



PROGRAMA PORTUGUÊS DE MELHORAMENTO GENÉTICO DE PINHEIRO-BRAVO: AVANÇOS PARA O FUTURO

O programa de melhoramento genético de pinheiro-bravo tem vindo a ultrapassar ao longo da sua longa história desafios constantes, sendo os mais recentes os grandes fogos florestais que abalaram o país em 2017. Ainda assim, o programa de melhoramento continua, com múltiplas parcerias institucionais, renovada fonte de financiamento e abertura a novas metodologias.

Sílvia C. Alves, Maria João Barrento, Isabel Carrasquinho
Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária



INTRODUÇÃO

O pinheiro-bravo (*Pinus pinaster* Aiton) é uma espécie autóctone de Portugal Continental^[1] (Figura 1), de grande importância socioeconómica para o país devido ao aproveitamento industrial e doméstico da madeira e da resina, mas não só. Enquanto organismo vivo, o pinheiro-bravo também exerce uma função estabilizadora dos solos e dos efeitos do clima, fomenta a biodiversidade natural dos ecossistemas nativos e contribui para a promoção do bem-estar e para a beleza paisagística das comunidades rurais. O valor deste património biológico é há muito reconhecido globalmente. De tal modo que, para além dos esforços internacionais de monitorização e conservação dos seus povoamentos naturais, há mais de 50 anos que faz parte da estratégia de desenvolvimento do nosso país investir num programa nacional de melhoramento genético para esta espécie^[2].

Desafios do melhoramento genético

Do ponto de vista técnico-científico, o melhoramento genético do pinheiro-bravo, partilha com

as demais espécies vegetais e animais os habituais desafios de que se ocupa a área da **genética quantitativa** e que radicam no facto de as características que mais interessam melhorar do ponto de vista económico estarem 1) sob **controlo poligénico** e 2) serem alvo de **influência ambiental**; ou seja, a *performance* dos indivíduos no campo é fruto da expressão de um conjunto indeterminado de “muitos” genes, com funções biológicas desconhecidas, que não só compõem uma complexa teia de interdependências regulatórias, como estas se alteram consoante as condições ambientais em que estes indivíduos se desenvolvem. Desta forma, a plasticidade biológica que normalmente se traduz numa vantagem adaptativa particularmente importante para as plantas – que, ao viverem o seu ciclo de vida expostas aos elementos, dependem destes ajustes fisiológicos para sobreviver – transforma-se num desafio de elevada complexidade para os melhoradores. Para além disso, a escassez dos recursos disponibilizados pelo ambiente impõe, aos organismos vivos, compromissos fisiológicos que

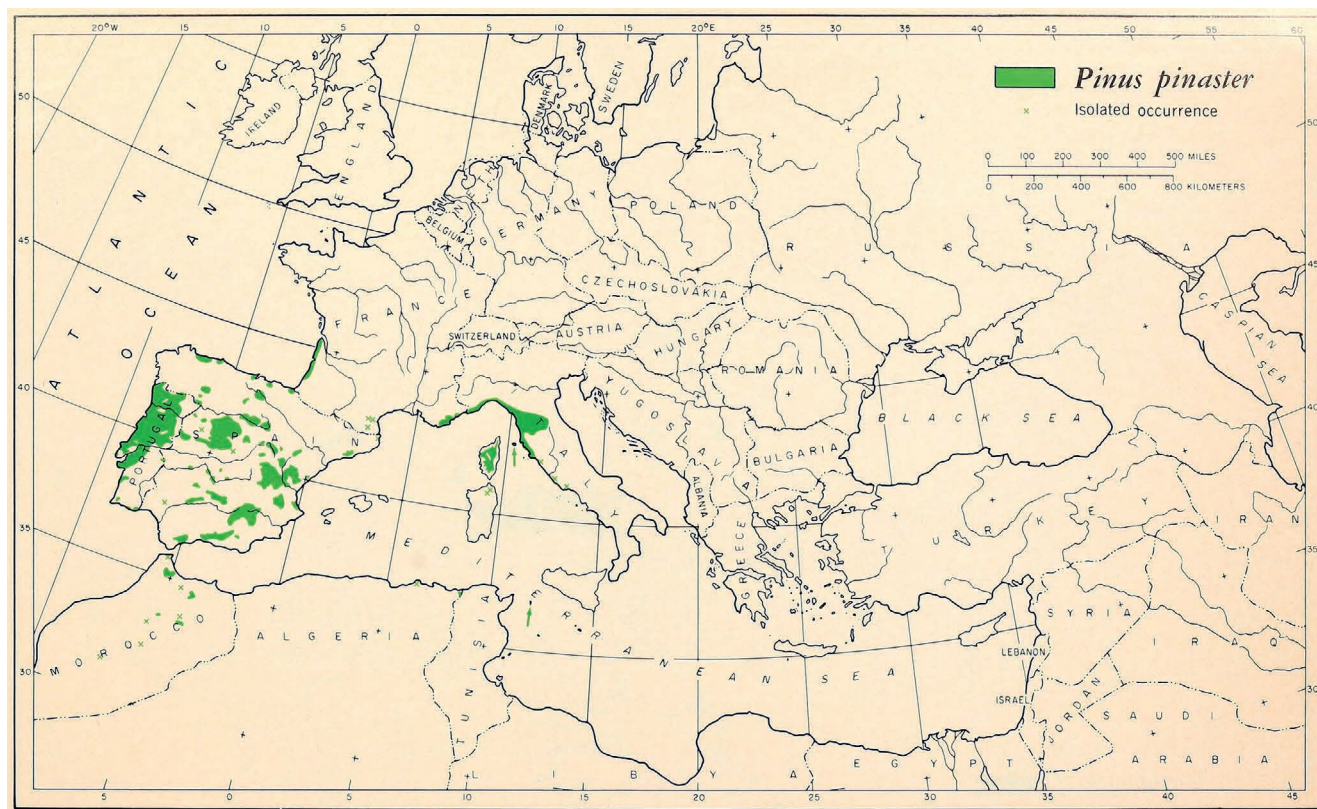


Figura 1 – Mapa de distribuição geográfica de pinheiro-bravo^[3].

privilegiam a alocação da água e dos nutrientes a uns processos metabólicos em detrimento de outros. Como tal, uma estratégia de melhoramento genético que ambicione melhorar mais do que uma característica terá sempre de acautelar o facto de que, se estas não estiverem correlacionadas positivamente, o ganho obtido com a seleção para a primeira acabará penalizado aquando da seleção para a segunda. Em pinheiro-bravo, os parâmetros de crescimento do tronco e a densidade/rigidez da madeira constituem um exemplo paradigmático de atributos de elevado interesse comercial com correlação negativa^[4]. Para obviar estes constrangimentos e maximizar a superioridade genética dos reprodutores a cada ciclo de melhoramento, a seleção dos indivíduos terá de estar obrigatoriamente

alicerçada num **delineamento experimental** adequado e apoiada em modelos matemáticos capazes de relacionar os dados recolhidos no campo com a estrutura genética da população em análise (i.e., o parentesco entre os indivíduos), e **excluir o efeito provocado pelo ambiente**.

A estes desafios transversais acrescentam-se ainda outros, que são característicos das espécies florestais (*pinheiro-bravo*) e que condicionam significativamente a progressão do programa de melhoramento. Do ponto de vista biológico, destacam-se a duração do período juvenil (7–8 anos), a constituição e disposição dos órgãos reprodutores (*estruturas femininas separadas das masculinas*), a estratégia de polinização (*vento*), o intervalo de maturação das sementes (18 meses após a polinização) e a idade



Figura 2 – Pomar Clonal Produtor de Semente de 1970 – Mata Nacional do Escaroupim, Salvaterra de Magos (Fotografia de Sílvia C. Alves, 2023).

de avaliação do desempenho fenotípico (*altura total: 10–12 anos*). Do ponto de vista logístico, salientam-se a disponibilidade, localização, configuração e dimensão das unidades experimentais (> 3 hectares), a colheita de pinhas (*via escaladores profissionais*); a exposição a potenciais pragas e doenças de quarentena (*Doença-da-Murchidão-do-Pinheiro e Cancro-Resinoso-do-Pinheiro*); e a ameaça constante dos incêndios sazonais.

O programa português de melhoramento genético de pinheiro-bravo

O programa português de melhoramento genético de pinheiro-bravo começou, em 1963, na Mata Nacional de Leiria (também conhecida como *Pinhal d'El-Rei*) com a seleção das melhores 85 árvores para seis características economicamente importantes: Altura, Diâmetro à Altura do Peito (DAP), Retidão do fuste, Fio espiralado, Vigor, e Forma da copa. Esta primeira seleção, motivada por uma prospeção internacional de material genético de elevada qualidade levada a cabo pela agência governamental australiana *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)* com a colaboração portuguesa da antiga Estação de Experimentação Florestal da Direcção-Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas (DGSEFA), serviu de base à constituição do primeiro **Pomar Clonal** de pinheiro-bravo português onde, entre 1970 e 1975, foram reproduzidas vegetativamente, por enxertia de fenda cheia terminal, 60 dessas árvores superiores (*plus*), num talhão com 4 hectares, sito na Mata Nacional do Escaroupim, em Salvaterra de Magos (Figura 2).

Em 1987, a antiga Estação Florestal Nacional levou a cabo a instalação do primeiro **Ensaio de Descendências** do programa nacional de melhoramento de pinheiro-bravo, em 3 campos experimentais (Figura 3). Os Ensaios de Descendências são elementos indispensáveis de qualquer programa de melhoramento, pois são eles que permitem comparar, em diferentes condições ambientais, o desempenho dos filhos que resultam de diferentes cruzamentos entre progenitores selecionados; e estimar o pe-



Figura 3 – Ensaio de Descendências de 1987 – Mata Nacional do Escaroupim, Salvaterra de Magos (Fotografia de Maria João Barrento, 2023).

so da componente genética associada ao atributo que se pretende melhorar, por oposição ao peso da componente ambiental. Como consequência, as diferenças genéticas entre as múltiplas famílias são postas em evidência, o que permite determinar o valor reprodutivo dos progenitores; e escolher, com confiança, apenas aqueles que apresentam valor superior.

Igualmente fundamentais em qualquer programa de melhoramento são a introdução de novas fontes de diversidade genética – por forma a reduzir a “*consanguinidade*” dentro das populações sob seleção – e a definição de padrões de variação genética com maior potencial adaptativo para regiões com perfil edafoclimático singular. Assim, foi plantado, em 1993, o primeiro **Ensaio de Proveniências** de pinheiro-bravo, constituído por seis campos experimentais dispersos pelas regiões Norte e Centro do país^[5], num total de cerca de 27 hectares. Nes-



Figura 4 – Ensaio de Proveniências de 1993 – Mata Nacional do Escaroupim, Salvaterra de Magos (Fotografia de Isabel Carrasquinho, 2021).

te ensaio foram testadas proveniências de origem nacional (22), francesa (3), espanhola (2) e australiana (3), incluindo material vegetal de cinco pomares clonais produtores de semente (com origem em Portugal, França, e Austrália) (Figura 4). Cada região de proveniência testada neste contexto representou um território, ou conjunto de territórios com condições edafoclimáticas semelhantes, onde existem populações com características fenotípicas análogas. Deste estudo resultaram, entre outras, as conclusões de que as altitudes dos locais de origem e de plantação são aspetos importantes a ter em conta na adequação do material usado nas campanhas de arborização^[6].

Nos anos que se seguiram, o investimento no melhoramento genético do pinheiro-bravo não esmoreceu e foram instalados, pelo país, novos Ensaio de Descendências em 1994 (100 famílias), 1999 (120 famílias) e 2000 (110 famílias); o futuro Pomar Clonal Produtor de Semente Testada em 1999 (composto pelos 16 melhores progenitores e ganho genético de 21% para o volume e 17% para a retidão do fus-

te); o primeiro Pomar Seminal Produtor de Sementes em 2000 (Figura 5); e novos Parques de Clones (2000, 2017 e 2021) onde se encontram conservadas por reprodução vegetativa cópias de indivíduos de elevado interesse reprodutivo que se foram destacando ao longo das décadas nos diferentes ensaios realizados.

O fogo, o presente e o futuro

Os fogos florestais que anualmente assolam o território português são talvez a maior ameaça ao programa nacional de melhoramento genético do pinheiro-bravo e um fator que condiciona o investimento e o desenvolvimento do setor. O ano de 2017 foi particularmente destrutivo no que diz respeito às áreas florestais nacionais e extraordinariamente trágico do ponto de vista humano. Consta do relatório da Comissão Técnica Independente que “A extensão dos incêndios de outubro de 2017 superou em dimensão todos os acontecimentos anteriores, mesmo aqueles que deixaram uma memória de enorme destruição, designadamente os verificados nos anos



Figura 5 – Pomar Seminal Produtor de Semente de 2000 – Chamosinhos, Vila Nova de Cerveira (Fotografia de Sílvia C. Alves, 2024).

de 2003 e 2005. Recorde-se que em 2017 arderam em Portugal cerca de meio milhão de hectares, área que representou mais de 50% da área ardida nesse ano nos países do Sul da Europa^[7]. Como consequência destes acontecimentos, parte significativa dos ensaios de melhoramento genético de pinheiro-bravo espalhados pelo país foram consumidos pelas chamas, incluindo cerca de 80% da superfície da Mata Nacional de Leiria – património natural que deu origem ao atual programa de melhoramento. Ainda assim, algumas das melhores árvores que desapareceram da Mata Nacional de Leiria encontram-se conservadas por reprodução vegetativa na Mata Nacional do Escaroupim, em Salvaterra de Magos, e constituem uma fonte privilegiada de semente de elevada qualidade genética. Para além

disso, novas oportunidades de financiamento vieram reforçar o investimento no pinheiro-bravo e dar continuidade ao seu melhoramento genético. Ao abrigo do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), assinado em 2021, foram aprovados dois novos projetos colaborativos dentro da cadeia de valor – o projeto **TRANSFORM – Agenda Para A Transformação Digital Das Cadeias De Valor Florestais Numa Economia Portuguesa Mais Resiliente E Hipocarbónica**, que aposta no melhoramento genético e nos materiais florestais de reprodução para a forma e para o volume da árvore; e o projeto **Resina Natural 21 – Inovação Na Fileira Da Resina Natural Para Reforço Da Bioeconomia Nacional**, que se foca na revitalização da fileira da resina natural, por meio do aumento da sua produtividade. Fazem



Figura 6 – Esquerda e Centro: Enxertia por fenda cheia terminal no novo Pomar Clonal Produtor de Sementes de 2021 – Perímetro Florestal de Alva de Pataias, Alcobaça. **Direita:** Pormenor da interface enxerto::porta-enxerto numa árvore adulta do Parque de Clones de 2000 – Mata Nacional do Escaroupim, Salvaterra de Magos (Fotografias de Sílvia C. Alves, 2024).

parte das tarefas do primeiro projeto, agora em curso, a seleção dos melhores indivíduos nos vários ensaios genéticos existentes, a implementação de novos Ensaios de Descendências e de Pomares Clonais Produtores de Semente (Figura 6), e a prossecução do reforço do Parque de Clones instalado na Mata Nacional do Escaroupim, em Salvaterra de Magos. No segundo projeto, está a decorrer a instalação de um ensaio genético designado por policlonal, destinado à realização de uma seleção massal genotípica de entre um conjunto de 420 genótipos, identificados aleatoriamente nas diferentes regiões de proveniência definidas para a espécie. Complementarmente, e no sentido da **conservação genética *in situ***, encontra-se já a ser feita a prospeção de populações com vista à instalação e monitorização de Unidades de Conservação Genética pelo país. Em conclusão, apesar da longevidade, dos obstáculos e dos desafios, o programa de melhoramento genético do pinheiro-bravo constrói-se todos os dias. O futuro é hoje. 🌱

Bibliografia

- [1] Hort. Kew., 3:367 (1789).
- [2] Roulund, H et al. (1988). A tree improvement plan for *Pinus pinaster* in Portugal, EFN, Lisboa
- [3] Critchfield, W.B; Little Jr., E.L. (1966). Geographic distribution of the pines of the world, Misc. pub no. **991**; USDAFS – Washington D.C.; *Public Domain*, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29599881>.
- [4] Climent, J.; Alía, R.; Karkkainen, K. et al. (2024). Trade-offs and Trait Integration in Tree Phenotypes: Consequences for the Sustainable Use of Genetic Resources. *Curr. For. Rep.*; <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00217-5>.
- [5] Aguiar, A. et al. (1995). Ensaio de Proveniências de *Pinus pinaster* Ait. (Resultados preliminares); *Silva Lusitana*, **3**(1):53–63.
- [6] Esteves, MILAC; (2007); Avaliação genética de proveniências de *Pinus pinaster* Aiton aos 10 anos em Portugal. Tese de Doutoramento, ISA-UTL.
- [7] <https://www.parlamento.pt/Documents/2018/Marco/RelatorioCTI190318N.pdf>.