



## **A fenologia e o crescimento secundário do sobreiro como possíveis indicadores da melhor altura de descortiçamento**

**André Oliveira Bencatel**

Dissertação para a obtenção do Grau Mestre em  
**Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais**

Orientadoras: Doutora Maria da Conceição B. de C. Caldeira

Doutora Carla A. Nogueira

**Jurí:**

Presidente: Doutora Joana Amaral Paulo, Professora Auxiliar, Instituto Superior de Agronomia.

Vogais: Doutora Maria da Conceição B. de C. Caldeira, Professora Auxiliar, Instituto Superior de Agronomia.

Doutora Raquel Lobo do Vale, Investigadora Auxiliar, Instituto Superior de Agronomia.



## Agradecimentos:

Gostaria de agradecer à Professora Maria C. Caldeira e Carla Nogueira por todo o suporte, orientação e paciência ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Gostaria de agradecer à Associação de Produtores Florestais de Coruche (APFC) e à sua equipa de campo, por todo o suporte e disponibilidade que apresentaram, ao longo do desenvolvimento deste trabalho, particularmente durante o período de recolha de dados. Ainda gostaria de agradecer à Eng<sup>a</sup> Conceição Santos Silva e à União da Floresta Mediterrânica (UNAC) por todo o apoio prestado. Agradeço também ao projeto Go-GeoSuber – Monitorização do Montado – PDR2020 101-031259.

Gostaria também de agradecer ao Joaquim Mendes, D<sup>a</sup> Lourdes Marçal e restantes funcionários do ISA do edifício de engenharia florestal, cujo suporte foi essencial durante os dias solitários passados no ISA na fase de preparação do ensaio e, mais tarde no tratamento de dados.

Estou especialmente grato, por todo o apoio, compreensão e generosidade oferecido pela minha família ao longo de todo o meu percurso académico.



## Tema da dissertação:

A fenologia e o crescimento secundário do sobreiro como possíveis indicadores da melhor altura de descortiçamento

## Abstract:

The present work aimed at 1) evaluating the existence of synchronization between cork oak (*Quercus suber* L.) canopy renewal, stem growth and increasing cork moisture content; 2) studying the effect on phenology timing of different study sites, and climatic conditions; 3) studying the effects of climatic factors on cork moisture content.

We used cork oak trees from four study sites, three properties in Coruche and one in Vila Viçosa. The tree radial growth, cork moisture, and canopy phenological states were periodically measured.

The results obtained clearly confirm the importance of maximum and minimum temperatures (as degrees-day) during the months preceding budburst date on cork oak trees phenology. It was also observed that canopy renewal, coincided with the increase in cork moisture. The results also showed evidence of a possible relationship between water availability and inner cork moisture, during the winter months, before phellogen activity resumes. Water availability and temperature may also later in summer have a limiting effect on cork moisture content. It was also shown the potential of using cork moisture variation knowledge for a better understanding tree functioning effects on the peak cork belly moisture and consequently on the most favourable cork harvesting date.

Keywords: *Quercus suber* L., Cork, Phenology, Radial growth, cork moisture content.

## Resumo:

Os montados são ecossistemas de elevado valor ecológico e socioeconómico mas que são ameaçados pelas alterações climáticas. Assim é necessário aprofundar o conhecimento sobre o seu funcionamento e ecologia para potenciar a sua resiliência às alterações climáticas. Este estudo teve como principais objetivos, 1) avaliar a existência de sincronização entre a mudança da folha do sobreiro e o crescimento do tronco e humidade da cortiça elevada; 2) estudar o efeito dos diferentes locais estudados, nomeadamente das condições climáticas, na data de ocorrência dos eventos fenológicos; 3) estudar o efeito dos fatores climáticos na humidade da barriga da cortiça.

Neste trabalho foram utilizados sobreiros (*Quercus suber* L.) de quatro locais, três propriedades em Coruche e uma em Vila Viçosa. Mediu-se periodicamente o crescimento radial do tronco, humidade da cortiça, e estado fenológico dos sobreiros.

Os resultados obtidos confirmam claramente a importância que as temperaturas máximas e mínimas (e graus-dia) que ocorrem nos meses anteriores ao abrolhamento têm na fenologia do sobreiro.

Observou-se também, que a finalização da renovação da copa coincidiu com o aumento da humidade da cortiça. Os resultados também mostram indícios de haver uma possível relação entre a disponibilidade de água e a humidade da barriga da cortiça nos meses de inverno, antes do felogénio retomar a sua maior atividade, e posteriormente um possível efeito limitante do clima, nomeadamente da disponibilidade de água no teor de humidade da cortiça.

Os resultados evidenciam o potencial da integração do conhecimento da variação do teor de humidade da cortiça para melhor entender como os parâmetros fisiológicos da árvore estão ligados ao pico de humidade da barriga da cortiça e conseqüentemente identificar a altura indicada para o descortiçamento.

Palavras-chave: *Quercus suber* L., Cortiça, Fenologia, Crescimento radial, Humidade da cortiça.

# Índice:

<b>Agradecimentos:</b> .....	3
<b>Resumo:</b> .....	5
<b>Introdução</b> .....	10
O Sistema de Montado e o Clima .....	10
Fenologia .....	12
Crescimento Radial e Fenologia .....	14
Objetivos .....	16
<b>Materiais e Métodos</b> .....	17
Local do Estudo .....	17
Avaliação da fenologia .....	20
Folhada .....	23
Crescimento Radial.....	25
Humidade da Cortiça.....	26
Tratamento estatístico dos dados.....	27
<b>Resultados</b> .....	30
Condições meteorológicas .....	30
Fenologia .....	33
Efeito da Propriedade.....	33
Efeito da seca e presença de esteva.....	35
Folhada .....	36
Efeito da Propriedade.....	36
Efeito da seca e presença de esteva.....	37
Crescimento Radial.....	39
Efeito da Propriedade.....	39
Efeito da seca e presença de esteva.....	41
Humidade da Cortiça.....	43
Efeito do clima .....	46
<b>Discussão</b> .....	48
Fenologia .....	48
Efeito da Propriedade.....	48
Efeito do tratamento .....	49
Folhada .....	50
Efeito da Propriedade.....	50

Efeito da seca e presença de esteva.....	51
<b>Crescimento Radial</b> .....	53
Efeito da Propriedade.....	53
Efeito da seca e presença de esteva.....	55
Humidade da Cortiça.....	57
<b>Conclusões</b> .....	60
<b>Referências bibliográficas</b> .....	62
<b>Anexos</b> .....	66
Anexo 1. Guia de campo Fenologia.....	66
Figura 1- Área de distribuição do montado em Portugal.....	10
Figura 2- Enquadramento temporal dos diferentes eventos Fenológicos do sobreiro .....	13
Figura 3- Imagem de sobreiros.....	14
Figura 4-propriedade VV, exemplo de sobreiro e esteva.....	17
Figura 5- Coruche, propriedade HF, exemplos do subcoberto. ....	18
Figura 6-Coruche, propriedade HC, exemplo do subcoberto. ....	19
Figura 7- Coruche, aspecto geral do montado da propriedade HA. ....	20
Figura 8- Exemplo de observações do estado fenológico realizadas com dois métodos .....	21
Figura 9- Equipamento utilizado para avaliações fenológicas .....	21
Figura 10- Aplicação do protocolo para a avaliação da fenologia no campo.....	23
Figura 11- Sobreiros do ensaio de Vila Viçosa, com cesto da folhada. ....	24
Figura 12- Tratamento da folhada em laboratório. ....	24
Figura 13-Exemplo de cestos de instalados em Coruche. ....	25
Figura 14- Sobreiros de Coruche, com cestos de folhada instalados.....	25
Figura 15- Sobreiros de Vila Viçosa e Coruche, com dendrómetros instalados.....	26
Figura 16- Recolha de amostras de humidade.....	26
Figura 17- Processamento das amostras de cortiça no laboratório. ....	27
Figura 18- Clima das propriedades.....	32
Figura 19- Fenologia ao nível das propriedades.....	34
Figura 20- Fenologia ao nível dos tratamentos.....	36
Figura 21- Peso cumulativo da folhada ao nível das propriedades.....	37
Figura 22- Peso cumulativo da folhada ao nível dos tratamentos.....	38
Figura 23- Crescimento radial ao nível das propriedades.....	40
Figura 24- Crescimento radial ao nível dos tratamentos .....	42
Figura 25-. Humidades da barriga e costas da cortiça .....	44
Figura 26-Variação da humidade da barriga da cortiça .....	45
Figura 27- Variação da humidade da barriga e do crescimento radial .....	46



Tabela 1- Etapas dos eventos fenológicos .....	22
Tabela 2- Datas de ocorrência das fenofases e GDD.....	35
Tabela 3- Comparação dos crescimentos radial nas propriedades.....	40
Tabela 4- Correlação da variação do crescimento radial das propriedades com o clima.....	41
Tabela 5- Comparação dos crescimentos radiais entre tratamentos .....	42
Tabela 6- Correlação da variação do crescimento radial do tratamentos com o clima.....	43
Tabela 7- Correlações clima e humidade da cortiça. ....	46

## Introdução

### O Sistema de Montado e o Clima

O montado é um sistema agro-florestal, com formação do tipo savana, caracterizado por um coberto arbóreo de baixa densidade, entre 20 a 80 árvores por ha, na sua maioria de espécies do género *Quercus* (em particular, sobreiros - *Quercus suber* L. e azinheira - *Quercus ilex* ssp. *rotundifolia* Lam) mas também de outras espécies como pinheiro-manso (*Pinus-pinea* L.) ou o pinheiro-bravo (*Pinus pinaster* Ait.), e no qual ocorre frequentemente exploração silvícola e pastoril. Estes ecossistemas são mantidos pelo homem, e têm elevada importância ecológica, económica e social (Pereira et al., 2009). O elevado valor ecológico do montado deve-se à sua elevada biodiversidade vegetal e animal, associada ao mosaico de arbustos e de prados e pastagens anuais que existem no seu subcoberto (Bugalho et al., 2011). O elevado valor económico e social do montado resulta dos produtos deste ecossistema e os seus possíveis usos (tanto dos produtos como do próprio ecossistema). A cortiça, produto florestal não lenhoso, é o principal produto do montado, sendo sobretudo utilizada na produção industrial de rolhas. No entanto esta matéria-prima tem ainda várias outras aplicações (ex: pavimentos revestimentos, calçado, vestuário entre outros), sendo Portugal o maior produtor de cortiça no mundo. Em Portugal, os ecossistemas de montado de sobreiro e/ ou azinheira cobrem a maior área florestal do país, com mais de 1 milhão de hectares de superfície, representando um terço da área florestal nacional (Figura 1) (ICNF, 2019).

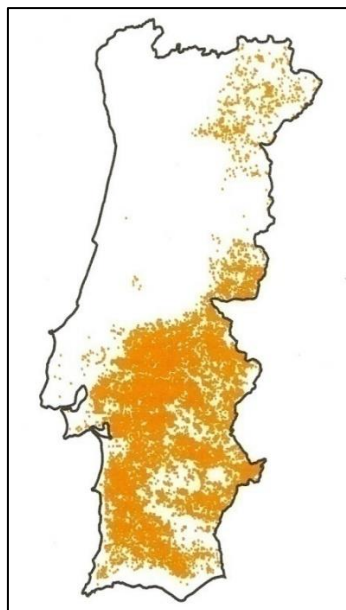


Figura 1- Área de distribuição do montado misto em Portugal Continental (DGF, 2001)

Os montados, encontram-se maioritariamente na região sul do país, onde a precipitação é baixa (600-800 mm anual médios) e, os verões são longos e secos, e frequentemente acompanhados por temperaturas e radiações elevadas (Besson et al., 2014; Pereira et al., 2009). A revisão bibliográfica da literatura corrente, de estudos observacionais e de modelação do clima na Península Ibérica, mostra um aumento significativo das temperaturas médias e uma tendência negativa na precipitação que ocorre principalmente nos meses de primavera (Pereira et al., 2021).

Segundo as projeções dos modelos das alterações climáticas, prevê-se um futuro com temperaturas mais elevadas, alterações nos padrões de precipitação, secas mais frequentes e severas e um aumento da variabilidade climática (Correia et al., 2016; de Lima et al., 2013; IPCC, 2022; Giorgi & Lionello, 2008). Em particular, na região da Bacia do Mediterrâneo espera-se, que as secas de verão sejam mais duradouras, e que eventos climáticos extremos, como ondas de calor ou secas severas ocorram mais frequentemente (Barriopedro et al., 2011; Coumou & Rahmstorf, 2012; Pereira et al., 2021), e por isso uma maior necessidade hídrica das plantas devido à maior evapotranspiração e consequentemente uma maior vulnerabilidade à seca (Granda et al., 2013; Miranda et al., 2006; Oliveira et al., 2016).

As plantas, e em particular as árvores, são organismos especialmente apropriados para estudar os efeitos do clima sobre a fenologia, pois são seres sedentários/fixos, tendo assim de suportar todas as condições do clima no local onde se encontram (Gordo & Sanz, 2010). As árvores da região da bacia do Mediterrâneo, apresentam alguma plasticidade e capacidade de ajustar a sua atividade vegetativa, aos períodos com disponibilidade de água, e temperaturas favoráveis, o que ocorre de uma forma geral na primavera (Gordo & Sanz, 2010; Pinto et al., 2011). Tanto a precipitação total como a sazonal são importantes para o crescimento das árvores (Besson et al., 2014; Oliveira et al., 2016). Por exemplo, Costa et al. (2016) estudaram sobreiros em duas áreas com condições edafoclimáticas distintas no sul de Portugal, e níveis de água subterrânea contrastantes. Entre os dois locais, identificaram sensibilidades diferentes dos sobreiros face ao clima, demonstrando que as estratégias do sobreiro para lidar com a seca variam desde tolerância à seca a evitar seca. Os sobreiros, em zonas onde os níveis dos lençóis freáticos são mais superficiais, mitigam mais facilmente os efeitos das variações sazonais da precipitação e as árvores podem utilizar esta água para diminuir a dependência do crescimento da cortiça do regime anual de precipitação.

## Fenologia

A fenologia é a distribuição temporal de eventos biológicos da planta que se repetem, como o crescimento e a reprodução, e a sua resposta a variações sazonais e inter-anuais do clima. A interação entre os genes e o ambiente, determina a data de ocorrência e duração destes eventos biológicos, aumentando a flexibilidade destes organismos a variações ambientais (Varela et al., 2011; Valdivieso & Rosado da Luz, 2017).

O sobreiro é uma espécie que apresenta uma grande variabilidade em quase todos os parâmetros fenológicos ao nível da árvore, entre árvores numa parcela e entre populações (Valdivieso & Rosado da Luz, 2017). Mas o comportamento fenológico do sobreiro apresenta determinadas características gerais (Figura 2). O abrolhamento dos gomos ocorre geralmente entre os meses de março e abril, consoante as condições edafoclimáticas do local (Valdivieso & Rosado da Luz, 2017). O abrolhamento é sobretudo dependente das temperaturas atmosféricas dos dias antecedentes à ocorrência do evento fenológico, e segundo Pinto et al., (2011) o abrolhamento dos gomos nunca ocorre em dias com fotoperíodo inferior a 13 horas. O crescimento vegetativo (alongamento dos ramos, e desenvolvimento das novas folhas) está relacionado com a temperatura e a precipitação acumulada antes de ocorrer o abrolhamento dos gomos. As folhas do sobreiro geralmente senescem no ano seguinte, durante a fase do abrolhamento ou um pouco mais tarde no ciclo fenológico (Varela & Valdivieso, 2011; Valdivieso & Rosado da Luz, 2017).

O sobreiro é uma espécie monóica em que as flores masculinas e femininas se encontram separadas na árvore. As inflorescências masculinas (amentilhos) emergem sozinhas ou em grupos, durante o período do abrolhamento dos gomos. As flores femininas estão agrupadas em curtas espigas, surgindo mais tarde nas axilas das novas folhas. A época de floração inicia-se geralmente em abril/maio podendo estender-se até junho/julho (Varela & Valdivieso, 2011; Valdivieso & Rosado da Luz, 2017).

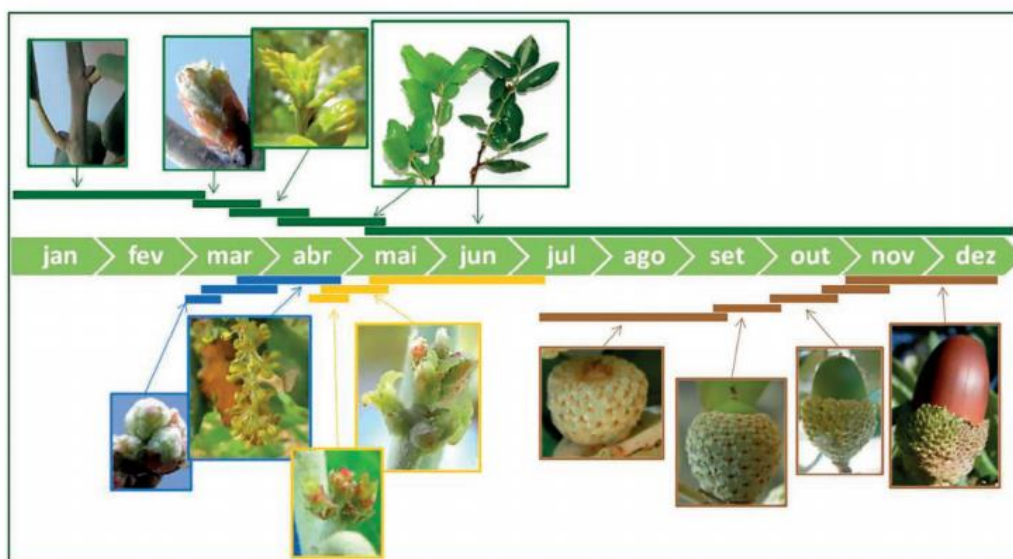


Figura 2- Enquadramento temporal dos diferentes eventos Fenológicos do sobreiro. Verde-abrolhamento dos gomos e desenvolvimento das folhas. Azul- flores masculinas. Amarelo- flores femininas. Castanho- desenvolvimento do fruto. (Valdivieso & Rosado da Luz, 2017).

A fenologia das plantas é um indicador importante da resposta dos ecossistemas às alterações climáticas (Peñuelas, 2009). Alterações na fenologia das plantas, podem resultar em vastas consequências para os ecossistemas, causando alterações diretas nos ciclos do carbono, água e nutrientes, mas também indiretamente, através de feedback no sistema climático, que por sua vez, pode influenciar fortemente a produtividade do ecossistema (Lobo-Do-Vale et al., 2019; Peñuelas, 2009). No entanto, a resposta da fenologia das diferentes espécies de plantas às alterações climáticas é complexa, e bastante variada, dependendo da escala temporal em que ocorrem os eventos fenológicos, ou do principal fator climático que as influencia (Lobo-Do-Vale et al., 2019; Sampaio et al., 2016).

A precipitação, para a fenologia de espécies de plantas mediterrâneas, pode ser tão importante como a temperatura. Em Lobo-do-Vale et al. (2019) verificou-se que a temperatura foi o fator principal que afetou a data de ocorrência do abrolhamento dos gomos do sobreiro. No entanto, a disponibilidade de água foi o fator principal para a duração e ocorrência das restantes fenofases vegetativas, devido à influência na duração da estação de crescimento e consequentemente do próprio crescimento das árvores.

O abrolhamento dos gomos e o desenvolvimento das novas folhas, inicia uma série de processos fisiológicos fundamentais para a vida do sobreiro. Nos gomos do sobreiro em atividade confirma-se o envolvimento de genes relacionados com a produção de energia, a regulação hormonal, o estado hídrico e a síntese de polissacáridos. Hormonas da família das auxinas, entre outras, são produzidas

nas folhas jovens e têm um papel importante no funcionamento do câmbio e da felogene (Buttò et al., 2020).

### Crescimento Radial e Fenologia

O crescimento radial da árvore é o resultado dos incrementos radiais do lenho, floema e periderme, graças à atividade dos dois tecidos merismáticos responsáveis pelo crescimento secundário (felogene e câmbio vascular). No entanto, foi determinado que o crescimento da cortiça é o que contribui mais para o crescimento radial dos sobreiros, correspondem a cerca de 74% (Figura 3), (Costa et al., 2001).



Figura 3- A) Sobreiro onde foi retirado uma cala e é possível ver o lenho e a cortiça da árvore. B) Sobreiro com dendrómetro de banda instalado para medir o crescimento radial da árvore.

O câmbio vascular, produz para o interior xilema (madeira) e para o exterior floema, que corresponde ao entrecasco. A felogene, divide-se principalmente para o exterior, e é responsável pela formação do felema (cortiça). O felogénio do sobreiro está ativo durante a totalidade da vida da árvore, produzindo uma camada exterior de cortiça contínua e renovável (Graça & Pereira, 2004; Lopes et al., 2020). O período de atividade do câmbio de plantas lenhosas depende de fatores externos como precipitação, fotoperíodo e temperatura, e intrínsecos como hormonas e troca da folha (Buttò et al., 2020; Oliveira et al., 2016).

No início da estação de crescimento, o aumento das temperaturas, fotoperíodo, e as auxinas produzidas pelas novas folhas em desenvolvimento causam o fim dormência de inverno e reativam o transporte de auxinas para o câmbio vascular (Buttò et al., 2020; Lopes et al., 2020). Quando a concentração de auxinas no câmbio vascular atinge os seus valores máximos, verifica-se também o máximo de atividade do câmbio, e o período de maior atividade do xilema (Buttò et al., 2020).

O período mais limitante para o crescimento das árvores, bem como para a produtividade de todo o ecossistema de montado, é o período da seca de Verão. Por outro lado, a precipitação ao longo da estação de crescimento vegetativo determina o crescimento e produtividade das árvores (Lobo-Do-Vale et al., 2019; Oliveira et al., 2016). O efeito da precipitação sobre o crescimento do sobreiro, em particular da cortiça, tem sido estudado em maior detalhe. No estudo de Oliveira et al. (2016) observou-se uma correlação positiva entre a precipitação cumulativa nos meses de Outono e Inverno e a espessura dos anéis de cortiça em árvores adultas sobre exploração para produção de cortiça em várias regiões. Esta correlação também mostrou a importância da capacidade de armazenamento de água dos solos e a capacidade do sobreiro a utilizar (Oliveira et al. 2016). Relativamente ao crescimento do lenho, uma relação semelhante foi observada (Leal et al., 2008; Paulo et al., 2015).

Em Garcia-Barreda et al. (2021), avaliou-se a relação entre o crescimento radial, a fenologia e o clima em três espécies de árvores mediterrâneas. Verificou-se que o clima afetou da mesma forma a produtividade, a fenologia e o crescimento radial. Apesar de haver indícios que a alocação de nutrientes para a reprodução afeta o crescimento radial, neste estudo constatou-se que a relação da reprodução e do crescimento radial com o clima sobrepõem-se à relação entre a reprodução e o crescimento radial apenas.

A extração de cortiça, é realizada em média de nove em nove anos, e não origina geralmente grandes perdas de água a partir do tronco (Costa-e-Silva et al., 2021). No entanto, em anos secos, o stress causado pelo descortiçamento pode originar um maior encerramento dos estomas, diminuindo não só as perdas de água por transpiração pela copa, mas diminuindo também a produção de fotoassimilados, deixando as árvores com menor capacidade de crescimento (Costa-e-Silva et al. 2021). Depois do descortiçamento, a felogene exposta morre e inicia-se de seguida a formação de uma nova felogene no floema não condutor. O descortiçamento é possível quando as células da felogene se encontram túrgidas e ativamente a dividir-se, separando-se a cortiça do tronco pelas frágeis membranas das células recém-formadas ou em formação, o que acontece geralmente entre o fim da Primavera e o meio do Verão (Graça & Pereira, 2004; Oliveira et al., 2016). Se a extração da cortiça for realizada quando a felogene não está ativa, o descortiçamento pode danificar o tronco porque a casca interna (entrecasco) é removida pelo câmbio vascular, que não tem capacidade de regeneração (Oliveira et al. 2016).

Fatores endógenos como as hormonas, são importantes pois são estes que determinam o funcionamento da felogene.

## Objetivos

Neste trabalho foram estudados sobreiros de quatro locais, três propriedades em Coruche e uma em Vila Viçosa. Em 66 árvores, mediu-se periodicamente o crescimento radial do tronco com dendrômetros de banda analógicos, recolheu-se a folhada (estimativa da senescência das folhas) e fez-se o acompanhamento do estado fenológico dos sobreiros. Além disso, mediu-se todas as semanas a humidade da cortiça nas propriedades de Coruche. Utilizou-se também um ensaio previamente instalado em Vila Viçosa, para avaliar o efeito da seca (exclusão de chuva) e da competição pela espécie arbustiva esteva (*Cistus ladanifer* L.) na fenologia e crescimento de sobreiros adultos.

Os objetivos deste trabalho são:

- 1) avaliar se existe sincronização entre a mudança da folha do sobreiro e o crescimento do tronco e humidade da cortiça;
- 2) estudar o efeito dos diferentes locais estudados, nomeadamente das condições climáticas (temperatura e precipitação), na data de ocorrência dos eventos fenológicos estudados;
- 3) estudar o efeito dos fatores climáticos na humidade da cortiça do fim do Inverno até ao princípio do Verão.

A monitorização da fenologia das folhas, nomeadamente a renovação da copa do sobreiro, poderá ser indicadora do início do período de atividade da felogene, e mais tarde, de quando será atingido o pico de humidade da cortiça do sobreiro, e conseqüentemente a altura ideal para descortiçamento.



# Materiais e Métodos

## Locais do Estudo

Este estudo foi efetuado em quatro propriedades, três localizadas no concelho de Coruche e uma em Vila Viçosa. A pedido, dos proprietários, os nomes e coordenadas das propriedades irão permanecer anónimas, por este motivo, iremos identificar as propriedades como HF, HC e HA (Coruche) e VV (Vila Viçosa).

Em Vila Viçosa, o trabalho foi realizado numa área murada com cerca de 1500 hectares, onde a espécie arbórea dominante é o *Quercus suber* L.. Nesta propriedade é efetuada a exploração da atividade cinegética nomeadamente de javali (*Sus scrofa*), veados (*Cervus elaphus*) e gamos (*Dama dama*), e exploração florestal do montado para produção de cortiça.



Figura 4-propriedade VV, exemplo de sobreiro e esteva.

Em Vila Viçosa, o trabalho decorreu num ensaio experimental, estabelecido em 2017, para determinar o efeito da seca e da existência de coberto arbustivo (esteva, *Cistus ladanifer* L.) no estado fisiológico dos sobreiros. A esteva é uma espécie arbustiva xerofítica, comum em matos e matagais e no subcoberto de montados. Esta espécie é tolerante à seca e tem uma estratégia anisohídrica (i.e., espécies gastadoras de água, que acompanham a diminuição do potencial de água do solo) (Caldeira et al., 2015; Haberstroh et al., 2021). A esteva pode formar cobertos muito densos e é normalmente considerada uma invasora por parte dos proprietários florestais.

Os sobreiros, neste ensaio, estão distribuídos por quatro tratamentos: i) ambiente, sem presença de esteva no subcoberto (VVamb), ii) ambiente e presença de esteva (VVesteva), iii) seca sem presença de esteva (VVseca), e iv) seca e presença de esteva (VVseca\_esteva). Este ensaio é composto por três blocos, com quatro parcelas por bloco (uma parcela por tratamento, por bloco). Em cada bloco foram

monitorizadas três árvores por tratamento, perfazendo um total de 12 árvores estudadas por bloco, num total 36 árvores com um perímetro à altura do peito (PAP) médio de 0,91 m  $\pm$  0,026.

No tratamento VVamb, os sobreiros estão sujeitos à precipitação corrente do ano, isto é, sem seca induzida. No tratamento VVseca a exclusão de chuva foi estabelecida através da colocação de meios tubos de PVC rígido, de forma a cobrir 45% da área das parcelas, canalizando a água da chuva para fora da parcela.

Em Coruche, o trabalho foi realizado em áreas de montado de sobro, em três propriedades, pertencentes à Associação de Produtores Florestais de Coruche (APFC), onde também foram recolhidas, pela APFC amostras para a determinação da humidade da cortiça e feitas observações semanais de fenologia em 138 sobreiros por propriedade.

Em cada uma das propriedades de Coruche foram selecionados aleatoriamente 10 sobreiros, dos já medidos periodicamente pela APFC, onde se efetuaram medições mais detalhadas. O PAP médio dos sobreiros, nas três propriedades foi medido pela APFC em 2020: HA (1,12 m  $\pm$  0,0339), HC (1,31 m  $\pm$  0,0375) e HF (1,16 m  $\pm$  0,0274).

A propriedade HF localiza-se no concelho de Coruche, freguesia de Branca. A área de estudo, em montado de sobro, tem algumas outras espécies dispersas, como eucalipto (*Eucalyptus globulus Labill.*), pinheiro-manso (*Pinus pinea L.*) e pinheiro-bravo (*Pinus pinaster Ait.*). A topografia do terreno é plana. O solo é constituído por 57,4 % areia grossa, 23,7% areia fina, 7,9% limo e 11% argila (Toth *et al.*, 2013). A vegetação do subcoberto é maioritariamente constituída por herbáceas, incluindo leguminosas e gramíneas. As principais espécies arbustivas presentes são o tojo (género *Ulex*), e esteva (*Cistus ladanifer*) em pequenas densidades (Figura 5).



Figura 5- Coruche, propriedade HF, exemplos do subcoberto.

A propriedade HC localiza-se no concelho de Coruche, freguesia de Couço, perto do limite do Concelho com Montemor-o-Novo. A área de estudo encontra-se em montado de sobreiro com pastagem para gado bovino no subcoberto (Figura 6). Neste montado, também existem alguns pinheiros-mansos dispersos. As árvores encontram-se distribuídas numa encosta de um vale com vertente Sul. O solo contém 64,6% areia grossa, 23,8% areia fina, 5,1% limo, 6,5% argila (De Vos & Cools, 2011). A vegetação do subcoberto é constituída maioritariamente por espécies herbáceas, gramíneas e leguminosas, com apenas algumas silvas (*Rubus ulmifolius*) perto das linhas de água.



Figura 6-Coruche, propriedade HC, exemplo do subcoberto.

A propriedade HA localiza-se no concelho de Ponte-de-Sôr, freguesia de Forros de Arrão, perto do limite do concelho com Coruche. A área de estudo é composta principalmente por sobreiros e pinheiros-bravos e alguns pinheiros-mansos que se encontram dispersos pela propriedade. A propriedade também tem gado ovino que se alimenta da pastagem. As árvores encontram-se distribuídas em duas metades da propriedade, separadas por um vale de vertentes orientadas para Este e Oeste. Os solos contêm 61,5% areia grossa, 22,7% areia fina, 11,8 % limo, 4% argila (Toth et al., 2013). A vegetação do subcoberto é maioritariamente constituída por espécies arbustivas como estevas, tojo, carqueja (*Pterospartum tridentatum*), silvas, e medronheiro (*Arbutus unedo L.*), por ordem de abundância. Foram realizadas operações de limpeza do terreno apenas numa pequena porção da propriedade, (Figura 7).



*Figura 7- Coruche, aspecto geral do montado da propriedade HA.*

Nas propriedades de Coruche e Vila Viçosa, os sobreiros foram descortiçados em 2021. Dependendo da data de descortiçamento, o equipamento instalado nas árvores em Coruche foi retirado e a recolha de dados no campo foi finalizada.

O clima em Vila Viçosa e Coruche é do tipo mediterrâneo, com verões quentes e secos, e invernos amenos e húmidos. Em Vila Viçosa a temperatura média anual é de 16,3 °C, e a precipitação total média anual de 535,4 mm, ocorrendo predominantemente, entre o outono e o início da primavera (outubro a abril/maio) (período de 1971-2000, IPMA-Instituto Português do Mar e da Atmosfera). A temperatura média anual das propriedades de Coruche é 16,7 °C, e a precipitação total média é de 665,3 mm (período de 1971-2000, IPMA-Instituto Português do Mar e da Atmosfera).

## Avaliação da fenologia

A escolha do método para a avaliação da fenologia, teve em consideração a idade das árvores, os recursos disponíveis, o nível de pormenor desejado e a duração do estudo. O trabalho de campo decorreu semanalmente em cada uma das quatro propriedades, desde o final de março até ao final de junho/início de julho, altura em que ocorreu o descortiçamento. No total foram realizadas 1640 observações em Coruche (3 propriedades x 10 árvores x 4 orientações x 14 nº médio de semanas) e 1584 observações em Vila Viçosa (36 árvores x 4 orientações x 11 semanas).

Em Vila Viçosa foram comparados alguns métodos de avaliação fenológica, como a observação a olho nu, com recurso a binóculos, e com recurso a câmara fotográfica. Como nenhum destes métodos permitia o nível de pormenor desejado, utilizaram-se ainda outros dois métodos para avaliar o estado fenológico das árvores: 1) utilizou-se uma tesoura telescópica para recolher um pequeno ramo onde

foram feitas as observações fenológicas diretamente (Figura 8A), 2) recorreu-se ao uso de um *selfie-stick* e telemóvel (neste caso um Redmi note 5) acoplado a uma vara telescópica, para filmar os ramos num local específico da copa, sendo feita a avaliação fenológica a seguir à captação da imagem (Figura 8B).



Figura 8- Exemplo de observações do estado fenológico realizadas com dois métodos. A) raminho cortado. B) imagem de vídeo do raminho selecionado. Em ambos os métodos é possível verificar que as flores masculinas se encontram na fase de desenvolvimento e alongamento do amento, e os gomos, na sua maioria encontram-se dormentes, isto é, fechados e com cor acastanhada.

As observações fenológicas nas três propriedades de Coruche foram realizadas recorrendo à observação direta em ramos colhidos com a tesoura de poda (Figura 9) e em Vila Viçosa foram realizadas com a câmara do telemóvel para não danificar a copa destas árvores que são utilizadas para outros estudos no âmbito de projetos de investigação.



Figura 9- lado esquerdo: vara telescópica com *selfie-stick*, equipamento utilizado em Vila Viçosa. Lado direito: tesoura com vara telescópica, equipamento utilizado em Coruche.

Para as observações fenológicas foi desenvolvido um protocolo, com base em Pinto et al (2011) e Varela & Valdivieso (2011), em que se definiram os eventos fenológicos mais relevantes para o

estudo. Considerou-se, o desenvolvimento dos gomos desde a dormência até à senescência das folhas, o desenvolvimento da flor masculina, o desenvolvimento da flor feminina e o desenvolvimento dos frutos (Tabela 1).

Foram consideradas 10 etapas no desenvolvimento dos gomos, folhas e lançamentos e no desenvolvimento das flores masculinas e das flores femininas foram consideradas em cada caso três etapas (Tabela 1). Durante o período de estudo, o desenvolvimento dos frutos não foi expressivo, não sendo por isso considerado.

*Tabela 1- Etapas dos eventos fenológicos do sobreiro utilizados na avaliação da fenologia da árvore. Coluna do lado esquerdo, código numérico atribuído a cada etapa. Coluna lado direito, breve descrição da etapa do evento fenológico.*

<b>Avaliação da fenologia do sobreiro</b>	
<b>Gomos, folhas e lançamentos</b>	
1	Gomo dormente, completamente fechado pelas escamas protetoras.
2	Gomo começa a inchar. Início da separação das escamas do gomo.
3	Fim do inchamento dos gomos. Escamas completamente separadas.
4	Início do abrolhamento dos gomos. Extremidades das novas folhas começam a ser visíveis.
5	Abrolhamento dos gomos. Extremidade das novas folhas já visíveis acima das escamas dos gomos.
6	Fase das “orelhas-de-rato”. Extremidade das novas folhas verdes 1cm acima das escamas dos gomos. Primeiras folhas começam a separar-se.
7	Folhas já separadas/desdobradas. Pecíolo já visível.
8	Primeiras folhas completamente expandidas. Não atempadas.
9	Folhas maduras. Atempadas.
10	Folhas senescentes.
<b>Flores masculinas</b>	
11	Emergência e alongamento do amento.
12	Flores ficam individualizadas. O amento está pendurado. O estame fica individualizado com uma cor verde-amarelada.
13	Ântese completa. A libertação de pólen está a ocorrer em aproximadamente metade das flores do amento.
<b>Flores Femininas</b>	
14	Aparecimento dos gomos axilares reprodutivos com escamas verdes.
15	Alongamento do eixo e emergência das primeiras flores. Estigma volumoso em posições divergentes com cor amarela e aspeto viscoso.
16	Os estigmas começam a perder recetividade. Inicialmente apresenta uma cor amarela-acastanhada, passando depois para um castanho-escuro.

A partir do protocolo para a avaliação da fenologia, foi definido um guia de campo (Anexo 1). O guia de campo, sumariza a informação mais relevante exposta no protocolo e apresenta figuras dos eventos fenológicos do sobreiro, juntamente com a distribuição temporal da ocorrência dos eventos fenológicos, de modo a auxiliar o observador com as observações fenológicas.

Para reduzir a variabilidade na fenologia ao nível árvore, as observações foram realizadas no terço superior da copa, segundo quatro orientações Norte, Sul, Este e Oeste. A metodologia foi definida, tendo como base metodologias utilizadas noutros estudos semelhantes, e as condicionantes do nosso estudo (Gričar et al., 2017; Pinto et al., 2011; Varela & Valdivieso 2011). Os resultados das observações fenológicas foram registados numa ficha de campo, onde foram apontados, para cada observação, o código dos eventos fenológicos (gomos, flores e frutos), com maior frequência (Figura 10). Podendo haver diferenças na mesma árvore, de acordo com a orientação da observação.

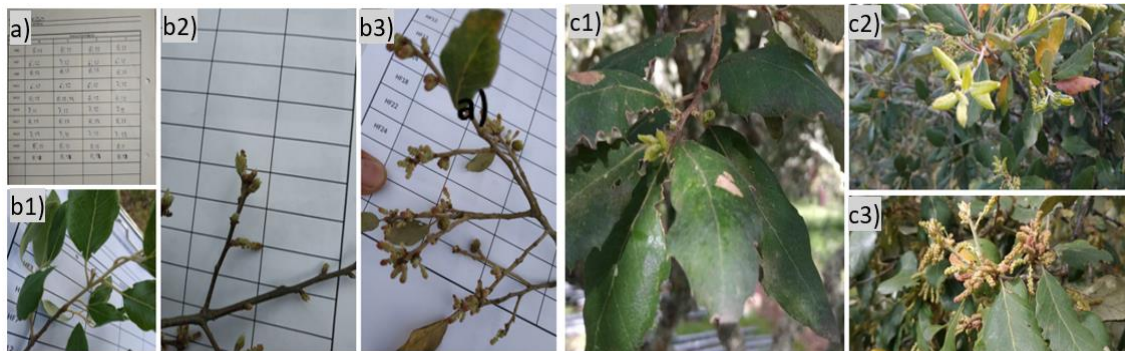


Figura 10- Aplicação do protocolo para a avaliação da fenologia no campo. (a)- ficha de campo; (b1;2;3)- Observações feitas em Coruche; (c1;2;3).

Nas propriedades de Coruche, a APFC fez também uma análise mais simplificada da fenologia em todas as árvores onde foram recolhidas amostras para determinação da humidade da cortiça. A avaliação da fenologia pela APFC foi feita olho nu, a partir do solo. Nesta avaliação foi registado se a copa da árvore se encontrava em início da troca da folha, com a troca da folha a decorrer, ou troca da folha terminada. As medições foram realizadas mensalmente de Janeiro até início de Março e semanalmente de Março até final de Junho.

## Folhada

A folhada foi recolhida em todas as árvores do estudo, num total de 66 árvores (Vila Viçosa- 36 árvores, Coruche - 30 árvores, 10 por propriedade). Nos sobreiros do ensaio de Vila Viçosa, a folhada já estava a ser recolhida (Figura 11). Para a recolha da folhada foi instalado, no quadrante sul, um cesto suspenso na árvore ligeiramente abaixo da copa. A folhada foi recolhida semanalmente de 29 de março a 7 de junho na propriedade HF, 5 de abril a 21 de junho na propriedade HC, 13 de abril a 22 de junho na propriedade HA e 1 de abril a 15 de junho em Vila Viçosa, num total de 10 vezes na propriedade HF, 12 nas propriedades HA e HC e 9 vezes em Vila Viçosa. A folhada foi recolhida para sacos com a

identificação da árvore, local e data. Posteriormente em laboratório, a folhada foi separada em folhas, ramos e flores, posta a secar a 65 °C em estufa durante um mínimo de 48 horas e pesada (Figura 12).



*Figura 11- Sobreiros do ensaio de Vila Viçosa, com cesto da folhada.*

Os cestos suspensos ligeiramente abaixo da copa da árvore têm a vantagem de não serem perturbados por animais (ex.: gado) e não perturbarem operações florestais nas propriedades. No caso específico de Vila Viçosa, este método evita que nas parcelas com esteva haja folhada de esteva dentro dos cestos da folhada dos sobreiros, facilitando a separação posterior em laboratório.



*Figura 12- Tratamento da folhada em laboratório.*

Os cestos utilizados para apanhar a folhada são compostos por um aro de metal e uma rede de nylon ou plástico e o fundo da rede é fechado/atado, podendo ser aberto para fazer a recolha da folhada (Figura 13). Os cestos já instalados em Vila Viçosa têm um diâmetro de 60 cm e os de Coruche 80 cm (Figura 14).





*Figura 13-Exemplo de cestos de instalados em Coruche.*

Os cestos foram instalados no quadrante Sul da copa, evitando zonas da copa transparente ou debilitada. No caso de não ter sido possível instalar os cestos numa das árvores seleccionadas aleatoriamente, devido à altura das pernas das do sobreiro, ou algum outro fator que tenha dificultado a instalação do equipamento, a árvore foi trocada pela árvore mais próxima pertencente à mesma parcela. O evento descrito anteriormente ocorreu três vezes na propriedade HC e duas vezes na propriedade HA.



*Figura 14- Sobreiros de Coruche, com cestos de folhada instalados.*

## Crescimento Radial

O crescimento radial, foi avaliado em todas as árvores do estudo. No caso das árvores do ensaio em Vila Viçosa, o crescimento radial já estava a ser avaliado.

O crescimento radial foi avaliado recorrendo a dendrómetros de banda analógicos (DB20 da EMS Brno) (Figura 15). Em Coruche, os dendrómetros foram instalados no início de abril.



*Figura 15- Sobreiros de Vila Viçosa e Coruche, com dendrómetros instalados.*

A leitura dos dendrómetros foi feita semanalmente. Os valores obtidos nas leituras correspondem à variação/incremento no crescimento radial da árvore em milímetros com uma casa decimal. Na propriedade HF foram feitas 10 leituras dos dendrómetros, nas propriedades HC e HA 12 leituras, e em Vila Viçosa foram feitas 9 leituras dos dendrómetros, coincidindo sensivelmente com o número de observações da fenologia e recolha da folhada.

## Humidade da Cortiça

A recolha das amostras de cortiça para determinar o seu teor de humidade foi efetuada de duas em duas semanas nos dois primeiros meses do ano e semanalmente a partir de março, pela APFC. A determinação da humidade da cortiça foi apenas realizada nas propriedades de Coruche. As amostras de cortiça foram recolhidas com um berbequim adaptado (Figura 16) e colocadas num frasco identificado e guardadas numa mala térmica, de modo a evitar a perda de humidade, sendo processadas no dia de recolha.



*Figura 16- Esquerda: Exemplo dos sobreiros onde as amostras de cortiça foram recolhidas. Direita: instrumento utilizado para a recolha de amostras de cortiça.*

No laboratório, as amostras, foram cortadas ao meio de modo a obter uma metade com as costas da cortiça (parte externa) e outra com a barriga (parte mais interna da cortiça). Cada sub-amostra foi pesada em fresco e depois colocada numa estufa a 110 °C durante 12 horas, para ser determinado o peso seco, das costas e barriga da cortiça (Figura 17)



Figura 17- Processamento das amostras de cortiça no laboratório.

## Tratamento dos dados

Foram utilizados os dados climáticos de quatro estações meteorológicas próximas de cada um dos locais de estudo. Para propriedade HF, foi utilizada a estação de Coruche/Quinta Grande, para propriedade HC a estação de Couço/Açorda, e para a propriedade HA foi utilizada a estação de Montargil (ARBVS, Associação de Regantes e Beneficiários do Vale do Sorraia, <https://www.arbvs.pt/>). Em VV foram utilizados dados recolhidos no local e da estação meteorológica do Instituto de Ciências da Terra, em Évora (<https://www.icterra.pt/g1/>) (utilizado para preencher os dados em falta da estação de campo de VV). As estações meteorológicas foram utilizadas para obter os valores diários das temperaturas máximas, médias e mínimas, precipitação, e humidade relativa do ar máxima, média e mínima, desde outubro de 2020 a julho de 2021. Estes dados foram posteriormente utilizados para calcular indicadores climáticos tais como, a precipitação cumulativa ao longo do período de estudo, os graus-dia (GDD-eq1.), e o défice de pressão de vapor (VPD).

*Equação 1- GDD.*

$GDD = \sum [((T_{max} + T_{min})/2) - T_{base}]$ , com  $(T_{max} + T_{min})/2 > T_{base}$

Utilizando-se,  $T_{base} = 6,2$  °C para o sobreiro (Pinto et al., 2011).

Os dados de fenologia foram utilizados como a proporção da copa da árvore que se encontrava nas respetivas fenofases. Para permitir a comparação e incorporação dos dados da APFC, as fenofases

foram agrupadas em quatro grupos principais: gomos fechados, abrolhamento dos gomos, desenvolvimento das folhas e folhas maduras. Assim, a fenofase gomos fechados incluiu as etapas dos eventos fenológicos 1, 2 e 3, o abrolhamento dos gomos incluiu as etapas 4 e 5, o desenvolvimento das folhas as etapas 6 e 7 e folhas maduras as etapas 8 e 9 (etapas dos eventos fenológicos descritas na Tabela 1).

Na análise da fenologia, foi calculada a data de ocorrência dos eventos fenológicos. Esta data foi definida como, a primeira data em que pelo menos 50% da copa da árvore se encontrava numa determinada fenofase. Ao nível das propriedades ou tratamentos, esta data foi definida como a primeira data em que pelo menos 50% das árvores estavam em determinada fenofase.

No tratamento dos dados da folhada, foi identificada a data do pico da senescência foliar dos sobreiros. Esta data foi definida como o momento em que o peso cumulativo das folhas senescentes atingiu pelo menos 50% do peso total da folhada recolhida no sobreiro em questão. Ao nível das propriedades ou tratamentos, estas datas são definidas a partir da data média do pico da senescência das folhas dos sobreiros.

#### Tratamento estatístico

A análise estatística foi realizada utilizando o *software* IBM SPSS 28.0 (SPSS Inc., Chicago, EUA). Para testar a existência de diferenças significativas entre as quatro propriedades e entre os tratamentos do ensaio de VV, nas variáveis duração e data de ocorrência (Dia Juliano - DJ) dos eventos fenológicos, no acréscimo total o PAP, crescimento radial total, peso cumulativo das folhas senescentes, e teor de humidade da barriga da cortiça foi utilizada a ANOVA univariada para as variáveis com distribuição normal e homogeneidade de variâncias. Quando as variáveis não cumpriram os pressupostos da normalidade utilizou-se o teste não paramétrico “independent-samples Kruskal-Wallis Test”. A normalidade dos dados foi testada graficamente através de normal p-p plots, e através do teste Kolmogorov-Smirnov.

Numa primeira abordagem exploraram-se as correlações entre variáveis climáticas (temperatura máxima  $T_{\max}$ , temperatura média  $T_{\text{mean}}$ , temperatura mínima  $T_{\min}$ , temperatura média dos sete dias anteriores à observação  $T_{7d}$ , precipitação cumulativa desde outubro de 2020  $P_{\text{cum}}$ , teor de humidade relativa do ar HR, défice de pressão de vapor VPD e graus dia de desenvolvimento a partir de 1 de janeiro GDD), e eventos fenológicos, folhada, crescimento radial e humidade da cortiça, com coeficiente de correlações de Spearman (para dados não normais) ou Pearson (normais). Depois, utilizaram-se regressões lineares múltiplas com selecção de variáveis, *stepwise* por um lado e *backward* por outro, para obter modelos parcimoniosos que permitissem prever o *timing* e duração

dos eventos fenológicos, o peso total da folhada, crescimento radial e a humidade da cortiça em função das variáveis climáticas independentes referidas anteriormente. Assim, analisaram-se os pressupostos do modelo, nomeadamente o da distribuição normal, homogeneidade e independência dos erros. Os dois primeiros pressupostos foram validados graficamente e o pressuposto da independência foi validado com a estatística de Durbin-Watson, como descrito em Maroco (2018). Utilizou-se o VIF para diagnosticar a multicolinearidade, tendo-se eliminado variáveis fortemente colineares com outras presentes no modelo. Procedeu-se também à eliminação de observações *outliers* (i.e., observações com um resíduo estudentizado, em valor absoluto, superior a 1,96).

Considerou-se um nível de significância de 0,05.

# Resultados

## Condições meteorológicas

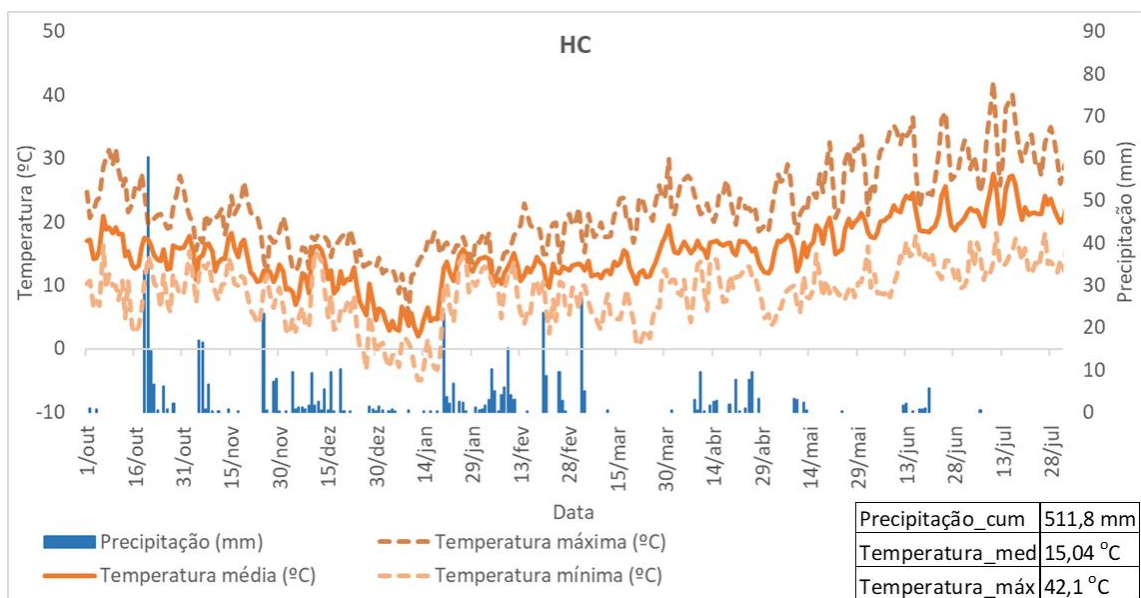
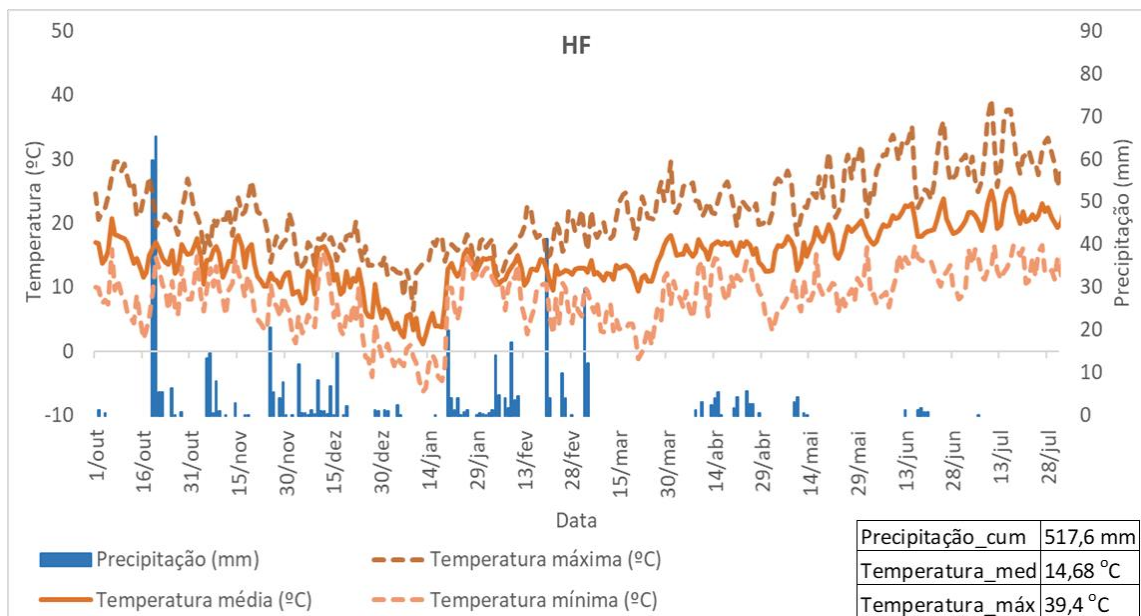
O padrão geral de distribuição da precipitação durante o período de 1 de outubro de 2020 a 30 julho de 2021 foi semelhante entre as quatro propriedades (Figura 18). Este período incluiu parte do ano hidrológico devido à forte correlação existente entre a precipitação cumulativa nos meses de outono e inverno, e o período de maior atividade vegetativa das árvores, (Leal et al., 2008; Pinto et al., 2011)

As temperaturas que ocorreram nas três propriedades de Coruche, durante o período de estudo, encontram-se dentro das normais climatológicas mensais para o distrito de Santarém (período de 1981-2010, IPMA-Instituto Português do Mar e da Atmosfera). A precipitação cumulativa mensal nas três propriedades de Coruche foi relativamente menor que as normais climatológicas mensais para o distrito de Santarém, nos meses de dezembro, janeiro, março e maio e relativamente superior nos meses de fevereiro e outubro.

Em VV, as temperaturas durante o período de estudo, encontram-se dentro das normais climatológicas mensais para o distrito de Évora. No entanto, a média mensal da temperatura máxima em VV de todos os meses estudados, exceto janeiro, foi sempre ligeiramente superior às normais climatológicas (período de 1981-2010, IPMA-Instituto Português do Mar e da Atmosfera). A precipitação cumulativa mensal em VV foi relativamente maior que as normais climatológicas mensais para o distrito de Évora, nos meses de Inverno e abril e menor no mês de maio (período de 1981-2010, IPMA-Instituto Português do Mar e da Atmosfera).

A temperatura máxima mais elevada foi registada no dia 10 de julho nas quatro propriedades. A temperatura mais elevada ocorreu em VV (43,97 °C), seguindo-se a HC (42,1 °C), HA (40,6 °C), e HF (39,4 °C). A temperatura média ao longo do período de estudo foi mais elevada na propriedade VV (15,34 °C), seguindo-se a HA (15,12 °C), HC (15,04 °C), e HF (14,68 °C) (Figura 18).

Tanto nas propriedades de Coruche como em VV, 85% da precipitação ocorreu durante os meses de Outono e Inverno, atingindo os valores mais elevados em outubro de 2020. Durante o mês de abril e a primeira metade de maio, observou-se um aumento de pluviosidade, após um março mais seco. A precipitação cumulativa total foi semelhante nas propriedades HC (511,8 mm) e HF (517,6 mm), sendo superior na propriedade HA (632,8 mm) e tendo um valor mais elevado em VV (670,1 mm) (Figura 18). Em VV, nos tratamentos com seca induzida, em que se excluiu 45% da precipitação anual, a precipitação cumulativa total foi apenas de 268 mm, o valor mais baixo entre os locais estudados.



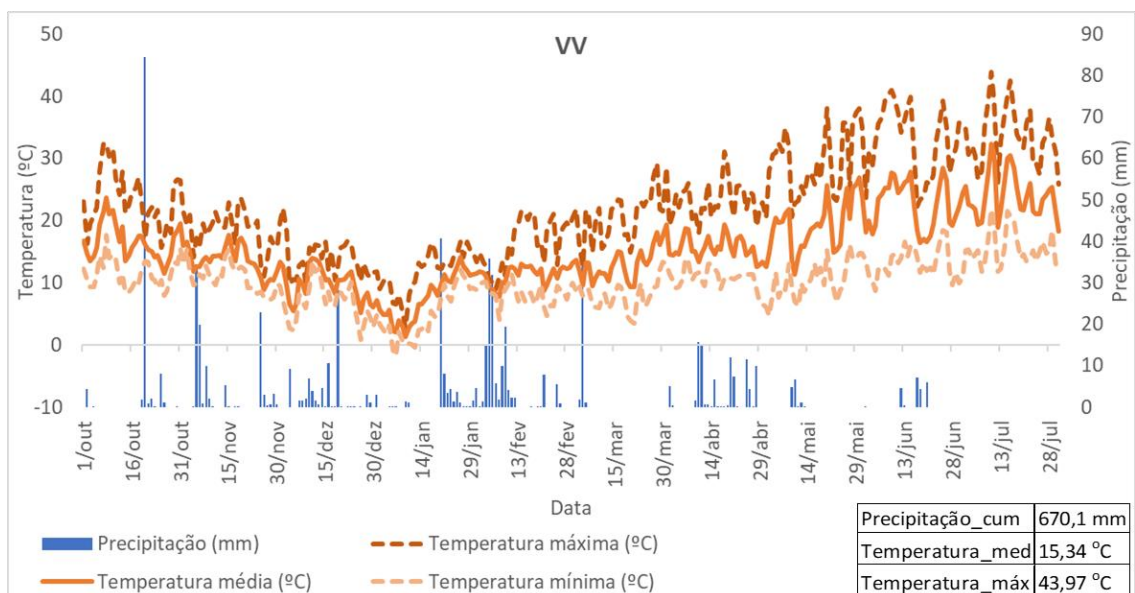
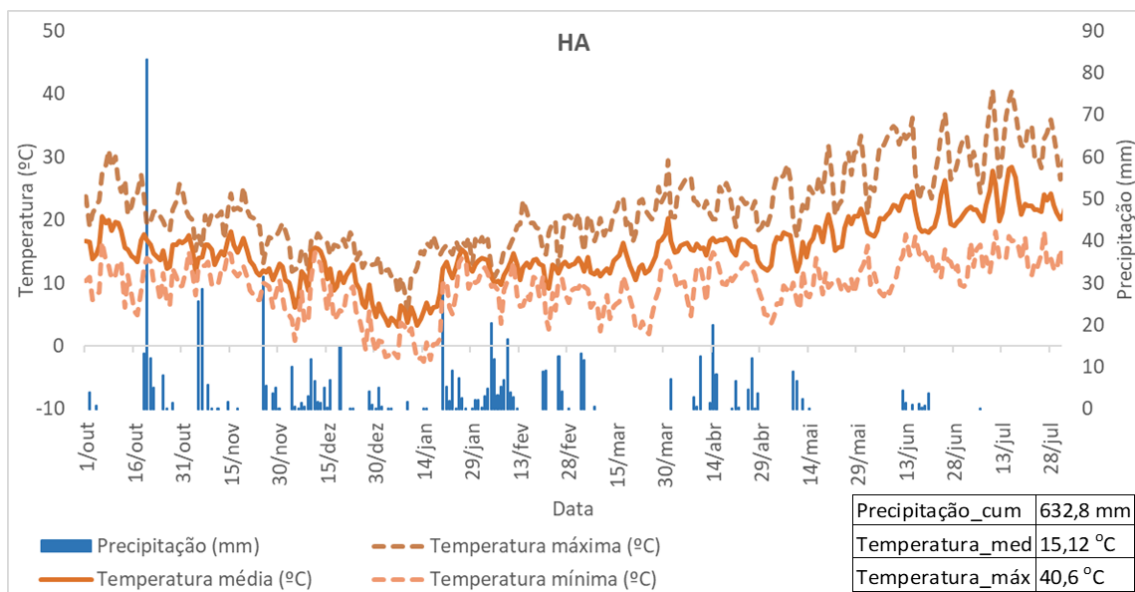


Figura 18- Precipitação diária (mm), temperaturas máxima, média e mínima diárias (°C), entre outubro de 2020 e julho de 2021, nos quatro locais de estudo (HF, HC, HA e VV). No canto inferior direito dos gráficos, apresenta-se para cada local, a precipitação cumulativa, e a temperatura média e máxima registadas ao longo do período de estudo.



## Fenologia

Durante o período deste estudo seguiram-se as fases fenológicas de gomo fechado, abrolhamento, desenvolvimento das folhas e fase de maturação das folhas.

### Efeito da Propriedade

A fase gomos fechados terminou em simultâneo em HF, HC e VV, a 19-20 de abril (Dia Juliano (DJ): 109-110), enquanto, que na propriedade HA terminou mais cedo, a 13 de abril (DJ: 103) (Figura 19). A data em que a fase gomos fechados terminou, foi marginalmente diferente entre propriedades ( $H(3) = 7,693$ ;  $p = 0,053$ ).

O abrolhamento dos gomos iniciou-se mais cedo em HF e HA, a 29-30 de março (DJ: 88-89), seguido por VV a 1 de abril (DJ: 91) e mais tardiamente em HC, a 5 de abril (DJ: 95). A data de início do abrolhamento dos gomos foi significativamente diferente entre propriedades ( $H(3) = 10,162$ ;  $p = 0,017$ ), tendo a propriedade HC uma data de início de abrolhamento significativamente mais tardia, comparativamente a HF ( $p = 0,013$ ). O abrolhamento dos gomos terminou em simultâneo em HF, HA e VV a 19-20 de abril, na mesma data em que a fase gomos fechados terminou. O abrolhamento dos gomos teve uma duração média de 21 dias  $\pm$  1,43. O abrolhamento dos gomos na propriedade HC terminou mais tarde a 26 de abril (DJ: 116). A duração da fase de abrolhamento dos gomos nas quatro propriedades foi sensivelmente de 21 dias para HF, HC e HA e 19 dias para VV, não tendo sido significativamente diferente entre propriedades ( $H(3) = 2,9$ ;  $p = 0,407$ ).

A fase desenvolvimento das folhas iniciou-se mais cedo em HF, HA e VV, nas mesmas datas em que se iniciou o abrolhamento dos gomos (DJ: 88, 89 e 91 respetivamente). Na propriedade HC o desenvolvimento das folhas teve início mais tarde a 12 de abril (DJ: 102). O desenvolvimento das folhas terminou nos quatro locais no início de maio, a 3 de maio (DJ: 123) em HC e HF, 4 maio (DJ: 124) em HA e 6 maio (DJ: 126) em VV (Figura 19).

A fase de desenvolvimento das folhas em HC teve a duração mais curta, de 21 dias. Em HF, HA e VV, o desenvolvimento das folhas teve uma duração de 35 dias.

A data de início, assim como a duração da fenofase de desenvolvimento das folhas, não foram significativamente diferentes entre propriedades, (início:  $H(3) = 6,773$ ;  $p = 0,08$ ; duração:  $H(3) = 4,34$ ;  $p = 0,227$ ) (Figura 19).

A última fenofase estudada, folhas maduras, teve início a 1 de abril (DJ: 91) em VV, a 5 de abril (DJ: 95) em HF, a 20 de abril (DJ: 110) em HA e mais tarde, a 26 de abril (DJ: 126) em HC. A fase folhas maduras iniciou-se mais cedo em VV, na mesma data em que o abrolhamento dos gomos e desenvolvimento das folhas teve também início em VV (Figura 2). A data de início da fenofase folhas maduras foi significativamente diferente entre propriedades ( $H(3) = 8,959$ ;  $p = 0,03$ ), sendo significativamente mais tardia nas propriedades HC ( $p = 0,012$ ) e HA ( $p = 0,008$ ), comparativamente a HF.

Nas quatro propriedades, a fase das folhas maduras iniciou-se antes da fase do desenvolvimento das folhas terminar. A renovação da copa terminou para cada local, na data final da fase desenvolvimento das folhas, no início de maio.

Os diferentes eventos fenológicos apresentaram períodos de sobreposição. Esta sobreposição foi mais aparente em VV e HF, tendo sido observadas já árvores com folhas maduras a 1 de abril, enquanto outras ainda se encontravam na fenofase dos gomos fechados. Na propriedade HC, as árvores apresentam a menor sobreposição dos eventos fenológicos observada.

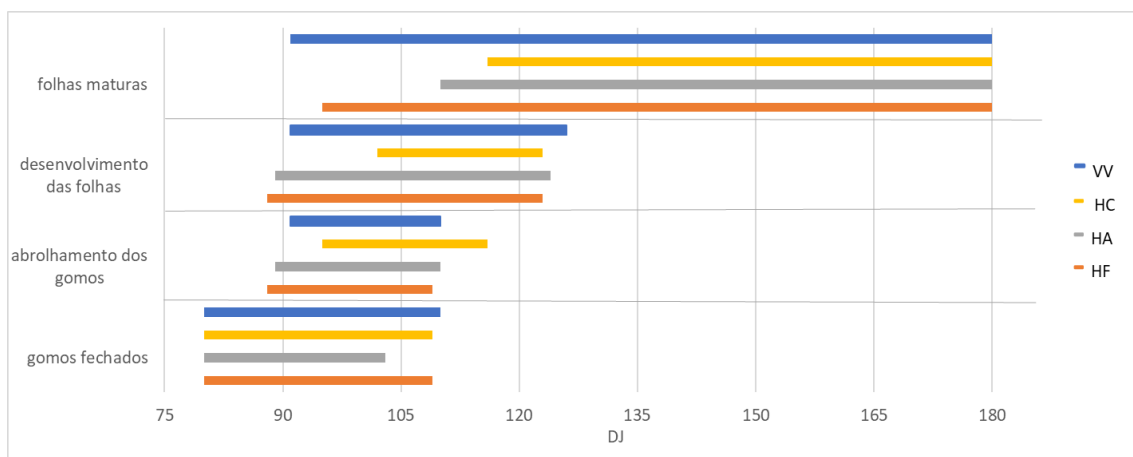


Figura 19- Início, duração e conclusão dos eventos fenológicos (gomos fechados, abrolhamento dos gomos, desenvolvimento das folhas e folhas maduras), nas três propriedades de Coruche e no tratamento ambiente sem esteva de VV. DJ- Dias Julianos de 2021. Período de observações entre o dia 75 (16/03/2021), e o dia 190 (9/07/2021).

Determinaram-se para cada uma das fenofases as necessidades em temperatura acumulada acima da temperatura base de desenvolvimento. Observaram-se maiores necessidades em temperatura, o que corresponde a valores de GDD maiores para o abrolhamento dos gomos nas árvores da propriedade HC, seguida da propriedade VV, HA, e por fim HF (Tabela 2). Para o desenvolvimento das folhas a sequência das maiores para menores necessidades em temperatura (GDD) foi HC, HA, VV e HF (Tabela 2).

Tabela 2- Datas de ocorrência das fenofases das três propriedades de Coruche e do tratamento ambiente sem esteva de VV, em dia julianos (DJ) médios e GDD (Soma graus dia de crescimento), médio na data de ocorrência das fenofases, abrolhamento dos gomos e desenvolvimento das folhas.

Propriedades	DJ abrolhamento	GDD	DJ	GDD
	dos gomos	abrolhamento dos gomos	desenvolvimento das folhas	desenvolvimento das folhas
HA	98,1 ± 2	605,54 ± 22,76	103,7 ± 3	666,4 ± 28,92
HC	104,8 ± 2	665,395 ± 20,1	109,7 ± 2	718,1 ± 21,03
HF	93,6 ± 3	533,41 ± 29,46	98,5 ± 3	583,85 ± 30,06
VV	101,2 ± 4	628,95 ± 40,58	103 ± 4	648,13 ± 42,78

Utilizaram-se os dados de fenologia recolhidos pela APFC (população amostrada maior), para testar correlações com determinadas variáveis climáticas das três propriedades de Coruche. Observaram-se correlações estatisticamente significativas, tanto com as variáveis de temperatura como com a precipitação. Saliendo, no entanto, uma forte correlação com elevado nível de significância, ( $R = 0,938$ ;  $p < 0,001$ ) com a variável GDD (desde 1 de janeiro).

A regressão linear múltipla também permitiu identificar a variável GDD ( $\beta = 0,916$ ;  $t(2620) = 116,511$ ;  $p < 0,001$ ), como preditor significativo da avaliação da fenologia da APFC. Assim, o modelo final será,  $y = 0,743 + 0,003 \cdot \text{GDD}$ . Este modelo é altamente significativo, e explica uma proporção elevada (83,8%) da variabilidade da avaliação da fenologia da APFC, ( $R = 0,916$ ;  $F(1; 2620) = 13574,784$ ;  $p < 0,001$ ).

#### Efeito da seca e presença de esteva

A fase gomos fechados terminou mais cedo nos tratamentos VVseca e VVesteva, a 8 de abril (DJ: 98) e mais tardiamente nos tratamentos VVamb e VVseca\_esteva, a 20 de abril (DJ: 110), não havendo diferenças significativas entre tratamentos ( $H(3) = 5,074$ ;  $p = 0,166$ ) (Figura 20).

O abrolhamento dos gomos ocorreu em simultâneo nos quatro tratamentos, iniciando-se a 1 de abril (DJ 91), e terminando a 20 de abril (DJ 110), com uma duração de 19 dias  $\pm 1,41$ . A data de início do abrolhamento e a duração da fenofase não foram significativamente diferentes entre tratamentos (início:  $H(3) = 1,369$ ;  $p = 0,713$ ; duração:  $H(3) = 3$ ;  $p = 0,392$ ) (Figura 20).

O desenvolvimento das folhas em VV iniciou-se também a 1 de abril (DJ: 91) em todos os tratamentos, terminando mais cedo no tratamento VVseca\_esteva a 29 de abril (DJ: 119), e a 6 de maio (DJ: 126) nos restantes tratamentos. A duração do desenvolvimento das folhas foi de 28 dias no tratamento VVseca\_esteva e 35 dias nos restantes tratamentos. O tratamento não teve efeito significativo na

duração da fenofase desenvolvimento das folhas ( $H(3) = 4,435$ ;  $p = 0,218$ ), nem na data de início do desenvolvimento das folhas ( $H(3) = 1,232$ ;  $p = 0,745$ ) (Figura 20).

A fase folhas maduras iniciou-se primeiro no tratamento VVamb, no dia 1 de abril (DJ: 91), seguido pelos tratamentos VVesteva e VVseca\_esteva, a 20 de abril, e mais tarde no tratamento VVseca, a 29 de abril. No entanto o tratamento não teve um efeito significativo na data de início da fase folhas maduras ( $H(3) = 6,317$ ;  $p = 0,097$ ) (Figura 20).

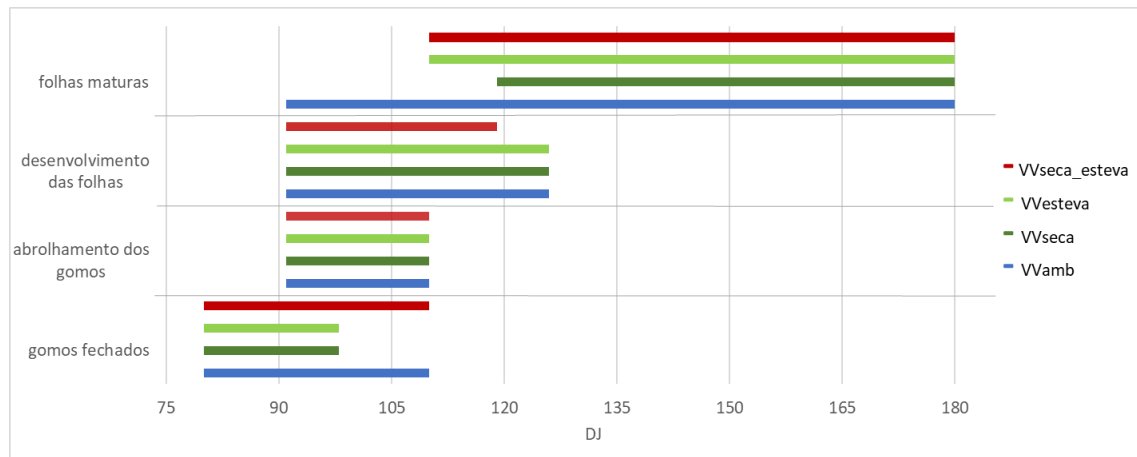


Figura 20- Início, duração e conclusão dos eventos fenológicos (gomos fechados, abrolhamento dos gomos, desenvolvimento das folhas e folhas maduras, nos quatro tratamentos de VV (VVseca\_esteva, VVesteva, VVseca, VVamb). DJ- Dias Julianos de 2021. Período de observações entre o dia 75 (16/03/2021) e o dia 190 (9/07/2021).

## Folhada

### Efeito da Propriedade

As propriedades HF, HC e HA apresentaram um padrão semelhante na queda da folhada (Figura 21), com um total de  $257,5 \text{ g.m}^{-2} \pm 28,72$  na propriedade HC, seguida de  $194,8 \text{ g.m}^{-2} \pm 29,49$  na HA, e de  $147,8 \text{ g.m}^{-2} \pm 28,87$  na HF. O padrão da queda da folhada em VV foi distinto do das árvores nas propriedades de Coruche. Em VV, durante o período em que decorreu o estudo, a quantidade de biomassa de folhada foi de  $405,3 \text{ g.m}^{-2} \pm 38,68$ , um valor consideravelmente mais alto que o das propriedades de Coruche.

Ainda relativamente ao padrão de queda da folhada, nas propriedades de Coruche, a partir do início de maio, houve uma diminuição nos incrementos do peso cumulativo das folhas, resultante da conclusão da troca das folhas. Este padrão foi confirmado pelo facto da fenofase do desenvolvimento

das folhas ter finalizado a 3 e 4 de maio (DJ: 123-124) nas três propriedades de Coruche (Figura 19). Em VV, durante o mês de maio continuou a haver queda de folhada, não se verificando a estabilização observada nas propriedades de Coruche. Apesar da fenofase desenvolvimento das folhas em VV, ter também terminado no início de maio, a 6 de maio (DJ: 126), data final da fase desenvolvimento das folhas em VV (Figura 19), não se verificou a mesma estabilização da queda que se observou nas três propriedades de Coruche (Figura 21).

O peso cumulativo da folhada foi significativamente diferente entre propriedades ( $H(3) = 48,335$ ;  $p < 0,001$ ), tendo HC um maior peso cumulativo da folhada, e significativamente diferente das restantes três propriedades ( $p < 0,001$ ).

As diferenças nos padrões de distribuição da queda da folhada resultaram em datas distintas em que a senescência das folhas das árvores atingiu 50% do peso total de folhas caídas (pico de senescência das folhas), entre os quatro locais. Em Coruche, o pico da senescência das folhas dos sobreiros ocorreu a 21 de abril em HF, 22 de abril em HA e 24 de abril em HC. No entanto, em VV o pico da senescência só foi atingido a 15 de maio (Figura 21).

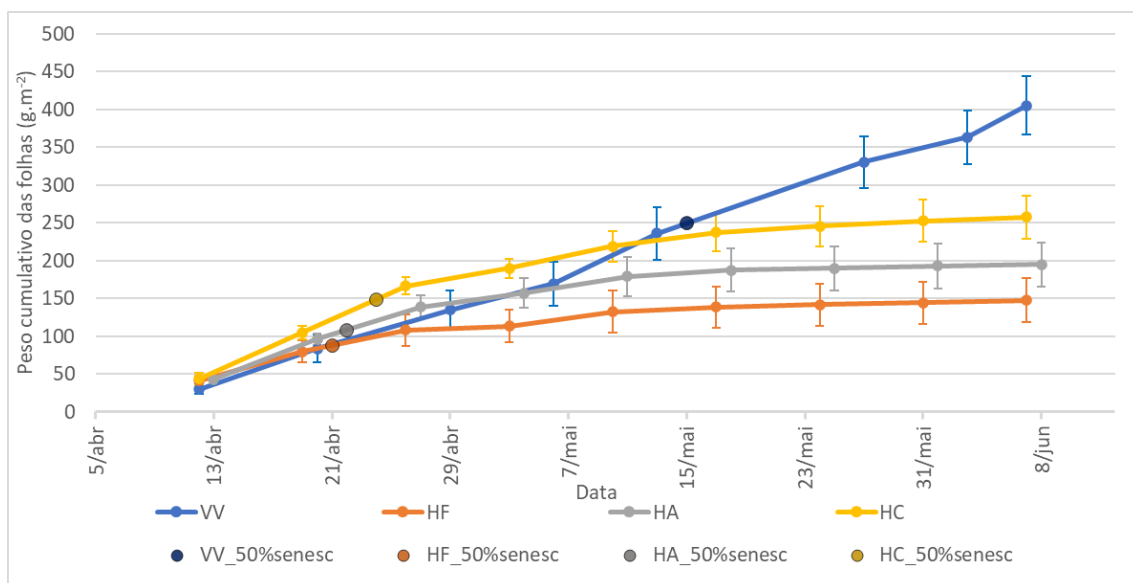


Figura 21- Peso cumulativo médio  $\pm$  erro padrão da folhada ( $g.m^{-2}$ ) das três propriedades de Coruche e de VV, durante o período de recolha de dados comum a todos os locais (12/04/2021 a 8/06/2021). Os círculos maiores indicam a média da data em que os sobreiros de cada propriedade atingiram 50% do peso total de folhas caídas, pico de senescência das folhas.

Efeito da seca e presença de esteva

A queda de folhada em VV apresenta um padrão semelhante entre tratamentos (Figura 22). A maior queda total de folhada ocorreu no tratamento VVamb com o valor de  $405,3 g.m^{-2} \pm 38,68$ , seguido do

tratamento VVseca, com  $361,8 \text{ g.m}^{-2} \pm 45,89$ , e tratamento VVesteva com  $321 \text{ g.m}^{-2} \pm 43,4$ , e finalmente VVseca\_esteva, com  $276,3 \text{ g.m}^{-2} \pm 22,97$ . A queda de folhada foi menor nas árvores dos tratamentos com esteva no subcoberto, em particular no tratamento seca com esteva. No entanto, não foram registadas diferenças significativas entre tratamentos ( $H(3) = 4,271$ ;  $p = 0,234$ ).

A conclusão da muda da folha das árvores de VV, ocorreu a 29 de abril (DJ: 119) no tratamento VVseca\_esteva e a 6 de maio (DJ: 126), nos restantes três tratamentos (Figura 20). Ao analisarmos a evolução da queda de folhada a partir da data em que terminou a troca da folha em VV (29 de abril - DJ: 119), observámos uma diminuição nos acréscimos do peso cumulativo das folhas perto do final de maio. No entanto, no início de junho observou-se novamente um aumento substancial dos incrementos da queda de folhada (Figura 22).

No caso de VV, o pico da senescência das folhas (data em que atingiram 50% do peso total de folhas caídas) do sobreiro ocorreu primeiro nas árvores do tratamento VVseca\_esteva, a 7 de maio, e seguidamente a 15 de maio nos tratamentos sem esteva no subcoberto, VVamb e VVseca, e mais tardiamente a 17 de maio no tratamento VVesteva.

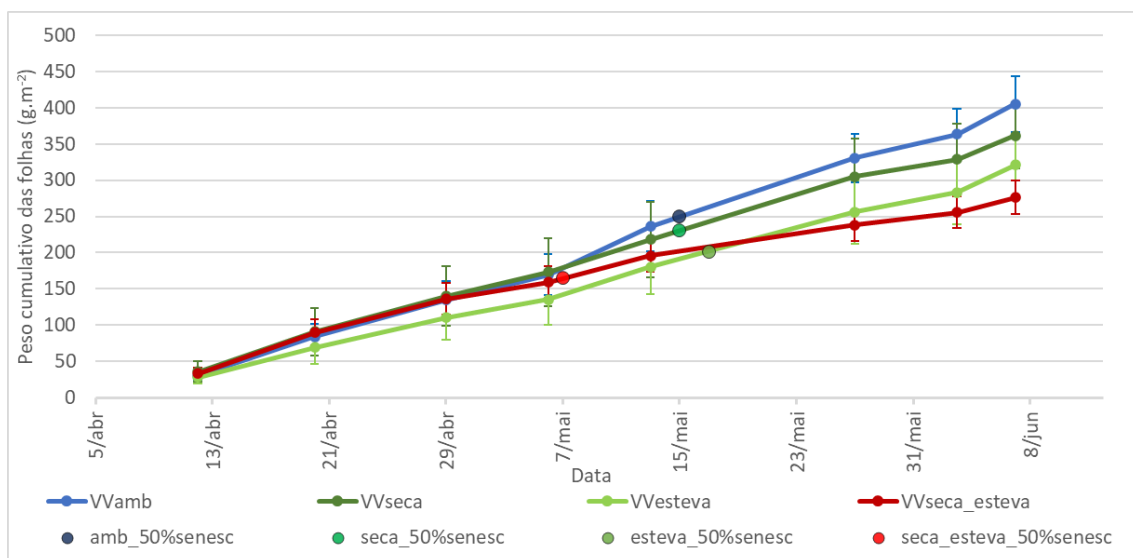


Figura 22- Peso cumulativo médio  $\pm$  erro padrão da folhada ( $\text{g.m}^{-2}$ ) dos quatro tratamentos de VV (VVamb, VVseca, VVesteva, VVseca\_esteva), recolhida durante o período de recolha de dados comum a todos os locais (12/04/2021 a 7/06/2021). Os círculos maiores indicam a média da data em que os sobreiros de cada tratamento atingiram 50% do peso total de folhas caídas, i.e., pico de senescência das folhas.

## Crescimento Radial

### Efeito da Propriedade

O crescimento radial das árvores estudadas nas três propriedades de Coruche, apresentaram padrões variados, especialmente durante o mês de abril e início de maio, apesar de terem crescimentos semelhantes durante alguns períodos (Figura 23). Por exemplo, a 19 e 20 de abril, houve uma variação negativa do PAP das árvores nas três propriedades relativamente aos valores da data antecedente, havendo um incremento menor do PAP em HC de 0,19 mm, e retrações em HF e HA, de 0,22 mm e 0,45mm, respetivamente. Na data seguinte, a 26 e 27 de abril, os valores foram novamente superiores aos de 19 e 20 de abril nas três propriedades, mostrando uma tendência similar nas variações do PAP, tendência esta que pode ser observada durante grande parte do período em que decorreu o estudo (Figura 23).

O padrão de crescimento radial das árvores estudadas em VV foi o mais díspar, das quatro propriedades. Por exemplo, a 20 de abril, quando se verificou uma diminuição no incremento do PAP em HC e uma retração em HF e HA, em VV observou-se o maior incremento do PAP. Por outro lado, a 29 de abril, dá-se uma diminuição do incremento do PAP em VV, enquanto, nas três propriedades de Coruche, a 26 de abril para HC e HF e 27 de abril para HA, deu-se um aumento do incremento do PAP (Figura 23).

A variação do PAP ao longo do tempo teve um padrão relativamente semelhante entre as propriedades HF e HC, sendo mais divergente em HA e VV (Figura 23). O crescimento radial das árvores na propriedade HF foi inferior ao crescimento radial das árvores nas restantes propriedades de Coruche, HC e HA e de VV.

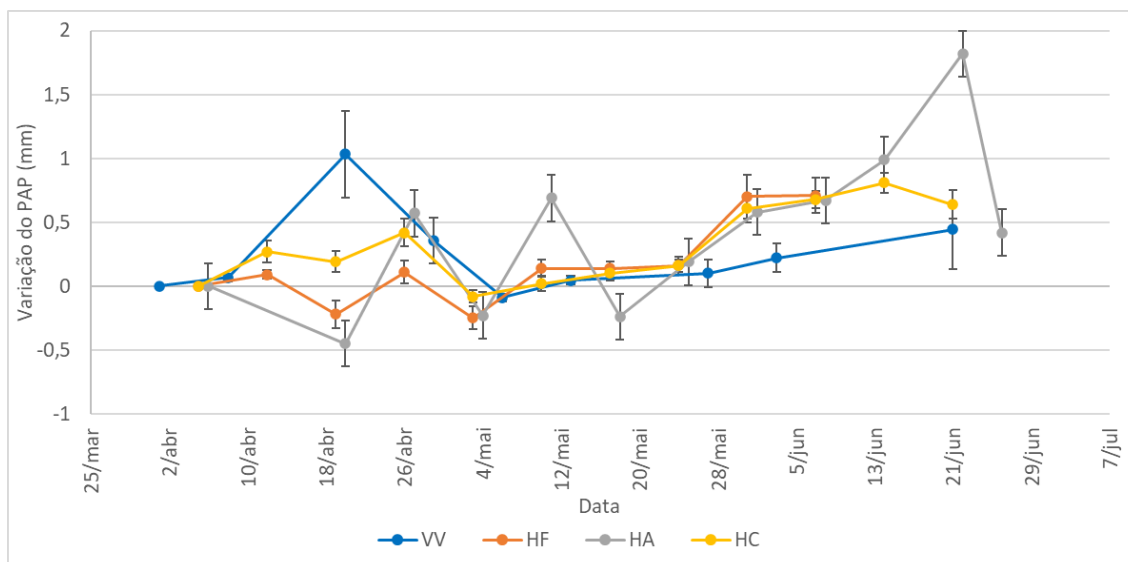


Figura 23- Variação média  $\pm$  erro padrão do PAP (mm) das três propriedades de Coruche e de VV, durante o período de recolha de dados do estudo em Coruche (1/04/2021 a 26/06/2021).

Comparando os valores do crescimento médio até à data mais próxima de 7 de junho (última data de registo para HF, por causa do descortçamento), o menor crescimento ocorreu na propriedade HF, seguida de VV (3 de junho), HA (8 de junho) e HC (7 de junho) (Tabela 3). No entanto, a propriedade à qual as árvores pertencem não teve um efeito estatisticamente significativo sobre o crescimento total radial médio das árvores ( $F(3,35) = 0,494$ ;  $p = 0,689$ ), (Tabela 3).

O valor do crescimento médio total, calculado para a data final de medição, nas propriedades de Coruche (VV- 21 de junho; HF- 7 de junho, HC- 21 de junho; HA- 26 de junho), foi superior na propriedade HA (5,01 mm), seguido da propriedade HC (3,82 mm), VV (2,3 mm), e HF (1,58 mm) (Tabela 3). No entanto estes valores correspondem a diferentes períodos de crescimento

Tabela 3- Crescimento médio total do PAP (mm)  $\pm$  erro padrão, das três propriedades de Coruche e do tratamento ambiente sem esteva de VV, até à última data comum mais próxima de 7 de junho e até à data final de recolha de dados dendrométricos em Coruche.

Propriedades	Data comum	Crescimento total data comum (mm)
VV	03/jun	1,73 $\pm$ 0,68
HF	07/jun	1,58 $\pm$ 0,34
HA	08/jun	1,78 $\pm$ 0,56
HC	07/jun	2,37 $\pm$ 0,37

O crescimento radial total teve uma correlação estatisticamente significativa e positiva com o peso cumulativo das folhas, (correlação de Spearman,  $r = 0,351$ ;  $p < 0,001$ ).



A análise das correlações do crescimento radial das árvores com as variáveis climáticas foi realizada, ao nível das propriedades e ao nível dos tratamentos.

Nas propriedades, observaram-se correlações positivas estatisticamente significativas, com todas as variáveis climáticas de temperatura (T<sub>máx</sub>-temperatura máxima, T<sub>mean</sub>-temperatura média, T<sub>min</sub>-temperatura mínima, T<sub>7d</sub>-temperatura média dos 7 dias antecedente à observação), e com a variável precipitação cumulativa (P<sub>cum</sub>) (Tabela 4). As variáveis climáticas precipitação acumulada dos últimos 7 dias (P<sub>7d</sub>), déficit de pressão de vapor (VPD) e humidade relativa (HR) apresentaram as correlações mais fraca, sem significância estatística, com a variação do crescimento radial das árvores. As variáveis, GDD e T<sub>7d</sub>, apresentaram as correlações mais fortes estatisticamente significantes.

Tabela 4- Coeficientes de correlação da variação do crescimento radial das árvores das três propriedades de Coruche e do tratamento ambiente sem esteva de VV, com as variáveis climáticas, e respetivos níveis de significância, e N das amostras. \*\* Nível de significância da correlação 0.01 (2-tailed).

Correlação de Spearman	T <sub>máx</sub>	T <sub>mean</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>7d</sub>	P <sub>cum</sub>	P <sub>7d</sub>	HR (%)	VPD	GDD
Coeficiente de correlação	0,179**	0,315**	0,315**	0,397**	0,157**	-0,04	0,01	-0,01	0,467**
Sig. (2-tailed)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,88	0,88	0,00
N	421	421	421	421	421	421	421	421	421

A influência das variáveis climáticas sobre a variação do crescimento radial das árvores nas propriedades, foi avaliada com a regressão linear múltipla stepwise.

O melhor modelo preditivo de regressão linear múltipla permitiu identificar as variáveis GDD e VPD ( $\beta = 0,537$ ;  $t(418) = 11,718$ ;  $p < 0,001$ ), ( $\beta = -0,192$ ;  $t(418) = -4,194$ ;  $p < 0,001$ ) respetivamente, como preditores significativos da variação do PAP das árvores das quatro propriedades. O modelo final ajustado para a variação do PAP foi,  $y = -0,442 + 0,001 \cdot GDD - 1,786 \cdot VPD$ . Este modelo é altamente significativo, no entanto explica apenas uma proporção pequena (24,4%) da variabilidade da variação do PAP das árvores, ( $R = 0,497$ ;  $F(2; 418) = 68,699$   $p < 0,001$ ).

Efeito da seca e presença de esteva

O padrão de variação do PAP das árvores ao longo do tempo, nos quatro tratamentos de VV, foi semelhante. As árvores do tratamento VVseca\_esteva cresceram menos que as árvores do tratamento VVseca, seguidas do tratamento VVamb e VVesteva (Figura 24).

Nos quatro tratamentos houve um pico de crescimento do PAP a 20 de abril, seguido de uma diminuição do acréscimo a 29 de abril e finalmente, uma retração do PAP, em todos os tratamentos, exceto em VVesteva, a 6 de maio, data em que já tinha terminado a muda da folha em todos os tratamentos de VV. De 6 de maio até ao final do período estudado, a variação do PAP em VV, apresentou uma tendência geral de incrementos do PAP, em todos os tratamentos. No tratamento VVseca\_esteva, os aumentos do PAP foram menos acentuados que nos restantes tratamentos (Figura 24).

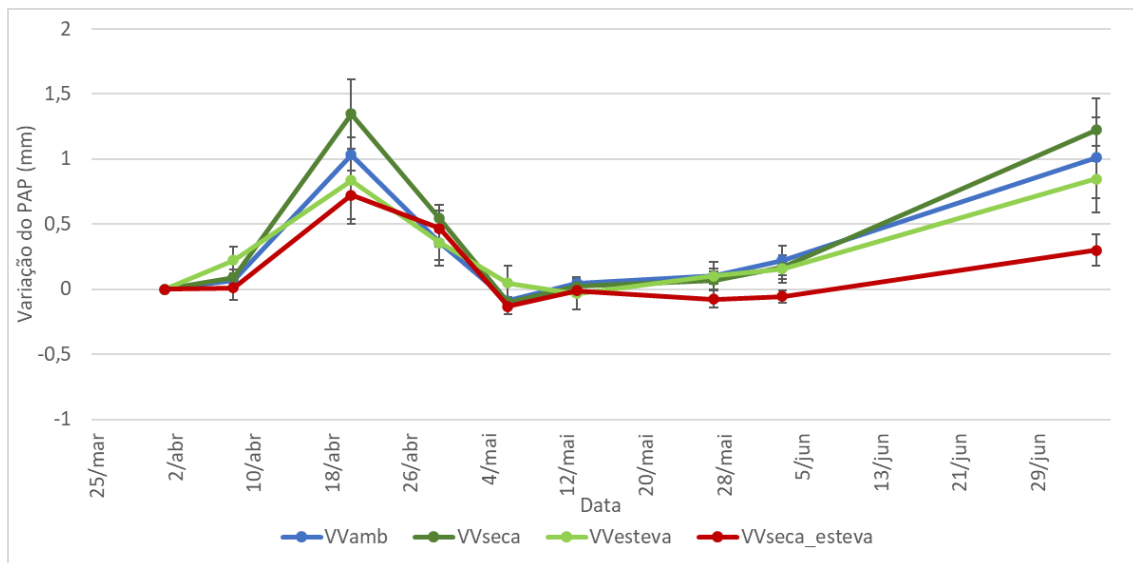


Figura 24- Variação média  $\pm$  erro padrão do PAP (mm) dos quatro tratamentos de VV, durante o período de recolha de dados do estudo em VV (1/04/2021 a 5/07/2021).

Em VV o crescimento total radial não foi significativamente diferente entre tratamentos ( $H(3) = 4,081$ ;  $p = 0,253$ ;  $n = 36$ ) (Tabela 5). No entanto, o tratamento VVseca\_esteva, registou o menor crescimento total seguido do tratamento VV esteva. Os menores valores de crescimento radial total ocorreram nos dois tratamentos com esteva no subcoberto (Tabela 5).

Tabela 5- Crescimento médio total do PAP (mm)  $\pm$  erro padrão, dos quatro tratamentos de VV, até à data final de recolha de dados dendrométricos.

Tratamento	Data final	Crescimento total (mm)
VVamb	05/jul	2,74 $\pm$ 0,97
VVseca	05/jul	3,36 $\pm$ 0,63
VVesteva	05/jul	2,52 $\pm$ 0,77
VVseca_esteva	05/jul	1,22 $\pm$ 0,54

Ao nível dos tratamentos, observaram-se correlações positivas significativas, apenas com as variáveis climáticas de precipitação (Tabela 6). As variáveis climáticas P\_7d (precipitação cumulativa dos 7 dias antecedente à observação), e Pcum (precipitação cumulativa desde outubro de 2020), apresentaram as correlações mais fortes, estatisticamente significativas, com o crescimento radial. As restantes variáveis climáticas, apresentam correlações muito fracas e sem significância estatística, com a variação do crescimento radial das árvores nos tratamentos de VV.

Tabela 6- Coeficientes de correlação da variação do crescimento radial das árvores dos quatro tratamentos de VV, com as variáveis climáticas, e respetivos níveis de significância, e N das amostras. \*\* Nível de significância da correlação 0.01 (2-tailed); \* Nível de significância da correlação 0.05 (2-tailed).

Correlação de Spearman	Tmáx	Tmean	Tmin	T_7d	Pcum	P_7d	HR (%)	VPD	GDD
Coefficiente de correlação	-0,06	-0,05	0,08	-0,04	,111*	,224**	0,00	0,00	0,09
Sig. (2-tailed)	0,27	0,42	0,15	0,52	0,05	0,00	0,98	0,98	0,10
N	324	324	324	324	324	324	324	324	324

A regressão linear múltipla permitiu identificar as variáveis P\_7d e GDD ( $\beta = 0,316$ ;  $t(321) = 5,769$ ;  $p < 0,001$ ), ( $\beta = 0,309$ ;  $t(321) = 5,632$ ;  $p < 0,001$ ) respetivamente, como preditores significativos da variação do PAP das árvores dos quatro tratamentos. O melhor modelo final ajustado da variação do PAP,  $y = -0,3 + 0,024 \cdot P_7d + 0,001 \cdot GDD$ . Este modelo é altamente significativo, no entanto explica apenas uma proporção pequena (12,8%) da variabilidade da variação do PAP das árvores, ( $R = 0,365$ ;  $F(2; 321) = 24,673$   $p < 0,001$ ).

## Humidade da Cortiça

A humidade da cortiça foi analisada apenas nas propriedades de Coruche. A recolha de dados teve lugar, de 18 de janeiro a 14 de junho em HF, até 21 de junho em HC e 20 de julho em HA, mesmo antes das árvores terem sido descortiçadas. A humidade da barriga da cortiça teve uma tendência contrastante com a da humidade da costa (Figura 25). A humidade da costa, relativa à camada mais externa da cortiça, parece estar naturalmente mais relacionada com as condições climáticas externas, nomeadamente a temperatura e poder evaporativo do ar, e por isso aumenta à medida que o tempo se torna mais quente e seco. A humidade da barriga da cortiça tem uma tendência que parece ser mais influenciada pelo funcionamento da árvore, nomeadamente da felogene, pelo que este trabalho se focará na humidade da barriga da cortiça.

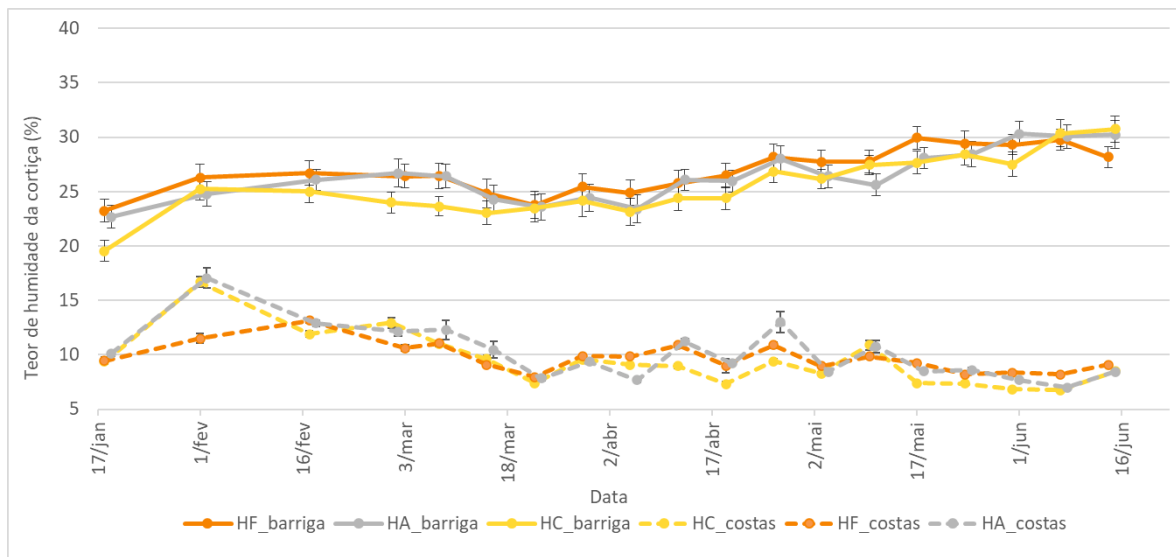


Figura 25-Variação da humidade da barriga e costas da cortiça (%) das três propriedades de Coruche (HA, HC e HF), ao longo do período comum de recolha de amostras de cortiça em cada propriedade, (18/01/2021 a 14/06/2021). Humidade da barriga e costas da cortiça (média  $\pm$  erro padrão) de cada propriedade, calculada a partir da totalidade da população amostrada em cada propriedade.

A humidade da barriga da cortiça das três propriedades de Coruche, apresentou um padrão de variação ao longo do período de medição semelhante. Durante o período inicial do estudo, a humidade da barriga da cortiça aumentou, seguido de uma estabilização dos valores da humidade em HF e HA, e uma subsequente diminuição da humidade nas três propriedades até ao dia 15 de março em HC e 22-23 de março em HF e HA (Figura 26).

No período de 15 de março, para HC, e 22-23 de março para HF e HA, até ao final da recolha de dados em HF e HC, e 22 de junho para HA, a humidade da barriga da cortiça apresentou um padrão mais variado, mas com uma tendência de aumento da humidade da barriga da cortiça ao longo do tempo. A humidade média máxima da barriga da cortiça foi atingida a 17 de maio em HF (29,92 %  $\pm$  1,03), 21 de junho em HC (33 %  $\pm$  1,11) e 22 de junho em HA (33,48%  $\pm$  1,21) (Figura 26).

A recolha de dados na propriedade HA, só terminou a 20 de julho, pois estas árvores foram descortizadas mais tarde. Nesta propriedade, de 22 de junho, quando o pico da humidade da barriga da cortiça foi atingido até à data final das observações houve uma diminuição da humidade média da barriga da cortiça (Figura 26).

A humidade da barriga da cortiça, em geral, foi menor para a propriedade HC e superior para a propriedade HF, apesar de se verificar uma variação elevada ao longo do tempo.

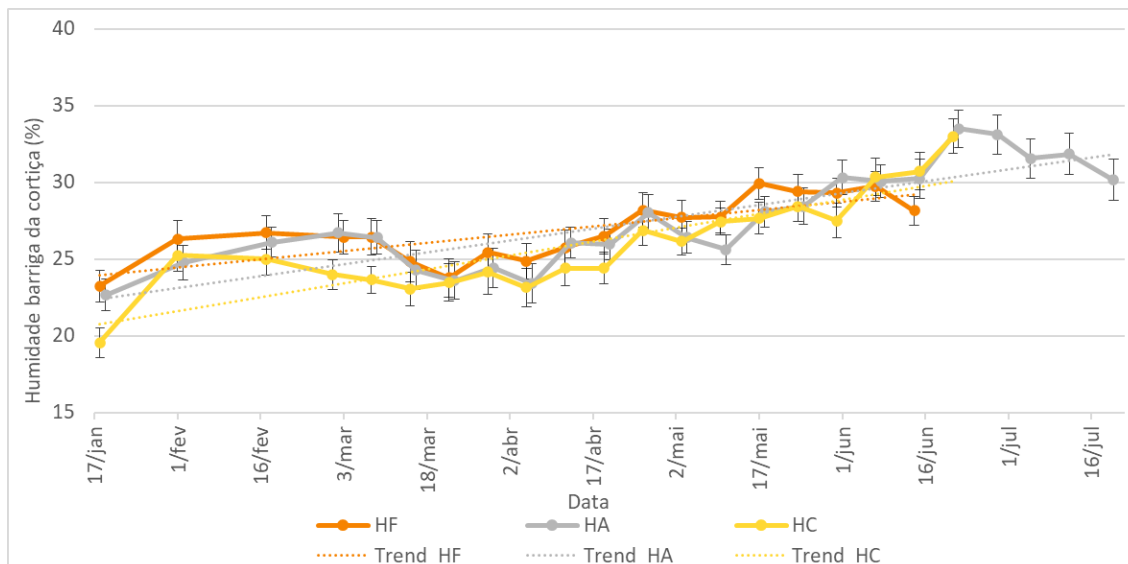


Figura 26-Varição da humidade da barriga da cortiça (%) das três propriedades de Coruche (HA, HC e HF), ao longo do período de recolha de amostras de cortiça em cada propriedade, (18/01/2021 a 14/06/2021 em HF; 18/01/2021 a 21/06/2021 em HC; 19/01/2021 a 20/07/2021 em HA). Humidade da barriga da cortiça (média  $\pm$  erro padrão) de cada propriedade, calculada a partir da totalidade da população amostrada em cada propriedade.

A humidade da barriga da cortiça do par de árvores pertencente às mesmas 10 parcelas estudadas para cada propriedade de Coruche, foi utilizada para comparar a variação do teor de humidade da barriga da cortiça das três propriedades com a variação do PAP das árvores das mesmas propriedades (Figura 27).

Neste caso, a humidade da barriga da cortiça das três propriedades de Coruche, apresentou um padrão de variação ao longo do período de medição de forma geral semelhante ao verificado anteriormente (Figura 26).

O maior incremento da humidade da barriga da cortiça na propriedade HA, ocorreu na mesma data em que se observou o maior incremento no PAP das árvores da propriedade HA, a 21 de junho (Figura 27). Mas é interessante verificar que, em geral, nem sempre a variação na humidade da cortiça da barriga segue de perto a variação nos acréscimos de PAP.

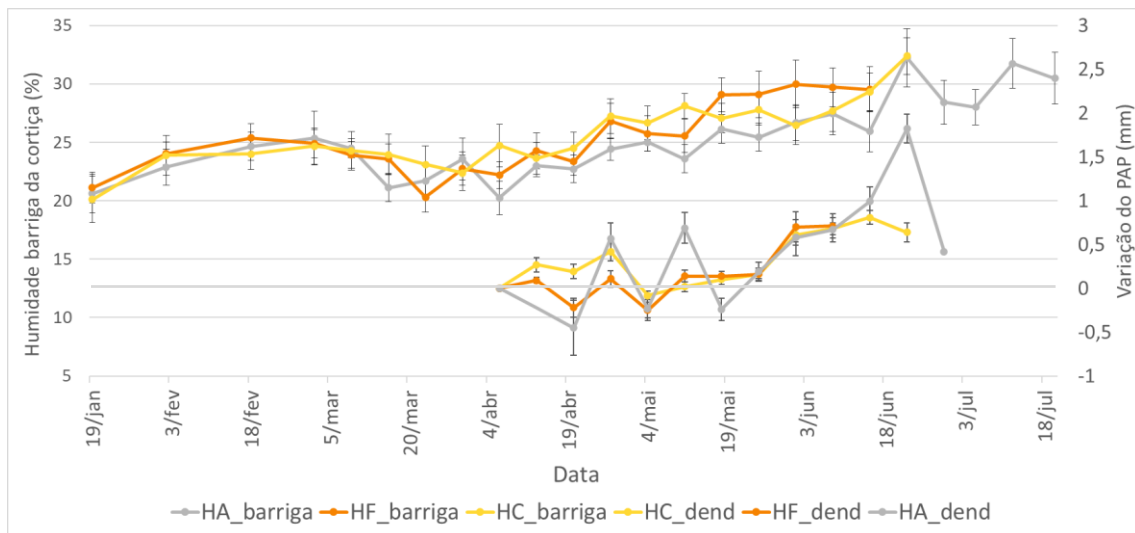


Figura 27- Variação da umidade da barriga da cortiça (%) das três propriedades de Coruche (HA, HC e HF), ao longo do período de recolha de amostras de cortiça em cada propriedade, (18/01/2021 a 14/06/2021 em HF; 18/01/2021 a 21/06/2021 em HC; 19/01/2021 a 20/07/2021 em HA). Umidade da barriga da cortiça (média  $\pm$  erro padrão) de cada propriedade, calculada a partir do par de árvores correspondente às mesmas parcelas utilizadas no resto do estudo. Variação média  $\pm$  erro padrão do PAP (mm) das três propriedades de Coruche (representadas na parte inferior do gráfico), durante o período de recolha de dados dendrométricos do estudo em Coruche (1/04/2021 a 26/06/2021).

## Efeito do clima

O teor de umidade da barriga da cortiça das três propriedades de Coruche, apresentou correlações positivas estatisticamente significativas, com todas as variáveis climáticas de temperatura (Tmax, Tmean, Tmin, T\_7d), e com a precipitação cumulativa desde outubro de 2020 (Pcum), e VPD (Tabela 7). As variáveis climáticas P\_7d e HR apresentaram as correlações mais fracas, sem significância estatística. O GDD, T\_7d, e Pcum apresentaram as correlações positivas estatisticamente mais significativas.

Tabela 7- Coeficientes de correlação da variação do teor de umidade da barriga da cortiça (%) das árvores das três propriedades de Coruche com as variáveis climáticas, e respetivos níveis de significância, e número das amostras (N). \*\* Nível de significância da correlação < 0.01 (2-tailed).

Correlação de Spearman	Tmáx	Tmean	Tmin	T_7d	Pcum	P_7d	HR (%)	VPD	GDD
Coeficiente de correlação	0,178**	0,257**	0,176**	0,304**	0,271**	-0,01	-0,08	0,081**	0,330**
Sig. (2-tailed)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,790	0,000	0,000	0,000
N	2621	2621	2621	2621	2621	2621	2621	2621	2621

A regressão linear múltipla permitiu identificar as variáveis climáticas GDD ( $\beta = 0,378$ ;  $t(2618) = 18,09$ ;  $p < 0,001$ ), e VPD ( $\beta = -0,083$ ;  $t(2618) = -3,961$ ;  $p < 0,001$ ) como preditores significativos da variabilidade do teor de humidade da barriga da cortiça. O nosso modelo final ajustado fica então teor de humidade da barriga da cortiça  $y = 22,333 + 0,006 * GDD - 8,266 * VPD$ . Este modelo é altamente significativo no entanto só explica uma pequena proporção (11,9%) da variabilidade do teor de humidade da barriga da cortiça, ( $R = 0,346$ ;  $F(2; 2618) = 177,795$ ;  $p < 0,001$ ).

# Discussão

Neste estudo, acompanhámos ao longo de parte da estação de crescimento das árvores, a evolução do teor de humidade da barriga da cortiça, o *timing* e duração de alguns eventos fenológicos da copa do sobreiro, e o crescimento radial da árvore, relacionando-os entre eles e também com os dados climáticos disponíveis.

As condições edafoclimáticas das duas regiões estudadas, Coruche e VV, e também dentro de Coruche das diferentes propriedades evidenciaram os efeitos de diferenças no clima, solos, entre outros, e também de aspetos da fisiologia dos sobreiros expostos a condições diferentes. Neste trabalho, pretendemos compreender o efeito dos diferentes locais estudados, nomeadamente das condições climáticas (temperatura e precipitação), na data de ocorrência dos eventos fenológicos estudados. Assim como avaliar a existência de uma relação entre a mudança da folha do sobreiro e o crescimento do tronco e humidade da cortiça. E por fim, determinar o efeito dos fatores climáticos na humidade da barriga da cortiça do fim do Inverno até ao princípio do Verão.

## Fenologia

### Efeito da Propriedade

Verificou-se que a propriedade (i.e., o local) onde as árvores se encontram influenciou o *timing* dos eventos fenológicos. Em particular, verificou-se que o início do abrolhamento dos gomos, e da fenofase das folhas maduras, foi significativamente mais tardio na propriedade HC do que na propriedade HF. Estas diferenças na data de ocorrência dos eventos fenológicos entre propriedades, pode-se dever à influência dos fatores climáticos dos locais.

Na análise estatística da fenologia (dados APFC) das propriedades de Coruche, verificámos que o *timing* dos eventos fenológicos foi fortemente influenciado pelo GDD (graus dia de desenvolvimento), sendo a principal variável preditora selecionada (ca. 84% da variabilidade explicada pelo modelo de regressão). No nosso estudo, os valores médios do GDD do abrolhamento dos gomos das árvores das quatro propriedades (Tabela 2), foram superiores aos observados em Lobo-do-Vale et al. (2019), mas dentro do intervalo de valores apresentados em Sampaio et al., (2016).



Estes estudos (Lobo-Do-Vale et al., 2019; Sampaio et al., 2016) verificaram também que a variável GDD foi o principal preditor da data de abrolhamento dos gomos. As temperaturas mínimas de Inverno, em anos secos, resultaram também numa data de abrolhamento dos gomos mais tardia (Lobo-Do-Vale et al., 2019).

No nosso estudo, ao contrário do esperado, as temperaturas mínimas nos meses antecedentes ao abrolhamento dos gomos foram superiores nas propriedades HC, HA e VV comparativamente a HF. No entanto, HF apresentou as temperaturas máximas durante os meses antecedentes ao abrolhamento mais elevadas que nas outras as propriedades.

Além do GDD, nenhuma das outras variáveis climáticas estudadas (Pcum, P\_7d, Tmáx, Tmin, Tmean, T\_7d, VPD e HR) foi selecionada como preditor significativo para a variação da fenologia. No entanto, também é importante ter em consideração que as estações meteorológicas utilizadas para obter os dados climáticos para cada propriedade, não se encontram dentro das propriedades (exceto em VV), podendo este facto também ter influenciado os resultados.

No estudo realizado por Sampaio et al. (2016), verificou-se que para além do GDD, a origem geográfica (i.e, proveniência) dos sobreiros também teve um efeito significativo na data de abrolhamento dos gomos. Assim, a data de abrolhamento do sobreiro também poderá ser determinada por fatores genéticos que determinem diferentes necessidades em temperatura (por exemplo, da temperatura de base) para o início do abrolhamento dos gomos, o que também poderá explicar parcialmente os resultados obtidos.

A data final de ocorrência da fenofase folhas maduras, indica o final da renovação das copas. Estando a data de abrolhamento dos gomos associada ao início da renovação da copa, é de esperar que, tendo o abrolhamento dos gomos na propriedade HC ocorrido significativamente mais tarde que na propriedade HF, também a fenofase folhas maduras ocorrerá significativamente mais tarde na propriedade HC. Isto também é suportado pelo facto da duração dos eventos fenológicos não ter sido significativamente diferente entre propriedades.

#### Efeito do tratamento

O ensaio de VV, realizado no mesmo sítio, mas com a imposição de tratamento de seca e de competição com a esteva podem ser uma oportunidade para testar o efeito da disponibilidade de água nas variáveis estudadas neste trabalho. Assim, os tratamentos, de seca e presença da esteva, não influenciaram a fenologia das árvores. Este resultado, confirma que o GDD (baseado na temperatura

máxima e mínima), é o principal preditor das variações da fenologia (ca. 84% da variabilidade explicada pelo modelo de regressão APFC) e que a disponibilidade em água parece não ter tido uma influência determinante nos eventos fenológicos estudados.

Apesar da competição com a esteva e seca induzida não causarem diferenças significativas na fenologia, pudemos observar algumas tendências entre os tratamentos. Em particular, no tratamento de seca e esteva (Vseca\_esteva), observou-se uma pequena antecipação na data de ocorrência dos eventos fenológicos face aos restantes tratamentos. Também no tratamento ambiente (VVamb) a data de ocorrência das fenofases abrolhamento dos gomos e desenvolvimento das folhas foi ligeiramente mais tardia que nos restantes tratamentos

Em resumo, os resultados do nosso estudo, estão de acordo com os resultados dos estudos referidos anteriormente, tendo-se constatado que o GDD foi o fator que mais influenciou a fenologia. Ainda assim, observou-se também que o GDD, só explicou 84% da variabilidade da fenologia entre propriedades, sendo preciso ter em conta outros fatores como por exemplo diferenças genéticas.

O intervalo de amostragem entre observações da fenologia das árvores no nosso estudo também pode ter influenciado os resultados obtidos. De facto, certas fenofases têm uma duração muito curta, podendo isto resultar no registo da ocorrência do evento fenológico numa data posterior à data real de ocorrência. A distância das propriedades às estações meteorológicas utilizadas, apesar de terem sido selecionadas as estações disponíveis mais próximas de cada propriedade, a proximidade de corpos de água e topografia do terreno podem levar a discrepâncias entre os valores registados na estação, e os valores nos locais de estudo.

## Folhada

### Efeito da Propriedade

A propriedade à qual as árvores pertencem influenciou significativamente o peso total da folhada das árvores. Em particular, a folhada total caída das árvores da propriedade HC foi significativamente superior à das restantes propriedades de Coruche. A folhada em conjunto com a área foliar específica (SLA) permite determinar área foliar de cada árvore (Fang et al., 2019; Lobo-Do-Vale et al., 2019). Assim, apesar de não termos avaliado o SLA, estes resultados parecem indicar que as árvores de HC teriam um índice de área foliar (LAI) superior aos das árvores nas outras propriedades.

Nas três propriedades de Coruche não foi possível observar o início da fenofase senescência das folhas, tendo a recolha da folhada começado a ser feita em simultâneo nas três propriedades de Coruche a 12 de abril, data em que o abrolhamento dos gomos já estava a decorrer nas três propriedades. Isto também é suportado pela observação do maior declive de acumulação da folhada nas primeiras semanas de recolha de folhada.

No entanto, foi possível observar o fim da fenofase da senescência das folhas, coincidindo sensivelmente com a data final da fenofase desenvolvimento das folhas. No caso de VV, apesar de não se ter observado o início da fenofase senescência das folhas, não se observou a mesma diminuição no declive do peso cumulativo da folhada.

Num estudo realizado sobre o efeito da seca na duração da estação de crescimento (Lobo-do-Vale et al., 2019), verificou-se que a duração do período de senescência das folhas foi significativamente superior, num ano de seca. Neste estudo, a senescência das folhas foi a fenofase mais longa do estudo, terminando após o período de crescimento dos novos lançamentos e do tronco finalizar. No entanto, nas observações correspondentes a um ano ameno, o período de senescência das folhas foi mais curto, tendo a senescência das folhas cessado enquanto o período de crescimento dos novos lançamentos ainda estava a decorrer. O padrão do período de senescência das folhas nas propriedades de Coruche parece enquadrar-se com o descrito no estudo anterior para anos amenos (Lobo-do-Vale et al. 2019), tendo terminado sensivelmente quando o desenvolvimento das novas folhas terminou. Por outro lado, o padrão da senescência das folhas em VV apresenta semelhanças ao descrito para anos de seca (Lobo-do-Vale et al. 2019). No nosso estudo, a recolha de dados terminou antes de ser possível observar o fim do período de senescência das folhas e do crescimento do tronco. No entanto, pudemos constatar que em VV a fenofase senescência das folhas ainda estava a decorrer quando a fenofase desenvolvimento das novas folhas terminou. A semelhança observada no padrão de queda de folhada em VV com o padrão de um ano de seca (Lobo-do-Vale et al. 2019), pode talvez ser explicado por VV se encontrar numa zona mais continental e quente, de solos xistosos, pobres e delgados (Caldeira et al., 2015; Haberstroh et al., 2021; Paulo et al., 2015) onde as árvores se encontram provavelmente sujeitas a maior nível de stresse.

Efeito da seca e presença de esteva

Em VV, o tratamento de seca e esteva não teve um efeito significativo sobre a queda da folhada das árvores, apesar dos tratamentos de seca e esteva e esteva terem tido uma menor queda de folhada.

À semelhança do que foi observado para o tratamento VVamb também para os outros tratamentos, não foi possível observar o início e o final da fenofase senescência das folhas. Também da mesma forma, o padrão do período de queda da folhada das árvores estudadas em VV, parece corresponder ao padrão de senescência das folhas de um ano de seca (Lobo-do-Vale et al. 2019). Em VV, também não foi possível observar o fim do período de crescimento do tronco em nenhum dos tratamentos. No entanto, constatou-se que nos quatro tratamentos, o período de senescência das folhas ainda estava a decorrer quando a fenofase desenvolvimento das folhas terminou.

A perda de uma maior quantidade de folhada durante um intervalo de tempo mais longo, pode ser um mecanismo de resposta do sobreiro à seca, pois através da abscisão das folhas mais velhas, as árvores previnem a perda de água e/ou como uma estratégia de conservação de azoto (Lobo-do-Vale et al. 2019). De facto, no nosso estudo, para além da maior duração da senescência das folhas, o peso cumulativo final da folhada dos quatro tratamentos de VV, foi superior ao peso cumulativo final da folhada das três propriedades de Coruche.

O peso total da folhada foi superior no tratamento VVamb, seguido de VVseca, VVesteva e finalmente VVseca\_esteva. Este gradiente de peso total de folhada parece corresponder ao crescente gradiente de stresse a que as árvores estão sujeitas ao longo dos mesmos tratamentos (Haberstroh et al., 2021). Resultados semelhantes sobre o efeito da seca foram obtidos por outros autores (Besson et al., 2014; Haberstroh et al., 2021). A seca pode causar a diminuição do LAI e também do SLA (Besson et al. 2014), efeitos esses que podem ser exacerbados pelo efeito da competição de arbustos como a esteva (Lecomte et al. 2022, Haberstroh et al. 2021). No trabalho de Haberstroh et al. (2021) houve uma influência negativa do tratamento esteva sobre o LAI e SLA dos sobreiros, independentemente de haver ou não efeito da seca. Este efeito pode ser observado no peso cumulativo da folhada, pois com um LAI e SLA menor é de esperar que o peso cumulativo da folhada seja também menor.

Em VV, o pico de senescência das folhas ocorreu a meio de maio, sensivelmente na mesma altura nos tratamentos VVamb, VVseca e VVesteva, que corresponde a metade do período amostrado. O pico de senescência das folhas, no tratamento VVseca\_esteva ocorreu a 7 de maio, um pouco mais de uma semana mais cedo que nos restantes tratamentos, sugerindo que a queda das folhas neste tratamento foi superior na primeira metade do período estudado. As respostas fisiológicas das plantas a stress ambientais são frequentemente não lineares (Haberstroh et al. 2021).

## Crescimento Radial

### Efeito da Propriedade

O crescimento radial avaliado neste estudo, resulta da variação do PAP, que inclui o crescimento da cortiça, ou seja, resulta principalmente dos incrementos radiais do lenho e cortiça, graças à atividade dos dois tecidos merismáticos responsáveis pelo crescimento secundário (felogene e câmbio vascular). No entanto, foi referido por Costa et al. (2002) que o crescimento radial da cortiça é responsável, em média, por 74% do crescimento radial da árvore.

Neste estudo, nos resultados obtidos, a propriedade não teve um efeito significativo no crescimento radial total das árvores (Tabela 3). No entanto, observaram-se correlações positivas e significativas com variáveis relacionadas com a temperatura, incluindo o GDD e a precipitação cumulativa (Pcum). Destas, a correlação mais positiva e significativa foi com o GDD. A correlação significativa com a Pcum mostra que a precipitação também tem um efeito positivo no crescimento radial. A seleção do melhor modelo preditivo (regressão linear múltipla) permitiu confirmar a importância do GDD mas também do VPD como os melhores preditores do crescimento radial das árvores das quatro propriedades, explicando 24,4%, com um elevado nível de significância ( $p < 0,001$ ).

No sobreiro, a temperatura exerce uma influência positiva no crescimento radial, no começo da estação de crescimento. Nesta fase, verifica-se a reativação do período de atividade da felogene, e câmbio vascular, pós-dormência (até abril). No entanto, com o aumento das temperaturas no fim da Primavera e durante o Verão, a influência da temperatura pode tornar-se negativa ao longo da fase principal do crescimento radial (maio a agosto) (Oliveira et al., 2016). Ainda assim, Costa et al. (2002), em sobreiros na região das leziras com acesso ao lençol freático, observaram uma correlação negativa entre o crescimento radial durante a Primavera e a temperatura durante o mês anterior ou corrente. Como já discutido, temperaturas mais altas desde o início do ano até à primavera, promovem o início dos eventos fenológicos da copa, nomeadamente o abrolhamento dos gomos e desenvolvimento de novas folhas. A seleção do GDD como variável preditora mais importante reflete muito provavelmente a associação ao abrolhamento dos gomos (Sampaio et al., 2016), que por sua vez reflete o aparecimento das novas folhas e a renovação da copa, resultando num aumento na produção de fotoassimilados, mas também de hormonas produzidas nas novas folhas como as auxinas que quando transportadas e concentradas no câmbio vascular, e felogene, originam um incremento da atividade destes meristemas, e maior crescimento secundário (Buttò et al., 2020). E de facto, nas três

propriedades de Coruche, observou-se claramente, um crescimento radial cumulativo afetado pelo abrolhamento dos gomos durante o mês de abril (Figura 23). Observações semelhantes foram feitas por outros autores (Costa et al., 2002). Em Mendes et al. (2016), constatou-se que em sobreiros com acesso permanente a águas subterrâneas, incluindo durante a estação seca ou em anos de seca, o índice de crescimento da cortiça foi influenciado por alterações no nível das águas subterrâneas, mas simultaneamente observou-se uma maior independência do crescimento da cortiça face ao regime de precipitação. No mesmo estudo, constatou-se que sobreiros em condições contrastantes, onde o acesso consistente a águas subterrâneas não se verificou, o índice de crescimento da cortiça apesar de ser também influenciado por alterações no nível das águas subterrâneas, apresentou uma maior reatividade ao regime de precipitação (Mendes et al., 2016).

Os sobreiros das propriedades de Coruche têm geralmente acesso a lençóis freáticos, por estes não serem muito profundos e por os solos serem arenosos, que permitem o desenvolvimento sem restrições, do sistema radicular dimórfico, presente nestas espécies, possibilitando assim acesso às águas subterrâneas durante a estação seca (David et al., 2013). Na propriedade VV, as árvores encontram-se em solos pouco desenvolvido, com xisto como rocha-mãe dominante, raramente excedendo 0,4 m de profundidade (Caldeira et al. 2015, Haberstroh et al. 2021), e assim com menor disponibilidade em água, o que pode ter determinado também os menores crescimentos radiais.

No entanto, no período em análise neste trabalho, a disponibilidade de água não aparentou ser um fator limitante para o crescimento radial, pois o período de estudo finalizou-se no fim da Primavera antes da temperatura e VPD aumentarem de forma a provocarem o encerramento dos estomas (Besson et al. 2014), e a uma diminuição dos incrementos no crescimento radial, devido a condições de seca severa como é normalmente observado em agosto (Costa et al., 2002). Apesar disto, o VPD foi incluído no modelo, mas com um efeito positivo no crescimento radial contrariamente ao que seria de esperar (Besson et al., 2014). Isto justifica-se provavelmente, por o VPD estar positivamente relacionado com a transpiração das árvores enquanto a disponibilidade de água for elevada, e não houver controlo estomático da transpiração (Besson et al., 2014; David et al., 2013). A correlação positiva observada entre o crescimento radial e a precipitação acumulada também reforçam a importância da disponibilidade em água para o crescimento radial.

Os valores observados no nosso estudo para o crescimento radial total médio estão ligeiramente abaixo da gama de valores observados para a espécie (Costa et al. 2002). Os incrementos radiais atingem os seus valores mais elevados após a remoção da cortiça, diminuindo gradualmente até atingir os valores mais baixos no final do ciclo de produção de cortiça, em que os incrementos podem ser de apenas 0,41cm por ano (Costa et al., 2003). No nosso caso, é de esperar que os valores sejam mais

baixos por as árvores se encontrarem em fim de ciclo de crescimento, e por a recolha de dados ter terminado enquanto a fase principal do crescimento radial estava a decorrer.

Efeito da seca e presença de esteva

Em VV, o crescimento radial total entre tratamentos não apresentou diferenças significativas, tendo o maior crescimento radial total sido observado no tratamento VVseca, seguido de VVamb, VVesteva, e VVseca\_esteva (Tabela 5). Na análise estatística sobre a influência das variáveis climáticas no crescimento das árvores de VV sujeitas aos quatro tratamentos, o GDD apresentou uma correlação positiva com o crescimento radial, como seria de esperar pois as árvores dos diferentes tratamentos encontram-se sujeitas a condições de temperatura semelhantes. No entanto, neste caso, a precipitação cumulativa desde outubro 2020, e P\_7d (precipitação cumulativa nos 7 dias antecedentes às observações), apresentaram uma correlação significativa com a variação do crescimento radial, o que mostra claramente a importância da precipitação e disponibilidade em água para o crescimento radial das árvores.

Na regressão linear múltipla, o modelo que melhor explicou a variação do crescimento radial dos quatro tratamentos de VV, foi o modelo com as variáveis climáticas, P\_7d, GDD como os melhores preditores, explicando apenas 12,8%, com um elevado nível de significância ( $p < 0,001$ ), da variabilidade do crescimento radial dos tratamentos de VV. Apesar da variável GDD ter sido considerada neste modelo o coeficiente de regressão tem um valor baixo.

Como já foi referido, as características do solo em VV (Haberstroh et al. 2021), podem restringir o desenvolvimento do sistema radicular dimórfico (David et al. 2013; Besson et al 2014), não permitindo uma exploração tão eficaz (como em Coruche) das reservas de água subterrâneas, durante a estação seca. Como tal, espera-se que estas árvores exibam uma maior reatividade ao regime de precipitação, evidenciando a capacidade de sobreiros sobre condições semelhantes de tomarem partido, da precipitação durante a estação de crescimento corrente (Mendes et al., 2016). Assim sendo, a correlação mais baixa e de menor significância com a Precipitação cumulativa desde outubro 2020, comparativamente com a P\_7d, pode ser evidência da maior reatividade ao regime de precipitação dentro da estação de crescimento corrente, e da maior influência que a disponibilidade de água tem no crescimento radial dos sobreiros de VV.

As árvores dos quatro tratamentos de VV, apresentaram um padrão semelhante de variação do PAP, durante o período de análise (Figura 24). Na fase inicial do crescimento radial, em abril, verificou-se o

maior volume de precipitação cumulativa e, também a presença de novas folhas em desenvolvimento na copa, que pela produção de hormonas estão associadas ao fim da dormência do crescimento secundário (Buttò et al., 2020), mas também à produção de fotoassimilados necessários ao crescimento radial.

Durante a Primavera, os valores máximos de crescimento radial, na variação do PAP das árvores, foram superiores, no tratamento VVseca, seguido por VVamb, VVesteva e finalmente VVseca\_esteva. Os menores incrementos radiais nas árvores dos tratamentos sujeitos à competição com esteva, e simultaneamente o facto do maior crescimento ter sido observado nas árvores do tratamento VVseca, pode suportar a hipótese que os efeitos da competição com a esteva têm maior influência sobre o funcionamento da árvore, independentemente de haver ou não efeito da seca (Haberstroh et al. 2021), tendo o efeito da seca em combinação com a competição com a esteva exacerbado, os efeitos limitantes sobre o crescimento radial.

O início de maio, marcou a entrada das árvores na fase principal do crescimento radial, observando-se um aumento gradual do crescimento radial até à data final do estudo, para as árvores dos tratamentos VVamb, VVseca e VVesteva. No tratamento VVseca\_esteva, até ao final de maio, o crescimento radial foi quase nulo, tendo-se apenas observado incrementos significativos a partir de junho. O mês de maio em VV apresentou valores de precipitação cumulativa consideravelmente mais baixos que as normais climáticas para a região, e temperaturas relativamente mais altas que as normais climáticas para região. Como tal, é possível que a exclusão de 45% da chuva (tratamento seca), e a competição com a esteva, concomitantemente com as temperaturas mais altas, tenham levado a que a água disponível no solo durante este período se tornasse mais rapidamente num fator limitante do crescimento que nos restantes tratamentos, estando este resultado de acordo com o efeito amplificador deste tratamento, que foi observado para a espécie durante a estação seca (Haberstroh et al. 2021).

A precipitação cumulativa para o mês de junho na propriedade VV, foi ligeiramente superior às normais climáticas mensais para a região, e a temperatura apresentou valores semelhantes aos observados nas normais climáticas. Durante este período só foram realizadas duas observações, uma no início do mês e outra no início de julho, marcando o final do estudo. Neste intervalo de tempo observou-se um aumento do declive da variação do PAP das árvores dos quatro tratamentos, correspondendo a um incremento do crescimento radial neste período. Recorde-se que as espécies mediterrâneas aproveitam todas as condições ambientais favoráveis para a assimilação de carbono e crescimento, tendo-se observado que os sobreiros apresentam maiores taxas de assimilação de carbono enquanto a água não é um fator limitante (Lobo-do-Vale et al. 2019). Como tal, após um mês de maio mais



severo, este aumento do crescimento radial, pode ser o resultado, do aproveitamento pelas árvores das condições mais favoráveis que ocorreram durante este mês, juntamente com o efeito do aumento da concentração de auxinas no câmbio vascular (e felogene), que atinge os seus valores máximos neste período (Buttò et al., 2020). O crescimento máximo neste período está em concordância com o que já foi observado para a espécie por outros autores (Costa et al. 2002).

No final do ciclo de produção de cortiça, há evidência que as árvores reduzem a alocação de fotoassimilados para a produção de novas camadas de cortiça, o que poderá originar um impacto relativamente menor da seca no crescimento da cortiça durante esse período (Costa et al., 2016). Podendo assim, o facto de este estudo ter sido realizado no final do ciclo de produção de cortiça, contribuído para a mitigação dos efeitos que se esperaria que fossem sentidos nos tratamentos VVamb, VVseca e VVesteva, durante um mês de maio mais severo. Assim, o maior crescimento radial das árvores do tratamento VVseca pode estar associado a uma estratégia de alocação de recursos diferente (por exemplo, maior investimento nas raízes) das dos outros tratamentos.

## Humidade da Cortiça

A barriga da cortiça é a porção interior da cortiça (metade interior da amostra de cortiça), que se encontra em contacto com o tecido merismático responsável por produzir novas células de cortiça, o felogénio (Oliveira et al., 2016). As costas da cortiça é a metade exterior, composta principalmente por células mais velhas, lenhificadas (Lopes et al., 2020), com menores teores de humidade. O descortiçamento é habitualmente feito no período de maior atividade do câmbio da cortiça (felogénio), quando a produção de novas células é maior, juntamente, com um maior teor de humidade na barriga da cortiça, facilitando a remoção da camada de cortiça sem que se cause dano à árvore (Pereira 2007, Costa-e-Silva et al., 2021).

Neste trabalho, o local onde as árvores se encontram influenciou o teor de humidade da barriga da cortiça. O teor de humidade da barriga da cortiça das árvores da propriedade HC foi significativamente menor que o das propriedades HF e HA. Esta resposta parece corresponder a diferenças nas condições edafo-climáticas e possivelmente genéticas já discutidas também anteriormente.

Neste trabalho, as correlações do teor de humidade da barriga da cortiça com as variáveis climáticas, mostraram uma dependência da temperatura, sendo a correlação mais forte com o GDD, seguida pela temperatura média dos últimos 7 dias (P\_7d) e também pela precipitação acumulada. O modelo preditivo reteve como preditores da variabilidade do teor de humidade da barriga da cortiça, o GDD e

VPD, explicando apenas 11,9%, mas com um elevado nível de significância ( $p < 0,001$ ). O GDD é a variável com maior peso no modelo, tendo a inclusão do VPD alterado apenas marginalmente o poder explicativo, tendo sido observada uma correção muito baixa ( $R = 0,081$ ) entre o VPD e a variação do teor de humidade da barriga. A influência do GDD na variação da humidade da barriga da cortiça pode dever-se ao efeito que o GDD tem sobre o abrolhamento dos gomos, e a subsequente relação com a reativação da atividade do câmbio vascular, e felogénio, pós-dormência do Inverno (Oliveira & Costa, 2012). Em Lopes et al. (2020) é constatado o efeito regulatório de algumas hormonas, sobre a atividade do felogénio. Como já discutido, e verificado também noutros trabalhos (Sampaio et al., 2016) observou-se uma associação do GDD com a data de abrolhamento dos gomos e fenologia geral do sobreiro, tendo as novas folhas, resultantes da renovação da copa do sobreiro, um papel importante no aumento da produção de fotoassimilados, e aumento na produção de hormonas, como as auxinas, que serão subsequentemente transportados para o câmbio vascular (Buttò et al., 2020) e felogénio. De facto, o aumento da concentração destas hormonas no câmbio está associado ao fim da dormência dos tecidos merismáticos responsáveis pelo crescimento secundário, e aumento da taxa de crescimento radial (Buttò et al., 2020). Os efeitos das hormonas têm sido principalmente estudados relativamente à atividade do câmbio vascular, mas existe pouca informação sobre o efeito na felogene, que tem particular interesse no caso da cortiça.

A correlação do teor de humidade da cortiça com as variáveis da temperatura (p. ex, temperatura mínima, máxima) está de acordo com a incorporação do GDD no modelo pois esta variável é calculada com base nas temperaturas máxima e mínima. O teor da humidade da cortiça também está correlacionado com a precipitação acumulada e de forma mais fraca ao VPD.

A precipitação durante os meses de novembro e dezembro foi observada como tendo sempre um efeito positivo no crescimento da cortiça durante a estação de crescimento subsequente, refletindo a capacidade de armazenamento da água no solo (Oliveira et al., 2016). Assim, o tipo de solo poderá influenciar o crescimento da cortiça ao afetar a disponibilidade em água das árvores, assim como a capacidade destas a captarem através das raízes, particularmente o desenvolvimento de raízes profundas, e conseqüente acesso a águas subterrâneas (Oliveira et al. 2016).

No nosso estudo, observaram-se precipitações cumulativas mensais inferiores às normais climáticas, nos meses de novembro e dezembro, nas propriedades HC e HF, e em novembro, na propriedade HA. Esta diferença pode ser justificada, como já foi referido anteriormente, pelo tipo de solo, que poderá permitir que as árvores nas propriedades HF e HC tenham um melhor estado hídrico que na propriedade HA. Nesta propriedade, parte das árvores estão localizadas em zonas mais declivosas que podem tornar o acesso à água e desenvolvimento do sistema radicular mais difícil.

A variação do teor de humidade da barriga da cortiça das árvores nas três propriedades de Coruche (população total de árvores, invés das 30), apresentou um padrão semelhante entre as propriedades (Figura 26). Observaram-se duas fases principais na variação da humidade da barriga da cortiça, uma primeira fase de janeiro até meio/final de março, e uma segunda fase do início de abril até ao final do estudo.

Durante a primeira fase, não se observou uma tendência clara de aumento da humidade da cortiça, possivelmente por ainda não ter ocorrido a reativação pós dormência dos meristemas responsáveis pelo crescimento secundário, nomeadamente da felogene, cuja atividade poderá afetar a humidade da barriga da cortiça. Nesta fase, o teor de humidade da barriga da cortiça aumentou de janeiro para fevereiro, com um subsequente decréscimo de fevereiro para março, que parece ter seguido o padrão da precipitação nesses meses. Nas três propriedades de Coruche, a precipitação nos meses de janeiro e março situou-se abaixo das normais climáticas e a de fevereiro situou-se acima.

A segunda fase, teve início aparentemente mais cedo nas árvores da propriedade HC, a 18 de março, e de seguida nas propriedades HF e HA, no fim de março. Este período coincidiu com o início dos eventos fenológicos na copa do sobreiro, e por isso com o período em que ocorreu a reativação da atividade do câmbio vascular, e felogénio, pós-dormência do Inverno (Oliveira & Costa, 2012).

Durante a segunda fase, o teor de humidade da barriga da cortiça apresentou uma tendência de crescimento aproximadamente linear até serem atingidos os valores máximos de humidade da barriga da cortiça de 33 % e 33,5 %, a 22 de junho nas propriedades HC e HA, e 29,7% a 7 de junho na propriedade HF. Simultaneamente nesta segunda fase, a variação do teor de humidade da barriga da cortiça, não aparentou ser afetada de nenhuma maneira significativa por variações do clima. No entanto, a proximidade das propriedades, contribui para que as condições sobre as quais as árvores se encontram não difiram muito, tanto em termos de tipo de solo, como variações do clima. Possivelmente, se este acompanhamento tivesse sido feito entre sobreiros em locais mais distantes sob condições mais contrastantes, o efeito do clima nesta segunda fase da variação do teor de humidade da barriga da cortiça poderia ter sido mais evidente.

Pouco depois dos picos do teor de humidade da barriga da cortiça terem sido atingidos, as árvores das propriedades de Coruche foram descortiçadas. Se a recolha de dados tivesse continuado até mais tarde, poder-se-ia observar uma terceira fase, evidenciada pela variação do teor de humidade da barriga da cortiça nas propriedades HF, e HA. Tendo-se observado, particularmente na propriedade HA, uma diminuição no teor de humidade da barriga da cortiça, após ter sido atingido o máximo de teor de humidade da cortiça.

Após atingidos os valores máximos de crescimento, observa-se geralmente uma diminuição dos incrementos do crescimento radial da cortiça, consequência do efeito limitante da disponibilidade de água, e de temperaturas e VPD mais elevados, em associação com as estratégias da árvore para lidar com o stress hídrico, como o fecho dos estomas, e consequente diminuição na taxa de produção de fotoassimilados (Besson et al., 2014; Lobo-do-Vale et al., 2019).

Na comparação, da variação do teor de humidade da barriga da cortiça, com a variação dos acréscimos do PAP, para o mesmo grupo de árvores analisado em Coruche (Figura 27), observou-se que só a partir de meio de maio, é que os incrementos em crescimento radial se tornam claramente positivos enquanto o teor de humidade da cortiça já apresentava uma tendência positiva anteriormente. Esta observação parece indicar e reforçar que o teor de humidade da cortiça pode ser de facto indicador no funcionamento da felogene que só mais tarde se refletirá no crescimento radial, também resultante da atividade do câmbio vascular. No entanto, também é de notar que o teor de humidade da cortiça poderá afetar os valores dos acréscimos radiais, como parece ter acontecido por exemplo a 18 de junho para o tratamento HA.

## Conclusões

Este estudo, mostrou o efeito dos diferentes locais, e das diferentes condições climáticas (temperatura e precipitação), na data de ocorrência dos eventos fenológicos estudados. Os resultados observados confirmaram claramente a importância que as temperaturas máximas e mínimas (refletidas no GDD) que ocorrem nos meses antecedentes ao abrolhamento têm na fenologia do sobreiro, nomeadamente no abrolhamento dos gomos. Também se mostrou que a precipitação afeta positivamente alguns destes eventos, como o crescimento radial no início da primavera. A mudança da folha dos sobreiros, i.e., a finalização da renovação da copa coincidiu com o aumento da humidade da cortiça, seguindo-se o crescimento radial, provavelmente pelo aumento na produção de hormonas como as auxinas e de fotoassimilados.

Este estudo também mostrou que há uma relação entre a disponibilidade de água e a humidade da barriga da cortiça nos meses de inverno, antes do felogénio retomar maior atividade. Também se observou o possível efeito limitante do clima, nomeadamente disponibilidade em água, no teor de humidade da cortiça.

Este estudo beneficiaria de medições mais detalhadas e prolongadas assim como da inclusão de sítios mais contrastantes em termos climáticos para se poder verificar de forma mais clara o efeito das condições climáticas na humidade da cortiça.

Os intervalos de tempo irregulares entre observações na propriedade VV, e o facto de a recolha de dados ter começado já no início da estação de crescimento são alguns dos fatores que podem ter contribuído para resultados menos robustos. Também seria interessante acompanhar a evolução do teor de humidade da cortiça num ano em que não se proceda ao descortiçamento das árvores, de forma a que se identifique mais concretamente quando é que o pico de humidade da barriga da cortiça é atingido, e perceber melhor a sua relação com os restantes parâmetros fisiológicos estudados.

No entanto, este estudo mostrou o potencial da integração do conhecimento da variação do teor de humidade da cortiça para melhor entender como os parâmetros fisiológicos das árvores podem afetar a humidade da barriga da cortiça e conseqüentemente a altura mais favorável para se proceder ao descortiçamento das árvores. Este conhecimento é crítico para os proprietários florestais poderem gerir de melhor forma os seus recursos e planearem as suas campanhas de descortiçamento de forma eficiente. Também este conhecimento poderá permitir efetuar o descortiçamento na época e nas condições mais favoráveis, diminuindo o risco de feridas e de impactos negativos nas árvores.

## Referências bibliográficas

- Barriopedro, D., Fischer, E. M., Luterbacher, J., Trigo, R. M., & García-Herrera, R. (2011). The hot summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe. *Science*, *332*(6026), 220–224. <https://doi.org/10.1126/science.1201224>
- Besson, C. K., Lobo-do-Vale, R., Rodrigues, M. L., Almeida, P., Herd, A., Grant, O. M., David, T. S., Schmidt, M., Otieno, D., Keenan, T. F., Gouveia, C., Mériaux, C., Chaves, M. M., & Pereira, J. S. (2014a). Cork oak physiological responses to manipulated water availability in a Mediterranean woodland. *Agricultural and Forest Meteorology*, *184*, 230–242. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.10.004>
- Bugalho, M. N., Caldeira, M. C., Pereira, J. S., Aronson, J., & Pausas, J. G. (2011). Mediterranean cork oak savannas require human use to sustain biodiversity and ecosystem services. In *Frontiers in Ecology and the Environment* (Vol. 9, Issue 5, pp. 278–286). <https://doi.org/10.1890/100084>
- Buttò, V., Deslauriers, A., Rossi, S., Rozenberg, P., Shishov, V., & Morin, H. (2020). The role of plant hormones in tree-ring formation. In *Trees - Structure and Function* (Vol. 34, Issue 2, pp. 315–335). Springer. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01940-4>
- Caldeira, M. C., Lecomte, X., David, T. S., Pinto, J. G., Bugalho, M. N., & Werner, C. (2015). Synergy of extreme drought and shrub invasion reduce ecosystem functioning and resilience in water-limited climates. *Scientific Reports*, *5*. <https://doi.org/10.1038/srep15110>
- Correia, A. C., Costa-e-Silva, F., Dubbert, M., Piayda, A., & Pereira, J. S. (2016). Severe dry winter affects plant phenology and carbon balance of a cork oak woodland understory. *Acta Oecologica*, *76*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2016.07.004>
- Costa, A., Barbosa, I., Roussado, C., Graça, J., & Spiecker, H. (2016). Climate response of cork growth in the Mediterranean oak (*Quercus suber* L.) woodlands of southwestern Portugal. *Dendrochronologia*, *38*, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.03.007>
- Costa, A., Pereira, H., & Oliveira, A. (2001). A dendroclimatological approach to diameter growth in adult cork-oak trees under production. *Trees - Structure and Function*, *15*(7), 438–443. <https://doi.org/10.1007/s004680100119>
- Costa, A., Pereira, H., & Oliveira, Â. (2002). Influence of climate on the seasonality of radial growth of cork oak during a cork production cycle. *Annals of Forest Science*, *59*(4), 429–437. <https://doi.org/10.1051/forest:2002017>
- Costa, A., Pereira, H., & Oliveira, A. (2003). *Variability of radial growth in cork oak adult trees under cork production*.
- Costa-e-Silva, F., Correia, A. C., Pinto, C. A., David, J. S., Hernandez-Santana, V., & David, T. S. (2021). Effects of cork oak stripping on tree carbon and water fluxes. *Forest Ecology and Management*, *486*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118966>

- Coumou, D., & Rahmstorf, S. (2012). A decade of weather extremes. In *Nature Climate Change* (Vol. 2, Issue 7, pp. 491–496). <https://doi.org/10.1038/nclimate1452>
- David, T. S., Pinto, C. A., Nadezhkina, N., Kurz-Besson, C., Henriques, M. O., Quilhó, T., Cermak, J., Chaves, M. M., Pereira, J. S., & David, J. S. (2013). Root functioning, tree water use and hydraulic redistribution in *Quercus suber* trees: A modeling approach based on root sap flow. *Forest Ecology and Management*, 307, 136–146. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.012>
- de Lima, M. I. P., Santo, F. E., Ramos, A. M., & de Lima, J. L. M. P. (2013). Recent changes in daily precipitation and surface air temperature extremes in mainland Portugal, in the period 1941–2007. *Atmospheric Research*, 127, 195–209. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.10.001>
- De Vos, B., Cools, N., 2011. Second European forest soil condition report. Volume I: results of the BIOSOIL soil survey. INBO.R.2011.35. Research Institute for Nature and Forest, Brussel.
- Fang, H., Baret, F., Plummer, S., & Schaepman-Strub, G. (2019). An Overview of Global Leaf Area Index (LAI): Methods, Products, Validation, and Applications. In *Reviews of Geophysics* (Vol. 57, Issue 3, pp. 739–799). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1029/2018RG000608>
- García-Barreda, S., Sangüesa-Barreda, G., Madrigal-González, J., Seijo, F., González de Andrés, E., & Camarero, J. J. (2021). Reproductive phenology determines the linkages between radial growth, fruit production and climate in four Mediterranean tree species. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108493>
- Giorgi, F., & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63(2–3), 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>
- Gordo, O., & Sanz, J. J. (2010). Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. *Global Change Biology*, 16(3), 1082–1106. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02084.x>
- Graça, J., & Pereira, H. (2004). The periderm development in *Quercus suber*. In *IAWA Journal* (Vol. 25, Issue 3).
- Granda, E., Camarero, J. J., Gimeno, T. E., Martínez-Fernández, J., & Valladares, F. (2013). Intensity and timing of warming and drought differentially affect growth patterns of co-occurring Mediterranean tree species. *European Journal of Forest Research*, 132(3), 469–480. <https://doi.org/10.1007/s10342-013-0687-0>
- Gričar, J., Lavrič, M., Ferlan, M., Vodnik, D., & Eler, K. (2017). Intra-annual leaf phenology, radial growth and structure of xylem and phloem in different tree parts of *Quercus pubescens*. *European Journal of Forest Research*, 136(4), 625–637. <https://doi.org/10.1007/s10342-017-1060-5>
- Haberstroh, S., Caldeira, M. C., Lobo-do-Vale, R., Martins, J. I., Moemken, J., Pinto, J. G., & Werner, C. (2021). Nonlinear plant–plant interactions modulate impact of extreme drought and recovery on a Mediterranean ecosystem. *New Phytologist*, 231(5), 1784–1797. <https://doi.org/10.1111/nph.17522>
- ICNF, 2019. 6º Inventário Florestal Nacional - Relatório Final. Coord. J. S. Uva. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.

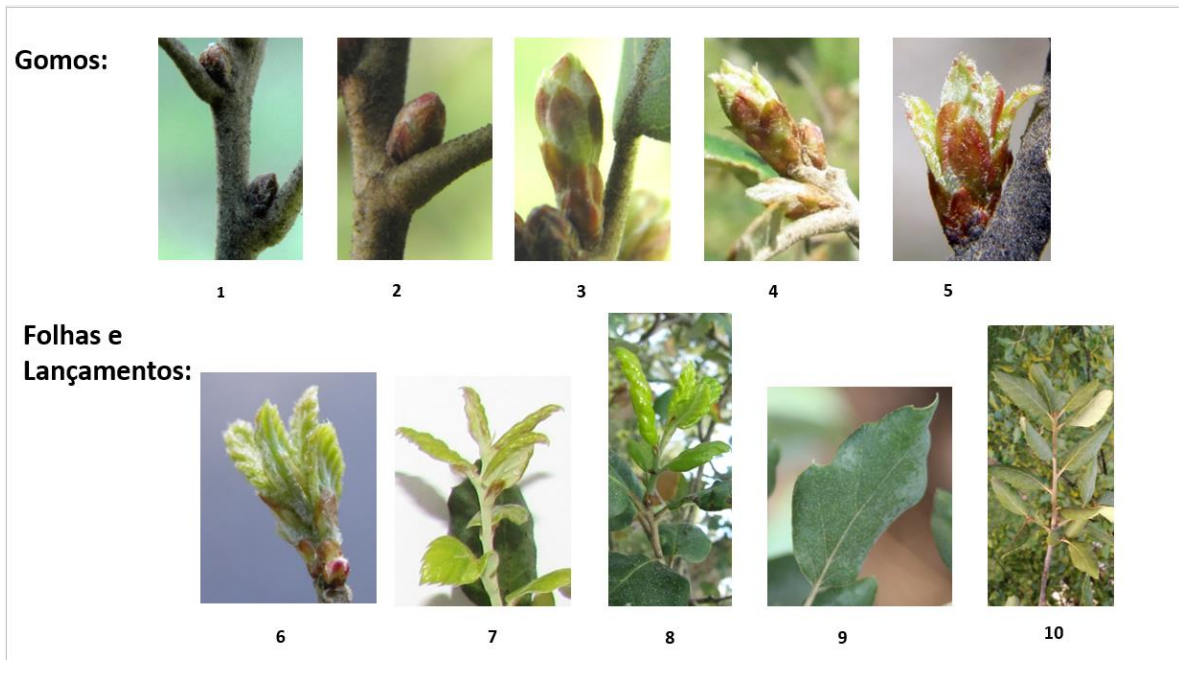
- ICNF, 2019. IFN6 - Principais Conclusões, Áreas dos usos e ocupações florestais do solo. Principais Resultados. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, Lisboa.
- IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
- Leal, S., Nunes, E., & Pereira, H. (2008). Cork oak (*Quercus suber* L.) wood growth and vessel characteristics variations in relation to climate and cork harvesting. *European Journal of Forest Research*, 127(1), 33–41. <https://doi.org/10.1007/s10342-007-0180-8>
- Lobo-Do-Vale, R., Kurz Besson, C., Conceição Caldeira, M., Manuela Chaves, M., & Pereira, J. S. (2019). Drought reduces tree growing season length but increases nitrogen resorption efficiency in a Mediterranean ecosystem. *Biogeosciences*, 16(6), 1265–1279. <https://doi.org/10.5194/bg-16-1265-2019>
- Lopes, S. T., Sobral, D., Costa, B., Perdiguero, P., Chaves, I., Costa, A., & Miguel, C. M. (2020). Phellem versus xylem: Genome-wide transcriptomic analysis reveals novel regulators of cork formation in cork oak. *Tree Physiology*, 40(2), 129–141. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpz118>
- Mendes, M. P., Ribeiro, L., David, T. S., & Costa, A. (2016). How dependent are cork oak (*Quercus suber* L.) woodlands on groundwater? A case study in southwestern Portugal. *Forest Ecology and Management*, 378, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.024>
- Miranda, P. M. A., Valente, M. A., Trigo, R., Fátima, M., Coelho, E. S., Aguiar, A., & Azevedo, E. B. (n.d.). 2 O clima de Portugal nos séculos XX e XXI *The Portuguese climate in the 20 th and 21 st centuries*.
- Oliveira, G., & Costa, A. (2012). How resilient is *Quercus suber* L. to cork harvesting? A review and identification of knowledge gaps. In *Forest Ecology and Management* (Vol. 270, pp. 257–272). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.01.025>
- Oliveira, V., Lauw, A., & Pereira, H. (2016). Sensitivity of cork growth to drought events: insights from a 24-year chronology. *Climatic Change*, 137(1–2), 261–274. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1680-7>
- Paulo, J. A., Palma, J. H. N., Gomes, A. A., Faias, S. P., Tomé, J., & Tomé, M. (2015). Predicting site index from climate and soil variables for cork oak (*Quercus suber* L.) stands in Portugal. *New Forests*, 46(2), 293–307. <https://doi.org/10.1007/s11056-014-9462-4>
- Peñuelas, J. (2009). Phenology feedbacks on climate change. In *Science* (Vol. 324, Issue 5929, pp. 887–888). American Association for the Advancement of Science. <https://doi.org/10.1126/science.1173004>
- Pereira (2007). Cork Biology Production and Uses. DOI. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52967-1.X5000-6>
- Pereira, J. S., Pausas, J. U. G., & Aronson, J. (n.d.). *Cork Oak Woodlands on the Edge Society for ecological reStoration international the Science and Practice of ecological reStoration Advance praise for Cork Oak Woodlands on the Edge*. [www.islandpress.org](http://www.islandpress.org)



- Pereira, S. C., Carvalho, D., & Rocha, A. (2021). Temperature and precipitation extremes over the Iberian peninsula under climate change scenarios: A review. In *Climate* (Vol. 9, Issue 9). MDPI. <https://doi.org/10.3390/cli9090139>
- Pinto, C. A., Henriques, M. O., Figueiredo, J. P., David, J. S., Abreu, F. G., Pereira, J. S., Correia, I., & David, T. S. (2011). Phenology and growth dynamics in Mediterranean evergreen oaks: Effects of environmental conditions and water relations. *Forest Ecology and Management*, 262(3), 500–508. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.04.018>
- Sampaio, T., Branco, M., Guichoux, E., Petit, R. J., Pereira, J. S., Varela, M. C., & Almeida, M. H. (2016). Does the geography of cork oak origin influence budburst and leaf pest damage? *Forest Ecology and Management*, 373, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.019>
- Varela, M. C., Valdivieso, T., & Varela, C. (2011). *Cork Oak phenology Compreensão da Resistência a Fungos Patogénicos em Castanea sp View project Agropine Meeting 2016 View project Cork Oak phenology*. <https://www.researchgate.net/publication/230676239>
- Toth, G., Jones, A., Montanarella, L. (eds.), 2013. LUCAS topsoil survey. Methodology, data and results. JRC Technical Reports. Luxembourg. Publications Office of the European Union, EUR 26102, Scientific and Technical Research series. ISSN 1831-9424 (online); ISBN 978-92-79-32542-7; doi:10.2788/97922.
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (n.d.). <https://www.ipma.pt/en/oclima/normais.clima/1971-2000/>. Accessed 15 Setembro 2022.
- Dados Meteorológicos. (n.d.). ARBVS. <https://www.arbvs.pt/index.php/info-agrometeorologica/dados-meteorologicos>. Accessed 9 Outubro 2021.

# Anexos

## Anexo 1. Guia de campo Fenologia



### Floração Masculina:



11



12



13

### Floração Feminina:



14



15



16

### Frutificação:



17



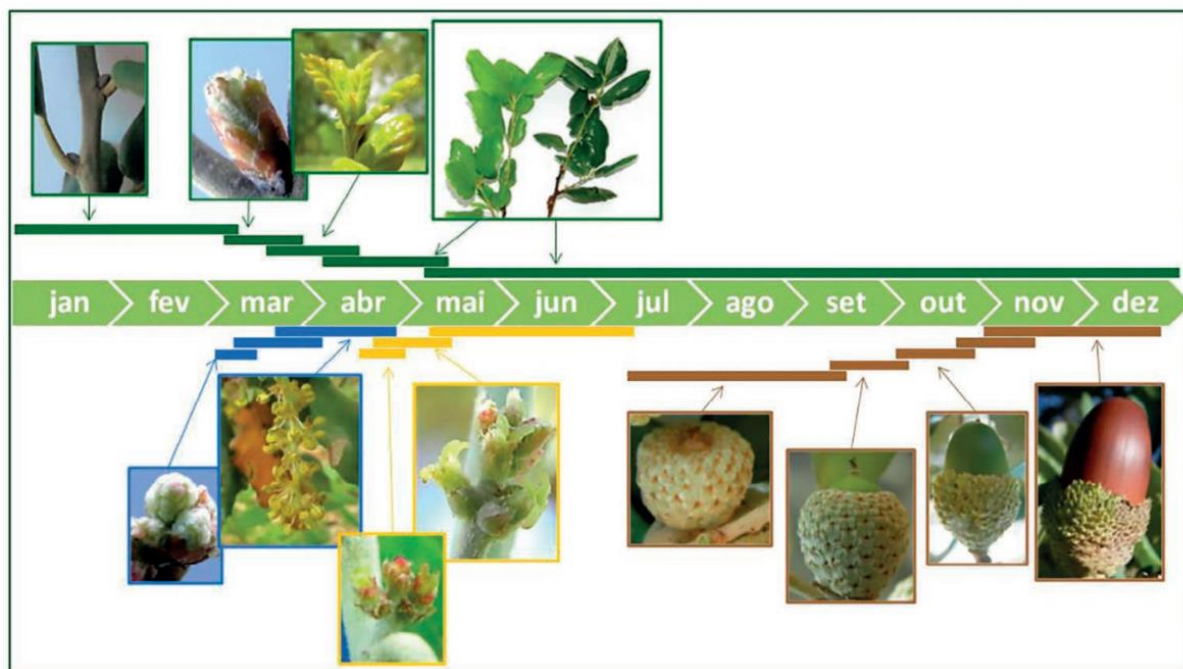
18



19



20



- 1- Gomo dormente. Cor castanha. completamente fechado pelas escamas protetoras.
- 2- Gomo começa a inchar. Início da separação das escamas do gomo. Cor castanha e verde.
- 3- Fim do inchamento dos gomos. Escamas completamente separadas. Gomo coberto por pequenos pelos.
- 4- Início do abrolhamento dos gomos. Extremidades das novas folhas começam a ser visíveis.
- 5- Abrolhamento dos gomos. Extremidade das novas folhas já visíveis acima das escamas dos gomos.
- 6- Fase das orelhas-de-rato. Extremidade das novas folhas verdes 1cm acima das escamas do gomo. Primeiras folhas começam a separar-se.
- 7- Folhas já separadas/desdobradas. Pecíolo já visível.
- 8- Primeiras folhas completamente expandidas. Não atempadas.
- 9- Folhas maduras. Atempadas.
- 10- Folhas senescentes. Envelhecidas

- 11- Emergência e alongamento do amento.
- 12- Flores ficam individualizadas. O amento está pendurado. O estame fica individualizado com uma cor verde amarelada.
- 13- Ântese completa. A libertação de pólen está a ocorrer em aproximadamente metade das flores do amento.
- 14- Aparecimento dos gomos axilares reprodutivos com escamas verdes.
- 15- Alongamento do eixo e emergência das primeiras flores. Estigma volumoso em posições divergentes com cor amarela e aspeto viscoso.
- 16- Os estigmas começam a perder a recetividade. Apresentam cor amarela acastanhada inicialmente, passando para uma cor castanho escuro.
- 17- Bolota em desenvolvimento com um ano.
- 18- Frutificação ainda imatura a resumir o desenvolvimento.
- 19- Bastão ainda imaturo.
- 20- Frutificação madura.