

SILVICULTURA ADAPTADA ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

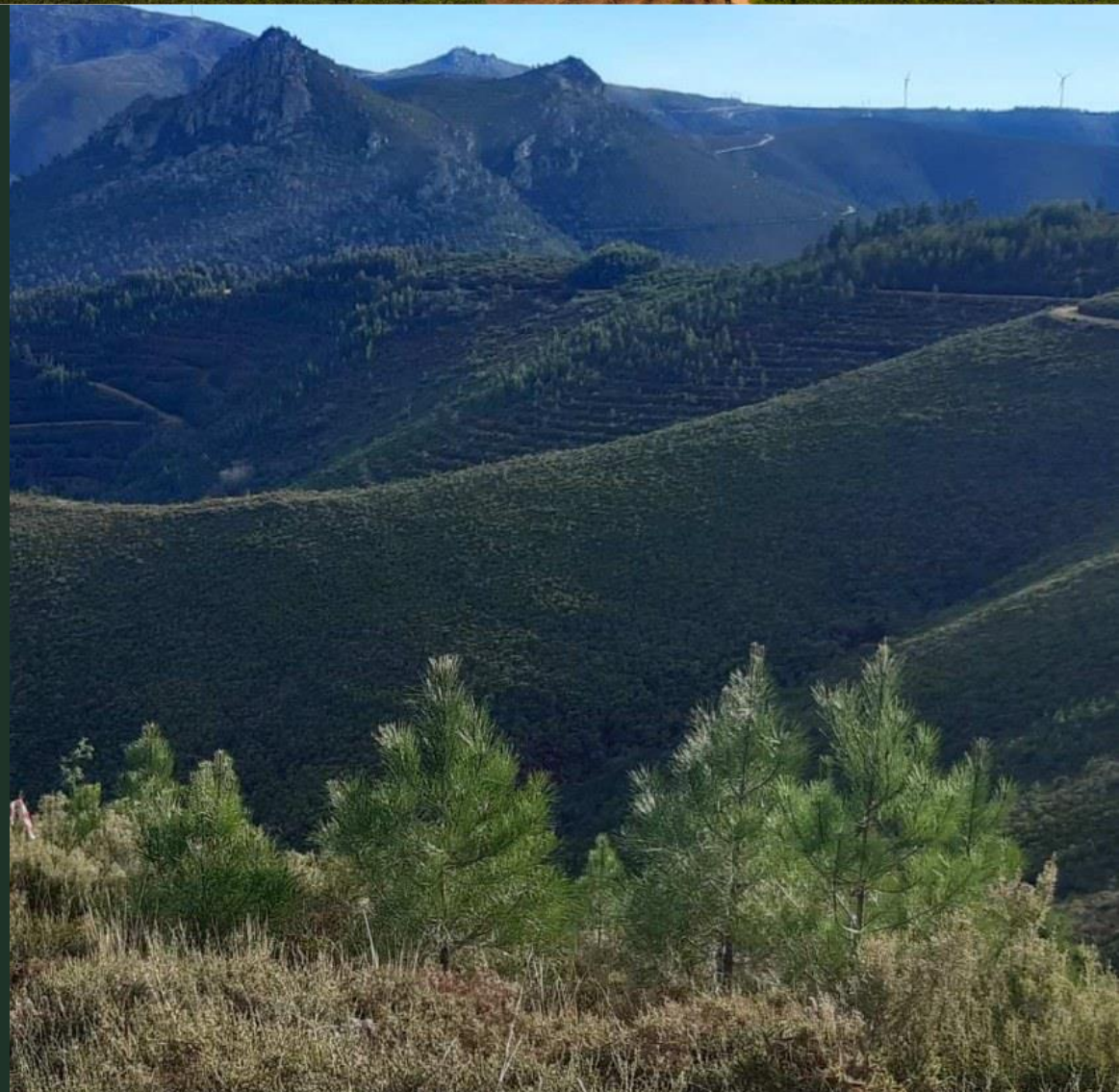
Da paisagem ao povoamento: silvicultura para um clima em mudança

*Medidas de adaptação dos povoamentos no Plano de Gestão
Florestal da Serra do Açor*

Raúl Salas

Escola Superior Agrária de Coimbra

9.ª Conferência Anual da PNAP · Arquitetura e Paisagem: Memória, Identidade e Resiliência · Arganil, 2 de outubro de 2026



1 • ENQUADRAMENTO

Um clima que deixa de ser referência

 **> 20%**

redução da precipitação de primavera,
mesmo no terzo norte do país

Soares et al., 2017, p. 2519

 **-15 a -30%**

dias com precipitação, do noroeste ao
sul

Soares et al., 2017, p. 2524

 **7 a 9x**

mais ondas de calor por ano até 2100

Cardoso et al., 2019, p. 129

 **-12 a -49%**

crescimento das árvores no sul da
Europa, nos últimos ~50 anos

Vacek et al., 2023, p. 1

Projeções regionais para Portugal, cenário RCP8.5, final do século.

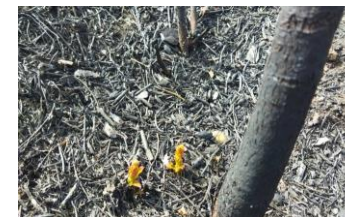
Fotos: Floresta da Serra do Açor.



Seca e calor, 2022



Tempestade Martinho, 2025



Incêndio, 2025

Na Serra do Açor, o clima já testou os povoamentos recém-instalados

Consequência para a silvicultura

- As práticas locais assumem implicitamente um clima constante (Keenan, 2015, p. 146).
- Os conceitos tradicionais são insuficientes: é preciso mudar a **composição**, as **rotações** e a **densidade** (Jandl et al., 2019, p. 10).
- Nem a ausência de gestão nem a gestão habitual oferecem segurança (ibid.).

1 • ENQUADRAMENTO

Resistir, recuperar, transitar: três estratégias num contínuo



Resistência

Manter as condições existentes, reduzindo a vulnerabilidade do povoamento.

No povoamento → Gestão do subcoberto · *redução da densidade* · proteção do solo



Resiliência

Aceitar desvios temporários, favorecendo o regresso a um intervalo de condições de referência.

No povoamento → Regeneração natural · legados biológicos · espécies que rebentam



Transição

Facilitar ativamente a mudança para condições ajustadas ao clima futuro.

No povoamento → Conversão gradual · espécies e proveniências de climas mais quentes e secos

manter o estado atual

acompanhar a mudança

Não são categorias estanques: combiná-las dentro de cada povoamento e entre povoamentos cria ligações funcionais que aceleram a recuperação após perturbações (D'Amato et al., 2023, p. 363). Tentar manter condições passadas exige esforço crescente e pode originar florestas mal adaptadas (Millar et al., 2007, p. 2145).

Millar et al., 2007, p. 2145; D'Amato et al., 2023, pp. 363–367; Nagel et al., 2026, p. 160.

3

1 • ENQUADRAMENTO

Seis princípios para a capacidade adaptativa do povoamento



Mais riqueza de espécies

P1

Espécies com tolerâncias diferentes: a mistura é uma salvaguarda perante o clima incerto (p. 494).



Mais diversidade estrutural

P2

Idades e estratos diferentes: nenhuma perturbação atinge todas as árvores (p. 495).



Mais variação genética

P3

Regeneração natural e material local complementado com outras origens (Kolström et al., 2011, p. 965).



Árvores individualmente mais resistentes

P4

Copas e raízes desenvolvidas, conduzidas por desbastes atempados.



Substituir povoamentos de alto risco

P5

Converter gradualmente os povoamentos mais vulneráveis.



Manter existências baixas

P6

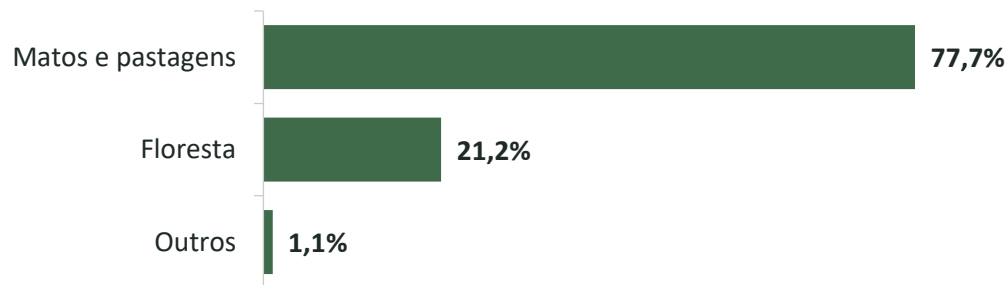
Menos competição pela água e menos combustível no copado (p. 496; Bottero et al., 2017, p. 1612).

Atributos que conferem resiliência: legados biológicos · misturas com redundância funcional · diversidade de formas de regeneração (rebentação, banco de sementes) · estruturas heterogêneas (D'Amato et al., 2023, p. 367)

2 • O PLANO DE GESTÃO FLORESTAL

O ponto de partida: um pinhal ardido e um plano que assume a incerteza

Ocupação do solo antes do projeto (% da área)



77,5%

da floresta era pinheiro-bravo

92%

da área ardeu em 2017 (2324 ha)



*Esta adaptação dos modelos clássicos [...] considera o cenário de incerteza associado às alterações climáticas e incorpora mecanismos de ajuste das opções técnicas [...] de forma a **minimizar o risco de insucesso através da diversificação de opções técnicas**, quer quanto às espécies a utilizar quer quanto ao seu modo de condução.*

PGF, pp. 46–47

CrITÉRIOS de escolha do modelo em cada parcela



características
físicas



aptidão
ecológica



regeneração
natural presente



incerteza
climática

2 • MEDIDA 1

Compor: povoamentos mistos de resinosa e folhosa

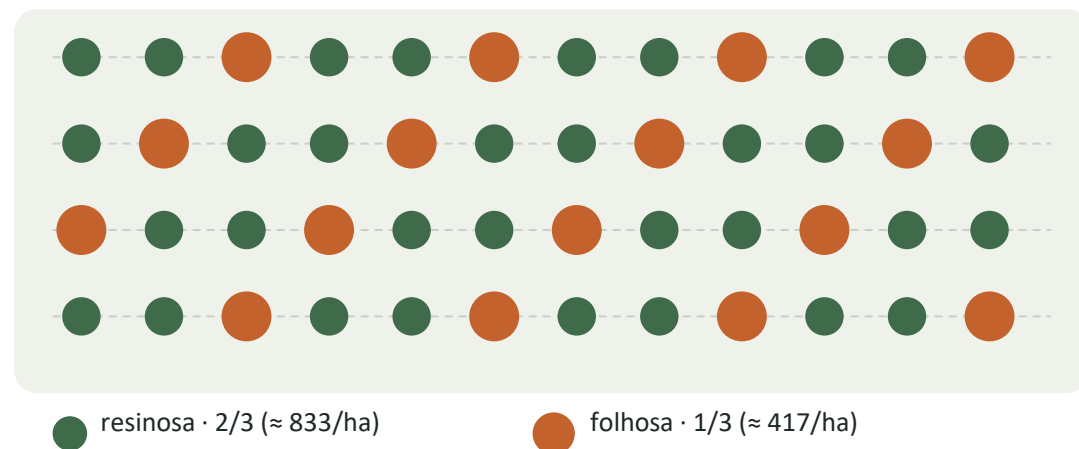
Resistência

Resiliência

P1

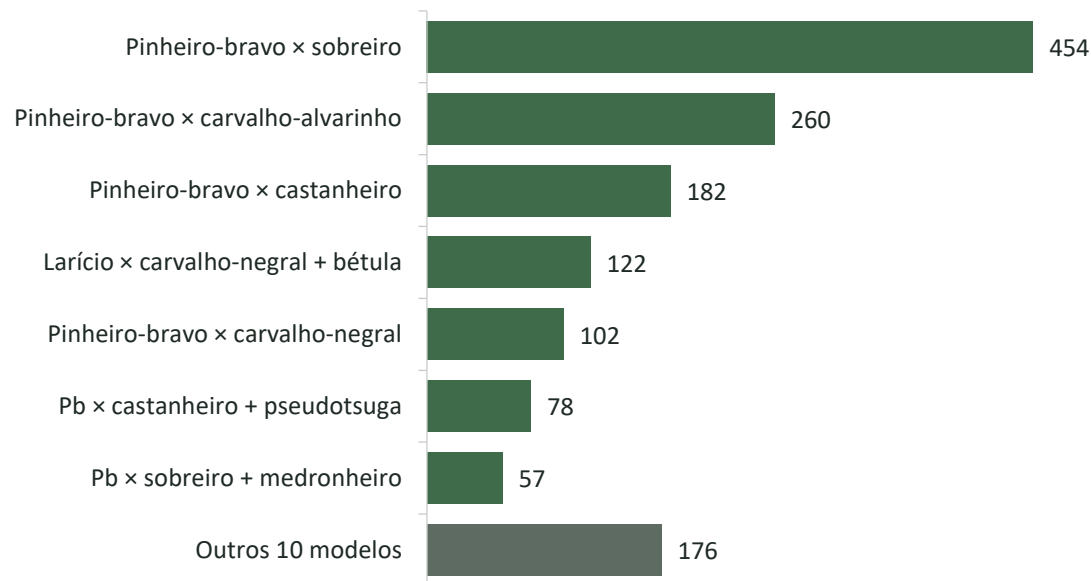
P2

Mistura pé-a-pé na linha · compasso 4 × 2 m



- **Pé-a-pé:** todas as folhosas ficam na vizinhança imediata da resinosa — o maior grau de consociação (PGF, p. 70).
- **Por manchas:** nas parcelas heterogéneas, cada espécie onde o microclima, o solo ou a regeneração lhe convêm (PGF, p. 70).

Área por modelo de silvicultura (ha) · função de produção: 1430 ha



Hipótese do seguro: espécies com tolerâncias diferentes repartem o risco de seca, pragas e fogo.

PGF, Quadro 20, pp. 68–70 (17 modelos). Brang et al., 2014, p. 494; Messier et al., 2019, p. 5; Bolte et al., 2010, p. 125.

2 • MEDIDA 2

Conduzir: a resinosa facilita, a folhosa fica

Transição

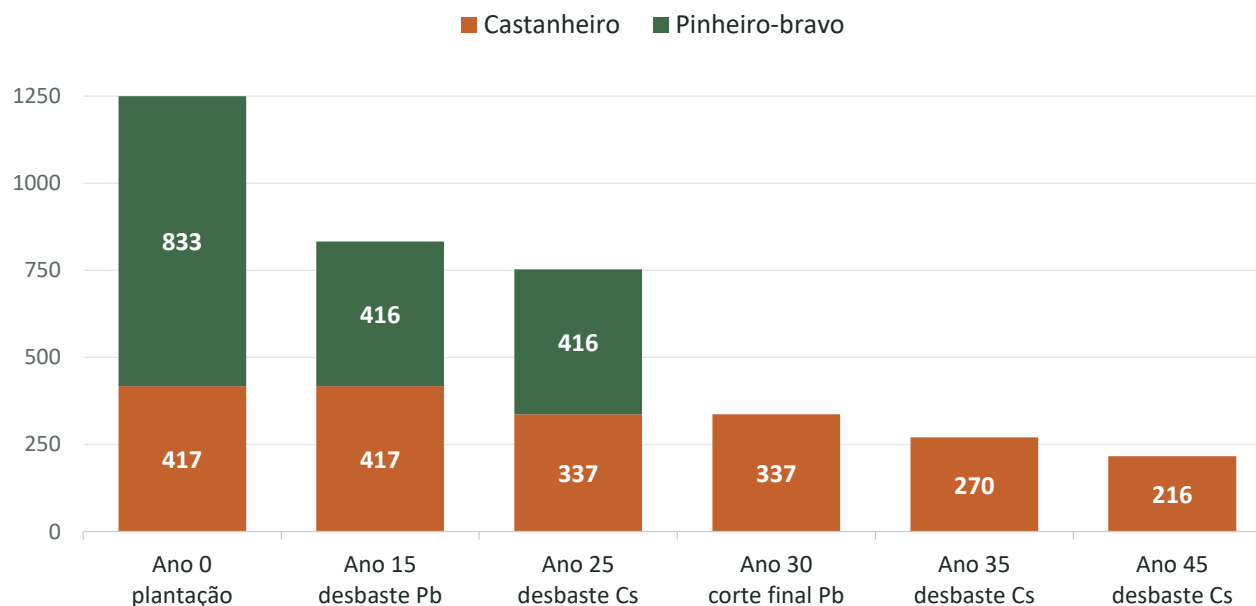
Resistência

P4

P5

P6

Itinerário do misto pinheiro-bravo × castanheiro · árvores/ha



Ano 60: corte final do castanheiro por cortes sucessivos, com regeneração natural. Nunca há cortes rasos (PGF, p. 70).

PGF, Quadro 23, p. 74; pp. 70–72. Brang et al., 2014, pp. 492, 496; Bottero et al., 2017, pp. 1605, 1612.



Pinheiro-bravo: facilitador e temporário

Cobre e protege a instalação da folhosa. Desbaste pelo baixo aos 15 anos (≈ 50%) e corte final aos 30.



Castanheiro: o povoamento do futuro

Desbastes pelo alto de ≈ 20% aos 25, 35 e 45 anos: densidade decrescente, copas vigorosas.



Estrutura aberta ao futuro

A monitorização decidirá onde evoluir para estrutura irregular, com outras espécies que se instalem (PGF, p. 72).

Transição gradual: do pinhal ao misto de folhosas, sem deixar o solo a descoberto.

2 • MEDIDA 3

Escolher espécies para o clima que aí vem

Transição

Resiliência

P1

P3

P5



Medronheiro: apostar no que já se adapta

≈ 83 ha

em modelos com medronheiro no PGF

Pomar plantado

14,5

Regeneração natural conduzida

11,7

Manchas nos mistos Pb × sobreiro

56,5

Mediterrânico, tolera a seca, rebenta após o fogo e produz fruto: prospera nas encostas a sul, onde domina a vegetação (PGF, p. 80).



Sobreiro: migração assistida com rede de segurança

Introduzido em áreas **onde até agora não surgia naturalmente** (≈ 510 ha em mistos), antecipando condições mais quentes e secas.



Consociação pé-a-pé: 666 pinheiros + 334 sobreiros/ha

Aposta de risco → consociado com pinheiro-bravo: se o sobreiro falhar, o pinheiro garante o povoamento.

Resultado: a plantação de sobreiro tem tido baixa taxa de sucesso.



Resposta: instalar o sobreiro por sementeira



Bolota do local

adaptada à estação; mantém a diversidade genética local.

+



Proveniências de estações mais quentes

genótipos mais próximos do clima futuro.

Seleção natural desde a germinação e sistema radicular sem deformações de viveiro. Em desenvolvimento no projeto iN_Seed (Prober et al., 2015, p. 2).

Transição com gestão do risco: diversificar espécies e origens genéticas, sem apostar tudo numa só.

PGF, Quadro 20, pp. 68–70; Quadro 24, p. 74; p. 80. Áreas: pomar 14,5 ha; medronhal natural 11,7 ha; Pb × sobreiro 453,7 ha; Pb × sobreiro + medronheiro 56,5 ha.

Regenerar: a regeneração natural como regra

« *O aproveitamento da regeneração natural de folhosas é uma regra para todas as parcelas.*

PGF, p. 70



Regeneração natural de bétula aproveitada no povoamento

No povoamento: quando a regeneração muda o modelo previsto

15.3.1

Salgueiro

Pinheiro × castanheiro → misto de folhosas

Castanheiro, bétula, freixo e ácer sobreviventes a 2017 com ≥ 417 folhosas/ha; adensamento só com castanheiro e ácer.

13.2.2

Lomba, Nogueira e Aveleira

Pinheiro × castanheiro → bétula × castanheiro

Regeneração de bétula aproveitada em linhas, numa área prevista para gradagem.

4.2

Luadas

Sem instalação

Bosquete de carvalho-alvarinho com ≥ 40 anos mantido como legado biológico.

21.5

Cepos e Casal Novo

Pinheiro × sobreiro + medronheiro natural

Regeneração de medronheiro integrada no esquema de mistura.

Fichas de parcela (FSA/ESAC, 2026). Linhas de plantação desenhadas a partir das plantas existentes (PGF, p. 72). Cavers & Cottrell, 2015, pp. 18, 21; Bolte et al., 2010, p. 127. Foto: FSA.

Instalar protegendo o solo e a água



Preparação diferenciada pelo declive

Subsolagem a 40 cm segundo as curvas de nível no terreno regular; nas encostas declivosas, covas manuais e faixas de 1 m alternadas com 3 m intactos.



Controlo localizado da vegetação

Faixas de 1 m na linha e entrelinhas de 4 m, salvaguardando a regeneração de resinosas e folhosas autóctones.



Material ardido e sobrantes em cordões

Toros e sobrantes escorados segundo as curvas de nível: travam a erosão e retêm água e matéria orgânica.



Faixas ripícolas de 10 m

Limpeza manual e adensamento com bétula onde faltava vegetação ripícola.

≈ 60 ha com mobilização mecânica em 2425 ha: numa estação mais seca, a água retida no solo é adaptação.

Quando a perturbação chega: o incêndio de 2025



Após o incêndio de 2025

Parcela 1.2.1 • Vinhó • misto pinheiro-bravo × carvalho-alvarinho



Resistência

Subcoberto gerido à data do incêndio: progressão de baixa intensidade e mortalidade apenas parcial do pinheiro.



Resiliência

≈ 70% dos carvalhos rebentaram de toíça: o povoamento não recomeçou do zero.



Ajuste

Replantação somada à regeneração: ≈ 833 pinheiros + 700 carvalhos/ha, para um fecho de copas mais precoce.

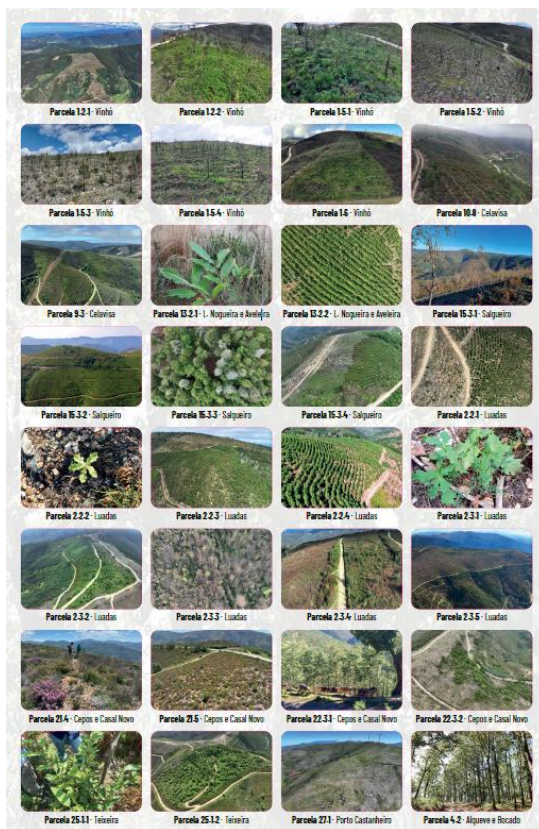
Outros ajustes no povoamento

- **1.5. Vinhó:** carvalho-alvarinho nas zonas baixas e de solos mais fundos, carvalho-negral no resto.
- **27.1 Porto Castanheiro (900–1040 m):** retancha por sementeira ao covacho — reposição rápida e a menor custo.
- **10.8 Celavisa:** sementeira de bolota abandonada pela predação (javali, roedores) — plantação em vaso.

Fichas de parcela 1.2.1, 1.5.x, 10.8 e 27.1 (FSA/ESAC, 2026). Falk et al., 2022, p. 4: nas folhosas que rebentam, a recuperação é mais rápida e menos incerta do que por semente.

2 • MONITORIZAÇÃO

Monitorizar o povoamento: cada parcela é um ensaio



32

parcelas permanentes
de monitorização e
demonstração

9

baldios, organizados
em 5 núcleos

2026

inventário segundo
protocolo próprio



O que se mede

- **Na árvore:** espécie, DAP, altura, vigor e dimensões da copa, estado (viva, morta, caída, falha).
- **Na parcela:** exposição, declive, coberto arbustivo, herbivoria, incêndio e historial de gestão.
- **Como:** árvores geolocalizadas por GNSS, voo de drone e ensaio de inteligência artificial.



Para decidir

- Taxa de sobrevivência de cada espécie.
- Evolução da regeneração natural e eficácia das consociações nos mistos.
- Pragas, doenças e invasoras lenhosas.
- **Ficha de parcela:** previsto no Plano → realizado → cenários esperados.

A monitorização decidirá que espécies funcionam em cada estação e onde evoluir para estruturas irregulares (PGF, pp. 70, 72).

Rede de parcelas da Agenda transForm (Melhor Floresta); protocolo de inventário de campo (ESAC, 15/04/2026); PGF, pp. 109–110. Foto: parcelas da rede de monitorização, FSA.

12

2 · INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

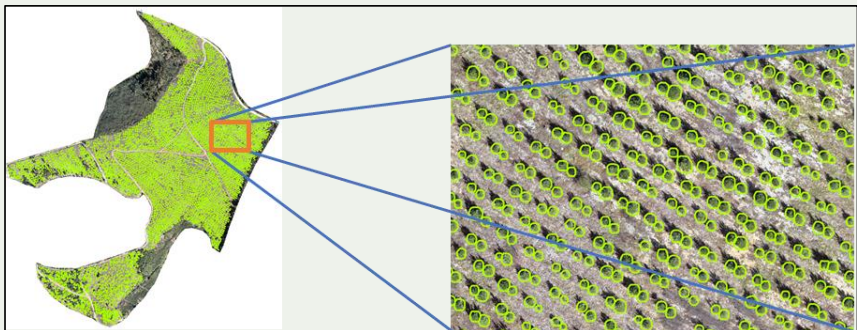
Do terreno ao conhecimento: a floresta como laboratório vivo



Agenda transform

Ação 1.4 «Melhor Floresta» · PRR

- **Área-piloto:** a Floresta da Serra do Açor como laboratório vivo de restauro pós-incêndio.
- **Rede de parcelas permanentes** de monitorização e demonstração.
- **Inventário assistido por** inteligência artificial a partir de imagens de drone, para avaliar plantações e regeneração.
- **Transferência:** manuais técnicos, protocolos de monitorização e guias operacionais (Forest Knowledge Academy).



iN_Seed

Sementes florestais e inteligência natural na promoção de ecossistemas resilientes · COMPETE 2030

- **Gel protetor** de hidrogéis multifuncionais para sementes e semeador manual.
- **Sementeira direta e localizada** de pinheiro-bravo e sobreiro.
- **Objetivo:** promover a germinação em áreas com condições ecológicas adversas, para uma restauração mais eficiente.
- **Consórcio:** Bosque (líder), EST, Tree Plus, Universidade do Minho e IPC-ESAC.

Responde a dificuldades vistas nos povoamentos: sementeira ao covacho (27.1) e insucesso da sementeira de bolota (10.8).

13

Silvicultura adaptada às alterações climáticas

1

Diversificar é a primeira medida de adaptação — na composição, na estrutura e nos modos de condução.

2

Resistir, recuperar e transitar no mesmo povoamento: o pinheiro protege hoje, a folhosa prepara o amanhã, a regeneração natural testa o que o clima permite.

3

Cada modelo silvícola é uma hipótese, que o clima e a monitorização vão corrigindo.

Obrigado.

Raúl Salas

Escola Superior Agrária de Coimbra

Visita imersiva à Floresta da Serra do Açor · 15h00



APOIO

Referências principais

- Bolte, A. et al. (2010). Adaptive forest management: A prerequisite for sustainable forestry in the face of climate change. In P. Spathelf (Ed.), Sustainable forest management in a changing world (pp. 115–139). Springer.
- Bottero, A. et al. (2017). Density-dependent vulnerability of forest ecosystems to drought. *Journal of Applied Ecology*, 54(6), 1605–1614.
- Brang, P. et al. (2014). Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry*, 87(4), 492–503.
- Cardoso, R. M. et al. (2019). Mean and extreme temperatures in a warming climate: EURO CORDEX and WRF regional climate high-resolution projections for Portugal. *Climate Dynamics*, 52(1), 129–157.
- Cavers, S., & Cottrell, J. E. (2015). The basis of resilience in forest tree species and its use in adaptive forest management in Britain. *Forestry*, 88(1), 13–26.
- D'Amato, A. W. et al. (2023). Building a framework for adaptive silviculture under global change. In M. Montoro Girona et al. (Eds.), *Boreal forests in the face of climate change* (pp. 359–381). Springer.
- Falk, D. A. et al. (2022). Mechanisms of forest resilience. *Forest Ecology and Management*, 512, 120129.
- Jandl, R. et al. (2019). Forest adaptation to climate change—Is non-management an option? *Annals of Forest Science*, 76, 48.
- Keenan, R. J. (2015). Climate change impacts and adaptation in forest management: A review. *Annals of Forest Science*, 72(2), 145–167.
- Kolström, M. et al. (2011). Reviewing the science and implementation of climate change adaptation measures in European forestry. *Forests*, 2(4), 961–982.
- Messier, C. et al. (2019). The functional complex network approach to foster forest resilience to global changes. *Forest Ecosystems*, 6, 21.
- Millar, C. I., Stephenson, N. L., & Stephens, S. L. (2007). Climate change and forests of the future: Managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications*, 17(8), 2145–2151.
- Nagel, L. M. et al. (2026). Ten years of Adaptive Silviculture for Climate Change: An applied, coproduced experimental framework. *BioScience*, 76(2), 157–170.
- Prober, S. M. et al. (2015). Climate-adjusted provenancing: A strategy for climate-resilient ecological restoration. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3, 65.
- Soares, P. M. M. et al. (2017). Future precipitation in Portugal: High-resolution projections using WRF model and EURO-CORDEX multi-model ensembles. *Climate Dynamics*, 49(7), 2503–2530.
- Vacek, Z., Vacek, S., & Cukor, J. (2023). European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises and management strategies. *Journal of Environmental Management*, 332, 117353.
- Associação Floresta da Serra do Açor (2020). Plano de Gestão Florestal da Serra do Açor. Arganil: FSA.