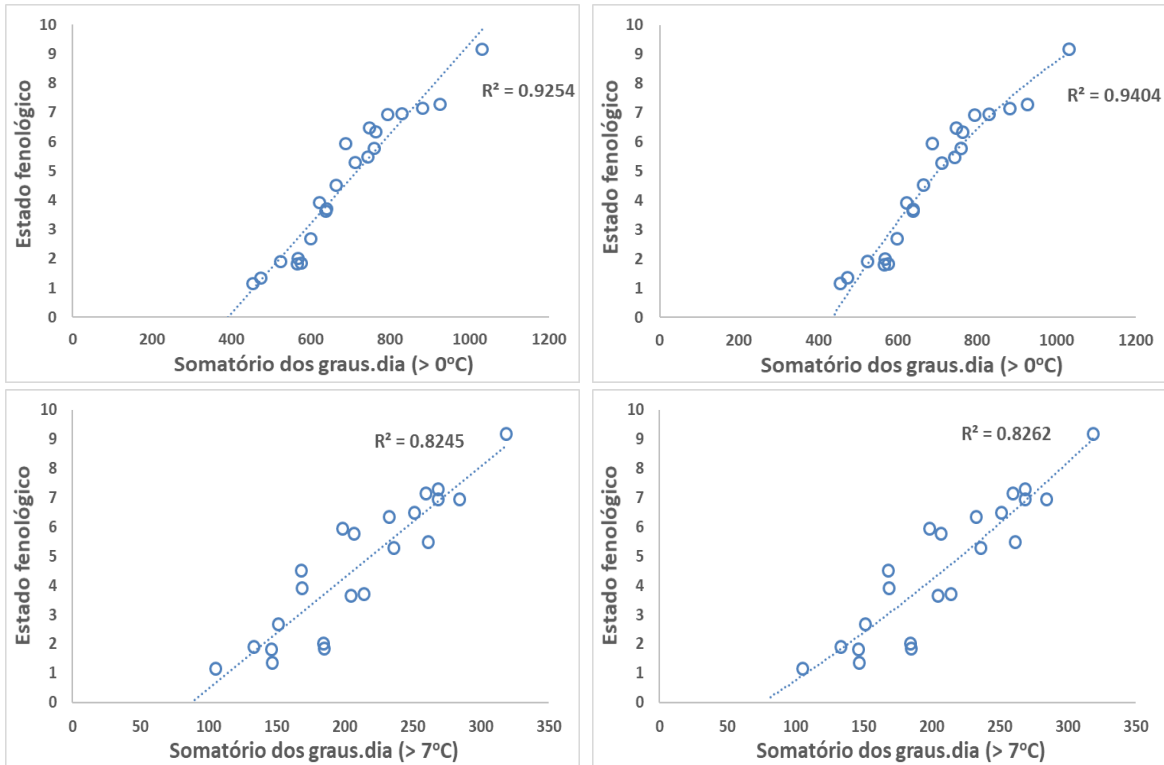


APÊNDICE D - Relação dos estados fenológicos com a temperatura

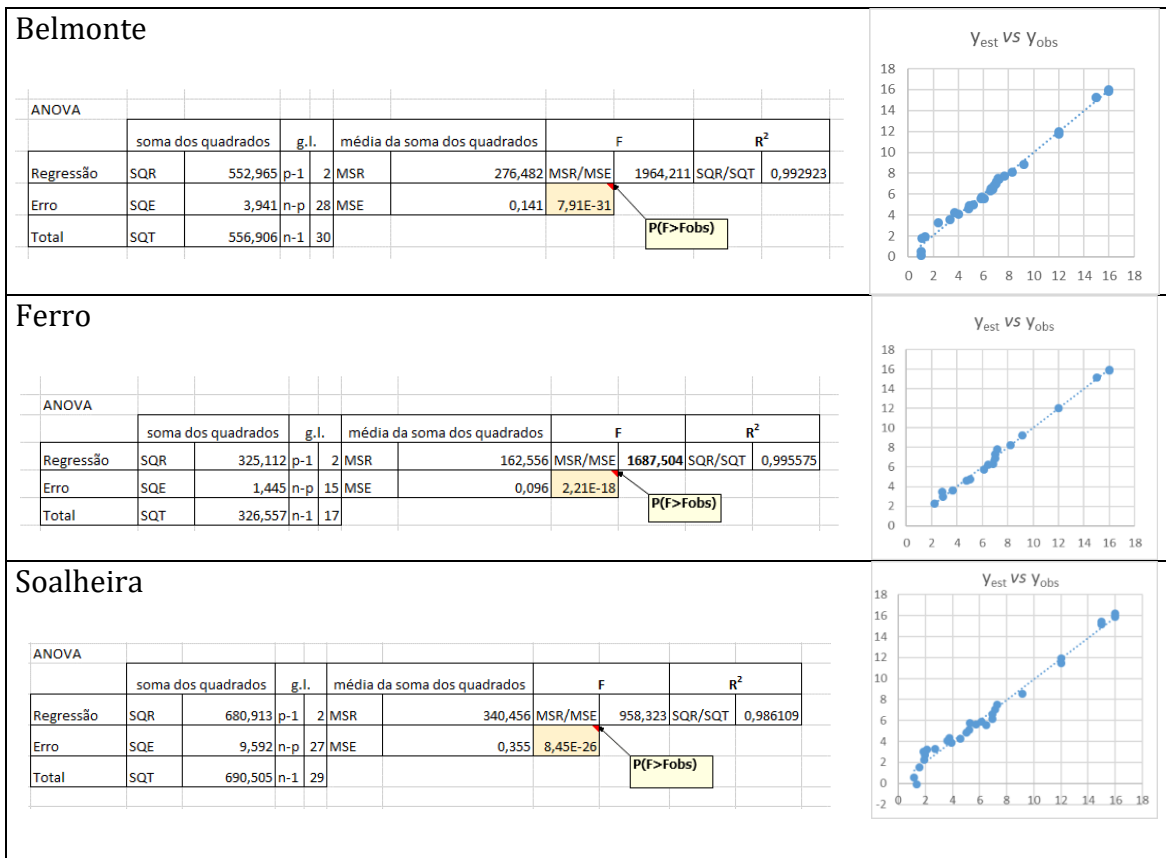
UO "Ferro"



UO "Soalheira"



APÊNDICE E - Resultados da análise estatística



ANEXOS

Anexo A - Adaptação da escala BBCH às espécies prunóideas

Stone fruit Meier et al., 1994

Phenological growth stages and BBCH-identification keys of stone fruit

(cherry = *Prunus cerasus* L., plum = *Prunus domestica* L. ssp. *domestica*, peach = *Prunus persica* Batsch., apricot = *Prunus ameriaca* L.)

Code	Description
Principal growth stage 0: Sprouting/Bud development	
00	Dormancy: leaf buds and the thicker inflorescence buds closed and covered by dark brown scales
01	Beginning of bud swelling (leaf buds); light brown scales visible, scales with light coloured edges
03	End of leaf bud swelling: scales separated, light green bud sections visible
09	Green leaf tips visible: brown scales fallen, buds enclosed by light green scales
Principal growth stage 1: Leaf development	
10	First leaves separating: green scales slightly open, leaves emerging
11	First leaves unfolded, axis of developing shoot visible
19	First leaves fully expanded
Principal growth stage 3: Shoot development 1	
31	Beginning of shoot growth: axes of developing shoots visible
32	Shoots about 20% of final length
33	Shoots about 30% of final length
3 .	Stages continuous till . . .
39	Shoots about 90% of final length
Principal growth stage 5: Inflorescence emergence	
51	Inflorescence buds swelling: buds closed, light brown scales visible
53	Bud burst: scales separated, light green bud sections visible
54	Inflorescence enclosed by light green scales, if such scales are formed (not all cultivars)
55	Single flower buds visible (still closed) borne on short stalks, green scales slightly open
56	Flower pedicel elongating; sepals closed; single flowers separating
57	Sepals open: petal tips visible; single flowers with white or pink petals (still closed)
59	Most flowers with petals forming a hollow ball

Fonte: extraído de Meier (2001).

.../...

.../...

Stone fruit Meier et al., 1994

Phenological growth stages and BBCH-identification keys of stone fruit

Code	Description
Principal growth stage 6: Flowering	
60	First flowers open
61	Beginning of flowering: about 10% of flowers open
62	About 20% of flowers open
63	About 30% of flowers open
64	About 40% of flowers open
65	Full flowering: at least 50% of flowers open, first petals falling
67	Flowers fading: majority of petals fallen
69	End of flowering: all petals fallen
Principal growth stage 7: Development of fruit	
71	Ovary growing; fruit fall after flowering
72	Green ovary surrounded by dying sepal crown, sepals beginning to fall
73	Second fruit fall
75	Fruit about half final size
76	Fruit about 60% of final size
77	Fruit about 70% of final size
78	Fruit about 80% of final size
79	Fruit about 90% of final size
Principal growth stage 8: Maturity of fruit and seed	
81	Beginning of fruit colouring
85	Colouring advanced
87	Fruit ripe for picking
89	Fruit ripe for consumption: fruit have typical taste and firmness
Principal growth stage 9: Senescence, beginning of dormancy	
91	Shoot growth completed; foliage still fully green
92	Leaves begin to discolour
93	Beginning of leaf fall
95	50% of leaves discoloured or fallen
97	All leaves fallen
99	Harvested product

Fonte: extraído de Meier (2001).