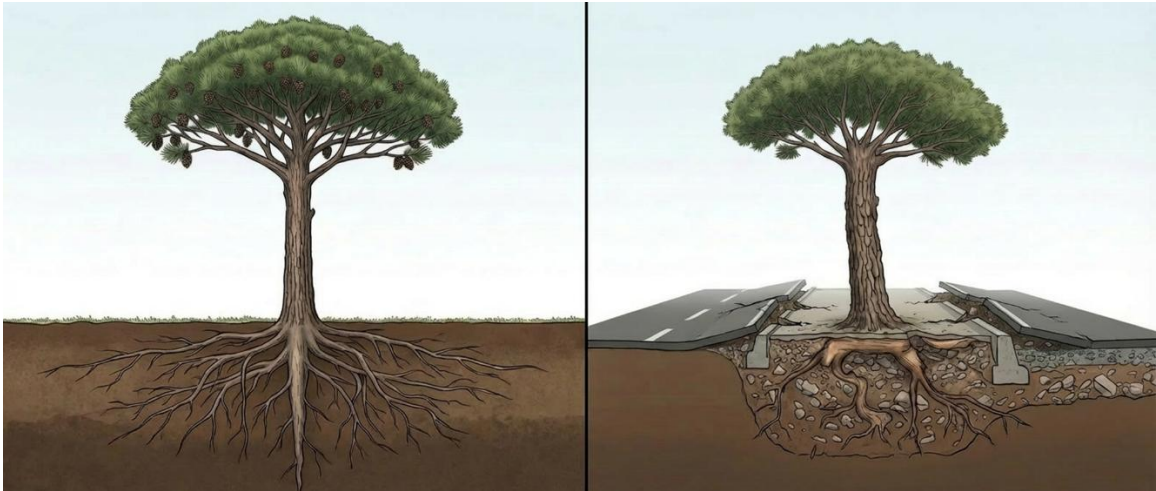


# PARECER TÉCNICO E PROPOSTA DE INTERVENÇÃO ARBORÍCOLA

Avaliação Biomecânica de *Pinus pinea* implantados nos separadores da Avenida Elísio de Moura, Coimbra



**Elaborado por:**

Cristina Nabais

Professora Associada c/ Agregação

Centro de Ecologia Funcional

Departamento de Ciências da Vida

Universidade de Coimbra

**Solicitado por:**

Câmara Municipal de Coimbra

Coimbra, Abril de 2026



## PARECER TÉCNICO E PROPOSTA DE INTERVENÇÃO ARBORÍCOLA

### 1. Enquadramento e Diagnóstico Atual

O presente documento avalia a arborização na Avenida Elísio de Moura, composta por alinhamentos de *Pinus pinea* implantados em separadores exíguos (aprox. 3 metros). O diagnóstico local revela uma incompatibilidade severa entre a biologia da espécie e a estratigrafia do subsolo urbano (Figura 1).

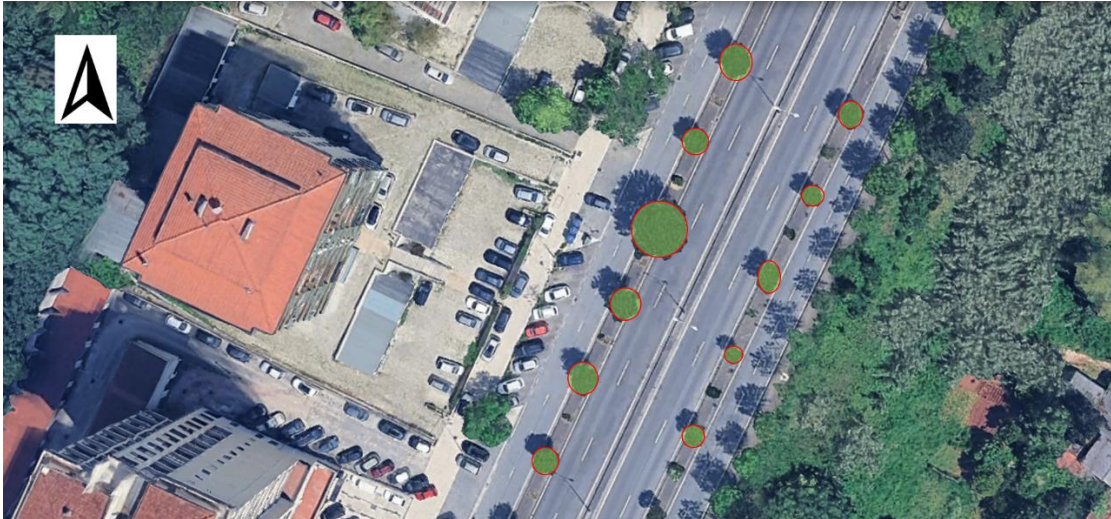


**Figura 1.** Pormenor do separador da Avenida Elísio de Moura onde se encontram implantados os pinheiros-mansos (*Pinus pinea*). Salienta-se a dimensão exígua das caldeiras, a forte impermeabilidade do asfalto e do separador, e levantamento do asfalto provocado pela raiz de pinheiro. Fotografia do Google Earth de março de 2022.

Observa-se um crescimento fortemente assimétrico entre as faixas da avenida (plantadas em 2004/2005, segundo informação da Câmara Municipal de Coimbra - CMC), justificado pela microclimatologia do local (Figura 2):

**Lado Esquerdo (Ascendente):** As árvores encontram-se protegidas dos ventos dominantes pela cortina de edifícios altos. O sombreamento contínuo provocado pelos edifícios provocou alguma etiolação (estiramento em busca de luz), resultando num maior desenvolvimento vertical aparente, e terá mitigado o stress hídrico direto.

**Lado Direito (Aberto):** Sem a proteção de edifícios, estas árvores sofrem maior exposição ao vento e à irradiação solar direta, agravando o stress hídrico crónico imposto pelo solo urbano restrito, o que resultou num crescimento radicular e aéreo mais contido (nanismo) (Figura 3).



**Figura 2.** Perspectiva aérea de parte da Avenida Elísio de Moura, destacando-se o alinhamento de pinheiro-manso em dois separadores da avenida. Os círculos mostram a projeção da copa dos pinheiros do lado esquerdo e direito da avenida. As copas do lado direito tendem a ser menores que as do lado esquerdo. Fotografia do Google Earth de março de 2022.



**Figura 3.** Detalhe da Avenida Elísio de Moura em duas datas diferentes, agosto de 2009 e março de 2022. Salienta-se um menor crescimento das árvores localizadas no lado direito. Fotografias do Google Earth.

De salientar que os danos estruturais mais graves provocados pelas raízes ocorrem do lado esquerdo da Avenida Elísio de Moura (sentido ascendente), zona atualmente alvo de obras de reparação. No lado direito, os levantamentos do asfalto são, para já, de menor dimensão, consequência direta do crescimento mais lento destas árvores. Contudo, trata-se apenas de uma questão de tempo, sendo previsível que o contínuo desenvolvimento radicular venha a provocar, a médio prazo, um nível de destruição do piso idêntico ao que se verifica do lado esquerdo.

As intervenções no pavimento do lado esquerdo expuseram as raízes dos pinheiros e revelaram a verdadeira dimensão do problema: as árvores sofrem de um crescimento radicular altamente anómalo devido ao enclausuramento prolongado. Este efeito de 'colete de forças' ditou que as raízes rompessem o asfalto e os lancis em direção à faixa de rodagem, gerando um risco severo para a segurança viária. Por inerência técnica, deve assumir-se que a conformação radicular oculta dos exemplares do lado direito da avenida deverá ser similar, enfrentando o mesmo nível de estrangulamento. Este cenário ilustra as consequências de confinar uma árvore majestosa como o pinheiro-manso a um espaço tão exíguo (Figura 4).



**Figura 4.** Crescimento confinado das raízes de pinheiro-manso restringido pela dimensão da caldeira. De salientar o levantamento do pavimento do lado esquerdo e direito da árvore.

## 2. Evidência Fotográfica: Estratigrafia Urbana

A análise fotográfica de sondagens ao pavimento revela a causa estrutural primária da falência biomecânica destas árvores:

**Pavimento "Fóssil" Enterrado:** Segundo informações da CMC, a cota da avenida foi elevada em cerca de 80 cm sobre um pavimento pré-existente. A estratigrafia mostra claramente a base do lancil atual assente sobre aterro e, imediatamente abaixo, a presença de uma laje sólida e antiga de betão/argamassa (Figura 5).



**Figura 5. A.** Crescimento confinado das raízes de pinheiro-manso, observando-se o formato quadrangular da caldeira e o rompimento do confinamento por uma raiz que cresceu ao longo do lancil. **B.** Detalhe de uma raiz lateral que rompeu o piso do separador. **C.** Crescimento da raiz na direção do pavimento. **D.** Detalhe do lancil atual em betão e com secção vazada. Este é o nível da superfície atual da avenida. Imediatamente abaixo do lancil observa-se uma camada de base de granulometria mista (terra, areia e pedras soltas). Esta é a camada de aterro e compactação usada para nivelar o lancil atual. Mais abaixo observa-se uma laje sólida de betão ou argamassa rica em inertes brancos (pedras britadas claras). Esta camada tem a aparência de um pavimento antigo estruturado que foi simplesmente enterrado, em vez de ser removido, quando a avenida foi subida. No nível mais inferior da imagem, misturado com terra, veem-se fragmentos soltos de asfalto antigo e pedras.

**O Efeito "Colete de Forças":** O confinamento imposto pelas caldeiras individuais enclausurou o sistema radicular. Na tentativa de sobrevivência, as raízes forçaram a saída desse perímetro, espiralando e crescendo de forma agressiva por baixo dos lancis e em direção à via de rodagem, causando o levantamento e a destruição do asfalto. Isto constitui um risco para a segurança rodoviária, com dois acidentes graves provocados pelo levantamento do pavimento (informação da Câmara Municipal de Coimbra) (Figura 6).



Figura 6. Efeito do confinamento no crescimento anômalo das raízes em formato quadrangular, com raízes secundárias grossas horizontais (setas).

**Falência da Raiz Pivotante por Impermeabilização do Solo:** O *Pinus pinea* está geneticamente programado para desenvolver uma raiz pivotante profunda para ancoragem. Contudo, não tem capacidade mecânica para perfurar camadas impermeáveis (subsolo compactado ou entulho consolidado). Ao embater nesta barreira, a raiz principal terá sofrido um desvio abrupto (crescimento em "L" ou "J") e atrofiou (Figura 7).

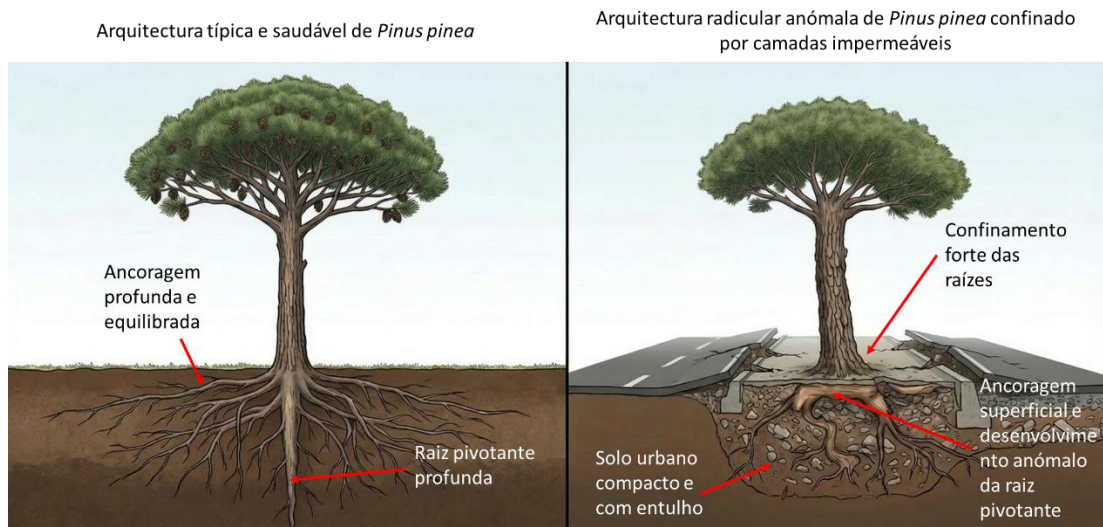


Figura 7. Desenho comparativo de uma arquitectura típica e saudável do pinheiro-manso, comparando com a arquitectura observada nos pinheiros da Avenida Elísio de Moura. Imagem obtida a partir de Leonardo AI.

**Emaranhamento em Entulho:** As fotografias mostram raízes estruturais primárias e secundárias que cresceram horizontalmente, entrelaçando-se diretamente com blocos de betão e asfalto do subsolo (Figura 8).



**Figura 8.** Detalhe do crescimento horizontal de raízes primárias (mais finas) e secundárias (mais grossa) ao longo do lancil.

**O Efeito Alavanca (Risco de Queda):** Sem a raiz central, a árvore compensou com uma "explosão" de raízes secundárias superficiais. Consequentemente, estas árvores adultas possuem copas densas e pesadas, mas estão apenas ancoradas superficialmente. Apresentam um desequilíbrio biomecânico crítico e um risco elevado de tombamento integral em caso de ventos fortes.

### 3. Parecer Sobre a Remoção e Inviabilidade de Transplante

Face ao diagnóstico biomecânico e ao risco de segurança pública, recomenda-se a remoção integral dos exemplares atuais. A tentativa de transplante, mesmo dos exemplares de menor porte, é desaconselhada pelas seguintes razões:

**Choque Fisiológico:** O corte da raiz pivotante remanescente, inevitável na extração, resulta na morte da árvore.

**Inexistência de Torrão Coeso:** O solo urbano existente, arenoso e com inertes, impossibilita a extração de um torrão intacto, causando a desidratação imediata das raízes finas.

**Risco Estrutural Herdado:** Tendo o sistema radicular crescido deformado, estas árvores nunca teriam uma ancoragem radial fiável num novo local, perpetuando o risco de queda.

### 4. Exigências de Engenharia para Preparação do Local (Nova Plantação Arbórea)

A evidência do pavimento "fóssil" ditará o fracasso de qualquer nova arborização se o local não for sujeito a uma profunda reabilitação de engenharia civil. Não basta substituir a terra de superfície, a intervenção deve garantir:

**Rompimento e Perfuração do Pavimento Antigo:** Utilização de maquinaria para romper, extrair ou perfurar a antiga laje de betão/asfalto enterrada a 80 cm de profundidade, garantindo a ligação do novo solo ao subsolo geológico natural profundo.

**Remoção de Solos Contaminados e Entulho:** Todo o aterro atual (contendo fragmentos de asfalto e inertes) deve ser removido.

**Drenagem e Prevenção de Asfixia:** O fundo da nova área de plantação deverá garantir permeabilidade (ou incluir uma base drenante de brita grossa coberta com geotêxtil) para evitar a acumulação de água e a consequente asfixia radicular das novas árvores.

**Trincheira de Enraizamento Contínua em Socalcos:** Substituição das caldeiras individuais por uma vala subterrânea contínua sob o passeio. Devido à inclinação da avenida, esta trincheira deve integrar defletores internos (minibarragens) a espaços regulares, impedindo que a água das chuvas escorra apenas para a base da avenida e garantindo a hidratação homogênea.

**Solos Estruturais e Defletores de Raiz:** Remoção do solo atual pobre e preenchimento da trincheira com solo estrutural (brita e terra vegetal) que suporta o peso do passeio sem compactar. Instalação de defletores de raízes nas paredes superiores para forçar o enraizamento em profundidade.

### 5. Alternativa de Arborização Arbustiva e Exigências de Drenagem

Caso a Autarquia opte pela plantação de espécies arbustivas (para mitigação de custos e restrições de subsolo), o volume de 80 cm de profundidade da camada superior é biologicamente suficiente para acomodar o sistema radicular fasciculado destas espécies. Contudo, a manutenção do pavimento fóssil intacto permanece inviável devido ao "Efeito Banheira".

**Prevenção de Asfixia Radicular:** O pavimento antigo atua como uma barreira impermeável. Durante os períodos de pluviosidade, a água acumular-se-á na camada de aterro, saturando o solo. A falta de escoamento profundo provocará o apodrecimento rápido das raízes (asfixia radicular) e a consequente morte dos arbustos.

**Medida Mitigadora Obrigatória:** Mesmo para arbustos, é imperativo efetuar rasgos mecânicos ou perfurações pontuais de grande calibre na laje antiga (ex: a cada 2 ou 3 metros). Estes pontos atuarão como "ralos" de drenagem, permitindo a infiltração da água excedente no subsolo geológico.

## 6. Proposta de Nova Arborização (sugestão)

No caso de nova plantação arbórea, recomenda-se a plantação de espécies com elevada tolerância ao calor e à secura (típicas do clima mediterrânico), sistemas radiculares profundos (não agressivos) e copas mais contidas para não interferir com o trânsito em ambas as vias:

**Árvore-de-Júpiter (*Lagerstroemia indica*):** De pequeno porte, muito resistente à secura e ao calor do asfalto. Raízes não agressivas e excelente floração estival.

**Olaia ou Árvore-de-Judas (*Cercis siliquastrum*):** Espécie autóctone mediterrânica, extremamente resistente a solos pobres e secos. O seu sistema radicular tende a procurar profundidade em vez de se espalhar à superfície. Floração rosa.

**Pereira-de-jardim (*Pyrus calleryana* 'Chanticleer')**: Cultivar de porte colunar (cresce na vertical, em forma de gota estreita), o que evita que os ramos invadam a estrada. Muito resistente à poluição urbana e de enraizamento seguro. Floração branca na primavera e folhagem púrpura no outono.

**Ginkgo (*Ginkgo biloba* - apenas clones masculinos):** Árvore de crescimento lento, excepcionalmente resistente ao ambiente urbano severo e com um porte estreito ideal para separadores. Confere imponência à avenida e exhibe um tom amarelo-ouro espetacular no outono.

Plantar várias espécies no mesmo arruamento traz benefícios ecológicos e financeiros a médio e longo prazo para a autarquia:

**Resiliência a Pragas e Doenças:** Esta é, de longe, a maior vantagem. Num alinhamento de uma só espécie, a chegada de um fungo ou praga específica pode dizimar a rua inteira num único ano. Ao alternar espécies, quebra-se a cadeia de transmissão, garantindo que um problema fitossanitário não destrói a arborização de toda a rua.

**Sobrevivência a Extremos Climáticos:** Espécies diferentes reagem de forma distinta a ondas de calor, ventos fortes ou secas prolongadas. A diversidade garante que o arruamento manterá sempre grande parte do seu coberto arbóreo e sombra, mesmo que uma espécie específica sofra mais num ano atípico.

**Apoio Contínuo à Biodiversidade:** Árvores diferentes florescem e dão fruto em momentos distintos. Isto fornece alimento e abrigo contínuos ao longo de quase todo o ano para aves urbanas e insetos polinizadores.

**Interesse Paisagístico Dinâmico:** Em vez de a rua ter um pico de beleza curto e passar o resto do ano monótona, a mistura permite ter cores vibrantes em várias estações. Por exemplo, pode

ter flores cor-de-rosa na primavera (com a Olaia), seguidas de floração de verão (com a Árvore-de-Júpiter) e tons amarelos intensos no outono (com o Ginkgo).

## **7. Conclusão**

O levantamento dos pavimentos na Avenida Elísio de Moura é o sintoma de um erro estrutural profundo, comprovado pela existência de um pavimento antigo enterrado que asfixiou e atrofiou o sistema radicular dos pinheiros. A sua remoção é um imperativo de segurança pública, sendo o transplante desaconselhado por ser altamente inviável nas condições atuais dos pinheiros. A requalificação do local exige a destruição dessa barreira subterrânea e a transição para uma solução de trincheiras estruturais contínuas e arborização diversificada, protegendo assim o investimento autárquico a longo prazo.

## **8. Referências**

Day S. *et al.* (2010) Contemporary Concepts of Root System Architecture of Urban Trees. *Arboriculture & Urban Forestry* 36(4): 149–159

Dror D *et al.* (2020) Physiological effects of mature tree transplanting characterize the roles of the soil-root interface in the field. *Agriculture and Forest Meteorology* 295, 108192

Etemadi N. *et al.* (2013) Effect of Transplanting Date and Harvest Method on Growth and Survival of Three Urban Tree Species in an Arid Climate. *Arboriculture & Urban Forestry*, 39(5): 211–217

Pryor M. (2014) Extreme Arboriculture: Lessons from Moving Mature Trees. *Proceedings of the Conference Trees, people and the built environment II*, 196-208.

Pryor M. & Watson G. (2016) Mature tree transplanting: Science supports best management practice. *Arboricultural Journal* 38:1, 2-27.