O SOBREIRO ESTREIA-SE NO *INTERNATIONAL TREE-RING DATA BANK*

A importância de identificar, medir e interpretar os anéis de crescimento da madeira e da cortiça do sobreiro na região ocidental da Bacia Mediterrânica.

Augusta Costa[1,2]

[1] Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

[2] CENSE – Center for Environmental and Sustainability Research – FCT NOVA

Os ecossistemas florestais com sobreiro (*Quercus suber* L.) ocupam mais de 2 milhões de hectares no sudoeste da bacia mediterrânica (Figura 1). Têm um papel muito importante de mitigação de processos de desertificação da paisagem e representam a melhor estratégia de conservação de áreas rurais altamente sensíveis do ponto de vista social, económico e ecológico numa das regiões mundialmente mais sensíveis aos efeitos das alterações climáticas. Na Europa, o sobreiro é a única espécie florestal cultivada em grande escala e explorada periodicamente ao longo de sua vida pela sua casca, a cortiça, que constitui o sexto produto florestal não lenhoso mais valioso a nível mundial. Em Portugal, os ecossistemas florestais com sobreiro ocupam uma percentagem considerável (mais de 30%) da área florestal nacional. São mais de 720 mil hectares que produzem anualmente mais de 50% da produção mundial de cortiça, que ronda as 200 mil toneladas. Esta produção representou em 2022 um volume de negócios da indústria da cortiça de mais de 1,2 mil milhões de euros, cerca de 0,3% do PIB português e 1,5% do total das exportações nacionais de bens.

Apesar da sua importância ecológica, económica e social, os ecossistemas florestais com sobreiro estão perigosamente expostos aos efeitos das alterações climáticas na região da Bacia do Mediterrâneo e apresentam já alterações de processos ecológicos fundamentais, como o enfraquecimento da capacidade de se regenerarem naturalmente, uma maior vulnerabilidade à incidência de pragas e doenças e uma mortalidade anormalmente elevada induzida por episódios de seca, cada vez mais frequentes e com maior intensidade. As alterações climáticas são ainda um dos maiores desafios à cadeia de valor da cortiça pois têm sido apontadas como responsáveis pela redução e alteração de padrões de crescimento das árvores com efeito em importantes perdas em produção de qualidade da cortiça nas últimas décadas.

O Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV) vem desenvolvendo uma importante linha pioneira de investigação em dendroecologia do sobreiro. O objetivo é adquirir um maior conhecimento sobre como os fatores ambientais influenciam os padrões de crescimento destas árvores ao longo da sua vida em exploração para prever as respostas ecológicas dos ecossistemas florestais, em cenários de aquecimento global.

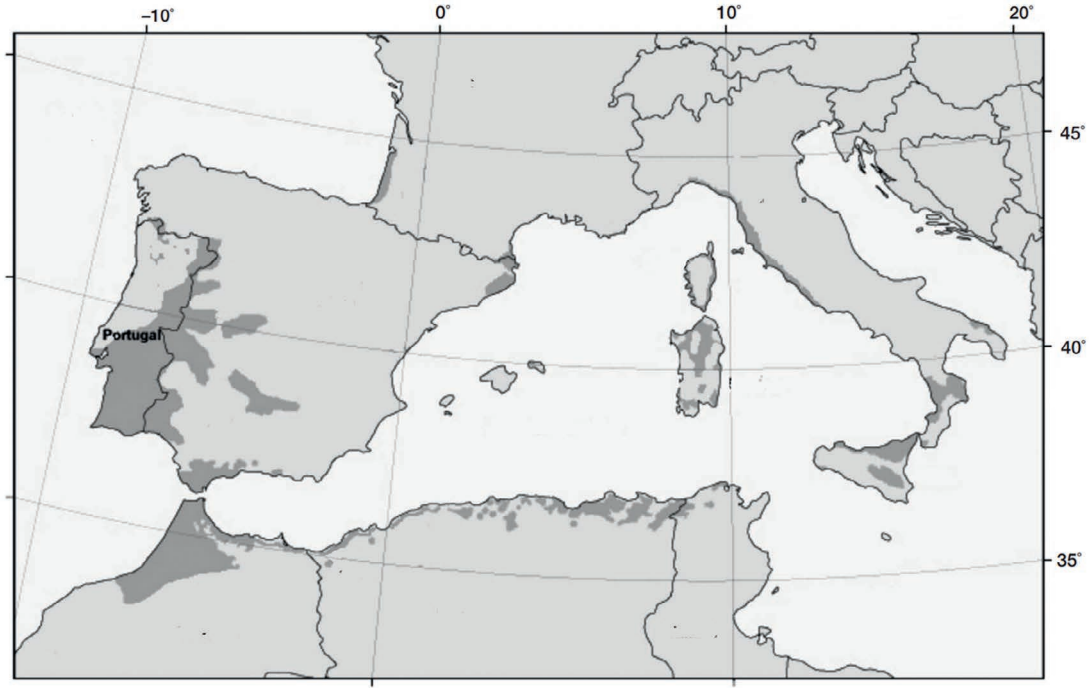

Figura 1 – Distribuição do sobreiro (cinzento-escuro) na região da bacia mediterrânica nas regiões do Sudoeste da Europa e Norte de África, entre as latitudes 33° N – 45° N e as longitudes 10° W – 20° E.

Dendroecologia do sobreiro

O princípio básico da dendroecologia é o de que fatores ambientais influenciam o crescimento radial do tronco das árvores ao longo do tempo. Assim, cada árvore, à medida que vai crescendo, vai gravando na variabilidade da largura dos seus anéis de crescimento da madeira, i) o histórico anual das condições ambientais, climáticas e ecológicas, ii) o histórico de perturbações mais ou menos abruptas, e ainda iii) o histórico das interações entre as árvores e seu ambiente. Ao conhecermos e interpretarmos como as árvores crescem e respondem às mudanças ambientais através dos anéis de crescimento ao longo do tempo, no passado, poderemos inferir e prever de um modo mais consistente e robusto quais as respostas ecológicas de adaptação dos ecossistemas florestais no futuro.

Os carvalhos, *Quercus* spp., são das árvores mais interessantes em estudos dendroecológicos no norte da Europa, dada a sua grande longevidade e devido à sua sensibilidade ao clima temperado e aos diferentes ritmos de crescimento que se conjugam em camadas anuais ou anéis de crescimento da madeira distintos. O sobreiro, no extremo sudoeste da Europa, é um carvalho com grande potencial em estudos dendroecológicos na região sudoeste da bacia Mediterrânica: tem grande longevidade (Figura 2), pode ultrapassar largamente os 200 anos, está perfeitamente adaptado ao clima mediterrânico e o crescimento vegetativo ocorre em dois períodos distintos, na primavera (crescimento de primavera) e no outono (crescimento de outono). O repouso vegetativo de inverno ocorre devido às baixas temperaturas e o período de repouso vegetativo no verão é induzido por condições de seca, temperaturas elevadas e ausência de precipitação[1]. No entanto, para o sobreiro, a informação dos padrões climáticos em longas séries cronológicas de largura dos seus anéis de crescimento da madeira ou da cortiça é praticamente inexistente. A identificação de cronologias longas (> 120 anos) de anéis de crescimento da madeira e da cortiça do sobreiro são raras e as cronologias de séries mais curtas (< 15 anos) têm por base: anéis de crescimento da madeira em sobreiros jovens e anéis de crescimento da cortiça de reprodução, gerada por felogénio traumático, entre descortiçamentos consecutivos, em sobreiros adultos em produção.

Figura 2 – O tronco, ramos e raízes superficiais do sobreiro encontram-se revestidos de modo uniforme por uma casca muito espessa, porosa, profundamente sulcada e irregular, a cortiça. São as singularidades da cortiça que tornam esta árvore facilmente reconhecível.

Os anéis de crescimento do sobreiro

No sobreiro, o crescimento anual da madeira é uma função da atividade secundária do câmbio libero-lenhoso ou câmbio vascular, um tecido de células embrionárias indiferenciadas que é "gerador de tecidos" e que gera, principalmente para a face interna, o xilema, tecido condutor de água e minerais e tecido de suporte e, para a face externa, o floema, tecido envolvido na translocação de açúcares e de outros alimentos elaborados, juntamente com reguladores de crescimento das árvores (Figura 3).

Nos climas temperados, a sazonalidade do crescimento vegetativo das árvores reflete-se principalmente no xilema e na alternância entre áreas mais claras, do crescimento de primavera, e áreas mais escuras, do crescimento de outono, dentro do anel de crescimento de madeira. Estes anéis são bem visíveis em secções transversais do xilema no tronco. No sobreiro, esta sazonalidade do crescimento vegetativo também ocorre e a sequência de anéis de crescimento da madeira são visíveis em secções

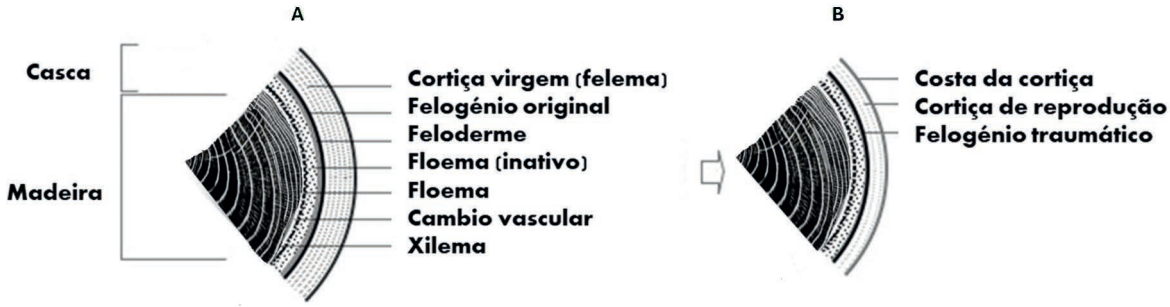

Figura 3 – Representação esquemática de uma secção transversal de um tronco de sobreiro: **A** – Antes do descortiçamento. **B** – Após o descortiçamento, a cortiça é separada pelo felogénio traumático, que se regenera de novo após cada descortiçamento. O câmbio vascular produz células de xilema para o interior que formam os anéis de crescimento da madeira e floema para o exterior. O câmbio subero-felodérmico ou felogénio, exterior ao câmbio vascular, gera para o interior a feloderme e, principalmente para o exterior, células de cortiça (adaptado de [2]).

transversais do tronco do sobreiro. No entanto, a distinção entre o crescimento de primavera e de outono dentro de cada camada de crescimento no sobreiro é muito mais gradual e muito menos nítida do que a de outros carvalhos (Figura 4A).

No sobreiro, durante o período de crescimento de primavera, as células que constituem os vasos condutores são pouco numerosas, circulares, de diâmetro muito grande e os vasos do crescimento de outono vão variando gradualmente de tamanho médio a pequeno, dispondo-se em (2–3) fiadas radiais[3]. Este tipo de porosidade do xilema, característico do sobreiro, chama-se porosidade semidifusa (Figura 5). A variação da largura do anel de crescimento da madeira é essencialmente uma variação do crescimento de outono (Figura 4A). O anel de crescimento da madeira mais largo tem muito mais um maior número de vasos condutores radialmente produzidos do que uma variação do seu tamanho e a largura do anel de crescimento de primavera é muito pouco variável. No sobreiro, o felogénio que gera para o exterior, assentadas contínuas de células de cortiça (Figura 3). Este tecido gerador de cortiça mantém a sua atividade geradora de células de cortiça durante toda a vida da árvore, o que torna o sobreiro uma árvore peculiar, pela sua casca, ou cortiça, incrivelmente grossa (Figura 2). A atividade do felogénio tem uma sazonalidade do crescimento muito marcada e anéis de crescimen-

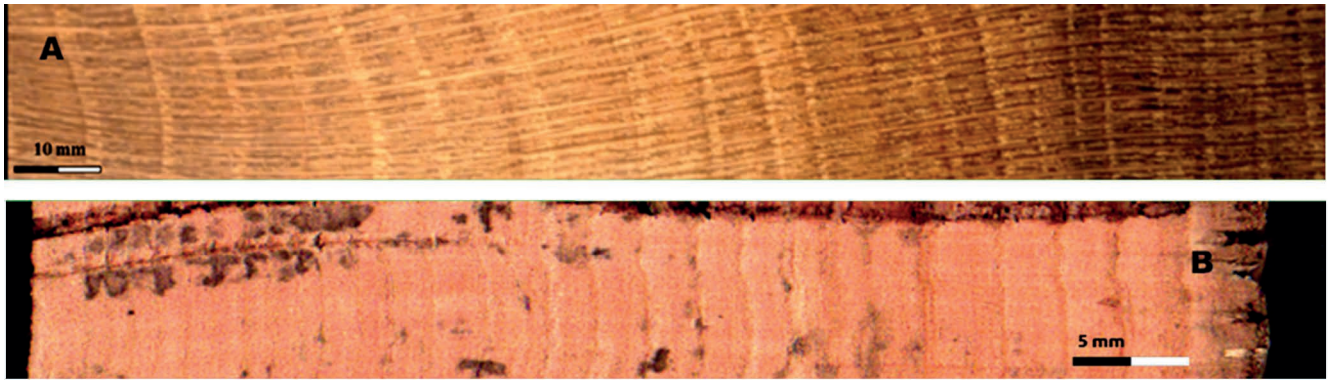

Figura 4 – Secção transversal do tronco de um sobreiro. **A** – Anéis de crescimento da madeira da medula (interior, à esquerda) para o borne (exterior, à direita). Os anéis de crescimento da madeira são mais largos nos primeiros anos (anéis mais interiores) e apresentam uma tendência de decréscimo ao longo do tempo, com alguma variação interanual. **B** – Anéis de crescimento da cortiça de reprodução (amadia) da barriga (mais interna, à esquerda), para a costa da cortiça (mais externa, à direita). Os anéis de crescimento da cortiça são mais largos nos primeiros anos (anéis mais externos, à direita) e apresentam uma tendência de decréscimo ao longo do tempo, também com alguma variabilidade interanual.

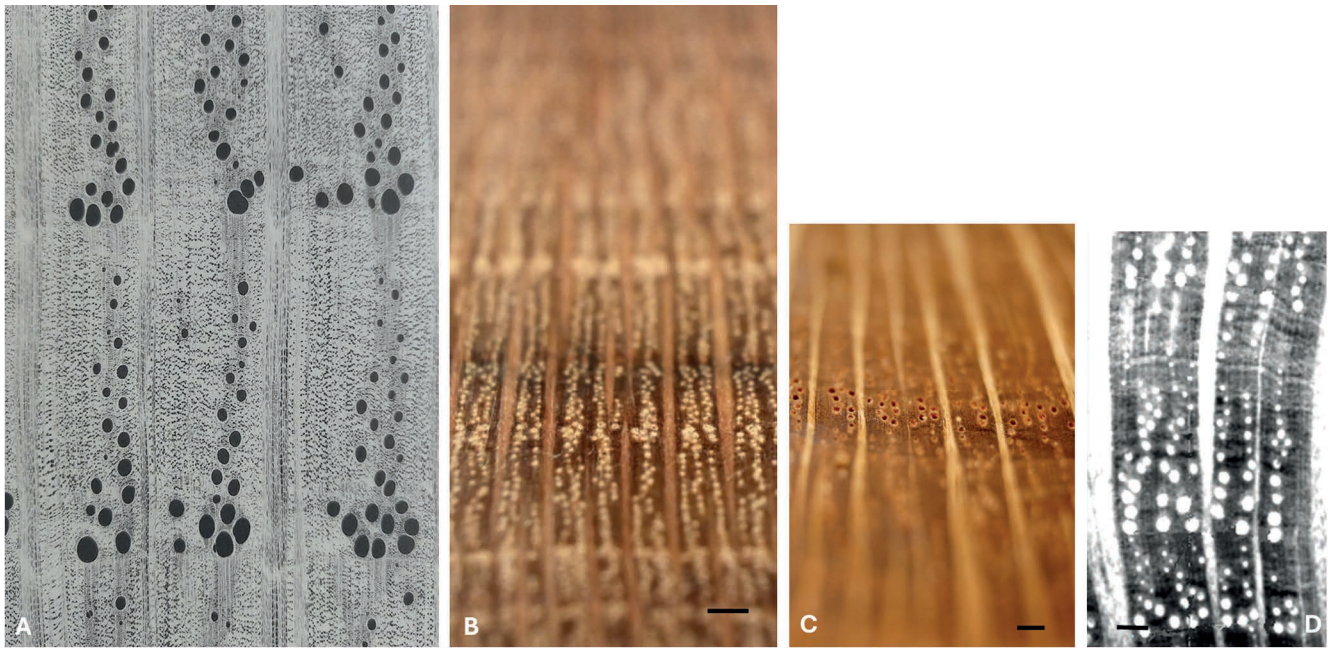

Figura 5 – Descrição macroscópica dos anéis de crescimento da madeira na secção transversal do xilema do tronco do sobreiro: **A** – Macrofotografia esquemática da madeira onde se observam os vasos circulares ou ovais, dispondo-se em fiadas radiais às vezes de um só elemento e diminuindo de área apenas gradualmente entre as zonas de primavera e de outono (adaptado de [3]). **B** – Pormenor de dois anéis de crescimento com as extensas fiadas radiais de vasos de crescimento de outono. **C** – Pormenor dos grandes vasos isolados na camada de crescimento de primavera que caracterizam a porosidade semidifusa do sobreiro e ainda dos raios medulares, de cor clara, a atravessar radialmente os anéis de crescimento da madeira. **D** – Pormenor da variabilidade interanual dos anéis de crescimento da madeira. Barra de escala aproximada = 2 mm.

to da cortiça muito mais nítidos, distintos e visíveis em comparação com os anéis de crescimento da madeira (Figura 4B). Dentro do anel de crescimento da cortiça, a alternância entre áreas mais claras do crescimento de primavera, com células mais largas, com largos lúmens e paredes celulares pouco espessas, e áreas mais escuras do crescimento de outono, com células pequenas, com pequenos lúmens e paredes celulares muito espessas, são claramente visíveis em secções transversais (e radiais) do tronco (Figura 6).

A variação da largura do anel de crescimento da cortiça é principalmente uma variação do anel de crescimento de primavera (Figuras 4B e 6). O anel de crescimento da cortiça mais largo tem muito

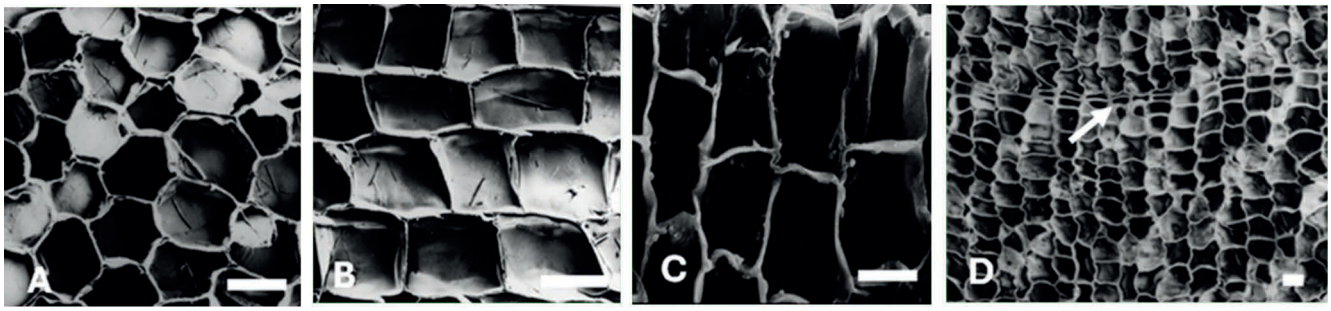

Figura 6 – Microfotografias de células de cortiça de reprodução (amadia). **A** – Secção tangencial. **B** – Secção transversal. **C** – Secção radial. **D** – Secção radial mostrando várias fiadas de células de cortiça do crescimento de outono (seta branca), células relativamente mais pequenas com paredes mais espessas em relação às células de crescimento do primavera, de grandes dimensões. Barra = 20 µm.

mais um maior número de células de cortiça de crescimento da primavera do que um aumento de tamanho destas células, em que a largura do anel de crescimento de outono é muito pouco variável[4].

Interpretar os anéis de crescimento do sobreiro

As características dos anéis de crescimento da madeira (ou xilema) do sobreiro, como, por exemplo, a sua largura, são determinadas primeiro pela idade fisiológica da árvore e depois variam de um ano para o outro com as condições climáticas e ambientais[5]. Ao longo da vida da árvore, desde a sua fase mais juvenil, passando pela fase de árvore adulta e finalmente até à sua fase de decrepitude, as taxas de crescimento e, consequentemente, a largura do anel de crescimento da madeira são, por norma, muito variáveis (Figura 7).

Numa primeira fase juvenil, a árvore apresenta uma forte dominância apical e uma grande intensidade de crescimento radial com efeitos na largura do anel de crescimento da madeira (± 9 mm.ano^{-1}) necessário para alimentar a formação da copa em franco desenvolvimento. Por norma, nesta fase, a largura do anel de crescimento é menos influenciada pelas condições climáticas e mais por surtos de crescimento da árvore. Após atingir a plena formação da copa, na fase adulta da árvore, o crescimento anual

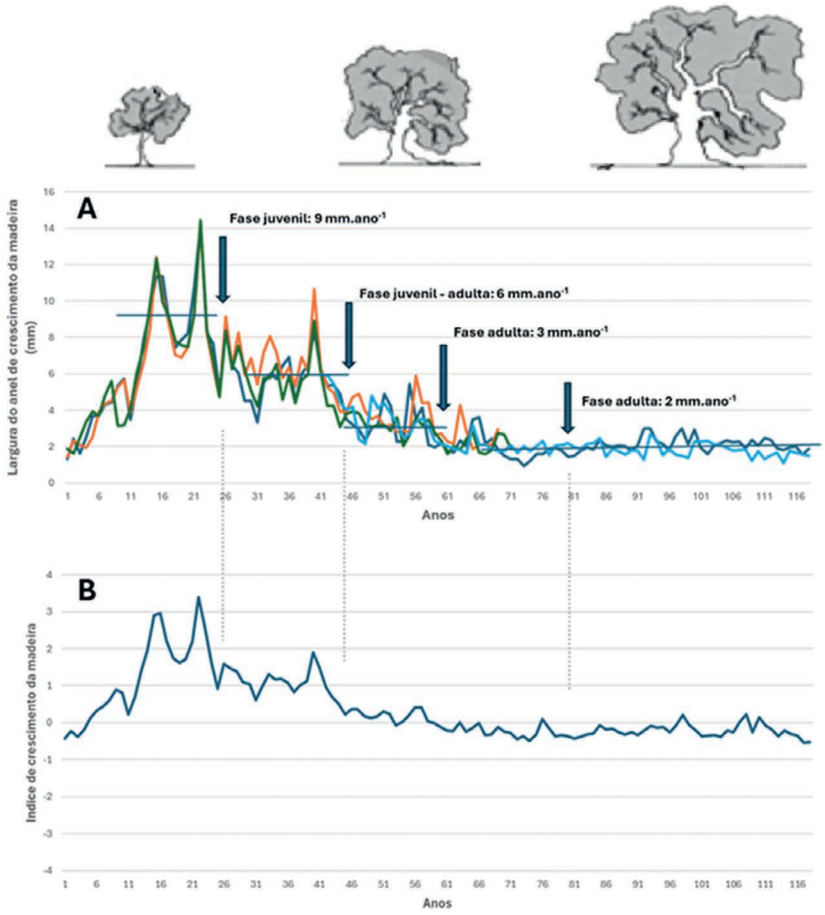

Figura 7 – Esquema do processo de crescimento natural de um sobreiro-modelo desde a fase juvenil, passando pela sua idade adulta (com ausência de dominância apical), até à data da sua morte (mas ainda sem sinais de decrepitude) e respetivas séries cronológicas: **A** – da largura de anéis de crescimento da madeira (mm) de sobreiro. Setas representam média da largura do anel de crescimento (mm.ano^{-1}) por década; **B** – dos índices de crescimento da madeira (valores positivos são de anéis de crescimento de largura superior ao normal e negativos são anéis de crescimento de largura inferior ao normal). Correspondência do índice de crescimento à fase de crescimento da árvore a tracejado.

da madeira é inferior ao da fase juvenil, a tendência de decréscimo da largura do anel é acentuada pela maior área seccional do tronco da árvore e a variabilidade interanual é diretamente influenciada pela variabilidade das condições climáticas. Na fase de senescência ou decrepitude da árvore, a morte de ramos e folhas na copa pode acentuar a redução do crescimento anual de madeira para valores mínimos de 2 mm.ano^{-1} (Figura 7A).

De um modo geral, o sobreiro jovem adulto tem uma resposta rápida e abrupta às alterações climáticas, é muito sensível e resiliente ao descortiçamento e a podas mais severas, principalmente quando estas atingem áreas de acumulação de reservas da árvore. Na fase adulta, mais próximo de uma fase de decrepitude, as árvores são menos sensíveis e muito mais complacentes nas suas respostas a fatores externos como as alterações climáticas e o descortiçamento (Figura 7B). A perda de resiliência a diferentes tipos de *stress* pode coincidir com o início de um processo de senescência. Na fase adulta, os índices de crescimento mantêm-se estáveis e o crescimento da madeira responde aos descortiçamentos consecutivos com pequenos picos periódicos.

No sobreiro, a influência da idade da árvore é também determinante na largura do anel de crescimen-

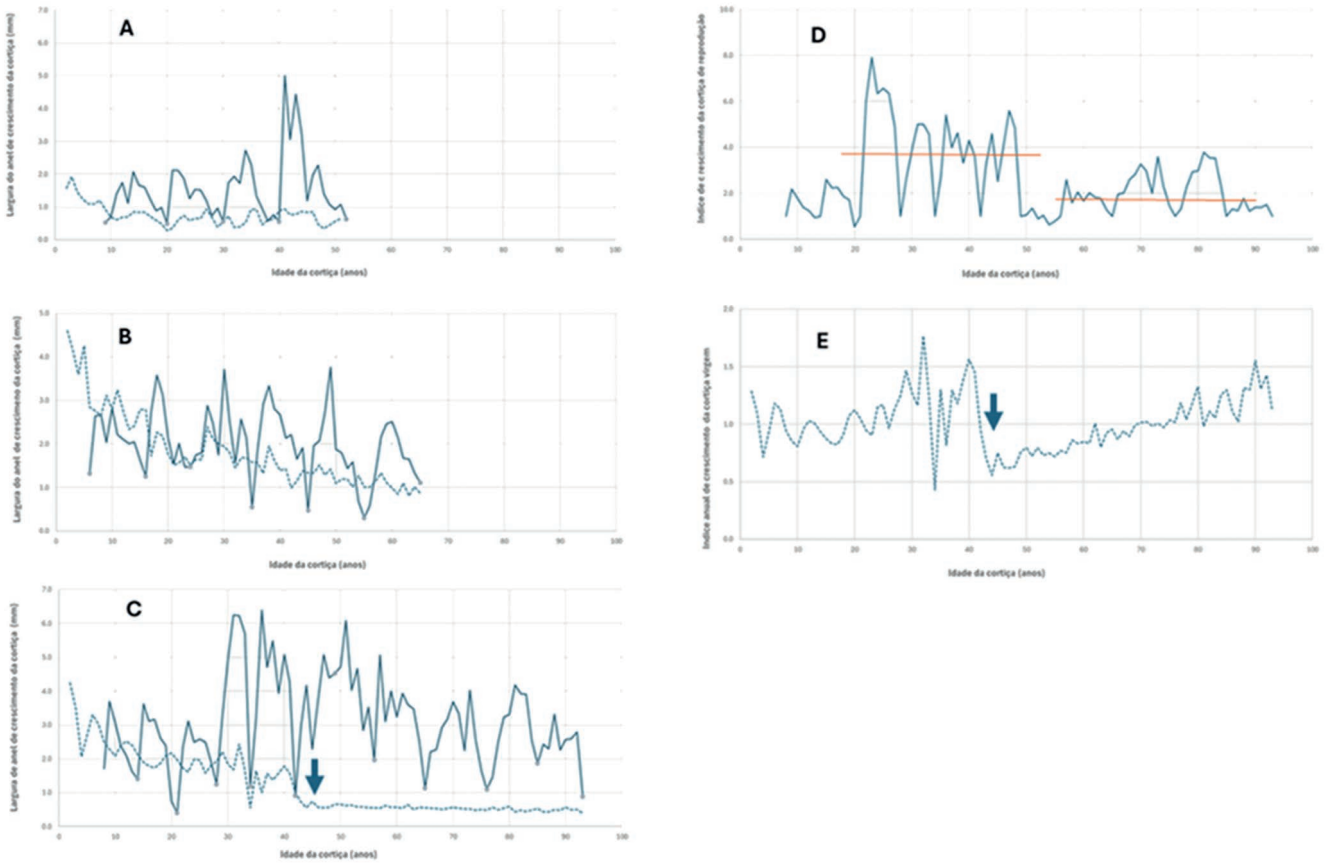

Figura 8 – Series cronológicas da largura (mm) de anéis de crescimento da cortiça de reprodução (azul sólido) e virgem (azul tracejado) por árvore individual. Os círculos em cinzento representam ano de descortiçamento: **A** – árvore com cinco descortiçamentos consecutivos; **B** – árvore com sete descortiçamentos consecutivos. **C** – árvore com doze descortiçamentos consecutivos. Redução abrupta e permanente da largura do anel de crescimento da cortiça virgem (entre os 40 e 45 anos de idade da cortiça, seta azul). **D** e **E** – Índices de crescimento para a árvore com doze descortiçamentos consecutivos da cortiça de reprodução e virgem, respetivamente (valores superiores a 1 são de anéis de crescimento de largura superior ao normal e inferior a 1 são anéis de crescimento de largura inferior ao normal). Pormenor da redução abrupta e permanente do índice de crescimento da cortiça de reprodução a partir dos 55 anos de idade da cortiça (Figura 8D, linhas a cor de laranja).

to da cortiça virgem. Desde a sua fase mais juvenil, passando pela fase de árvore adulta e finalmente até à sua fase de decrepitude, a largura do anel de crescimento da cortiça virgem tem uma tendência de decréscimo (Figura 8). A variabilidade climática e a perturbação que é o descortiçamento estão presentes na variabilidade interanual da largura do anel de crescimento da cortiça virgem. O descortiçamento promove artificialmente o aumento da largura dos anéis de crescimento da cortiça de reprodução, principalmente nos 2 a 4 anos imediatos, a expensas do crescimento da cortiça virgem.

Após vários descortiçamentos consecutivos, a perda de resiliência da árvore a esta perturbação é inevitável e observa-se na diminuição permanente do crescimento da cortiça virgem para valores de mínimos (Figura 8C). A partir deste ponto, o índice de crescimento da cortiça de reprodução reduz-se significativamente de modo permanente. Esta perda de resiliência do sobreiro ao descortiçamento pode ser precocemente determinada pela redução abrupta e permanente da largura do anel de crescimento da cortiça virgem, que, por norma, ocorre mais cedo (Figuras 8D e 8E).

Sabemos hoje que a partir do sétimo descortiçamento de cortiça amadia, o sobreiro poderá ter uma quebra de resiliência ao descortiçamento, quando reduz de modo permanente a largura do seu anel de crescimento da cortiça virgem, para não mais recuperar[6]. A explorabilidade económica do sobreiro pode diminuir a partir deste descortiçamento (diminuição do anel de crescimento da cortiça de reprodução), mas normalmente estende-se muito para além desta quebra de resiliência, o que pode aumentar a vulnerabilidade da árvore a outros agentes nocivos (a)bióticos e a promover a sua morte prematura.

Em séries longas de anéis de cortiça de reprodução ao nível da árvore individual têm vindo a ser estudados outros parâmetros para além da largura do anel de crescimento, como a densidade do anel de crescimento da cortiça, que está diretamente relacionada com o espessamento das paredes celulares das células da cortiça, e a composição isotópica do anel de crescimento da cortiça, que está direta-

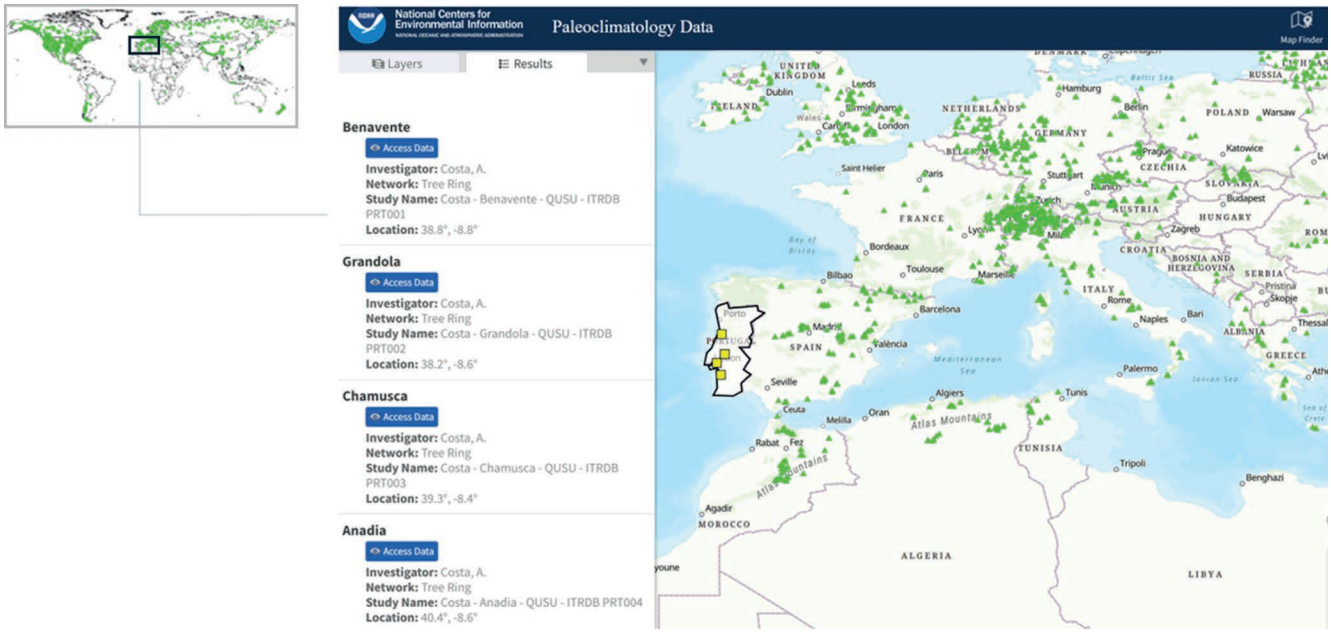

Figura 9 – A representação mundial de locais com séries cronológicas de anéis de crescimento de árvores partilhadas por investigadores, selecionadas e validadas para integrar o International Tree-Ring Data Bank (ITRDB) (pontos a verde) https://www.ncei.noaa.gov/products/paleoclimatology/tree-ring. Pormenor de distribuição de locais com séries cronológicas de anéis de crescimento de árvores na bacia mediterrânica, na área da distribuição mundial do sobreiro. Em Portugal, os primeiros quatro locais com séries cronológicas de largura e densidade de anéis de crescimento de madeira e de cortiça do sobreiro partilhadas pelo INIAV.

mente relacionada com processos fisiológicos da árvore como a condutância estomática (δ^{13}Carbono) e o acesso a água de profundidade (lençol freático) para o crescimento da cortiça (δ^{18}O)[7, 8].

Todos os resultados dos estudos em dendroecologia do sobreiro apontam para uma grande plasticidade de adaptação da árvore aos efeitos das alterações climáticas, o que leva a concluir que a floresta mediterrânica com sobreiro adaptar-se-ia autonomamente aos efeitos das alterações climáticas sem necessidade da intervenção do Homem, não fora a condição destes efeitos serem exacerbados pelas mudanças insustentáveis do uso da terra e pela situação da sociedade em geral ser altamente dependente dos bens e serviços oferecidos por este ecossistema.

O sobreiro estreia-se no *International Tree-Ring Data Bank*

No INIAV, I.P. (Laboratório da Suberoteca Nacional Albino de Carvalho), desde 2013, desenvolvem-se estudos dendroecológicos do sobreiro em parceria com instituições internacionais. As amostras de madeira e cortiça para a identificação, medição e interpretação de anéis de crescimento da madeira e cortiça são selecionadas de modo criterioso após intenso trabalho de campo. A preparação e tratamento da informação envolve *software* para a aquisição de imagens com sobreposição e elevada resolução e para a medição e tratamento da informação de longas séries cronológicas de anéis de crescimento.

As primeiras séries cronológicas longas de largura de anéis de crescimento da madeira de sobreiro e séries longas de largura e densidade de anéis de crescimento de cortiça virgem e de cortiça de reprodução estão publicadas no *International Tree-Ring Data Bank* (EUA) e constituem as primeiras séries cronológicas de anéis de crescimento em Portugal publicadas neste banco de informação internacional do NOAA (NCEI) https://www.ncei.noaa.gov/, e as primeiras séries cronológicas para a região mediterrânica com o *nosso sobreiro* (Figura 9).

Agradecimentos

O INIAV (Suberoteca Nacional Albino de Carvalho) agradece a colaboração de todos os proprietários e gestores florestais que acompanham o intenso trabalho de campo para a recolha de amostras de madeira e cortiça para estudos de dendroecologia do sobreiro. Agradece também a todos os investigadores, de todos as instituições, nacionais e internacionais, que colaboram e participam nesta linha de investigação com o INIAV. Um agradecimento final vai para a Fundação para a Ciência e a Tecnologia pelo financiamento de bolsas e projetos desta linha de investigação.

Bibliografia

[1] 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.

[2] Oliveira, G.; Costa, A .(2012). How resilient is *Quercus suber* L. to cork harvesting? A review and identification of knowledge gaps. *Forest Ecology and Management*, **270**:257–272.

[3] Carvalho, A. (1997). *Madeiras Portuguesas – Estrutura anatómica, propriedades e utilizações*. Lisboa, DGF.

[4] Costa, A.; Barbosa, I.; Pestana, M.; Miguel, C. (2020). Modelling bark thickness variation in stems of cork oak in south-western Portugal. *European Journal of Forest Research*, **139**:611–625.

[5] Costa, A. (2024). A dendrochronological study of cork oak (*Quercus suber* L.): insights into the variability of growth patterns under a changing climate (Oral Presentation). Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration (EMCEI-24), 15–18 Maio 2024, Marrakech, Marrocos.

[6] Costa, A.; Nunes, L.C.; Spiecker, H.; Graça, J. (2015). Insights into the cork oak (*Quercus suber* L.) responsiveness to bark harvesting. *Economic Botany*, **69**(2):171–184.

[7] Costa, A.; Graça, J.; Barbosa, I.; Spiecker, H. (2022). Effect of climate on corkring width and density of *Quercus suber* L. in Southern Portugal. *Trees Structure and Function*, **36**:1711–1720.

[8] Costa, A.; Cherubini, P.; Graça, J.; Spiecker, H.; Barbosa, I.; Máguas, C. (2022). Beyond width and density: stable carbon and oxygen isotopes in cork-rings provide insights of physiological responses to water stress in *Quercus suber* L. *PeerJ*, **10**:e14270.