



Instituto Nacional de
Investigação Agrária e
Veterinária, I.P.

Adaptação das florestas à seca.

O papel dos sistemas radiculares na captação de água em
profundidade

Teresa Soares David

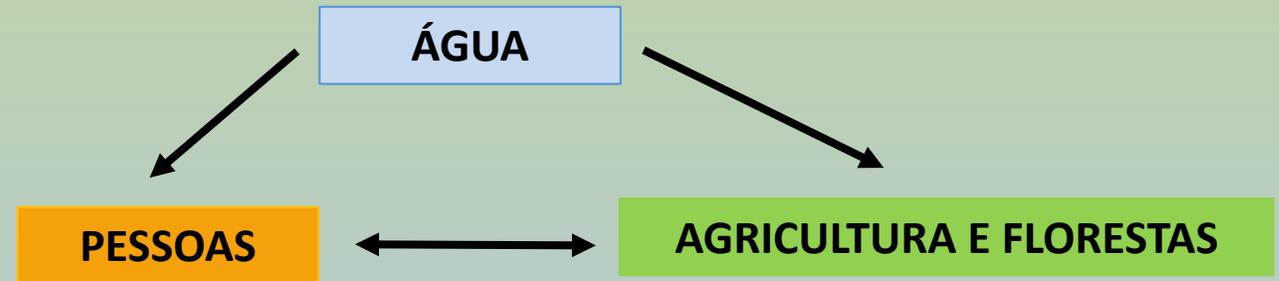
teresa.david@iniav.pt

Sumário

1. Introdução
2. Impactes das mudanças climáticas e secas nas florestas
3. Características adaptativas das florestas mediterrânicas às secas
4. Estratégias de adaptação do sobreiro
5. A importância da estrutura e funcionamento dos sistemas radiculares na adaptação
6. O conhecimento científico, o planeamento e a gestão na adaptação às secas
7. Medidas de gestão florestal adaptativa em situação de seca



- **Água** é um recurso fundamental à atividade humana - abastecimento urbano, industrial, agrícola - o seu uso deve ser norteado por princípios de sustentabilidade e de eficiência

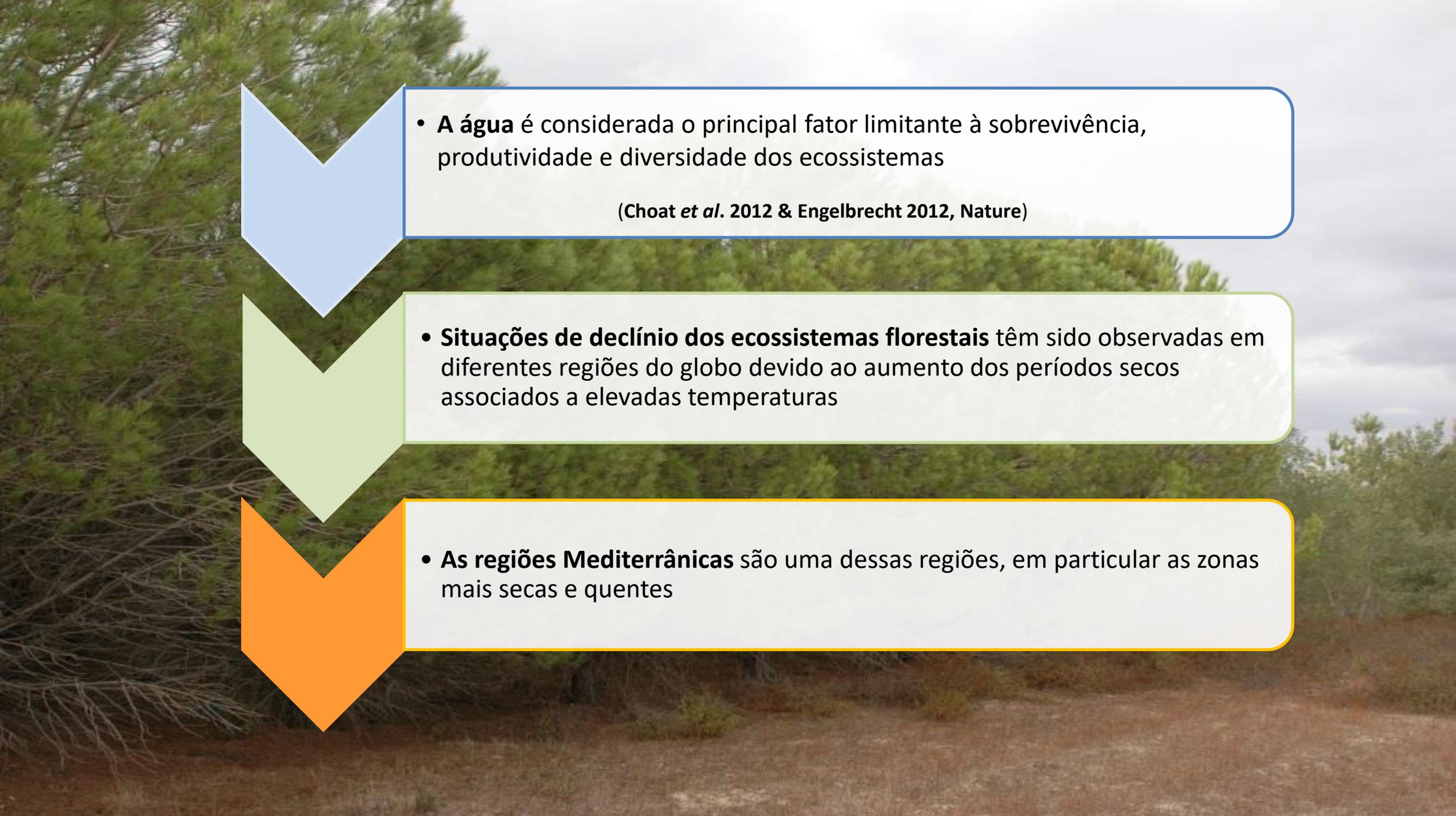


- **Mudanças climáticas** têm contribuído para o agravamento das secas, com aumento da sua frequência, duração e intensidade
- **Secas** são uma preocupação crescente em particular nas regiões do interior e sul do país
- **Procurar minimizar** os seus impactes negativos



- É importante que a gestão florestal, o planeamento e a gestão de recursos hídricos estejam associados
- As estratégias de atuação devem ser integradoras e apoiadas na multidisciplinaridade
- É preciso melhorar o conhecimento sobre processos e interações para poder ser incorporado em práticas de gestão

Em situações de recursos hídricos limitados pode ser necessário gerir usos conflitantes e definir prioridades

- 
- **A água** é considerada o principal fator limitante à sobrevivência, produtividade e diversidade dos ecossistemas

(Choat *et al.* 2012 & Engelbrecht 2012, Nature)

- **Situações de declínio dos ecossistemas florestais** têm sido observadas em diferentes regiões do globo devido ao aumento dos períodos secos associados a elevadas temperaturas

- **As regiões Mediterrânicas** são uma dessas regiões, em particular as zonas mais secas e quentes

Impactes das mudanças climáticas e agravamento das secas

- **Morfológicas, fisiológicas, no crescimento, reprodução, mortalidade das espécies florestais**

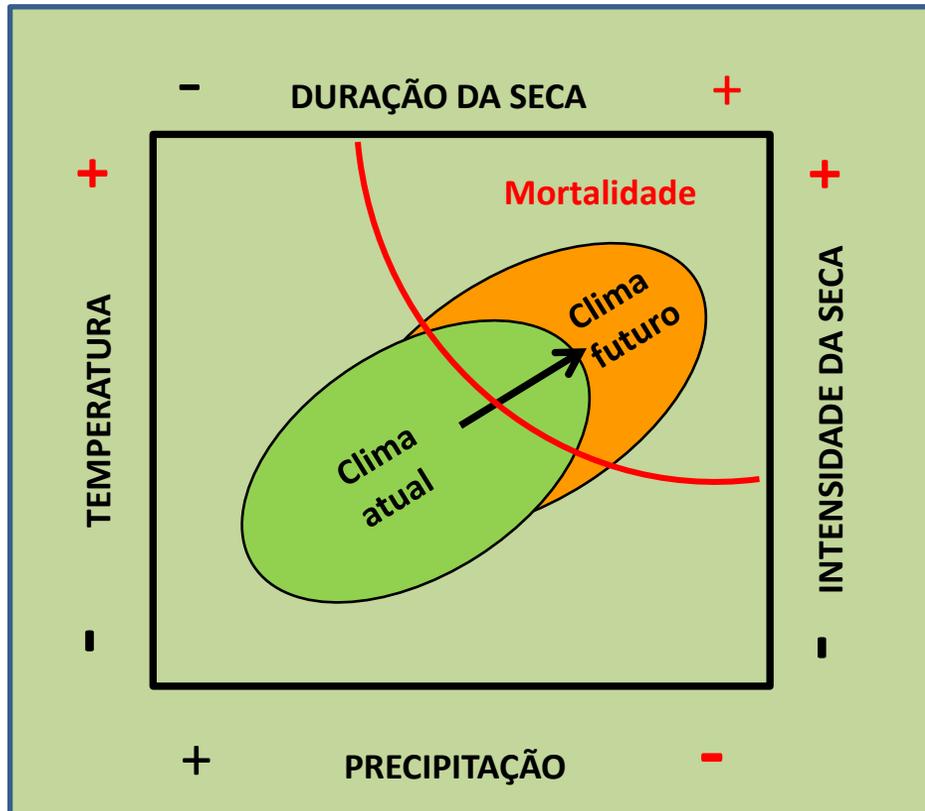
- **Aumento do risco meteorológico de incêndio e prolongamento da época de incêndios**

- **Aumento da incidência de pragas, doenças, invasoras**

- **Distribuição das espécies - extinções ou colonização de novos locais, substituições**

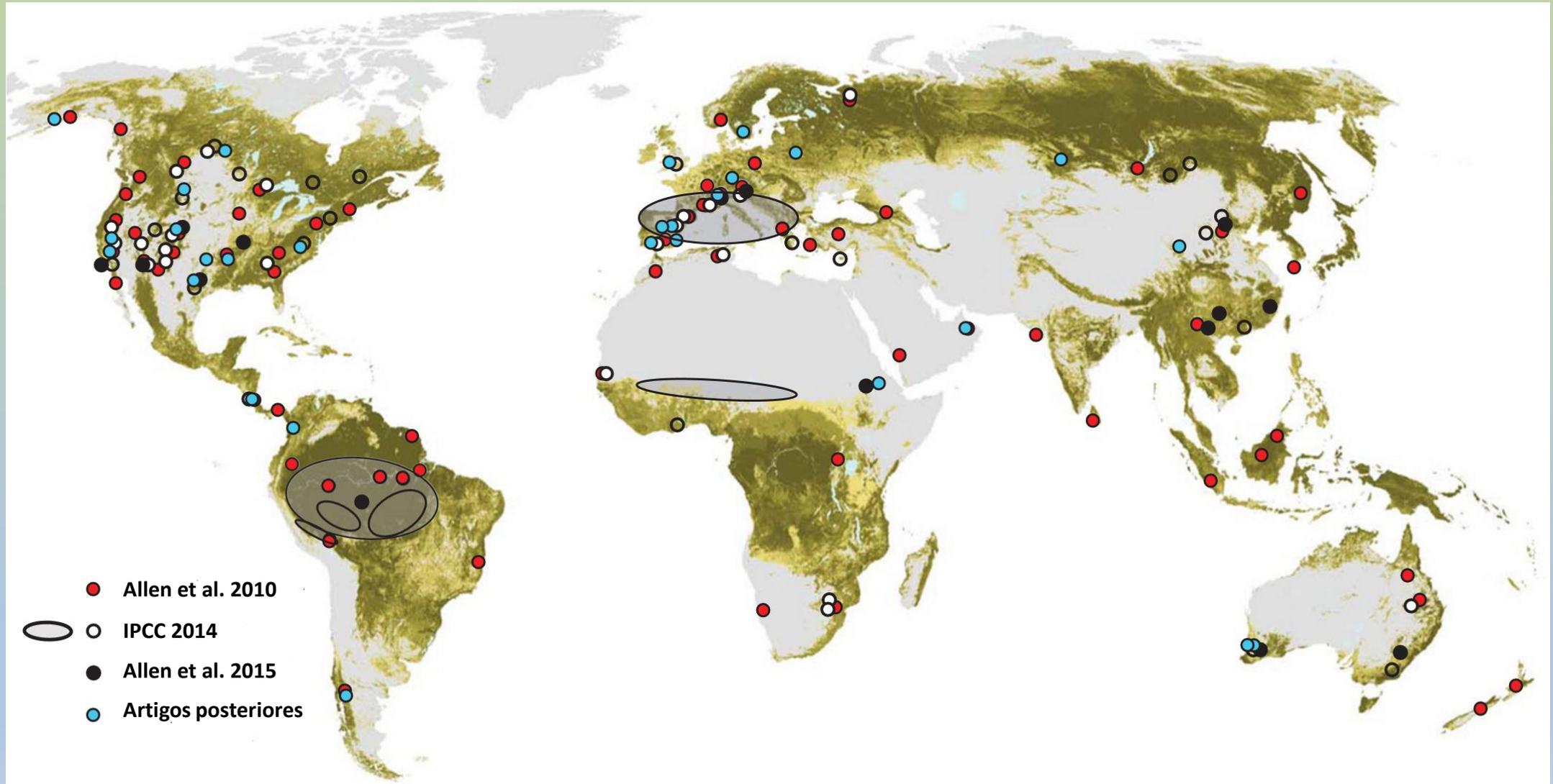
- **Alterações na estrutura e funcionamento dos ecossistemas**

Alteração nos padrões de precipitação e temperatura e aumento de mortalidade arbórea

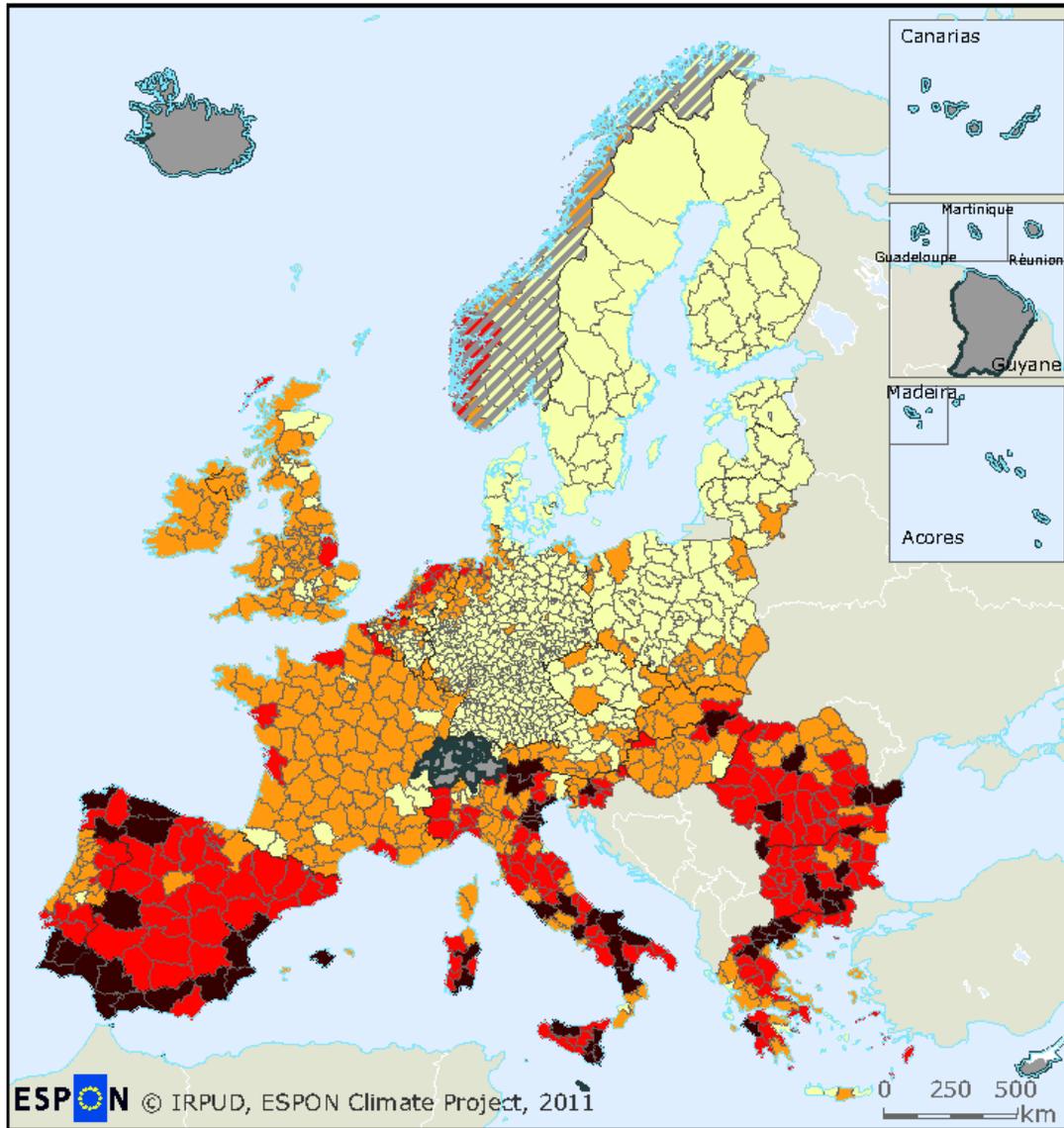


- “**Clima futuro**”: aumentos de temperatura, reduções de precipitação e aumentos na duração e intensidade da seca poderão induzir aumentos de mortalidade
- Aumentos de mortalidade quando os limiares críticos de mortalidade de cada espécie (linha a vermelho) são ultrapassados
- Em stress hídrico intenso e prolongado pode ocorrer mortalidade vários anos após um episódio intenso de seca (Zeppel *et al.*, 2013)
- Árvores em deficiente estado hídrico são mais vulneráveis ao ataque de pragas e doenças (Choat *et al.*, 2012)

Mortalidade arbórea induzida por secas associadas a ondas de calor



A vulnerabilidade às mudanças climáticas varia entre regiões



Num contexto europeu as regiões do sul de Portugal estão entre as de maior vulnerabilidade potencial

Vulnerabilidade potencial

-  Elevada vulnerabilidade
-  Média vulnerabilidade
-  Baixa vulnerabilidade
-  Sem vulnerabilidade/vulnerabilidade marginal
-  Ausência de dados
-  Poucos dados

Outras ameaças à sustentabilidade dos ecossistemas florestais

Sobre-exploração, abandono, práticas culturais inadequadas



Perdas de produtividade e rendimento

Perdas de biodiversidade

Impacte negativo nos serviços ecossistémicos

Adaptação das florestas mediterrânicas à seca

Face às grandes ameaças atuais e futuras a que os ecossistemas florestais estão e estarão sujeitos é fundamental:

- **Conhecer para adaptar**
 - condições climáticas atuais e as projeções climáticas para diferentes cenários
 - características locais do solo e litologia
 - características que as espécies florestais desenvolveram através de processo evolucionário para sobreviverem em condições de escassez moderada de água
- **Promover a capacitação técnica**
- **Promover a gestão ativa e adaptativa para minimizar os impactos negativos das secas**

Características adaptativas das florestas mediterrânicas à seca

Características morfológicas e fisiológicas para manterem um balanço hídrico interno favorável

(Baldochi & Xu, 2007; Sardans & Peñuelas, 2013)

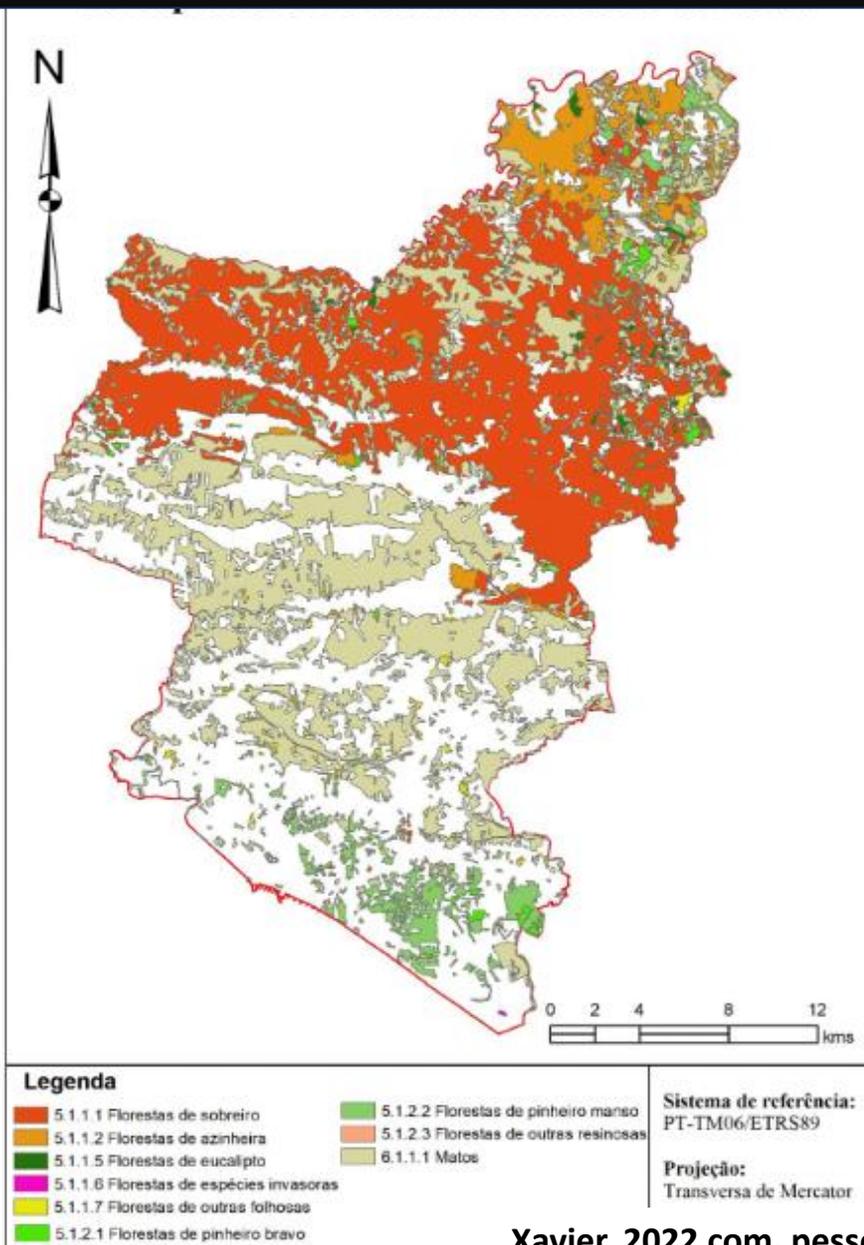
1. Redução das perdas de água pelas folhas

2. Sistema condutor de água raízes - folhas (xilema) resistente ao embolismo

3. Maximização da captação de água pelas raízes

Quando o equilíbrio entre *inputs* e *outputs* se não verifica, o transporte de água às copas pode ser reduzido (embolismo), com decréscimo de crescimento e, em casos mais severos, ocorrência de mortalidade

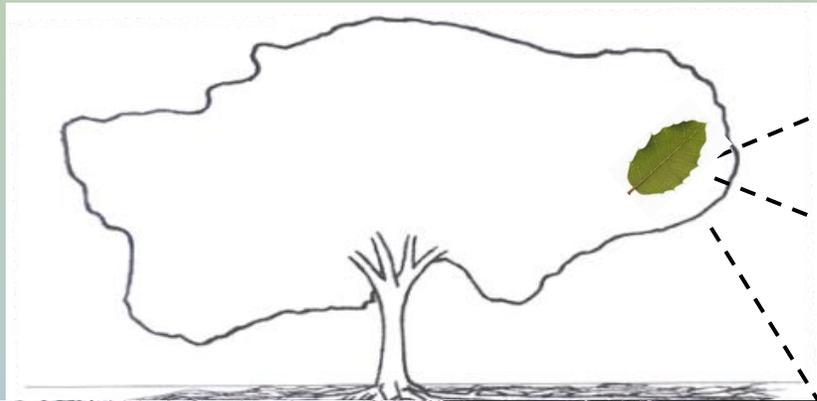
Ocupação do solo no concelho de Loulé



- Matos ocupam sobretudo parte sul
- Floresta ocupa cerca de 36% da área do concelho em solos com limitada capacidade de uso
- Cerca de 72% da área florestal é ocupada por sobreiro, estando também presentes a azinheira, o pinheiro-manso, o pinheiro-bravo, a alfarrobeira

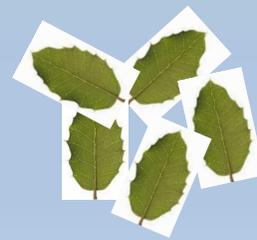
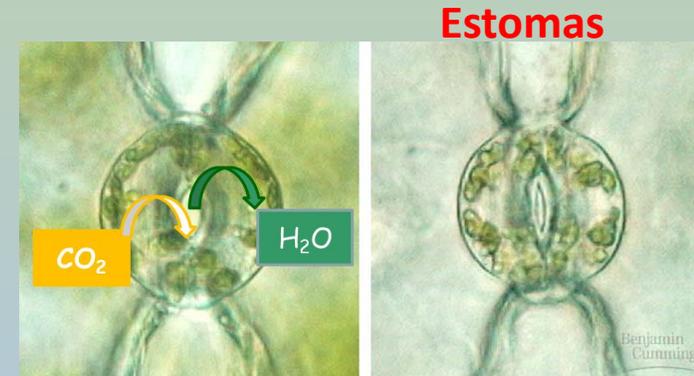
O sobreiro – espécie florestal dominante no concelho de Loulé

1. Redução das perdas de água por transpiração



Folhas pequenas e espessas

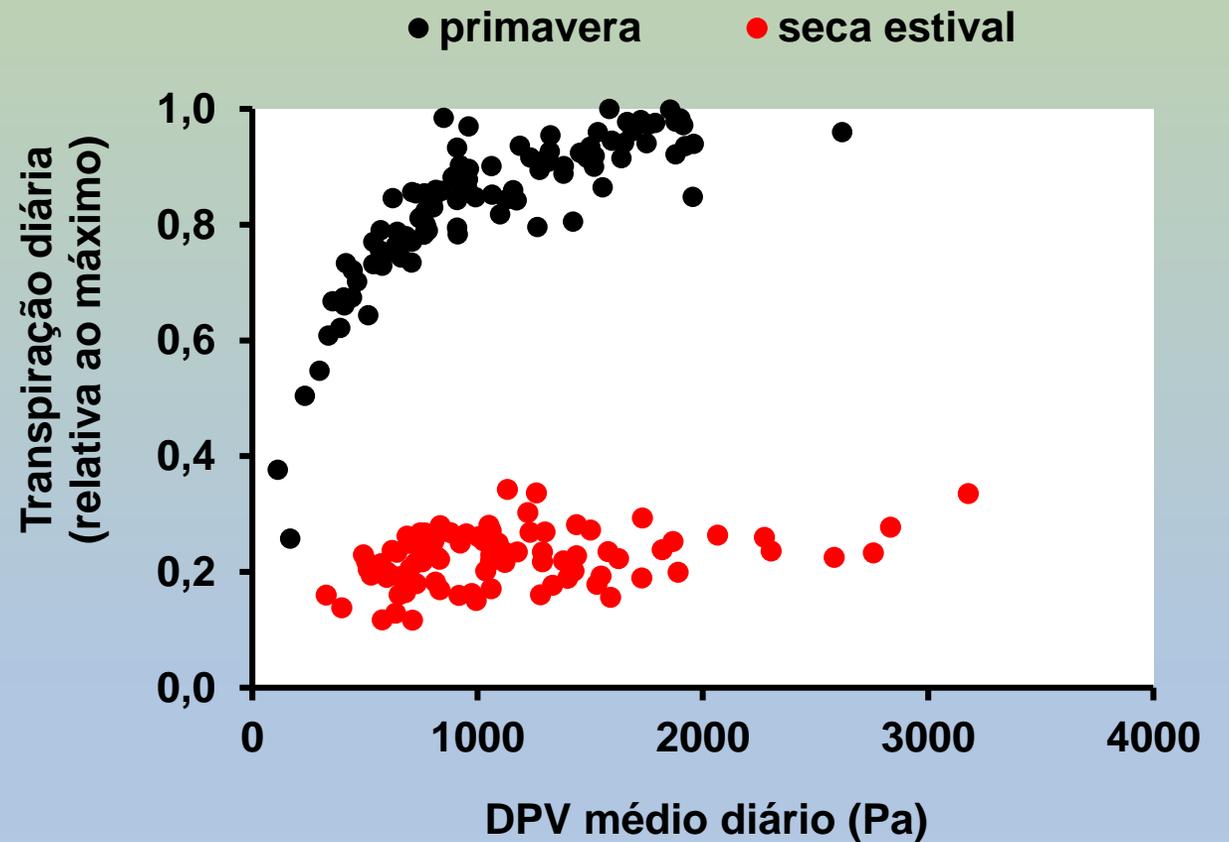
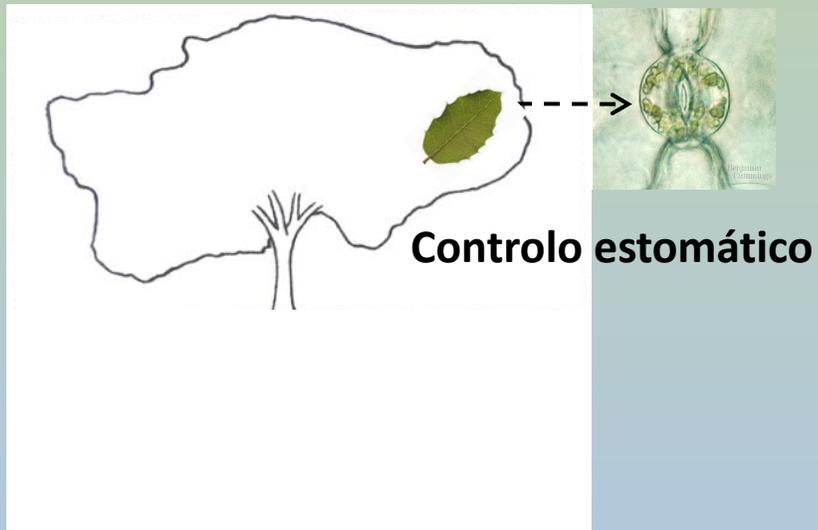
→ Eficiente controlo estomático



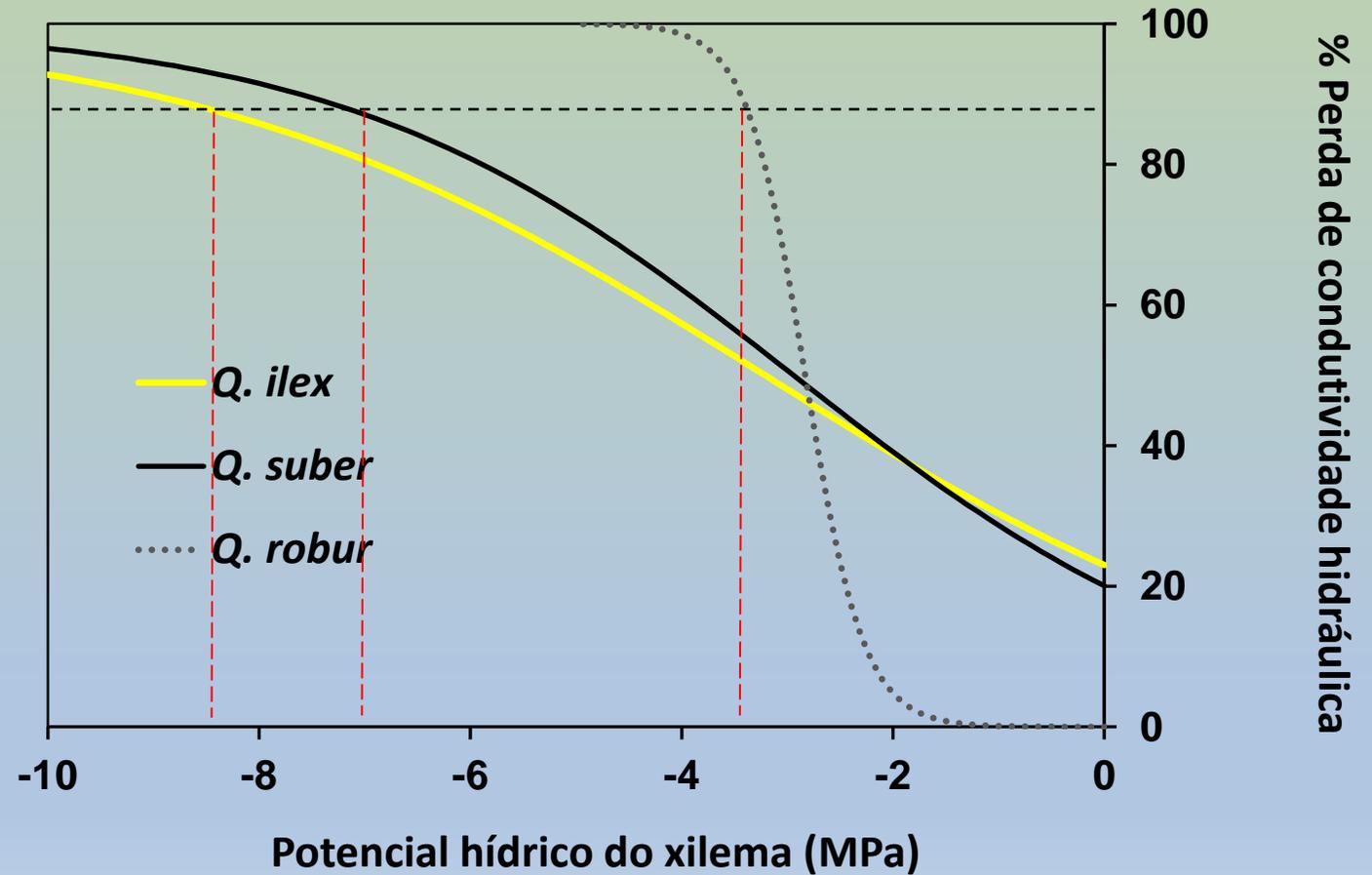
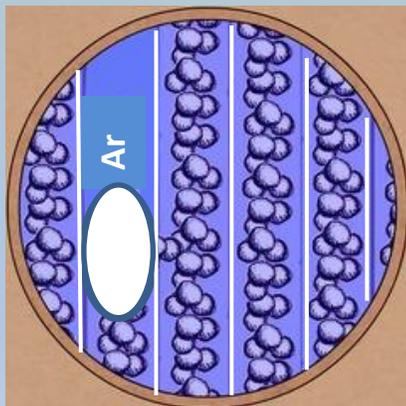
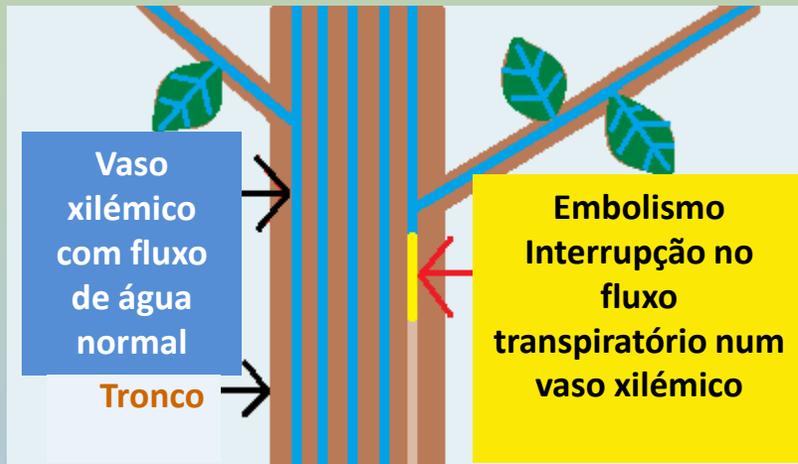
Redução da área foliar - descartar folhas

-----> Reduzida área foliar - baixa densidade arbórea

1. Redução das perdas de água por transpiração – eficiente controlo estomático



2. Resistência do xilema ao embolismo - sistema de transporte de água e nutrientes resistente

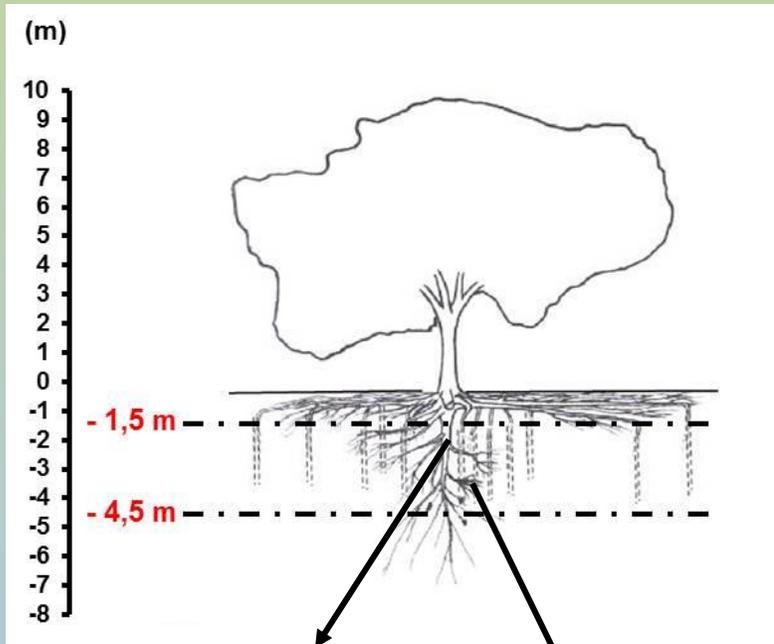


3. Maximização da captação de água pelas raízes - a parte não visível



Desenvolvimento de raízes profundantes

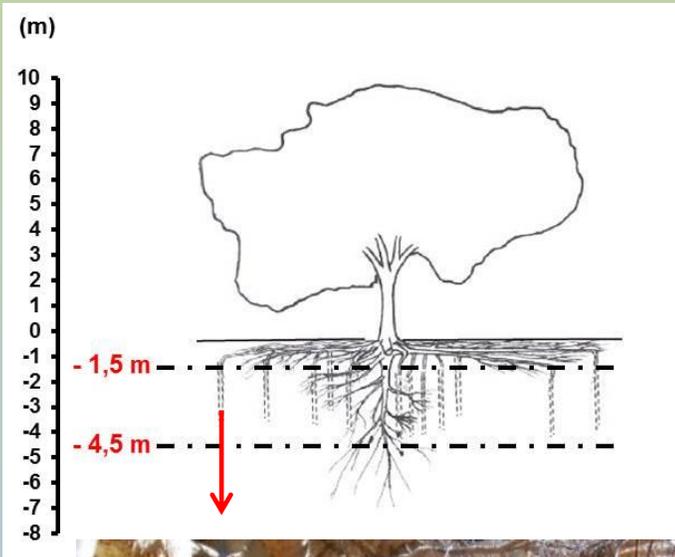
3. Maximização da captação de água pelas raízes - raízes extensas e profundas



Solo arenoso
sobrejacente a camada
argilosa a cerca de 9 m
de profundidade

Sistema radicular
dimórfico

3. Maximização da captação de água pelas raízes - raízes profundantes (*sinker roots*)



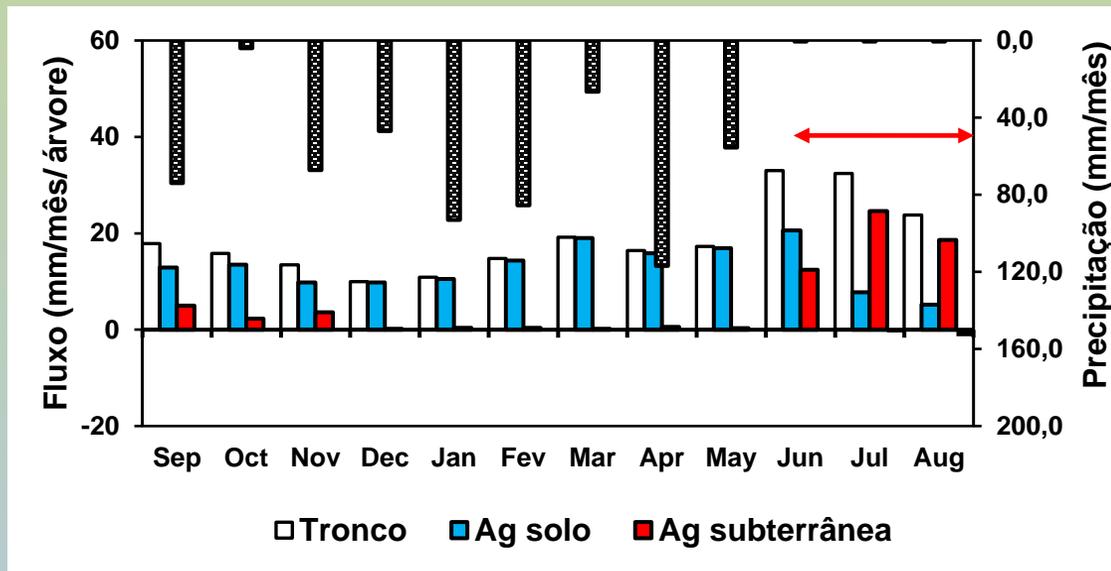
Solo arenoso
sobrejacente a camada
argilosa a cerca de 9m
de profundidade

A estrutura do sistema radicular - injeção de ar e escavação



**Solo arenoso
sobrejacente a camada
argilosa a cerca de 9m
de profundidade**

Fontes de abastecimento de água ao longo do ano



Água do solo superficial durante a maior parte do ano

Água subterrânea no verão

| Assinatura isotópica ($\delta^{18}\text{O}$) | | | |
|--|----------------|------------------|------------------------|
| | Água do xilema | Água subterrânea | Água solo não saturado |
| 26 Jun | -4.06 (0.31) a | -4.50 (0.05) a | 0.97 (0.33) b |
| 13 Ago | -4.75 (0.15) a | -4.98 (0.51) a | 1.96 (0.70) b |
| 10 Set | -4.84 (0.21) a | -5.44 (0.46) a | -1.86 (0.67) b |

Período de verão com solo superficial seco

Azinheira – espécie também presente no concelho de Loulé

Em profundidade



Em extensão



Azinheiras - Évora
Cambissolo sobrejacente
a rocha fraturada

Pinheiro-manso – espécie também presente no concelho de Loulé

- A colonização do solo pelas raízes de plântulas de pinheiro-manso, pinheiro-bravo e pinheiro-de alepo (Mediterrânicos), em rizotrótes é mais rápida e atinge níveis mais profundos do que em pinheiro-silvestre e pinheiro-larício

Andivia et al. 2019, Trees

- Em termos evolucionários o pinheiro-manso desenvolveu uma estratégia de forte investimento em biomassa radicular tal como o sobreiro

Correia et al., 2018



Pinheiro-manso – espécie também presente no concelho de Loulé

- Danos causados em catacumbas judaicas de Roma (Villa Torlonia) foram atribuídos a raízes de pinheiro-manso encontradas a 8-10 m abaixo da superfície do solo e com grande desenvolvimento lateral

Caneva et al. 2009, Journal of Cultural Heritage

- A análise do uso de água ao longo do ano em dunas de zonas costeiras, através de isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$), revelou que na primavera as árvores consumiam água das camadas superficiais do solo e no verão água subterrânea o que indicia a presença de um sistema radicular dimórfico).

Antunes et al. 2017, Functional Ecology

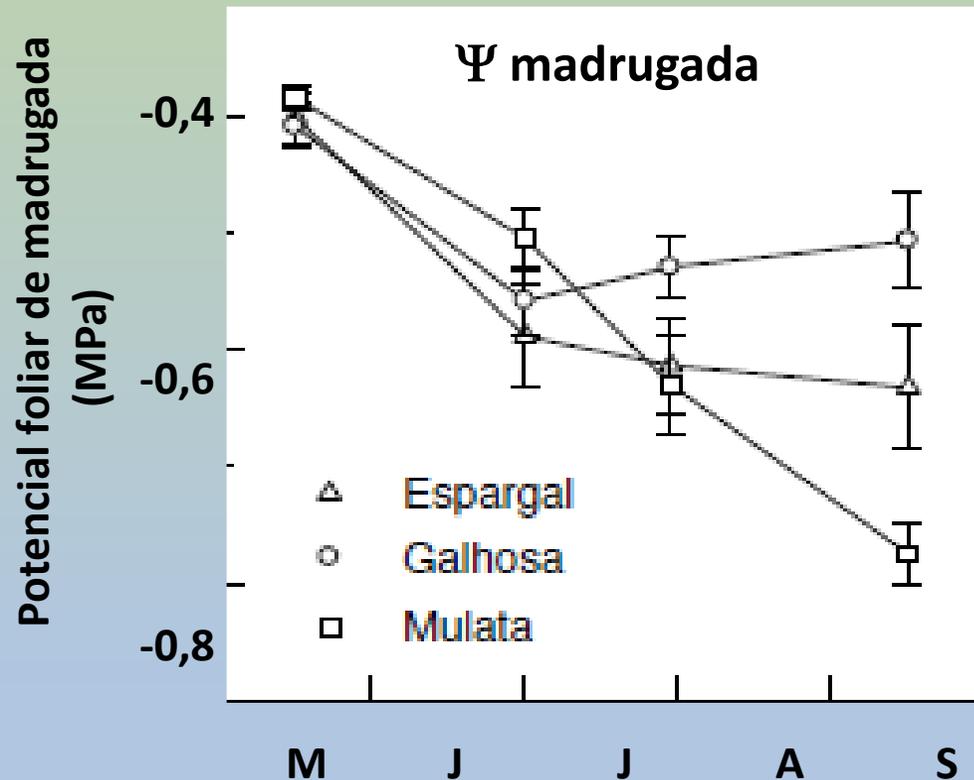
- Existência de raízes profundantes (*sinkers*) e de anastomoses entre raízes de árvores vizinhas



Montero et al., 2004

Alfarrobeira – espécie também presente no concelho de Loulé

Sul de Portugal, sem irrigação



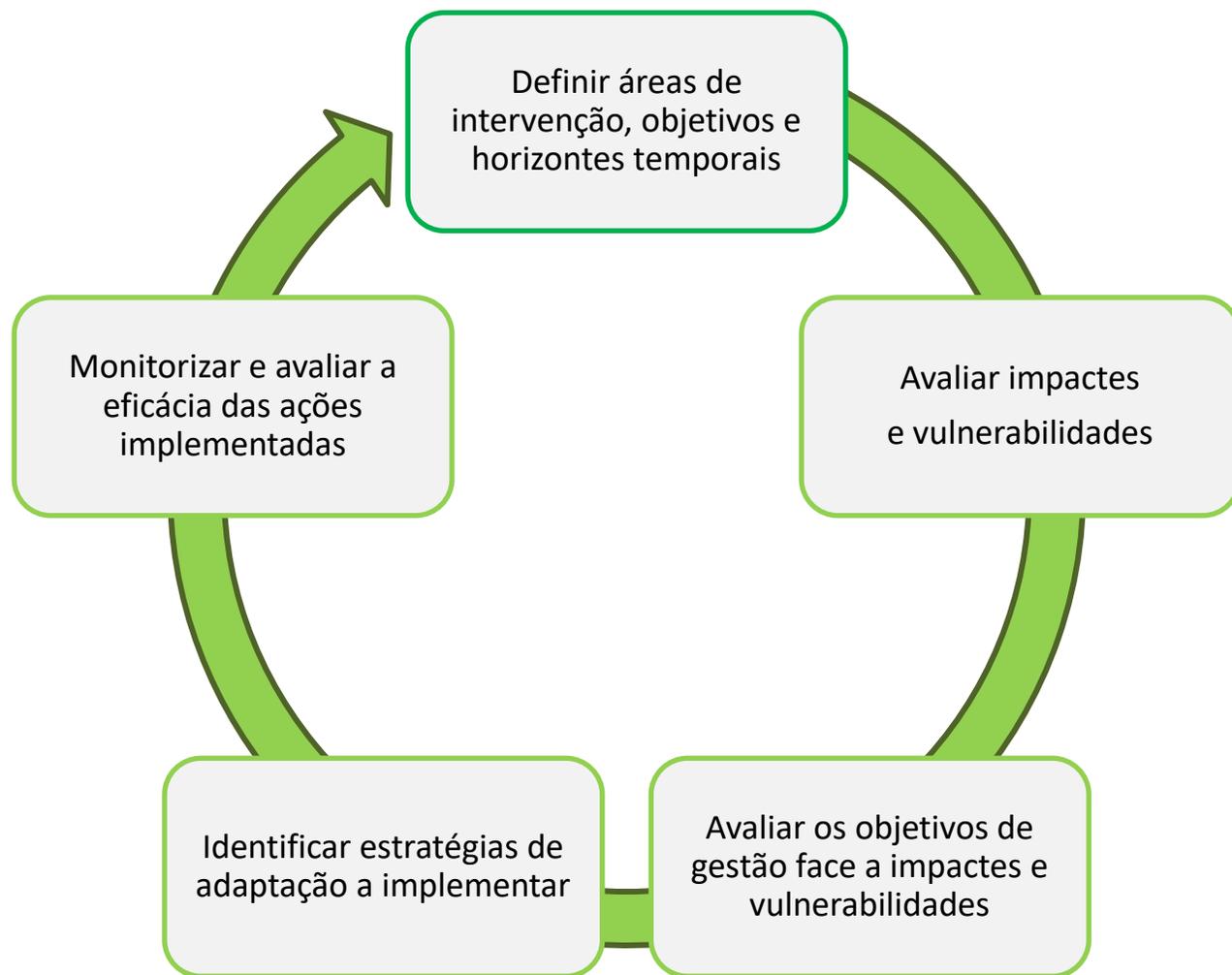
As árvores mantiveram bom estado hídrico: potenciais foliares de madrugada sempre superiores a **-0,8 MPa** no pico do período estival. Estes resultados indiciam a captação de água em profundidade pelas raízes

Correia *et al.*, 2001, *Tree Physiology*

Potenciais foliares de madrugada em árvores adultas sem irrigação não desceram abaixo de **-1,1 MPa**, o que pode sugerir uma estratégia de enraizamento em profundidade

Correia P.J. & Loução M.A., 1995, *Plant and Soil*

Planear, implementar e avaliar as medidas de gestão florestal para adaptação à seca



A gestão deve ser encarada como um processo contínuo de aprendizagem

São necessárias competências tecnológicas que permitam melhorar a aquisição e análise de dados

Medidas para GESTÃO ADAPTATIVA DA FLORESTA à seca

Melhorar o sistema de monitorização ambiental, mapear as disponibilidades hídricas e a sua variação espacial

Selecionar as espécies florestais mais adequadas a cada local

Reduzir a competição pela água e nutrientes: adequar a densidade arbórea e gerir o sobcoberto (Caldeira *et al.*, 2015)

Adequar práticas culturais às características adaptativas desenvolvidas pelas diferentes espécies: ex. não danificar/destruir raízes para evitar o desacoplamento das árvores das fontes de abastecimento de água e nutrientes

Promover práticas de conservação do solo que melhorem a capacidade de infiltração e retenção de água: ex. *mulching*, evitar a compactação por sobrepastoreio e maquinaria

Medidas para GESTÃO ADAPTATIVA DA FLORESTA à seca

Promover a regeneração de modo a ter ecossistemas com árvores de estrutura etária irregular

Recorrer ao melhoramento genético e à seleção fenotípica para maior resiliência à seca, maior produtividade e qualidade dos produtos, mantendo elevada variabilidade genética

No caso do sobreiro evitar descortiçamentos em anos de seca severa (Costa e Silva *et al.*, 2021)

Monitorizar o estado de vitalidade das árvores

Referências

- Allen CD, Macalady AK, Chenchouni H, Bachelet D, McDowell N, Vennetier M, Kitzberger T, Rigling A, Breshears DD, Hogg EH et al., 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259: 660-684.
- Andivia E, Zuccarini P, Grau B *et al.*, 2019. Rooting big and deep rapidly: the ecological roots of pine species distribution in southern Europe. *Trees* 33: 293-303.
- Antunes Cristina, Díaz Barradas MC, Zunzunegui M, Vieira S, Pereira A, Anjos A, Correia O, Pereira MJ & Máguas C, 2018. Contrasting plant water-use responses to groundwater depth in coastal dune ecosystems. *Functional Ecology* 32: 1931-1943.
- Baldocchi DD & Xu L, 2007. What limits evapotranspiration from Mediterranean oak woodlands-The supply of moisture in the soil, physiological control by plants or the demand by the atmosphere? *Advances in Water Resources* 30: 2113–2122.
- Caldeira MC, Lecomte X, David TS, Pinto JG, Bugalho MN & Werner C, 2015. Synergy of extreme drought and shrub invasion reduce ecosystem functioning and resilience in water-limited climates. *Scientific Reports* 5, 15110, 9p.
- Caneva G, Galotta G, Cancellieri L & Savo V, 2009. Tree roots and damages in the Jewish catacombs of Villa Torlonia (Roma). *Journal of Cultural Heritage* 10: 53–62.
- Choat B, Jansen S, Brodribb TJ, Cochard H, Delzon S, Bhaskar R, Bucci SJ, Feild TS, Gleason SM, Hacke UG *et al.*, 2012. Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature* 491: 752-755.
- Correia A, Galla A, Nunes A & Pereira JS, 2018. Ecological interactions between cork oak (*Quercus suber* L.) and Stone Pine (*Pinus pinea* L.): results from a pot experimente. *Forests* 9(9): 534.
- Correia MJ, Coelho D & David MM, 2001. Response to seasonal drought in three cultivars of *Ceratonia siliqua*: leaf growth and water relations. *Tree Physiology* 21(10): 645-53.
- Correia PJ & Martins-Loução MA, 1995. Seasonal variations of leaf water potential and growth in fertigated carob-trees (*Ceratonia siliqua* L.). *Plant Soil* 172: 199-206.

Costa-e-Silva F, Correia AC, Pinto C, David JS, Hernandez-Santana V & David TS, 2021. Effects of cork oak stripping on tree carbon and water fluxes. *Forest Ecology and Management* 486, Article 118966, 10p.

David TS, Ferreira MI, Cohen S, Pereira JS & David JS, 2004. Constraints on transpiration from an evergreen oak tree in southern Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology* 122: 193-205.

David TS, Pinto CA, Nadezhdina N & David JS, 2016. Water and forests in the Mediterranean hot climate zone: a review based on a hydraulic interpretation of tree functioning. *Forest Systems* 25 (2), eR02.

David TS, Pinto CA, Nadezhdina N, Kurz-Besson C, Henriques MO, Quilhó T, Cermak J, Chaves MM, Pereira JS & David JS, 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.

Engelbrecht BMJ, 2012. Forests on the brink. *Nature* 491: 675-677.

Hartmann H, Moura C, Anderegg WRL, Ruehr NK, Salmon Y, Allen CD, Arndt SK, Breshears DD, Davi H, Galbraith D, Ruthrof KX, Wunder J, Adams HD, Bloemen J, Cailleret M, Cobb R, Gessler A, Grams TEE, Jansen S, Kautz M, Lloret F & O'Brien M, 2018. Research frontiers for improving our understanding of drought-induced tree and forest mortality. *New Phytologist* 218(1): 15-28.

Montero G, Ruiz-Peinado R, Candela JA, Canellas I, Gutierrez M, Pavon J, Alonso A, Rio MD., Bachiller A, & Calama R, 2004. *Selvicultura. In El pino pinonero (Pinus pinea L.) en Andalucía. Ecología, distribución y selvicultura.* Edited by G Montero, JA Candela & A Rodriguez. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla. ISBN: 84-95785-94-3.

Pinto CA, David JS, Cochard H, Caldeira MC, Henriques MO, Quilhó T, Paço TA, Pereira JS & David TS, 2012. Drought-induced embolism in current-year shoots of two Mediterranean evergreen oaks. *Forest Ecology and Management* 285: 1-10.

Sardans J & Peñuelas J, 2013. Plant-soil interactions in Mediterranean forest and shrublands: impacts of climatic change. *Plant Soil* 365: 1-33.

Zeppel MJB, Anderegg WRL & Adams HD, 2013. Forest mortality due to drought: latest insights, evidence and unresolved questions on physiological pathways and consequences of tree death. *New Phytologist* 197: 372-374.

CONHECER PARA ADAPTAR

