O Caminho da Árvore Adulta: Da Produção em Viveiro ao Projeto, Instalação e Estabelecimento

Marta Ribeiro Dias
Mestrado em Arquitetura Paisagista
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
2026



O Caminho da Árvore Adulta: Da Produção em Viveiro ao Projeto, Instalação e Estabelecimento

Marta Ribeiro Dias

Relatório de Estágio realizado no âmbito do Mestrado em Arquitetura Paisagista

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território

2026

Orientador
Cláudia Patrícia Oliveira Fernandes, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Supervisor externo na Entidade de Acolhimento
Élia Ferreira, Arquiteta Paisagista, Diaplant

diaplant

Agradecimentos

À professora Cláudia, a minha orientadora, agradeço a disponibilidade, o rigor e a exigência com que acompanhou este trabalho. As suas observações e sentido crítico foram determinantes para que este relatório atingisse a profundidade que apresenta atualmente.

A todos os professores do Mestrado em Arquitetura Paisagista da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, pelo conhecimento que me transmitiram ao longo destes anos, conhecimento esse que me permitiu chegar até aqui e exercer a profissão que escolhi.

À DIAPLANT, agradeço a oportunidade de realizar o estágio e a forma como me acolheram. À Élia e à Sidiane, pelo acompanhamento constante durante todo o período de estágio. E ao Cláudio, responsável de viveiro, ao partilhar o conhecimento acumulado ao longo de anos de prática constitui uma das bases deste trabalho.

Aos meus pais, por estarem sempre presentes e por me darem força para continuar, mesmo quando o caminho parecia longo.

Aos meus amigos e ao João, que estiveram sempre ao meu lado, no melhor e no pior, e que me ajudaram da melhor forma possível.

A todos, o meu sincero agradecimento.

Resumo

A valorização do arvoredo urbano como elemento estruturante da infraestrutura verde urbana tem impulsionado a instalação de árvores adultas, que antecipam serviços ecossistémicos mas apresentam maior mortalidade e estabelecimento mais prolongado, sobretudo em clima mediterrânico. Este relatório de estágio, desenvolvido na DIAPLANT, articula fases habitualmente estudadas de forma isolada: viveiro, projeto, obra e estabelecimento.

Assenta na análise documental de dois casos, o projeto PROEF (Resende), em bosque preexistente, e a Quinta das Quebradas (Baião), plantação de raiz, confrontando as peças técnicas com a literatura de referência e com a opinião do responsável de viveiro. A execução não foi acompanhada: a análise incide sobre o que os documentos especificam e omitem, não sobre o que foi construído.

A memória radicular construída por transplantes sucessivos traduz um valor biológico acumulado ao longo de ciclos que atingem vinte e cinco anos e que não é verificável por inspeção do torrão. Da análise das peças técnicas emerge um padrão consistente: os parâmetros que mais condicionam o estabelecimento são os menos explicitados, enquanto as operações pontuais e diretamente verificáveis são as que ambos os projetos especificam. O que os separa não parece ser a relevância biológica, mas a possibilidade de comprovar o cumprimento no prazo contratual: o período de estabelecimento, que nenhum orçamento define, começa quando os pagamentos cessam.

Nos dois casos, o que a especificação normaliza é a solução e não o critério que a seleciona. Propõem-se princípios orientadores, matrizes de decisão, pormenores construtivos e condições contratuais que tornam esse critério especificável e fixam o momento em que é verificável, convertendo conhecimento tácito em conhecimento acionável.

Palavras-chave: árvores adultas; transplante; memória radicular; arboricultura urbana; estabelecimento pós-transplante; especificação técnica; clima mediterrânico.

Abstract

The growing recognition of urban trees as a structuring element of urban green infrastructure has encouraged the installation of mature specimens, which deliver ecosystem services sooner but show higher mortality and longer establishment periods, particularly under Mediterranean conditions. This internship report, developed at DIAPLANT, brings together stages usually studied in isolation: nursery production, design, installation and establishment.

It rests on the documentary analysis of two cases, the PROEF project (Resende), within pre-existing woodland, and Quinta das Quebradas (Baião), an entirely new planting, whose technical documents were set against the reference literature and the technical opinion of the nursery manager. Site execution was not observed: the analysis addresses what the documents specify and omit, not what was built.

The root memory built through successive transplants represents a biological value accumulated over production cycles of up to twenty-five years, which cannot be verified by external inspection of the root ball. A consistent pattern emerges from the documents: the parameters with the greatest influence on establishment are those least often set down, whereas operations verifiable in a single act are the ones both projects name. What separates them appears to be not biological relevance but the possibility of demonstrating compliance within the contract period: the establishment period, which neither budget defines, begins when payment ends.

In both cases, what the specification standardises is the solution, not the criterion that selects it. The report proposes guiding principles, decision matrices, construction details and contractual conditions that make that criterion specifiable and fix the point at which it becomes verifiable, converting tacit knowledge into actionable knowledge.

Keywords: mature trees; transplanting; root memory; urban arboriculture; post-transplant establishment; technical specification; Mediterranean climate.

Índice

Lista de Tabelas ..... **viii**
Lista de Figuras ..... **ix**
Lista de Abreviaturas ..... **xii**
Designações comerciais de sistemas técnicos ..... **xiii**
1. Introdução **1**
1.1 Enquadramento e Relevância do Tema 1
1.2 Entidade Acolhedora e Contexto do Estágio 4
1.3 Problemática, Objetivos e Questões 5
1.3.1 Objetivos 5
1.3.2 Questões 6
1.4 Estrutura do Relatório 6
2. Metodologia **8**
2.1 Abordagem Metodológica: Análise de um Processo Profissional Integrado 8
3. Enquadramento Teórico **10**
3.1 A Árvore Adulta como Elemento Estruturante da Infraestrutura Verde Urbana 10
3.1.1 A EXPO'98 e a arborização urbana em Portugal 11
3.1.2 Implicações fisiológicas e biomecânicas da instalação 13
3.2 Produção em Viveiro de Exemplares Adultos 15
3.2.1 Transplantes sucessivos de 2xR a 5xR 16
3.2.2 Modelo CODIT de compartimentação 21
3.2.3 Acondicionamento e limites dos protocolos de produção 23
3.3 Critérios de Seleção e Especificação em Projeto 25
3.3.1 Compatibilidade espacial e diversidade taxonómica 25
3.3.2 Compostos orgânicos voláteis e contexto de seleção 27
3.3.3 Calibre, mortalidade e estabelecimento 27
3.4 Contextos de Instalação: Do Parque ao Arruamento 29
3.4.1 Parques urbanos e condicionantes de instalação 30
3.4.2 Condicionantes de instalação em arruamentos 31
3.4.3 Solos estruturados, pavimentos suspensos e SuDS 32
3.5 Técnicas de Instalação: Dimensionamento de Covas e Estabilização 34
3.5.1 Receção e movimentação do exemplar 34
3.5.2 Dimensionamento da cova e gestão do torrão 37
3.5.3 Estabilização e resposta biomecânica 39
3.5.4 Materiais de ligação entre fuste e tutor 42
3.5.5 Geometria da tutoragem e da ancoragem subterrânea 45
3.6 Estabelecimento e Manutenção Pós-Transplante 49
3.6.1 Estabelecimento, exigências hídricas e clima 49
3.6.2 Proteção e cobertura no estabelecimento 51
3.6.2.1 Proteção do Ritidoma 52
3.6.2.2 Cobertura do Solo 54

3.6.3 Monitorização e indicadores de viabilidade 56
4. Da Conceção à Obra: Análise Crítica de Dois Casos de Estudo 58
4.1 Caracterização dos Projetos Analisados 58
4.1.1 Projeto PROEF: bosque e exemplares de grande porte 59
4.1.2 Quinta das Quebradas: paisagem florestal de grande escala 66
4.2 Fase de projeto: critérios de especificação e lacunas documentais 72
4.3 Fase de Viveiro: Viabilidade face à disponibilidade do mercado 74
4.4 Fase de obra: condicionantes e riscos de execução 76
4.4.1 Solo e lacunas de caracterização 76
4.4.2 Condições de plantação e gestão do torrão 77
4.4.2.1 Profundidade de plantação e colo radicular 77
4.4.2.2 Gestão do torrão e remoção de materiais 77
4.4.3 Estabilização mecânica e critérios de escolha 78
4.4.3.1. Geometria e material dos tutores 80
4.4.4 Rega de estabelecimento e requisitos 82
4.5. Leitura transversal: entre a prática estabelecida e o requisito formal 83
4.5.1 Rega de estabelecimento e responsabilidades 85
4.5.2 Volume de solo e decisões de projeto 85
4.5.3 Inputs químicos e condições de execução 85
4.5.4 Síntese da formalização documental 86
4.6. O Impacto da Estandardização: Da Solução-Tipo ao Critério de Decisão 87
4.6.1 Alcance da estandardização 87
4.6.2 Conformidade e desempenho biológico 87
5. Proposta Técnica: Princípios e Recomendações para a Instalação de Árvores Adultas em Contexto Urbano 89
5.1. Princípios Orientadores: Da Análise às Recomendações de Projeto 89
5.1.1 Princípio 1 — Adequação biológica ao local 90
5.1.2 Princípio 2 — Volume e conectividade do solo 91
5.1.3 Princípio 3 — Estabilização por forma de crescimento 91
5.1.4 Princípio 4 — Proteção fisiológica no estabelecimento 93
5.1.5 Princípio 5 — Rega como especificação de projeto 94
5.2 Matrizes de Decisão: Diferenciação por Contexto e por Exemplar. 96
5.2.1 Matriz de plantação: cova e colo radicular 99
5.2.2 Matriz de estabilização: forma de crescimento e calibre 100
5.3 Pormenores Construtivos: Da Matriz ao Desenho Técnico ..... **Erro! Marcador não definido.**
5.3.1 Geometria da cova e cota do colo radicular 103
5.3.2 Ancoragem subterrânea do torrão 104
5.4. Condições Contratuais para a Execução das Especificações 105
5.4.1 Manutenção em função do calibre 105
5.4.2 A atribuição de responsabilidade 106
5.4.3 A participação na definição dos documentos 107
6. Conclusões 108

6.1 Síntese Crítica: O que Condiciona a Viabilidade na Instalação de Árvores Adultas 108
6.2. Limitações do Trabalho 109
6.3 Perspetivas de Investigação Futura 110
6.3.1 Transferibilidade climática e ensaios nacionais 110
6.3.2 Monitorização radicular não invasiva 110
6.3.3 Dendromecânica de precisão e modelação 3D 111
Referências Bibliográficas 112
Anexos I – Atividades Desenvolvidas ao Longo do Estágio 120
Anexos II – Sistema de Tutoragem e Ancoragem: Registo Comparativo 123
Anexos III – Geometria de Covas e Caldeiras: Pormenores de Referências 127
Anexos IV – Sistemas de Suporte de Solo em Contexto de Pavimento 131
IV.1. Dois Cenários de Decisão: Solos estruturados e Pavimentos suspensos 131
IV.2. Pavimentos Suspensos: Sistema Modular de Células de Solo 133
IV.3. Coexistência com as Infraestruturas de Serviço Subterrâneas 134
IV.4 Peças de Referência 136
Anexos V – Proteção do Ritidoma e Operações de Transporte 138
Anexos VI – Registo Fotográfico e Documental do Estágio 139
Anexos VII – Peças Desenhadas em Formato Ampliado 145
Anexos VIII – Análise Comparativa: Viveiros Nacionais e Internacionais 156

Lista de Tabelas

Tabela 1. Parâmetros técnicos das fases de transplantes sucessivos de 2xR a 5xR 17
Tabela 2. Quatro barreiras do modelo CODIT e respetivas características 22
Tabela 3. Comparação dos sistemas de produção em viveiro 24
Tabela 4. Receção e movimentação de exemplares adultos, riscos e medidas preventivas 35
Tabela 5. Parâmetros da cova de plantação e momentos preferenciais de verificação 39
Tabela 6. Efeito do grau de suporte no desenvolvimento do fuste em plátanos 41
Tabela 7. Materiais de fixação e tutoragem, funções e cuidados de aplicação 44
Tabela 8. Aplicabilidade dos sistemas de estabilização segundo a forma de crescimento 47
Tabela 9. Modalidades de rega de estabelecimento e condições de aplicação 50
Tabela 10. Materiais aplicados no estabelecimento e respetivas condições de utilização. 52
Tabela 11. Sinais de acompanhamento da planta e condições de instalação a verificar ... 56
Tabela 12. Elenco do projeto PROEF por zona, calibre e sistema de estabilização 61
Tabela 13. Soluções do projeto PROEF e confronto com a literatura de referência 64
Tabela 14. Elenco arbóreo da Quinta das Quebradas por classe de calibre 68
Tabela 15. Soluções da Quinta das Quebradas e confronto com a literatura de referência 70
Tabela 16. Divergências entre plano de plantação e orçamento nos dois projetos 73
Tabela 17. Sistemas de estabilização atribuídos sem critério declarado nos dois projetos 79
Tabela 18. Riscos de execução e requisitos nas peças analisadas 83
Tabela 19. Matriz de verificação em projeto e obra dos princípios orientadores 95
Tabela 20. Parâmetros de instalação em parque e arruamento 96
Tabela 21. Volume de solo por porte de crescimento da árvore 98
Tabela 22. Cota do colo radicular segundo a tolerância ecológica ao soterramento 99
Tabela 23. Matriz de estabilização segundo a forma de crescimento e o calibre 101
Tabela 24. Período estimado de estabelecimento e requisitos de manutenção por calibre 106
Tabela IV.1. Critérios de decisão entre solos estruturados e pavimentos suspensos em arruamento 131

Lista de Figuras

Figura 1. Copas de Platanus x acerifolia sobre uma zona de estadia na Provença 2
Figura 2. Alameda de Acer negundo e enquadramento do percurso 2
Figura 3. Estrutura metodológica da investigação e articulação dos três pilares 8
Figura 4. Projeto dos espaços públicos do recinto da EXPO'98 em Lisboa 11
Figura 5. Espaço público do recinto da EXPO'98 em Lisboa 12
Figura 6. Esquiços de corte e pormenor construtivo da arborização da EXPO'98 12
Figura 7. Vista geral da arborização do recinto da EXPO'98 em Lisboa 13
Figura 8. Relação entre calibre do exemplar e duração do estabelecimento 14
Figura 9. Ciclo de produção em viveiro e transplantes sucessivos de 2xR a 5xR 16
Figura 10. Primeira intervenção de transplante e poda radicular em campo, 2xR 19
Figura 11. Segunda intervenção de transplante e poda radicular, 3xR 19
Figura 12. Terceira intervenção de transplante e poda radicular, 4xR 20
Figura 13. Quarta intervenção de transplante e poda radicular, 5xR 20
Figura 14. Comparação de três sistemas de produção e das respetivas arquiteturas radiculares 21
Figura 15. Matriz de apoio à decisão de calibre e estabelecimento 29
Figura 16. Desenvolvimento da tília em solos com diferentes níveis de compactação 30
Figura 17. Distância de abertura de vala relativamente à árvore a preservar 31
Figura 18. Sistema RootDirector de orientação do crescimento radicular 32
Figura 19. Comparação de três sistemas de suporte de solo em arruamento 33
Figura 20. Comparação entre caldeira convencional e solo estruturado com elemento defletor 33
Figura 21. Transporte horizontal e equipamento de elevação de exemplar adulto com torrão 36
Figura 22. Cova de plantação durante o enchimento em obra acompanhada no estágio 38
Figura 23. Regime de oscilação e forma do fuste em dois sistemas de suporte 40
Figura 24. Comparação de três sistemas de suporte em plátanos sob exposição eólica elevada 41
Figura 25. Estrangulamento vascular e lesão mecânica associados à fixação do fuste 43
Figura 26. Sistemas de tutoragem, amarração e interfaces entre tutor e tronco 43
Figura 27. Comparação biomecânica de três sistemas de estabilização arbórea 46
Figura 28. Sistemas de estabilização segundo a forma de crescimento do exemplar 47
Figura 29. Ancoragem subterrânea do torrão com cabos oblíquos tensionados 48
Figura 30. Três modalidades de rega durante o período de estabelecimento 51
Figura 31. Dano térmico no ritidoma de exemplar do viveiro DIAPLANT 53
Figura 32. Proteção do ritidoma pós-transplante com malha de algodão e esteira de bambu 54
Figura 33. Aplicação da cobertura do solo em vulcão e em anel livre 55
Figura 34. Enquadramento e localização dos dois projetos nas vertentes opostas do vale 58
Figura 35. Enquadramento e delimitação da intervenção do projeto PROEF em Resende 60

Figura 36. Plano de plantação do projeto PROEF em Resende 60
Figura 37. Elevação e movimentação de Cedrus atlantica adulto no viveiro DIAPLANT ... 63
Figura 38. Enquadramento e delimitação da intervenção da Quinta das Quebradas em Baião 67
Figura 39. Plano de plantação da Quinta das Quebradas em Baião 67
Figura 40. Produção de Liquidambar styraciflua multitronco e Ginkgo biloba no viveiro DIAPLANT 69
Figura 41. Tutoragem dupla e tripla em obras acompanhadas durante o estágio 80
Figura 42. Tutoragem quádrupla com proteção do ritidoma por esteira de bambu 81
Figura 43. Geometria da cova e cota do colo radicular por grupo ecológico 100
Figura 44. Corte integrado de caldeira em arruamento com sistema modular de células de solo 103
Figura 45. Ancoragem subterrânea do torrão por cintas radiais em planta e corte 104
Figura 46. Articulação entre produção em viveiro, execução e manutenção pós-instalação 108
Figura 47. Progressão da tutoragem aérea com tutor único, duplo e triplo 123
Figura 48. Ancoragem por espias com cabos fixados a maciços enterrados 123
Figura 49. Ancoragem de exemplar sobre laje estrutural por placa de betão 124
Figura 50. Ancoragem de exemplar multicaule às paredes de uma caldeira construída . 124
Figura 51. Ancoragem de exemplar multicaule a maciços enterrados em solo compactado 125
Figura 52. Comparação de quatro sistemas de estabilização de árvores 125
Figura 53. Tutoragem baixa de exemplar multicaule com suporte individual dos eixos ... 126
Figura 54. Crescimento livre e crescimento com suporte total da árvore 126
Figura 55. Saturação da cova sobre horizonte compactado subsuperficial 127
Figura 56. Estratigrafia de caldeira técnica de arruamento e ligação vertical de arejamento 127
Figura 57. Pormenor de plantação em caldeira pavimentada 128
Figura 58. Instalação de rega gota a gota em caldeira pavimentada 128
Figura 59. Pormenor de caldeira com pavimento modular e tiras drenantes radiais 129
Figura 60. Pormenor de caldeira com apoio estrutural do pavimento 129
Figura 61. Sistema de rega radicular integrada na cova com tubagem perfurada 130
Figura 62. Comparação entre os solos estruturados CU-Soil e modelo de Estocolmo 132
Figura 63. Corte integrado do sistema modular de células de solo em arruamento 134
Figura 64. Coexistência entre sistema radicular e infraestruturas subterrâneas 135
Figura 65. Sistema modular de células radiculares RootSpace e componentes integrados 136
Figura 66. Drenagem convencional e sistemas SuDS/LID em contexto urbano 136
Figura 67. Estrutura do solo e evolução dos sistemas de células modulares 137
Figura 68. Critérios de seleção e gama de materiais de amarração entre tronco e tutor . 138
Figura 69. Tutoragem de formação de exemplares de fuste único e multitronco no viveiro DIAPLANT 139

Figura 70. Tutoragem de exemplares multitronco e expedição de Cedrus de grande porte 140
Figura 71. Exemplar em fase 3xR e poda de formação da copa no viveiro DIAPLANT ... 141
Figura 72. Campo de produção após o primeiro transplante em fase 2xR 141
Figura 73. Gestão do coberto do solo em dois talhões do viveiro DIAPLANT 142
Figura 74. Plano de plantação do projeto PROEF em versão ampliada 143
Figura 75. Plano de plantação da Quinta das Quebradas em versão ampliada 144
Figura 76. Relação entre calibre e duração do estabelecimento em versão ampliada 145
Figura 77. Ciclo de produção em viveiro em versão ampliada 146
Figura 78. Primeiro transplante e poda radicular, 2xR, em versão ampliada 147
Figura 79. Segundo transplante e poda radicular, 3xR, em versão ampliada 148
Figura 80. Terceiro transplante e poda radicular, 4xR, em versão ampliada 149
Figura 81. Quarto transplante e poda radicular, 5xR, em versão ampliada 150
Figura 82. Comparação de três sistemas de produção em versão ampliada 151
Figura 83. Matriz de apoio à decisão de calibre em versão ampliada 152
Figura 84. Comparação de sistemas de suporte de solo em arruamento em versão ampliada 153
Figura 85. Modalidades de rega de estabelecimento em versão ampliada 153
Figura 86. Comparação de caldeira convencional e solo estruturado em versão ampliada 154
Figura 87. Ancoragem subterrânea por cintas radiais em versão ampliada 155

Lista de Abreviaturas

DGES	Direção geral do ensino superior
FCT	Fundação para a ciência e a tecnologia
FCUP	Faculdade de ciências da universidade do porto
UP	Universidade do porto
ACB	ACB paisagem (atelier de arquitetura paisagista)
ACIPN	Associação de cidadãos interessados no património natural
AMF	Arbuscular mycorrhizal fungi (fungos micorrizicos arbusculares)
BS	British standart (norma britânica; ex: bs 5837)
CODIT	Compartmentalization of decay in trees (compartimentação da degradação em árvores)
COV	Composto orgânico volátil (pl. Covs; ing. Voc)
CU-SOIL	Cornell university structural soil (solo Estruturado)
DAP	Diâmetro à altura do peito
EUA	Estados unidos da america
GPR	Ground penetrating radar (radar de penetração no solo)
HDPE	High density polyethylene (polietileno de alta densidade)
LIDAR	Light detectetion and ranging
MOS	Matéria orgânica do solo
NOX	Óxido de azoto
NPK	Azoto, fósforo e potássio (macronutrientes)
PAP	Perímetro à altura do peito
PLA	Ácido poliláctico (polylactic acid)
RAN	Reserva agrícola nacional
REN	Reserva ecológica nacional
SUDS	Sustainable urban drainage systems (sistemas de drenagem urbana sustentável)
TDAG	Trees and design acyion group

Designações comerciais de sistemas técnicos

Marcas registadas referidas no texto.

ArborFlow	Sistema de gestão integrada de águas pluviais (GreenBlue Urban)
ArborGuy	Sistema de ancoragem subterrânea (GreenBlue Urban)
ArborSoil Hydro	Substrato para integração com SuDS (GreenBlue Urban)
ArborVent	Sistema de arejamento radicular (GreenBlue Urban)
LITE-NET	Rede geotêxtil de acondicionamento de torrão (LITE-SOIL GmbH)
NatureTie	Amarra de fibra natural para tutoragem
ReRoot	Barreira radicular (GreenBlue Urban)
RootCell	Célula modular de suporte de solo, 1.ª geração (GreenBlue Urban)
RootDirector	Sistema de orientação radicular (GreenBlue Urban)
RootRain	Sistema de rega e arejamento radicular (GreenBlue Urban)
RootSpace	Célula modular de suporte de solo, 3.ª Geração (GreenBlue Urban)
StrataCell	Célula de suporte de solo, 2.ª geração (GreenBlue Urban

1. Introdução

1.1 Enquadramento e Relevância do Tema

A transição para cidades mais resilientes exige que o arvoredo urbano deixe de ser encarado como elemento decorativo para passar a ser considerado infraestrutura verde funcional. Esta leitura assenta nos benefícios que os exemplares arbóreos adultos proporcionam e que os espécimes jovens não conseguem igualar: segundo Nowak, Crane e Stevens (2006), árvores adultas com copas estabelecidas removem até setenta vezes mais poluentes atmosféricos do que exemplares recém-plantados, atuando como filtros biológicos ativos em zonas de elevada densidade populacional.

Aos serviços de qualidade do ar somam-se os de regulação hídrica e térmica. Selbig et al. (2022) demonstram que um único exemplar maduro de arruamento pode reter mais de 6 000 litros de água da chuva por ano, aliviando a sobrecarga dos sistemas de drenagem em eventos de precipitação intensa; e a cobertura arbórea estabelecida contribui para a redução das temperaturas urbanas e da procura energética associada à climatização (Akbari, Pomerantz & Taha, 2001).

É, contudo, na dimensão espacial que o valor do exemplar adulto se torna mais imediato para o projeto de arquitetura paisagista. Robinson (2004) propõe que o estrato arbóreo adulto seja compreendido como meio de composição tridimensional, capaz de definir estruturas verticais e horizontais que conferem escala, proporção e significado ao espaço urbano. A dimensão e a continuidade das copas criam alamedas, recintos e coberturas de escala humana que espécimes jovens demorariam décadas a estabelecer, e que condicionam desde o primeiro dia o modo como o espaço é percorrido e ocupado (Figuras 1 e 2). Segundo Burden (2006), essa capacidade de gerar um sentido de lugar imediato constitui um dos principais ativos para a identidade de uma cidade, influenciando o comportamento dos utilizadores e valorizando o património envolvente. A árvore madura não é, assim, apenas infraestrutura ecológica: é também o elemento que estrutura o espaço público desde o primeiro dia.



Figura 1. Copas expandidas de *Platanus x acerifolia* sobre uma zona de estadia na Provença, França: a copa adulta como elemento de definição espacial e de conforto ambiental. Fonte: autoria própria.



Figura 2. Alameda de *Acer negundo*: o papel dos exemplares adultos na definição de uma estrutura espacial contínua e no enquadramento do percurso. Fonte: autoria própria.

As árvores de grande porte sustentam ainda nichos ecológicos que exemplares jovens não oferecem (Bobek, 2025; Soares, 2006). A magnitude destes benefícios torna evidente o custo da sua não concretização: quando o exemplar não sobrevive ao transplante ou não atinge a maturidade funcional, todo este valor se perde. Em Portugal, a estratégia ganhou expressão com a EXPO'98, uma das primeiras intervenções paisagistas de grande escala a recorrer sistematicamente a vegetação arbórea adulta em contexto urbano, e cujo alcance se discute no subcapítulo 3.1.1.

Os benefícios enunciados pressupõem, contudo, uma distinção conceptual que o debate técnico frequentemente obscurece: uma coisa são as árvores maduras presentes no espaço urbano, outra é a instalação de árvores adultas como estratégia de projeto. Uma árvore madura pode ter sido instalada jovem e ter atingido a maturidade ao longo de décadas de crescimento contínuo. A instalação de um exemplar adulto, com PAP entre 20 e 60 cm, é uma operação de transplante que implica uma rutura fisiológica severa, com consequência direta no tempo de estabelecimento e na concretização dos benefícios esperados.

A distinção importa porque a premissa que justifica o investimento em exemplares adultos, a antecipação imediata dos serviços ecossistémicos, é condicionada pelo período de estabelecimento pós-transplante. O transplante deixa no viveiro a maior parte do sistema radicular, e as raízes finas, responsáveis pela absorção, são as mais vulneráveis à dessecação (Harris & Bassuk, 1993). A copa extensa que o exemplar mantém continua a exigir água enquanto regenera um volume radicular muito superior ao de uma árvore jovem. Watson (1985, 2005) estabeleceu a estimativa mais citada para a duração dessa recuperação, correspondente a PAP/8 anos, cujos fundamentos e limites se desenvolvem no subcapítulo 3.1.2.

O que a evidência permite afirmar com consistência é que a instalação de árvores adultas não é, por si só, suficiente para antecipar os serviços ecossistémicos: cria as condições para que estes se concretizem, desde que o processo de instalação seja tecnicamente rigoroso e o período de estabelecimento seja suportado por manutenção hídrica proativa. É precisamente esta tensão, entre o potencial biológico do exemplar adulto e as exigências técnicas da sua instalação, que constitui o problema central deste relatório. Compreendê-la exige uma análise que ultrapassa a dimensão fisiológica da árvore e abrange a cadeia técnico-operacional que envolve a sua instalação, nomeadamente a articulação entre projeto, produção em viveiro e execução em obra. Os dois casos que sustentam a análise documental situam-se fora do meio urbano consolidado. Permitem examinar a explicitação de requisitos técnicos nas peças

consultadas, mas não permitem separar causalmente os efeitos do local dos efeitos da organização do processo. A aplicação ao meio urbano é fundamentada na revisão bibliográfica e discutida com essa limitação.

1.2 Entidade Acolhedora e Contexto do Estágio

O presente relatório resulta de um estágio curricular realizado na DIAPLANT: Construímos Natureza, sediada em Gondar, Amarante, especializada na produção, projeto e instalação de vegetação arbórea adulta. A empresa integra três vertentes complementares: produção em viveiro, gabinete de projeto de arquitetura paisagista e construção especializada em espaços verdes, o que permitiu acompanhar diferentes fases do processo, desde a produção do exemplar até à sua instalação.

A produção assenta em protocolos de transplantes sucessivos, designados 3xR a 5xR, destinados a desenvolver aquilo a que a empresa chama memória radicular, um sistema radicular concentrado junto ao fuste, cujos fundamentos e implicações se desenvolvem no subcapítulo 3.2.1. O modelo permite produzir internamente espécies e calibres de difícil disponibilidade no mercado convencional, e responder a especificações de projeto com elevada diversidade taxonómica.

O estágio decorreu entre janeiro 2026 e julho 2026 e abrangeu as três vertentes da empresa. Na fase de conceção, foram desenvolvidos projetos de plantação e de intervenção em espaços verdes, analisadas condicionantes legais e preparadas propostas técnicas. Foram igualmente realizadas visitas técnicas a obras em curso, onde foi possível observar procedimentos de instalação e de acompanhamento de exemplares. O registo das atividades desenvolvidas consta do Anexo I.

A base empírica específica deste trabalho é, contudo, distinta destas atividades: corresponde à documentação técnica de dois projetos desenvolvidos pela DIAPLANT, o projeto PROEF, em Resende, e a intervenção na Quinta das Quebradas, em Baião, caracterizados no Capítulo 4 e enquadrados metodologicamente no subcapítulo 2.1.

Acompanhar as três vertentes permitiu observar não apenas as especificidades de cada fase, mas o modo como as decisões transitam entre produção, projeto e obra. É nessa transição, e não em cada fase isoladamente, que se situa o problema que o subcapítulo seguinte formula.

1.3 Problemática, Objetivos e Questões

A instalação de árvores adultas em contexto urbano envolve decisões técnicas que atravessam o planeamento, a produção em viveiro e a execução em obra, e que raramente pertencem ao mesmo interveniente. Quando estas decisões transitam entre fases e entidades distintas, parte da informação técnica pode não se traduzir em requisitos explícitos e verificáveis ao longo do processo.

Sobre esta transmissão atuam condicionantes relacionadas com a disponibilidade de material vegetal, as características do local e a duração do período de estabelecimento (subcapítulos 3.3, 3.4 e 3.6), cuja combinação faz com que uma decisão adequada numa fase possa não responder às exigências das seguintes. A própria opção pelo grande calibre é, aliás, objeto de discussão técnica, e este relatório enquadra-a como dependente do contexto e não como solução universalmente superior (subcapítulo 3.3.3).

A problemática central não reside, assim, na inexistência de conhecimento técnico sobre cada uma destas condicionantes. Reside na dificuldade de o traduzir em critérios que acompanhem o exemplar ao longo de todo o processo e que permaneçam verificáveis quando as fases pertencem a entidades distintas.

1.3.1 Objetivos

O objetivo geral é analisar como os requisitos técnicos de instalação de árvores adultas são explicitados nas peças de dois estudos prévios desenvolvidos pela DIAPLANT, confrontando essa informação com a literatura e com os esclarecimentos do responsável de viveiro, e propor instrumentos que apoiem a transmissão desses requisitos entre intervenientes.

Os objetivos específicos são:

1. Sistematizar, a partir da literatura consultada, exigências de produção, seleção, instalação e estabelecimento de árvores adultas, distinguindo as condicionantes especificamente urbanas.
2. Examinar os requisitos identificados nos estudos prévios, planos de plantação, elencos e orçamentos dos dois casos.
3. Discutir a articulação entre especificação do material vegetal e disponibilidade em viveiro, a partir dos documentos consultados e da informação prestada pelo responsável da entidade, sem avaliar a oferta global do mercado.

4. Distinguir requisitos documentados, parcialmente documentados e não identificados nas peças, sem inferir a sua execução ou o conteúdo de documentos não consultados.
5. Propor princípios, matrizes de decisão e pormenores de apoio ao projeto e ao acompanhamento da instalação, cuja aplicação e validação ficam fora do âmbito deste trabalho.

1.3.2 Questões

A análise organiza-se em torno de três questões de investigação:

1. Que requisitos relativos à articulação entre projeto, viveiro, instalação e estabelecimento são identificáveis nas peças dos dois casos analisados?
2. Que informação está documentada, que informação se encontra incompleta e que requisitos não foram identificados nas peças consultadas?
3. Como podem a literatura consultada e a análise documental apoiar a formulação de critérios de decisão e verificação para futuras intervenções?

1.4 Estrutura do Relatório

O presente documento organiza-se em seis capítulos, que acompanham o percurso da investigação: da fundamentação metodológica e teórica à análise dos casos, e desta à proposta técnica.

- O Capítulo 2 descreve a abordagem metodológica adotada, revisão bibliográfica aplicada, análise documental dos dois casos e recolha de opinião técnica especializada junto do responsável de viveiro da DIAPLANT, e as limitações que condicionam o alcance das conclusões.
- O Capítulo 3 estabelece o conhecimento técnico necessário à análise, abordando a árvore adulta como elemento estruturante da infraestrutura verde urbana, a produção em viveiro, os critérios de seleção e especificação em projeto, os contextos de instalação, as técnicas de instalação e o período de estabelecimento pós-transplante.
- O Capítulo 4 analisa os dois projetos fase a fase, confrontando o que as peças técnicas especificam com os critérios estabelecidos no capítulo anterior, e retira dessa comparação uma leitura transversal dos padrões identificados.
- O Capítulo 5 converte os resultados dessa análise em princípios orientadores, matrizes de decisão, pormenores construtivos e propostas de condições de acompanhamento e de articulação documental.

- O Capítulo 6 responde às questões de investigação, delimita o alcance das conclusões e identifica as linhas de investigação que o trabalho deixa em aberto.

Seguem-se as referências bibliográficas e os anexos. A sequência responde à lógica do próprio problema: estabelecer o que o conhecimento técnico fixa, verificar o que os documentos registam e converter a distância entre ambos em instrumentos de projeto. O capítulo seguinte explicita o modo como essa sequência foi conduzida: as fontes mobilizadas, os critérios com que foram interpretadas e os limites que daí decorrem.

2. Metodologia

2.1 Abordagem Metodológica: Análise de um Processo Profissional Integrado

O trabalho adota uma abordagem qualitativa e exploratória, orientada para a prática, articulando revisão bibliográfica aplicada, análise documental de dois casos e informação técnica fornecida pelo responsável de viveiro da DIAPLANT (Figura 3). O objeto de análise é a informação explicitada nas peças disponibilizadas, e não o desempenho das árvores ou a conformidade da execução.

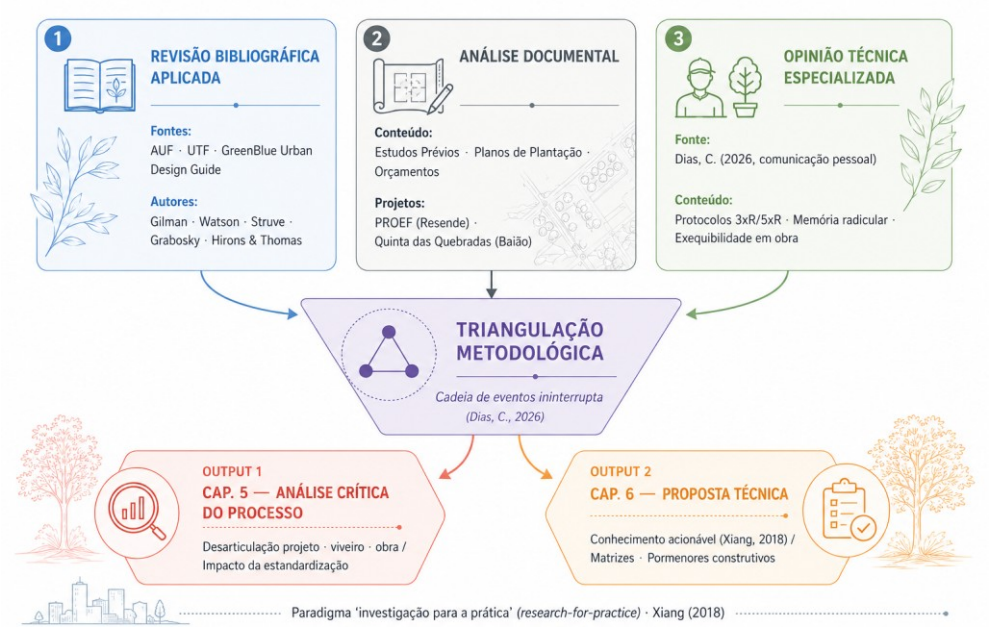


Figura 3. Estrutura metodológica da investigação: articulação entre os três pilares, revisão bibliográfica aplicada, análise documental dos casos e recolha de opinião técnica especializada, e a sua convergência para a análise dos casos (Capítulo 4) e para a proposta técnica (Capítulo 5). Fonte: elaboração própria.

A revisão bibliográfica recorreu a livros recomendados pela orientadora e pela entidade de acolhimento e a artigos científicos localizados através de pesquisa na Internet. Trata-se de uma revisão aplicada, sem pretensão de cobertura exaustiva. As obras efetivamente utilizadas são identificadas nas citações e referências, os meios de localização, acesso ou gestão bibliográfica não constituem, por si, fontes científicas.

Os dois casos foram indicados pelo responsável de viveiro por corresponderem, segundo o próprio, aos dois projetos de maior escala desenvolvidos desde a criação do

departamento de arquitetura paisagista. A seleção foi, assim, mediada pela entidade de acolhimento e não constitui uma amostra representativa. O contraste entre a intervenção em bosque preexistente, no PROEF, e a nova plantação da Quinta das Quebradas permite discutir situações distintas, mas não foi o critério inicial de seleção.

Foram consultados os estudos prévios completos disponibilizados para o PROEF, em Resende, e para a Quinta das Quebradas, em Baião, bem como os respetivos planos de plantação, elencos e orçamentos. Os estudos prévios são identificados com novembro de 2024 e janeiro de 2025, respetivamente. Não foram consultados planos gerais, projetos de execução, cadernos de encargos, contratos ou planos de manutenção. O orçamento foi interpretado como registo de descrições e condições propostas, sem o equiparar a prova de adjudicação, pagamento ou execução.

A informação do responsável de viveiro foi recolhida através de conversas informais e de uma listagem de questões e respostas por escrito. Estes elementos são utilizados como esclarecimentos técnicos e relatos da prática da entidade, não como entrevista formal ou validação independente. A fonte pertence à organização analisada e a sua perspetiva é confrontada com os documentos e com a literatura, sem que esse confronto elimine a dependência institucional.

As visitas a outras obras e as observações no viveiro realizadas durante o estágio contribuíram para o enquadramento prático e para o registo apresentado no Anexo VI. Não se trata de observações da execução dos dois casos, uma vez que a autora não participou na sua elaboração nem acompanhou a respetiva obra. A comparação entre fontes permite discutir as diferenças entre os requisitos bibliográficos, a informação documental e a prática relatada, mas não permite determinar as causas das omissões, atribuir responsabilidades contratuais ou avaliar o êxito da instalação. Os instrumentos apresentados no Capítulo 5 são propostas fundamentadas, mas ainda não testadas.

3. Enquadramento Teórico

Este capítulo reúne literatura científica e técnica sobre produção, seleção, instalação e estabelecimento de árvores adultas, incluindo estudos de arboricultura urbana. Esses trabalhos fornecem referências para a leitura documental dos casos do Capítulo 4 e para a proposta do Capítulo 5. A aplicação de cada resultado depende das espécies, dos sistemas de produção e das condições em que foi obtido. As recomendações especificamente urbanas assentam nesta revisão e não na observação dos dois casos rurais.

3.1 A Árvore Adulta como Elemento Estruturante da Infraestrutura Verde Urbana

A Infraestrutura Verde Urbana (IVU) corresponde a uma rede planeada e interligada de espaços verdes seminaturais, parques, jardins, corredores ecológicos, áreas ripícolas e alinhamentos arbóreos, que articulam funções ecológicas, sociais e culturais no território urbano (Comissão Europeia, 2013; Benedict & McMahon, 2006). O conceito de infraestrutura introduz uma leitura sistémica do verde urbano, que ultrapassa a abordagem fragmentada de espaços isolados e valoriza a conectividade física e funcional entre os seus componentes.

Neste sistema, os alinhamentos arbóreos podem constituir elementos de continuidade da rede: enquanto os espaços verdes concentram funções ecológicas e sociais, os alinhamentos estabelecem ligações lineares entre eles e prolongam a estrutura verde pelo tecido construído, onde não há espaço para superfícies contínuas. Desde a árvore isolada até ao maciço, incluindo a rua arborizada e a alameda, é a distribuição e agregação das árvores que conferem legibilidade e coerência espacial à estrutura verde (Burden, 2006).

A dimensão e a maturidade dos exemplares condicionam a expressão espacial desta estrutura. A utilização de exemplares adultos permite estabelecer, desde o início, uma estrutura de copa e uma presença espacial que os exemplares jovens demorariam vários anos a alcançar. No entanto, esta antecipação da expressão espacial não antecipa a função biológica, uma vez que desloca para o projeto, o viveiro e a instalação exigências técnicas que o crescimento gradual de um exemplar jovem distribuiria ao longo do tempo.

3.1.1 A EXPO'98 e a arborização urbana em Portugal

A utilização estratégica de árvores adultas em Portugal encontra um precedente particularmente relevante na EXPO'98, Lisboa. A intervenção constitui uma operação de arborização urbana de grande escala, realizada num território anteriormente marcado por solos contaminados e pela ausência de vegetação arbórea significativa (ACB Paisagem, s.d.).

O Plano de Arborização, desenvolvido pela ACB Paisagem, previu a plantação de aproximadamente 40 000 árvores até 1998, através de um sistema de contrato-programa com diferentes viveiristas (ACB Paisagem, s.d.). A criação de uma paisagem visualmente madura estava fixada por um prazo que não admitia adiamento, e é nesse enquadramento que se inscreve a utilização de exemplares adultos; cerca de 500 árvores preexistentes foram preservadas (ACIPN, 2018). A organização do arvoredo contribuiu para a definição dos espaços públicos e para a construção de uma paisagem visualmente estruturada desde a abertura do recinto (Figura 4). Este exemplo ilustra a articulação entre objetivos paisagísticos e programação da produção e da instalação; não permite estabelecer uma equivalência com as condições contratuais dos dois casos analisados.

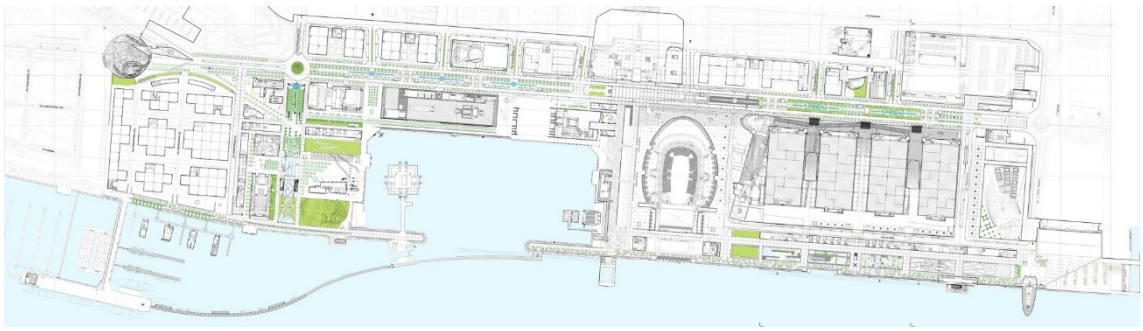


Figura 4. Projeto dos espaços públicos do recinto da EXPO'98, Lisboa. Fonte: RISCO (s.d.).

Do ponto de vista técnico, a intervenção exigiu métodos de transplante de grande porte, soluções de rega e sistemas de drenagem adaptados a solos artificializados, aspetos refletidos nos pormenores construtivos desenvolvidos para o Plano de Arborização (Figura 6) (ACB Paisagem, s.d.). O contexto reunia várias das condicionantes analisadas neste relatório: solos comprometidos, infraestruturas enterradas, prazos reduzidos e necessidade de articulação entre projeto, viveiro e execução. O espaço

público foi concebido integrando a vegetação na estrutura do desenho urbano e não como elemento meramente decorativo (RISCO, S.D.) (Figura 5).

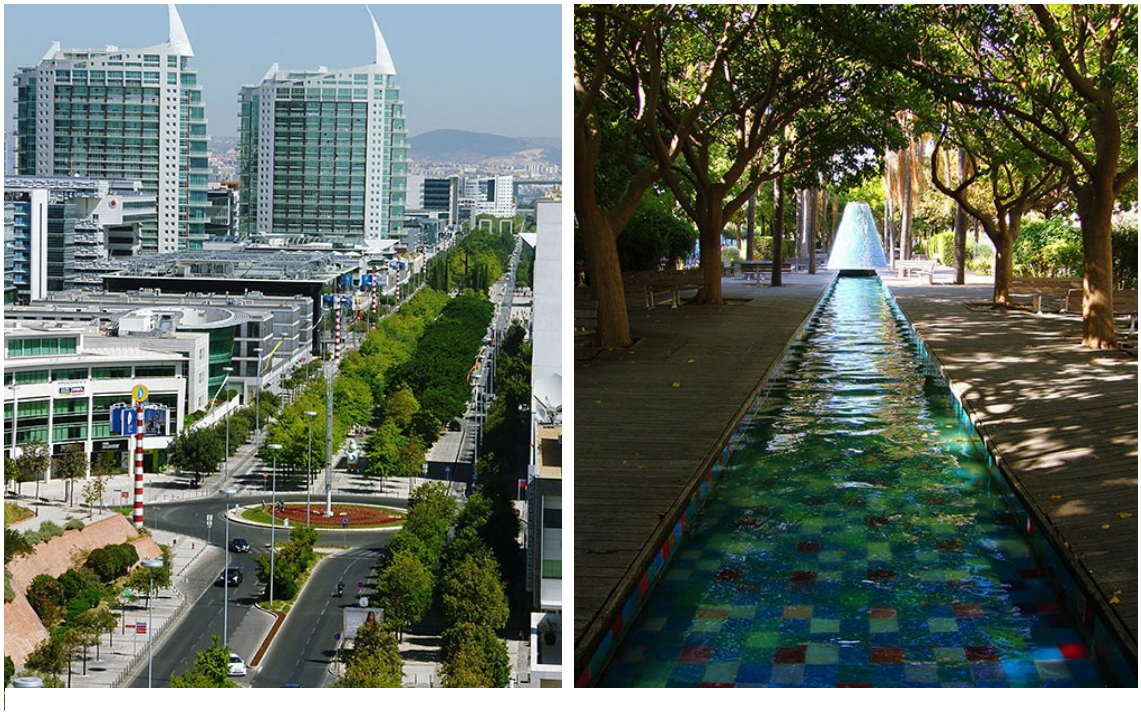


Figura 5. Espaço público do recinto da EXPO'98, Lisboa. Fonte: ACB Paisagem (s.d.).

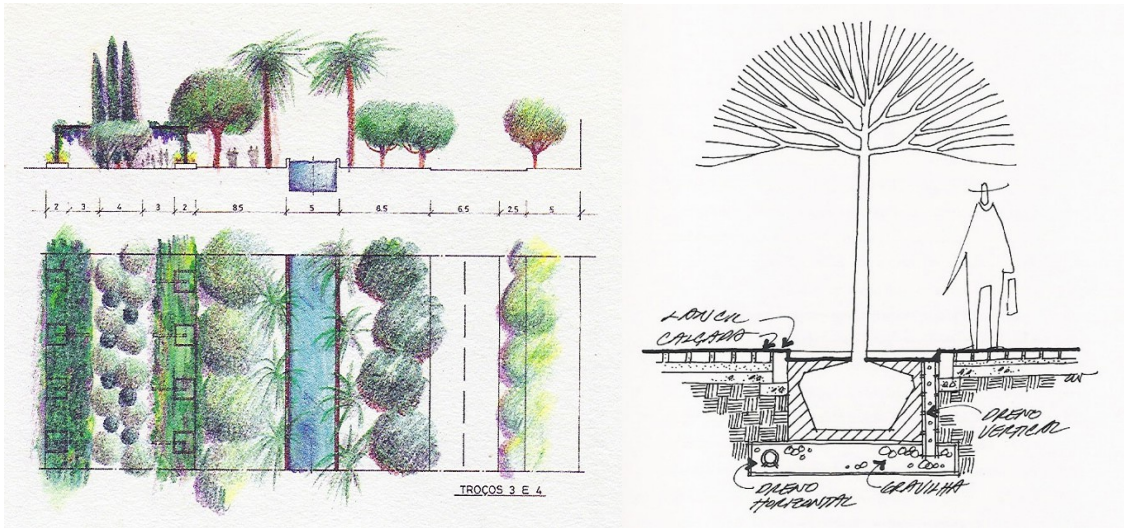


Figura 6. Esquiços propostos de corte e pormenor construtivo do Plano de Arborização do recinto da EXPO'98, Lisboa. Fonte: ACB Paisagem (s.d.).

A evolução posterior do Parque das Nações demonstra a capacidade de uma estrutura arbórea deste tipo alcançar a maturidade e cumprir funções espaciais e ambientais duradouras (Figura 7). A relevância da Expo'98 para o presente estudo não reside apenas no seu valor histórico, mas também no facto de a utilização de espécies adultas

depender de uma articulação técnica entre a produção, o projeto, a instalação e a manutenção.



Figura 7. Vista geral da arborização do recinto da EXPO'98, Lisboa. Fonte: ACB Paisagem (s.d.).

A complexidade técnica desta operação resulta de uma condição biológica que deve ser explicada: instalar um exemplar adulto não é o mesmo que plantar uma árvore de maior dimensão; é um transplante. O subcapítulo seguinte caracteriza esta situação.

3.1.2 Implicações fisiológicas e biomecânicas da instalação

A remoção de um exemplar adulto do viveiro implica a perda de grande parte do sistema radicular, com a literatura a situar esta proporção entre 91% e 98%, consoante o método de arranque e o porte (Harris e Bassuk, 1993). A fração que permanece no torrão terá de sustentar, sozinha, uma copa dimensionada para um sistema radicular várias vezes maior.

Esta desproporção determina o período de estabelecimento, que aumenta com o tamanho do exemplar (Figura 8). Watson (2005) estima um ano por cada 8 cm de perímetro à altura do peito, pelo que um exemplar com 25 cm de diâmetro do tronco, equivalente a um perímetro aproximado de 80 cm, demora cerca de dez anos a atingir o estabelecimento funcional. A recuperação de um volume radicular comparável ao

inicial é mais lenta do que a recuperação das funções fisiológicas, o que significa que o exemplar retoma a atividade normal antes de recuperar a autonomia hídrica.

Este desequilíbrio é simultaneamente fisiológico e mecânico. Embora a copa transplantada mantenha a área de exposição ao vento que tinha no viveiro, o torrão que a ancora contém apenas uma fração do sistema radicular que a sustentava. Por conseguinte, a estabilidade do exemplar depende de fixação externa durante o período de estabelecimento e não da sua própria estrutura subterrânea.

Durante este período, o exemplar depende de rega, de estabilidade mecânica assegurada por terceiros e de condições do solo que não criou. A sua funcionalidade biológica é diferida neste período: encontra-se instalado, mas não estabelecido.

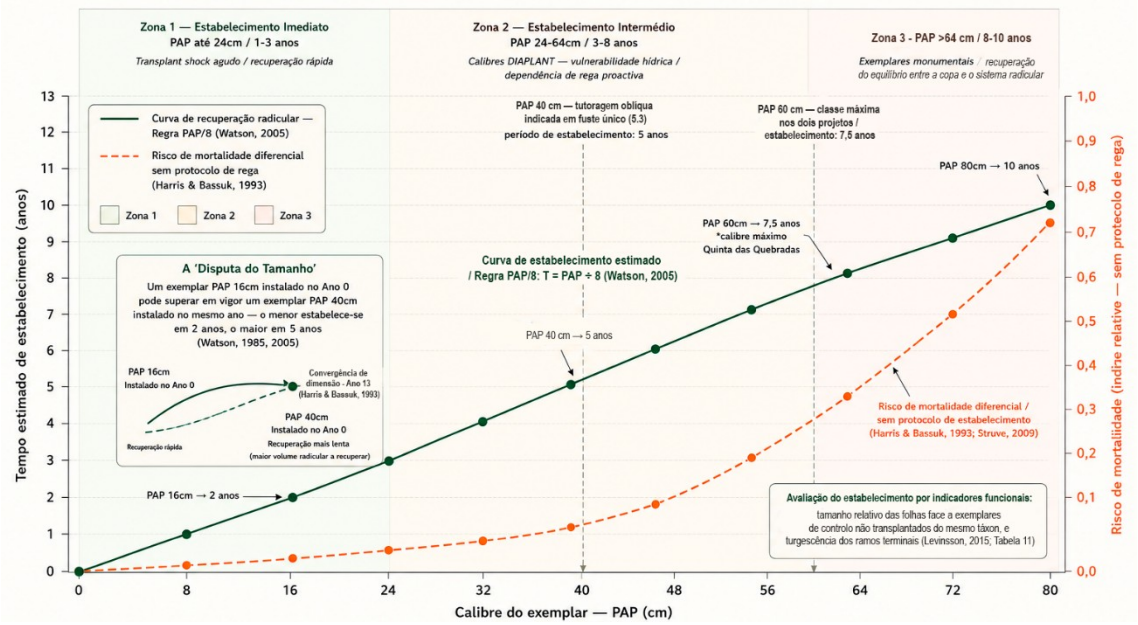


Figura 8. Relação entre o calibre do exemplar (PAP) e a duração do período de estabelecimento: tempo estimado segundo a regra empírica PAP/8 e, a traço contínuo superior, recuperação do volume radicular, mais lenta. A linha tracejada representa, em termos esquemáticos, o agravamento do risco de mortalidade na ausência de protocolo de rega. Elaboração própria, com base em Watson (1985, 2005), Watson e Himelick (1982), Harris e Bassuk (1993), Struve (2009) e Levinsson (2015).

A duração deste intervalo depende da estrutura do torrão, da sua densidade, da sua compacidade e da proporção de raízes finas que contém. Essa estrutura é construída em viveiro, sendo esse o tema do subcapítulo seguinte.

3.2 Produção em Viveiro de Exemplares Adultos

A produção de um exemplar adulto para um contexto urbano ocorre ao longo de um ciclo prolongado, iniciando-se com o cultivo em recipiente e prosseguindo para o campo. A fase em vaso permite o desenvolvimento inicial da planta até esta atingir dimensões adequadas para a sua instalação no terreno. A partir daí, a planta é sujeita a transplantes sucessivos, que visam promover o desenvolvimento de um sistema radicular compacto e funcional, adequado à sua futura movimentação e instalação em contexto urbano.

Após a instalação no terreno, a produção é organizada em fases sucessivas de transplante, identificadas pela notação nxR, em que o número indica o total de transplantes realizados durante o processo de produção. Desde a primeira intervenção no terreno (2xR) até à maturação do exemplar de grande dimensão, pronto para a obra (5xR), o processo pode demorar cerca de 25 anos. Durante este período, a densidade estimada de raízes absorventes ativas, concentradas no volume do torrão, aumenta de aproximadamente 10% para 80% (Figura 9). É esta progressão, e não apenas o tamanho visível do exemplar, que reflete o investimento biológico acumulado ao longo do período de produção.

Os valores de densidade radicular apresentados são estimativas baseadas na literatura de referência e nos protocolos internos da DIAPLANT (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal) e não correspondem a medições laboratoriais diretas. As representações das árvores e dos sistemas radiculares são igualmente esquemáticas, tendo por objetivo sintetizar a evolução do processo, e não a reproduzir proporções reais. Os parâmetros técnicos de cada fase são apresentados neste subcapítulo e no subcapítulo 3.5. A versão ampliada da figura está disponível no Anexo VII.

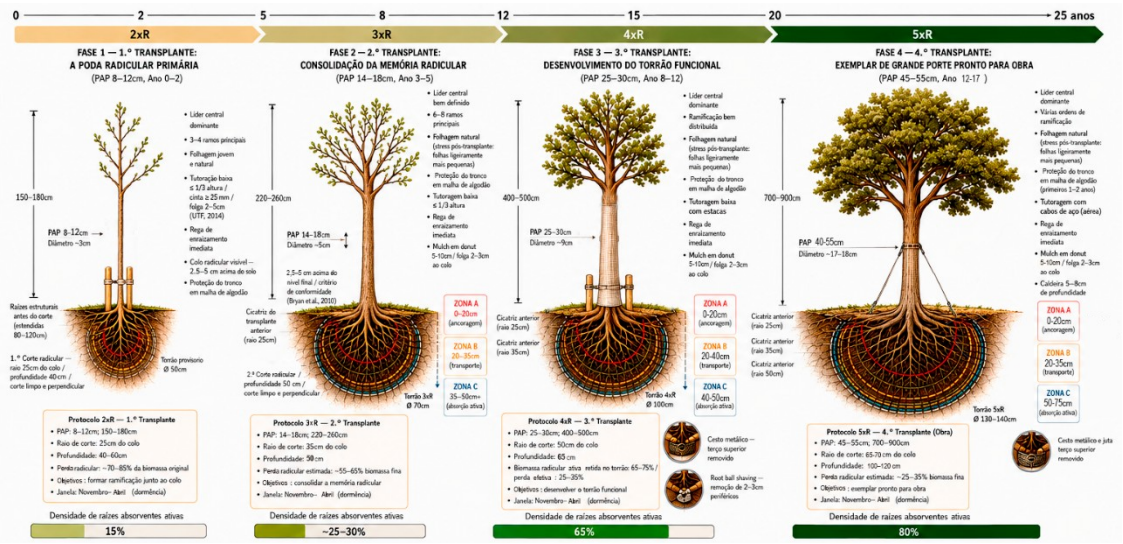


Figura 9. Ciclo completo de produção em viveiro, desde a fase inicial em recipiente até aos transplantes sucessivos (2xR a 5xR), e progressão estimada da densidade radicular ao longo de 25 anos. Versão ampliada no Anexo VII. Fonte: elaboração própria, com base em Harris & Bassuk (1993); Gilman & Kempf (2009); Watson (2005); Struve (2009); Urban (2008); Levinsson (2015); Van Geel et al. (2019); Urban Tree Foundation (2009); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

3.2.1 Transplantes sucessivos de 2xR a 5xR

Os transplantes sucessivos em campo aberto são uma das principais estratégias para produzir exemplares de grande dimensão. Este processo envolve a realização de sucessivas operações de transplante e poda radicular durante o período de produção, de modo a concentrar progressivamente as raízes absorventes no volume que constituirá o torrão final. No processo de produção analisado pela DIAPLANT, este sucede a uma fase inicial de desenvolvimento em ambiente protegido, consistindo numa sequência contínua de intervenções representada pelas fases 2xR, 3xR, 4xR e 5xR. A notação indica o número total de transplantes efetuados durante o processo de produção e não protocolos independentes. A contagem começa na fase de cultivo em recipiente (1xR), pelo que a primeira intervenção no terreno corresponde já ao 2xR. Segundo o responsável de viveiro, a produção de determinados exemplares de grande calibre pode prolongar-se por cerca de 15 a 25 anos (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). Trata-se de uma duração relatada, não de uma relação cronológica validada por este trabalho para cada classe de PAP.

A cada transplante, o sistema radicular é podado na periferia do torrão, o que interrompe parte das raízes existentes e estimula a emissão de novas raízes finas e absorventes nas proximidades do colo. A repetição desta operação em intervalos apropriados leva a uma concentração progressiva de raízes funcionais no volume final do torrão, a que a prática dos viveiros chama "memória radicular". O objetivo é reduzir a proporção de

raízes perdidas no momento da extração e, consequentemente, limitar o desequilíbrio fisiológico referido no ponto 3.1.2. Struve (2009) associa a diminuição do stress do transplante à proporção de raízes finas ativas presentes no torrão e Appleton (1995) constata que os sistemas sujeitos a transplantes sucessivos apresentam uma maior fibrosidade e densidade radicular (Watson e Himelick, 1982 e 2013; Gilman e Kempf, 2009).

As quatro fases partilham a mesma sequência biológica, estado inicial do sistema radicular, corte periférico, resposta ao ferimento, emissão de novas raízes absorventes e consolidação do torrão antes da intervenção seguinte, e distinguem-se pelos parâmetros técnicos que a Tabela 1 reúne. As Figuras 10 a 13 representam a progressão das quatro fases, cujas versões ampliadas constam do Anexo VII. A caracterização que se segue corresponde ao protocolo interno da DIAPLANT, tal como transmitido pelo responsável de viveiro (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal).

Tabela 1. Parâmetros técnicos das fases do ciclo de transplantes sucessivos (2xR–5xR)

Parâmetro	2xR	3xR	4xR	5xR
Intervenção em campo	1.ª	2.ª	3.ª	**4.ª**
Duração indicativa relatada pelo responsável	18–24 meses	24–36 meses	36–48 meses	48–60 meses
Raio de corte a partir do colo	25 cm	35 cm	50 cm	65–70 cm
Profundidade de corte	40 cm	50 cm	65 cm	100–120 cm
Diâmetro do torrão	50 cm	70 cm	100 cm	130–140 cm
Peso estimado do torrão	-	-	600–900 kg	2 500–3 500 kg
Meio de movimentação	manual	manual	grua	grua
Porte no fim da fase	-	-	400–500 cm alt. PAP 25–30 cm	PAP 40–55 cm
Operação complementar	-	Poda de formação seletiva, segundo a condição do exemplar	Correção de defeitos radiculares quando identificados	acondicionamento B&B

Nota: Os parâmetros apresentados correspondem a descrição do processo pelo responsável de viveiro (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). Não resultam de acompanhamento longitudinal ou medição sistemática neste trabalho. A relação entre raio de corte e diâmetro do torrão e geométrica; não valida amassa do torrão nem a proporção de raízes preservadas.

Na primeira intervenção em campo (2xR), o corte periférico desencadeia a formação de calo nas extremidades seccionadas e a emissão de novas raízes junto ao colo (Figura 10). Embora o aumento quantitativo seja modesto, o objetivo não é o volume radicular, mas sim induzir o padrão de ramificação junto ao colo.

No 3xR, o transplante é acompanhado por uma poda de formação da copa (Figura 11), que compensa o desequilíbrio temporário causado pela diminuição do sistema radicular. A limitação da biomassa foliar reduz a procura de água no período imediatamente a seguir, permitindo que a regeneração das raízes acompanhe a recuperação da parte aérea. O objetivo não é reduzir a copa indiscriminadamente, mas sim manter uma relação funcional entre a superfície transpirante e a capacidade de absorção disponível.

No 4xR, é introduzida a técnica de raspagem da periferia do torrão, conhecida como "*root ball shaving*", que tem como objetivo eliminar as raízes circulares herdadas das fases anteriores (Figura 12). O objetivo deixa de ser estimular a regeneração após cada corte, passando a ser a consolidação de uma rede densa e distribuída, capaz de acompanhar a extração e instalação de um exemplar de grande dimensão.

O 5xR corresponde ao estágio de maturação do exemplar (Figura 13). A densidade de raízes absorventes alcançada no final do ciclo representa o valor biológico acumulado durante quinze a vinte e cinco anos de produção, o qual não pode ser totalmente verificado através da inspeção externa do torrão. A sua preservação depende da forma como é acondicionado, nomeadamente através do sistema *Balled & Burlapped* (B&B), durante a extração, a movimentação e o transporte (Figura 14).

O protocolo de transplantes sucessivos deve ser entendido não apenas como uma técnica de produção, mas também como um processo de melhoria contínua da qualidade biológica da planta. A árvore que chega à obra transporta uma arquitetura radicular moldada ao longo de vários anos de forma a suportar a extração e a instalação. Uma operação de viveiro desenvolvida ao longo de décadas pode ser comprometida por falhas ocorridas num intervalo de tempo muito curto durante a execução. Essa qualidade, construída no viveiro, mas parcialmente invisível na obra, será abordada na análise crítica dos casos de estudo.

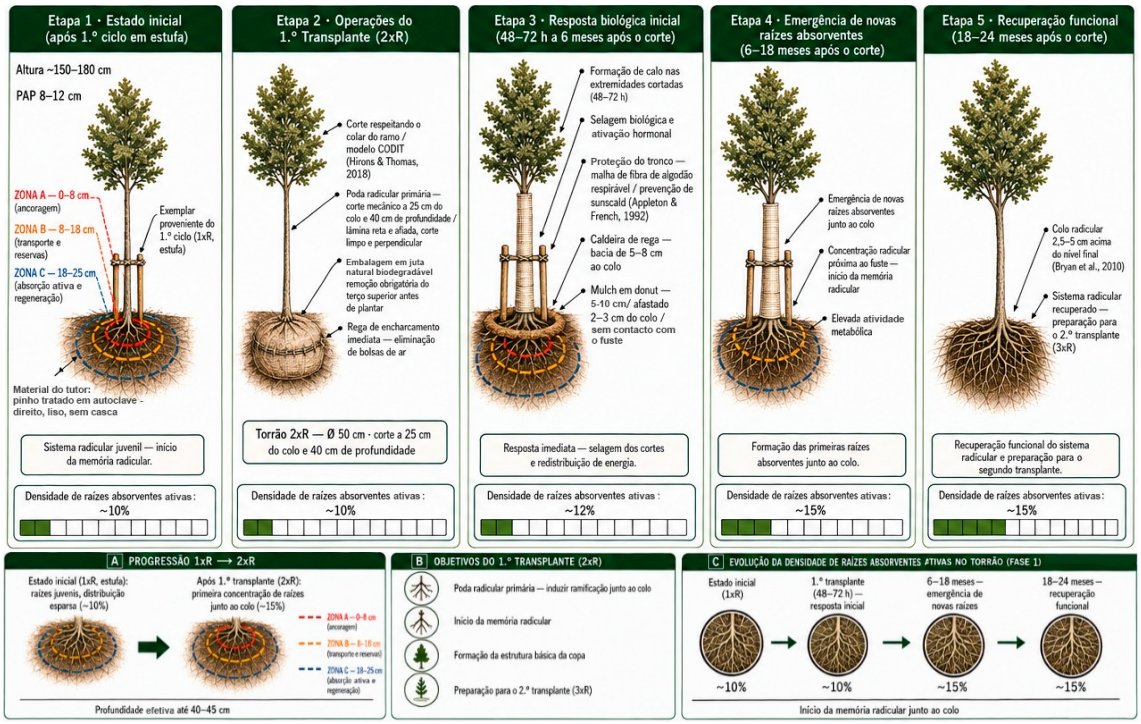


Figura 10. Fase 1 do ciclo de transplantes sucessivos (2xR): primeira intervenção de transplante e poda radicular em campo e subsequente regeneração de raízes absorventes junto ao colo. Versão ampliada no Anexo VII. Fonte: elaboração própria, com base em Harris & Bassuk (1993); Watson & Himelick (1982); Appleton & French (1992); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

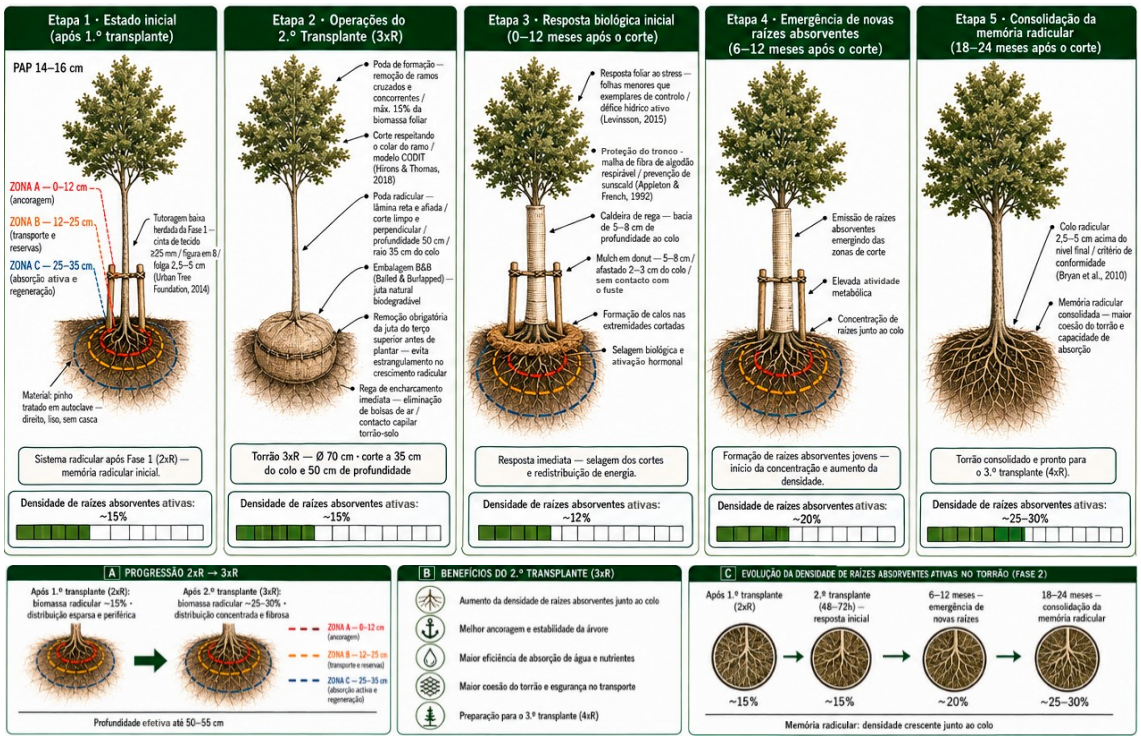


Figura 11. Fase 2 do ciclo de transplantes sucessivos (3xR): segunda intervenção de transplante e poda radicular, com a concentração progressiva de raízes absorventes e a consolidação da memória radicular junto ao colo. Versão ampliada no Anexo VII. Fonte: elaboração própria, com base em Harris & Bassuk (1993); Appleton (1995); Struve (2009); Levinsson (2015); Watson & Himelick (1982, 2013); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

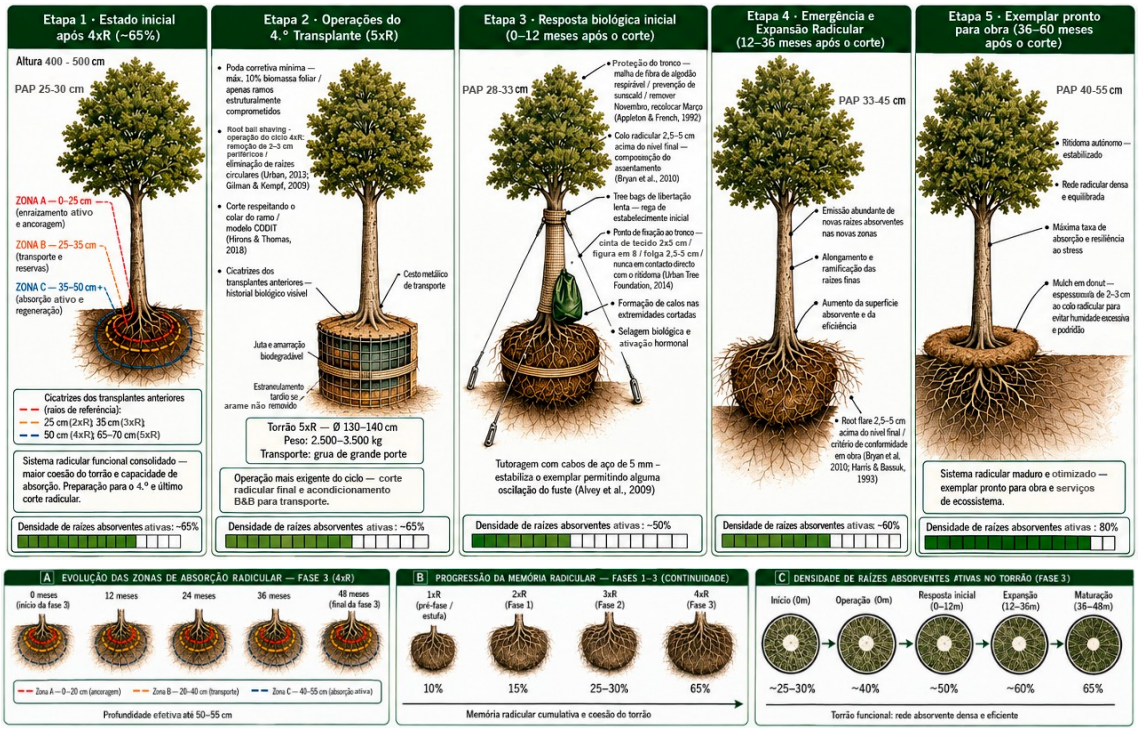


Figura 12. Fase 3 do ciclo de transplantes sucessivos (4xR): terceira intervenção de transplante e poda radicular, com a densificação progressiva do sistema radicular e a consolidação do torrão funcional. Versão ampliada no Anexo VII. Fonte: elaboração própria, com base em Harris & Bassuk (1993); Appleton (1995); Struve (2009); Watson & Himelick (1982, 2013); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

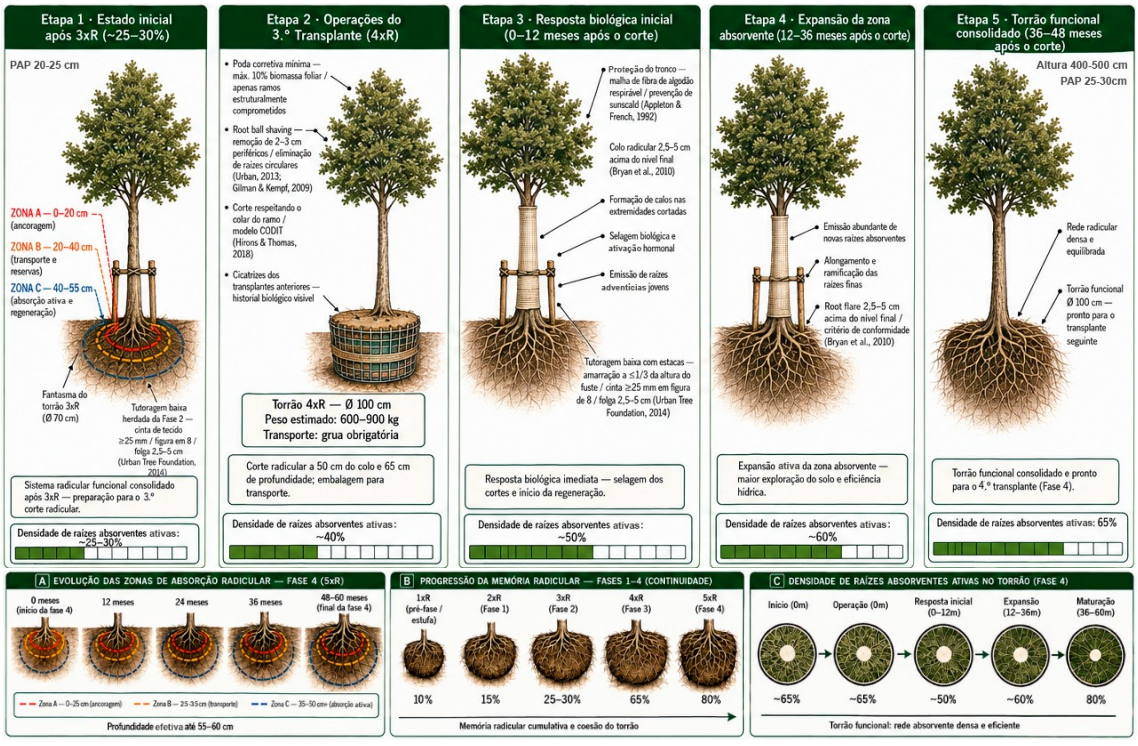


Figura 13. Fase 4 do ciclo de transplantes sucessivos (5xR): quarta intervenção de transplante e poda radicular, com a maturação do sistema radicular e a concentração de raízes absorventes no torrão. Versão ampliada no Anexo VII. Fonte: elaboração própria, com base em Harris & Bassuk (1993); Appleton (1995); Struve (2009); Watson & Himelick (1982, 2013); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

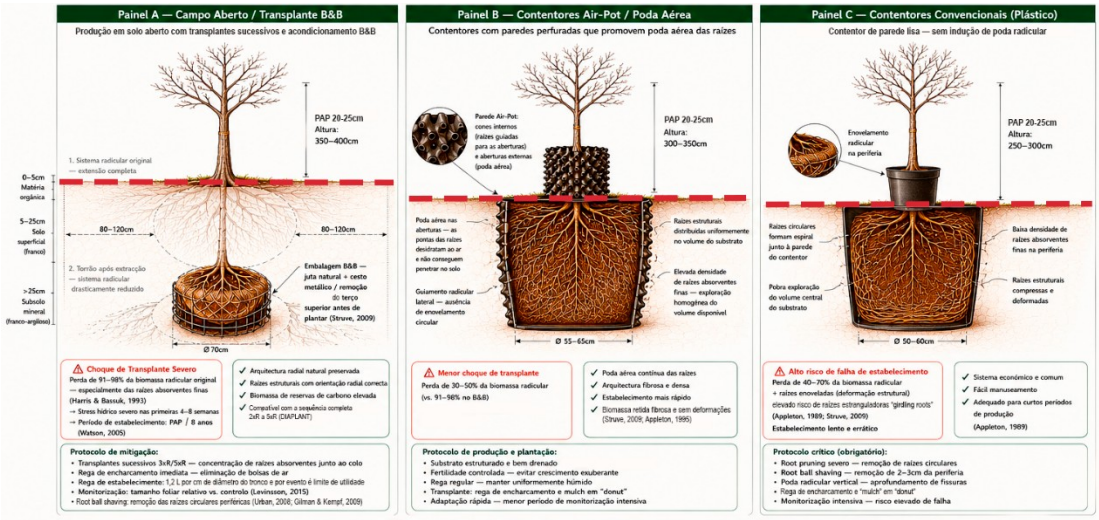


Figura 14. Comparação em corte de três sistemas de produção: campo aberto com transplante e acondicionamento *Balled & Burlapped* (A), contentor de parede perfurada com poda aérea (B) e contentor convencional de parede lisa (C). A comparação é estabelecida a PAP 20–25 cm, calibre em que os três sistemas são aplicáveis; acima de PAP 25 cm, a produção em campo é o único método viável (Tabela 3). Representam-se, para cada sistema, a arquitetura radicular resultante, o diâmetro do torrão ou do recipiente e os horizontes de solo. A quebra assinalada ao nível do solo indica mudança de escala: a porção enterrada está representada em ampliação, sem continuidade métrica com a parte aérea. As percentagens de perda de biomassa radicular são calculadas sobre bases distintas, segundo a ressalva indicada na nota à mesma tabela. Versão ampliada no Anexo VII. Fonte: elaboração própria, com base em Harris & Bassuk (1993); Appleton (1989, 1995); Struve (2009); Gilman & Kempf (2009); Watson (2005); Levinsson et al. (2014); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

Em última análise, cada uma das quatro fases descritas assenta, em última análise, numa ferida deliberada: o corte radicular na periferia do torrão e a poda de formação da copa, que acompanha os calibres superiores. Compreender como a árvore responde a estas feridas é fundamental para entender por que razão o protocolo funciona e quais são os seus limites.

3.2.2 Modelo CODIT de compartimentação

O modelo CODIT (*Compartmentalization of Decay in Trees*), desenvolvido por Alex Shigo na década de 1970, explica que a árvore não repara o tecido danificado: isola-o. Em resposta à ferida, constrói progressivamente barreiras químicas e físicas que confinam a zona de decomposição e impedem a sua propagação ao tecido saudável. A compartimentação não equivale, por isso, a regeneração: a árvore delimita a zona lesada e produz tecido novo que contribui para o encerramento da ferida.

O modelo distingue quatro barreiras, sistematizadas na Tabela 2. As três primeiras envolvem tecidos existentes antes da lesão. A quarta corresponde a uma zona de barreira formada pela atividade cambial após a lesão, que separa o tecido preexistente do novo xilema. Esta compartimentação não deve se confundida com o crescimento de

tecido de recobrimento nas margens da ferida nem com “tecido de granulação” (Dudzik, 1988).

Tabela 2. As quatro barreiras do modelo CODIT: Origem do tecido, direção de propagação confinada e eficácia relativa.

Barreira	Origem do tecido	Propagação que confina	Eficácia
Parede 1	Existente à data da lesão	Vertical, ascendente e descendente	A mais frágil
Parede 2	Existente à data da lesão	Radial, para o interior do lenho	Intermédia
Parede 3	Existente à data da lesão	Lateral, tangencial	Intermédia
Parede 4	Tecidos formados pela atividade cambial após a lesão.	Separa a madeira existente à data da ferida de toda a produzida depois	A mais eficaz do sistema

Fonte: elaboração própria, com base em Hirons & Thomas (2018).

A poda deve respeitar o colar e a ruga da casca do ramo, evitando cortes rasantes que ampliem a lesão. As intervenções de poda devem respeitar o colar e a ruga da casca do ramo, que são estruturas anatómicas que contêm a zona de proteção a partir da qual a parede 4 se organiza. Cortes rasantes no fuste destroem essa zona e ampliam a área de potencial decomposição (Hirons & Thomas, 2018). O calibre do ramo intervencionado aumenta: quanto maior o diâmetro do corte, maior a superfície exposta e mais lento o seu encerramento. Por conseguinte, o princípio orientador da poda de formação ao longo do ciclo de produção é o de intervir cedo e com regularidade sobre ramos de pequeno diâmetro, em vez de se adiar a correção estrutural para intervenções de maior calibre.

Este modelo foi estabelecido com base na observação de feridas no tronco e nos ramos e não pode ser aplicado diretamente ao sistema radicular, visto as raízes não possuírem as estruturas anatómicas que organizam a zona de proteção no ponto de inserção do ramo. Aqui, o que se mobiliza é apenas o princípio geral de resposta à lesão e de delimitação, e não o de reparação (Hirons & Thomas, 2018), como quadro de interpretação da resposta radicular. De acordo com o responsável do viveiro, a formação de tecido de cicatrização nas extremidades seccionadas ocorre nas primeiras 48 a 72 horas (Azevedo, comunicação pessoal, 2026). A literatura documenta a emissão de novas raízes a montante do corte, com a mobilização de reservas de hidratos de carbono para a reconstrução radicular, antes de haver um investimento no crescimento

aéreo (Watson, 1985). Em ambos os casos, a capacidade de resposta depende do estado hídrico e fisiológico da espécie em causa. As árvores sob stress pós-transplante estão mais expostas a infeções oportunistas nos pontos de ferida, embora a decomposição extensiva a partir de raízes seccionadas seja pouco frequente (Watson et al., 2014b; Hirons & Thomas, 2018).

Ao contrário do que acontece com o corte mecânico, que obriga a árvore a mobilizar recursos defensivos a cada ferida, os sistemas de produção em contentor procuram obter ramificação radicular por vias que dispensam o corte. Este é o princípio dos sistemas analisados no ponto seguinte.

3.2.3 Acondicionamento e limites dos protocolos de produção

A revisão de Allen et al. (2017) sintetiza um consenso da literatura: não existe um sistema de produção universalmente superior, uma vez que a espécie, o calibre pretendido, a duração do ciclo, as condições edáficas e climáticas e as exigências do local de destino condicionam a seleção do método adequado.

A ausência de um sistema universalmente superior não significa, contudo, que todos os métodos sejam equivalentes para um objetivo específico. No caso de espécies de grande porte destinadas a contextos urbanos, a produção em campo com transplantes sucessivos tem uma vantagem específica: as plantas são sucessivamente submetidas a condições que antecipam as da instalação definitiva, ao contrário daquelas que permanecem longos períodos em contentores. Levinsson (2013) constatou que o método de produção influencia o crescimento nos primeiros anos após o transplante, um período crítico para a recuperação fisiológica e a consolidação da ancoragem, embora de forma dependente do local e da espécie.

Os sistemas em contentor têm vantagens noutros contextos, nomeadamente quando se pretende um maior controlo do ciclo ou quando o calibre é compatível. A sua principal desvantagem é a deformação radicular: o contentor convencional provoca o enovelamento das raízes na periferia do recipiente, com consequências que se mantêm após a planta ser instalada (Appleton, 1989; Amoroso et al., 2010). Os contentores de parede perfurada, como os *Air-Pot*, superam esta limitação ao permitirem que a extremidade radicular fique exposta ao ar assim que atinge a parede, interrompendo o crescimento apical e induzindo a ramificação a montante (Amoroso et al., 2010; Appleton, 1995). A vantagem dos sistemas de parede perfurada não reside, portanto,

na retenção de uma maior massa radicular do que a obtida em campo, mas sim no facto de a biomassa retida ser fibrosa e isenta de deformações.

A distinção relevante não é, portanto, entre métodos melhores ou piores em termos gerais, mas sim entre métodos adequados ou não ao calibre pretendido e às condições do local de destino. A Tabela 3 torna essa diferença mensurável, com uma ressalva: a produção em campo é o único método viável acima dos 25 cm de PAP, sendo também aquele em que a extração deixa para trás a maior parte de um sistema radicular que se expandiu sem barreiras. Nos sistemas em contentor, a perda é de outra natureza, sendo uma correção aplicada a um sistema que o recipiente já confinou. As percentagens medem, portanto, coisas diferentes. A escolha do método consiste, essencialmente, em decidir que custo biológico é aceitável para se obter um determinado porte à chegada. Esta decisão deve ter em conta a qualidade do material, o calibre, a capacidade produtiva do viveiro e as condições do local, evitando a aplicação de protocolos únicos a contextos distintos. No entanto, o intervalo em que essa decisão é tomada é estreito: fora dele, não há critérios a aplicar, visto não haver alternativas entre as quais escolher.

Tabela 3. Síntese comparativa dos Sistemas de Produção

Critério	Campo Aberto/ Transplante B&B	Air-Pot / Poda Aérea	Contentor Convencional
Perda de biomassa radicular na extração	91-98%	30-50%	40-70% + deformação
Arquitetura radicular	Radial natural, após recuperação	Fibrosa, densa e homogénea	Enovelada na periferia
Exploração do volume do torrão	Boa, após estabelecimento	Homogénea	Centro pouco explorado
Risco de stress hídrico pós-instalação	Elevado nas primeiras 4 a 8 semanas	Elevado, por dessecação rápida do torrão poroso	Elevado
Tempo de estabelecimento	PAP/8 (Watson, 2005)	Inferior ao do B&B	Mais lento e irregular
Calibres adequados	Todos; único método viável acima de PAP 25 cm	PAP 10-25 cm; ótimo entre 15 e 25 cm	Até PAP 25 cm; utilização temporária
Compatibilidade com a sequência DIAPLANT	Sequência completa (2xR a 5xR)	Até ao 3xR, com adaptação	Não recomendado

Nota: a perda de biomassa radicular refere-se à proporção do sistema radicular suprimida ou deixada no local de origem, calculada sobre bases distintas. Em campo aberto, face ao sistema expandido sem barreiras físicas; em contentor, face a um sistema já limitado pelo volume do recipiente, correspondendo a supressão corretiva de deformações no momento da instalação. Os valores não são, por isso, diretamente comparáveis em massa absoluta. Fonte: elaboração própria, com base em Harris & Bassuk (1993); Appleton (1989, 1995); Struve (2009); Gilman & Kempf (2009); Watson (2005); Levinsson et al. (2014).

Se a produção em viveiro constrói parte substancial da qualidade biológica do exemplar, é a fase de projeto que define as exigências que ele terá de cumprir. A articulação entre o que o viveiro consegue produzir e o que o projeto especifica é o objeto do subcapítulo seguinte.

3.3 Critérios de Seleção e Especificação em Projeto

A caracterização da produção em viveiro respondeu à questão do que é possível produzir. Este subcapítulo trata da questão complementar: que critérios determinam, em projeto, o exemplar adequado a um determinado local.

A seleção de espécies arbóreas para o contexto urbano não pode ser reduzida a meras considerações estéticas ou à disponibilidade no mercado. É necessária uma abordagem multicritério que integre as características funcionais das espécies, as condições físicas do local, o período em que se esperam os benefícios e os riscos associados ao contexto climático e urbano específico. Nenhum destes critérios deve ser avaliado de forma isolada, uma vez que uma espécie que seja espacialmente compatível pode ter um perfil inadequado em termos de emissão de compostos orgânicos voláteis no contexto da sua instalação e o maior calibre disponível pode não ser o mais adequado se for ponderado o período de estabelecimento em condições de stress hídrico mediterrânico. Os pontos seguintes abordam a compatibilidade espacial e a diversidade taxonómica da lista de espécies, a emissão de compostos orgânicos voláteis e o calibre adequado à instalação.

3.3.1 Compatibilidade espacial e diversidade taxonómica

A seleção de espécies para o contexto urbano deve começar com uma avaliação da compatibilidade entre as características de crescimento da espécie e o espaço disponível, tanto acima como abaixo do solo. O critério mais importante não é o tamanho do exemplar no momento da plantação, mas sim o tamanho que poderá atingir quando estiver maduro, incluindo o tamanho da copa, o diâmetro do tronco e o desenvolvimento do sistema radicular. A escolha de uma espécie cujo porte potencial exceda o espaço disponível pode gerar conflitos com edifícios, infraestruturas e sistemas de circulação, cuja correção se torna progressivamente mais dispendiosa à medida que a árvore cresce e as soluções disponíveis diminuem.

A nível aéreo, o espaço disponível está condicionado pela proximidade às fachadas e aos vãos, pela altura livre necessária à circulação pedonal e de automóveis, pela

presença de iluminação pública e de infraestruturas aéreas, bem como pelo espaçamento entre os exemplares. Se a dimensão potencial da copa exceder este envelope, poderão ser necessárias podas de contenção frequentes ou intervenções em ramos de maior calibre. As consequências destas intervenções dependem da capacidade de compartimentação da ferida e da condição fisiológica da árvore, aspetos abordados no subcapítulo 3.2.2.

No plano subterrâneo, o volume e a qualidade do solo disponível para exploração devem ser compatíveis com o potencial de crescimento da copa, uma vez que influenciam o desenvolvimento radicular, a disponibilidade hídrica e a capacidade de suporte do exemplar. A City of Raleigh Urban Forestry (2021) recomenda um volume de solo não compactado entre 17 e 30 m³ para exemplares adultos de porte médio a grande, considerando 17 m³ o mínimo por exemplar em situação de pavimento. O TDAG (2014) sugere o mesmo intervalo para exemplares de PAP igual ou superior a 40 cm. Watson et al. (2014b) expressam a mesma exigência de forma diferente, ao indicarem recomendações de 0,15 a 0,7 m³ de solo por metro quadrado de projeção da copa, ajustáveis ao clima, à evapotranspiração, à qualidade do solo e ao regime de rega. A diferença entre as duas formulações é importante: a primeira estabelece um valor fixo, ao passo que a segunda estabelece a regra que o determina e acompanha as características do exemplar em questão.

Se o volume não puder ser aumentado por meio de soluções construtivas, a espécie especificada deve ser compatível com a capacidade física do local, evitando impor ao espaço condições que este não pode oferecer.

A composição do elenco constitui uma segunda ordem de critérios aplicáveis ao conjunto de espécies previamente reconhecidas como espacialmente compatíveis. O filtro de disponibilidade, descrito no subcapítulo 1.2, tem uma consequência operacional no processo de seleção: a diversidade taxonómica não é um resultado da especificação, mas sim um parâmetro que deve ser definido antes desta, sob pena de o elenco ser formado pela adição sucessiva do que está disponível em termos de calibre e quantidade. Neste trabalho, a amplitude do elenco é, por conseguinte, considerada um indicador da articulação entre o projeto e a produção, parâmetro este que é retomado na análise dos casos de estudo.

Após a definição da compatibilidade espacial e da composição do elenco, os subcapítulos seguintes abordam dois critérios adicionais: a emissão de compostos orgânicos voláteis e o calibre da instalação.

3.3.2 Compostos orgânicos voláteis e contexto de seleção

A emissão de compostos orgânicos voláteis (COV), nomeadamente isoprenos[1] e monoterpenos[2], é um critério de seleção de espécies com relevância desigual. As espécies *Quercus* spp. e *Platanus* spp, por exemplo, são emissoras significativas de isopreno. Na presença de óxidos de azoto de origem automóvel e de radiação intensa, estes podem contribuir para a formação de ozono troposférico (Benjamin et al., 1996; Churkina et al., 2017). As condições locais de tráfego, ventilação e qualidade do ar não foram avaliadas nos dois casos, pelo que este critério é discutido como referência para a seleção em contexto urbano. A substituição sistemática de espécies com elevada emissão deve ser ponderada em função de critérios como a adaptação climática, a tolerância à compactação e a resistência à seca, não existindo uma hierarquia universal aplicável a todos os cenários (Hilbert et al., 2022). Por conseguinte, o critério não se traduz numa lista de espécies a evitar, mas sim numa ponderação dependente do contexto de instalação, que é retomada no ponto 5.1.1. A mesma dependência atravessa a decisão sobre o calibre do exemplar, que é analisada no ponto seguinte.

3.3.3 Calibre, mortalidade e estabelecimento

A escolha do calibre do espécime não deve ser considerada uma variável independente dos restantes critérios de seleção. Conforme discutido no subcapítulo 1.1, a utilização de calibres maiores é justificada pela possibilidade de antecipar alguns dos serviços ecossistémicos associados a copas de maior dimensão. No entanto, esta vantagem potencial está condicionada a taxas de mortalidade mais elevadas e a períodos de estabelecimento mais longos, sobretudo quando as condições de instalação e manutenção não garantem as necessidades hídricas do exemplar (Watson, 1985, 2005; Harris & Bassuk, 1993; Struve, 2009).

A hipótese de exemplares menores recuperarem mais rapidamente e poderem aproximar-se da dimensão de exemplares maiores e discutida por W. T. Watson (2005). G. W. Watson (1985) apresentou um modelo ilustrativo de recuperação radicular e

[1] Isopreno: (2-metil-1,3-butadieno), composto orgânico volátil (COV) emitido naturalmente por muitas espécies arbóreas, sobretudo em condições de calor e forte radiação solar. É o COV biogénico mais abundante emitido pela vegetação. Na atmosfera, reage com óxidos de azoto (NO_x) na presença de luz solar e contribui para a formação de **ozono troposférico**, um poluente que agrava a qualidade do ar urbano. Espécies como carvalhos (Quercus), choupos e salgueiros (Populus, Salix) e plátanos são emissores notáveis.

[2] Monoterpenos: Família de COV biogénicos formados por duas unidades de isopreno (C_10H_16); exemplos comuns são o α-pineno, o β-pineno e o limoneno. São responsáveis por grande parte do aroma característico das coníferas e de muitas folhas. Tal como o isopreno, participam na formação de ozono e, adicionalmente, na formação de **aerossóis orgânicos secundários** (partículas finas). Emissores típicos incluem pinheiros, ciprestes e outras coníferas, além de algumas folhosas.

crescimento com pressupostos definidos, não um ensaio que demonstre um prazo universal de convergência. A escolha do calibre deve considerar o objetivo paisagístico, a qualidade do material, o local e os recursos de manutenção, sem atribuir aos casos um horizonte de ultrapassagem não observado.

Não atribuir a Harris & Bassuk a medição de uma relação modelada por Watson. A escolha do calibre deve ter em conta o custo de produção, que aumenta com o aumento do calibre, o contexto da instalação, que determina as condições do solo, da água e da infraestrutura disponíveis, bem como o período em que se esperam obter os benefícios. Quanto maior o calibre, mais exigente será o período de estabelecimento, tornando a continuidade da rega e da manutenção especialmente crucial para a concretização do investimento realizado.

Struve (2009) e Gilman et al. (2013) observaram que os espécimes de maior dimensão podem ter uma taxa de mortalidade mais elevada do que os de menor dimensão, se os protocolos de rega de estabelecimento não forem cumpridos. Embora nenhum destes estudos tenha sido realizado em clima mediterrânico, a sua pertinência é particularmente relevante em contextos onde o período de défice hídrico é mais prolongado, como na Península Ibérica. A continuidade deste protocolo depende também do horizonte temporal definido para a obra e para a sua manutenção. Nos casos analisados no capítulo 4, a documentação permite examinar a relação entre o momento da conclusão da obra e o período de estabelecimento subsequente (Figura 15), apresentada em versão ampliada no Anexo VI.

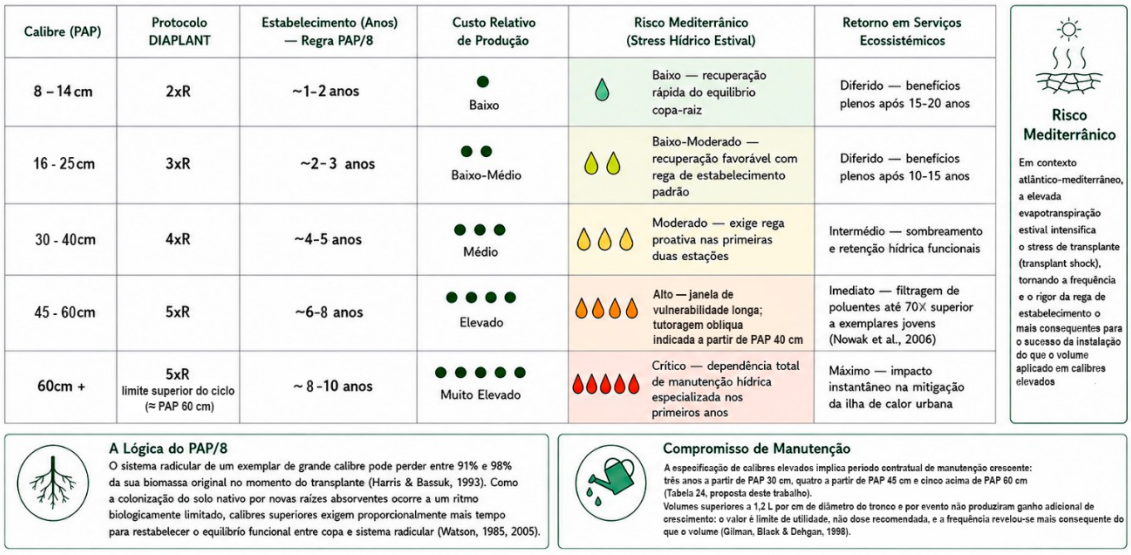


Figura 15. Apoio à decisão de calibre: relação entre o perímetro à altura do peito (PAP), o protocolo de produção, o tempo estimado de estabelecimento segundo a regra PAP/8, o custo relativo de produção, o risco associado ao défice hídrico e o retorno potencial em serviços ecossistémicos. Representação esquemática de apoio à decisão. Fonte: elaboração própria, com base em Watson (1985, 2005); Harris & Bassuk (1993); Struve (2009); Gilman et al. (2013); Nowak, Crane & Stevens (2006); e em informação técnica da DIAPLANT (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal).

A seleção das espécies e do calibre mais adequados ao contexto é a última decisão de especificação botânica tomada em gabinete, antes do exemplar ser colocado no solo urbano. No entanto, a mesma especificação não produz necessariamente o mesmo resultado em qualquer local, visto que é a heterogeneidade das condições físicas entre parques e arruamentos que condiciona a resposta do exemplar após a instalação, como será analisado no subcapítulo seguinte.

3.4 Contextos de Instalação: Do Parque ao Arruamento

A viabilidade biológica de uma árvore adulta não depende apenas da qualidade do exemplar e dos critérios de seleção botânica, mas também da heterogeneidade das condições físicas do local de instalação. A distinção entre os dois contextos predominantes de arborização urbana, parques e arruamentos, permite compreender por que razão os mesmos protocolos de instalação produzem resultados distintos e quais as condicionantes específicas de cada um.

3.4.1 Parques urbanos e condicionantes de instalação

Em geral, as condições de instalação nos parques urbanos são substancialmente mais favoráveis do que nas ruas: há uma maior continuidade do solo, uma menor interferência com infraestruturas subterrâneas e uma maior flexibilidade no dimensionamento das covas de plantação.

Embora a compactação possa limitar o crescimento radicular, a densidade aparente deve ser interpretada em conjunto com a textura, a estrutura, a humidade e a composição do material. No estudo de Grabosky e Bassuk (1995), as misturas de pedra e solo com uma densidade seca superior a 1,70 g/cm³ registaram um crescimento radicular superior ao do controlo franco-argiloso, com uma densidade seca de cerca de 1,38 g/cm³. Estes valores descrevem materiais e tratamentos distintos, não definindo um limiar geral de aceitação. Como não foi apresentada uma caracterização dos solos em questão, não se pode adotar o valor de 1,60 g/cm³ para os classificar. Propõe-se que, num trabalho futuro, se combine a caracterização do solo com perfis de resistência à penetração, registando a profundidade, a humidade e o equipamento utilizado (Watson et al., 2014a).

Os 1,38 g/cm3 são a densidade do controlo, não um limiar de inibição demonstrado. O penetrâmetro de cone complementa a analise, não caracteriza sozinho o solo. Não introduzir um novo limiar universal em MPa (Figura 16).

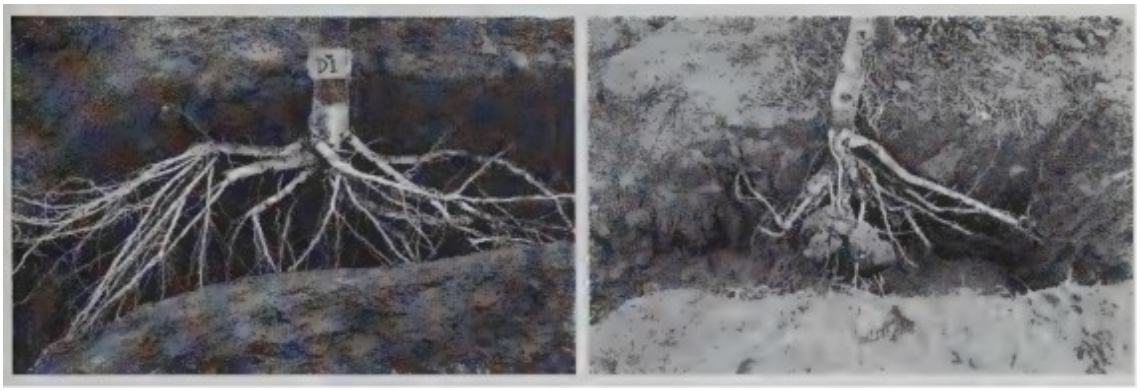


Figura 16. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento da tília (*Tilia* sp.): (a) crescimento ao longo de dois anos em solos com diferentes níveis de compactação e com incorporação de matéria orgânica; (b) sistema radicular resultante em solo não compactado (i) e compactado (ii). Fonte: Bradshaw, Hunt & Walmsley (1995, Fig. 6.6, redesenhado de Hunt et al., 1991). Reproduzido para fins académicos.

A gestão hídrica em parques tem as suas próprias condicionantes. Do ponto de vista técnico, é viável instalar qualquer uma das modalidades de rega descritas no

subcapítulo 3.6.1, visto a continuidade do solo e a ausência de pavimento não imporem as restrições impostas pelo arruamento. A questão não é, portanto, de natureza técnica, mas sim de especificação: a consistência da gestão hídrica durante a fase de instalação depende da contratação da infraestrutura de rega e da garantia da sua manutenção após a conclusão da obra. Não é o tipo de contexto que estabelece essas condições, mas sim o que está especificado nos documentos do projeto, e é essa a relação que a análise dos casos permite examinar.

3.4.2 Condicionantes de instalação em arruamentos

Os arruamentos pavimentados representam os maiores desafios técnicos para a arborização urbana. A escassez de solo utilizável e a sua compactação, agravadas pela presença de infraestruturas enterradas, reduzem a longevidade das árvores nas ruas, levando à morte de muitos exemplares ao fim de apenas sete anos em pequenas caldeiras convencionais (Grabosky & Bassuk, 1995). Nestas condições, o crescimento radicular concentra-se na zona de contacto entre o solo e a base do pavimento, onde persiste alguma humidade e arejamento. É esta migração superficial, e não uma característica da espécie, que provoca o levantamento das superfícies pavimentadas.

A intervenção junto de árvores existentes exige a definição prévia de uma área de proteção radicular, ajustada ao exemplar, ao local e às orientações técnicas aplicáveis. A figura histórica reproduzida de Bradshaw, Hunt & Walmsley (1995) não permite concluir que uma vala situada a um terço do raio da copa afete, no máximo, um terço das raízes. Neste relatório não foi determinada a distribuição radicular dos exemplares a preservar, pelo que não se calcula essa proporção. A Figura 17 ilustra esta relação.

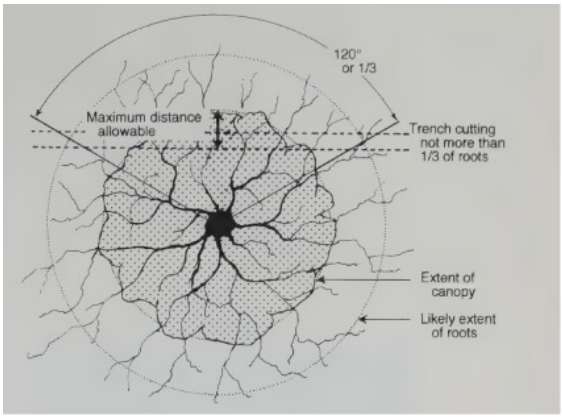


Figura 17. Distância mínima de abertura de vala em relação ao exemplar a preservar, segundo a norma BS 5837:1991. Fonte: Bradshaw, Hunt & Walmsley (1995, Fig. 15.6).

No que se refere às novas plantações, a resposta técnica desenvolve-se em duas direções: aumentar o volume de solo disponível, ligando as covas individuais em valas contínuas (TDAG, 2014), ou orientar o crescimento em profundidade, recorrendo a matrizes minerais e elementos defletores que direcionam as raízes para fora da zona de conflito com pavimentos e infraestruturas (Figura 18). As principais soluções construtivas aplicáveis a este contexto, que incluem solos estruturados e sistemas modulares de suporte radicular, são apresentadas no Anexo IV, uma vez que constituem informação complementar ao conteúdo deste relatório.



Figura 18. Sistema RootDirector: peça rígida que desvia o crescimento radicular para baixo e para fora da zona de conflito com pavimentos e infraestruturas. Fonte: GreenBlue Urban (2021c, p. 36). Reproduzido para fins académicos.

A gestão hídrica em arruamentos pode ser assegurada por qualquer das modalidades comparadas em 3.6.1, onde se discute também a quem cabe essa escolha.

3.4.3 Solos estruturados, pavimentos suspensos e SuDS

Os desafios associados à arborização dos arruamentos conduziram ao desenvolvimento de soluções destinadas a conciliar o suporte estrutural do pavimento, a disponibilidade de solo e o desenvolvimento radicular em solo nativo, o solo estruturado e os sistemas modulares de células radiculares diferem sobretudo na proporção do volume efetivamente explorável e na continuidade lateral que permitem (Figura 19, versão ampliada no anexo VII). Um estudo longitudinal com uma duração de 17 anos concluiu que as árvores instaladas em solos estruturados sob o pavimento alcançaram dimensões e vigor comparáveis aos exemplares instalados em condições

menos restritivas (Grabosky e Bassuk, 2016). O percurso radicular resultante contrasta com o de uma caldeira convencional (Figura 20, versão ampliada no anexo VII). A caracterização de cada sistema, incluindo a sua integração com sistemas de drenagem urbana sustentável, é apresentada no Anexo IV.

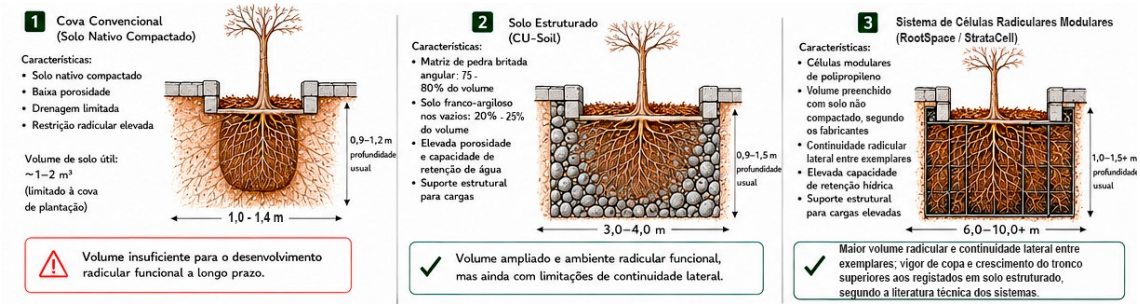


Figura 19. Corte técnico comparativo de três sistemas de suporte de solo para arborização em arruamento: (1) cova convencional em solo nativo compactado; (2) solo estruturado (CU-Soil / Stockholm Tree Pits); (3) sistema modular de células radiculares. Os parâmetros de cada sistema constam do Anexo IV e o volume mínimo de referência é o estabelecido em 3.3.1. Representação esquemática. Fonte: elaboração própria, com base em Grabosky & Bassuk (1995, 2016); GreenBlue Urban (2021c); Stockholm Tree Pits (s.d.).

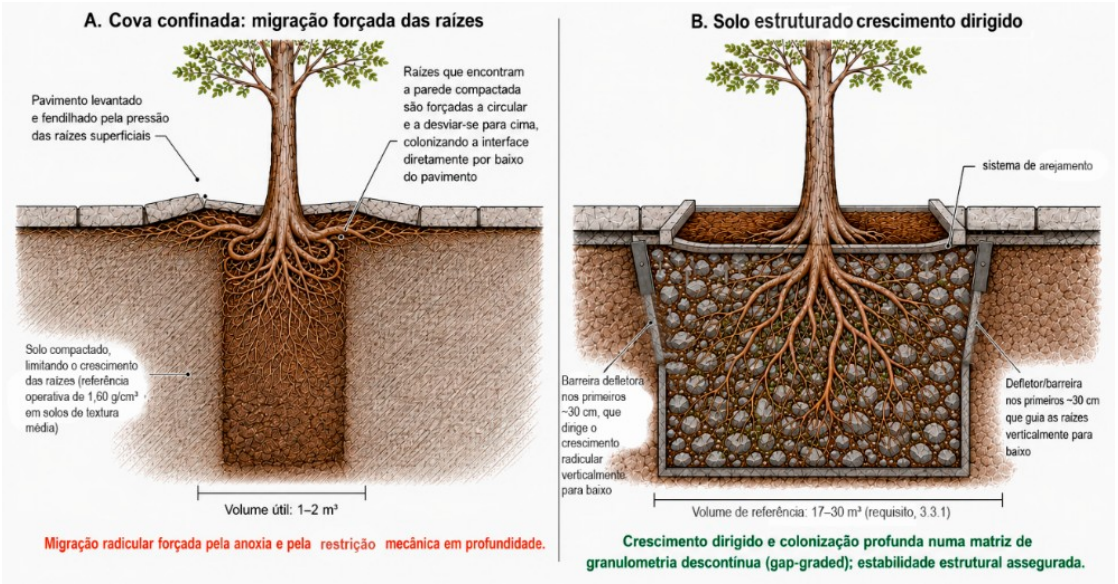


Figura 20. Corte transversal comparativo entre caldeira convencional em solo compactado (esq.) e sistema de solo estruturado com elemento defletor (dir.). Representação esquemática. Versão ampliada no Anexo VII. Fonte: elaboração própria, com base em Grabosky & Bassuk (2016); GreenBlue Urban (2021c).

No entanto, a engenharia do volume não dispensa a qualidade biológica do solo que o preenche. Bainard et al. (2011) identificaram limitações na colonização micorrízica natural em solos urbanos, ao passo que Van Geel et al. (2019) concluíram que a

presença de matérias orgânicas no solo é um indicador mais fidedigno da saúde das árvores urbanas do que a diversidade micorrízica em si. A criação de condições edáficas adequadas deve ser uma prioridade, não devendo a inoculação micorrízica ser tratada como um substituto da qualidade do substrato.

O volume radicular e a qualidade do substrato definem o ambiente subterrâneo com que a árvore se irá deparar. No entanto, nenhum deles condiciona a forma como o exemplar é colocado. A geometria da cova, a gestão do torrão no momento da plantação e o sistema de estabilização adotado nos primeiros anos são igualmente decisivos para determinar se o investimento biológico acumulado no viveiro e o investimento em infraestruturas realizado no solo resultam em arvoredo funcional. São estas técnicas que serão analisadas no subcapítulo seguinte.

3.5 Técnicas de Instalação: Dimensionamento de Covas e Estabilização

A instalação de um exemplar adulto é realizada através de um conjunto reduzido de operações, que terão consequências prolongadas no comportamento futuro da árvore. São estabelecidas três relações físicas. A primeira relação é estabelecida entre o torrão e o solo envolvente, condicionando o contacto entre ambos, a continuidade das condições de água e ar, bem como a progressão das raízes para além do volume de produção. A segunda relação estabelece-se entre o colo radicular e a superfície do terreno e condiciona as trocas gasosas e a vitalidade do ritidoma na zona de transição. A terceira relação estabelece-se entre o fuste e o sistema de estabilização, fixando as solicitações mecânicas a que o exemplar ficará sujeito durante o estabelecimento, bem como a rapidez com que adquire autonomia estrutural.

É em torno destas três relações que o subcapítulo se estrutura. Antecede-as uma verificação do estado em que o exemplar chega à obra, abordada no ponto seguinte. As duas primeiras serão desenvolvidas no ponto 3.5.2, enquanto a terceira será abordada nos pontos 3.5.3 a 3.5.5. A gestão do período de estabelecimento será abordada no subcapítulo 3.6.

3.5.1 Receção e movimentação do exemplar

A instalação começa antes da abertura da cova, no momento em que o exemplar chega ao local. O que se recebe é o resultado de um ciclo de produção que pode ter

durado duas décadas e cuja qualidade, tal como descrito no ponto 3.2, não pode ser totalmente verificada através de uma inspeção visual. A primeira decisão desta fase é, por conseguinte, uma decisão de aceitação, ou seja, determinar se o exemplar entregue está em condições de ser plantado.

O critério central desta verificação é a coesão do torrão. Se o torrão se fragmentar durante o transporte, mesmo que esteja contido exteriormente pela rede e pelo envolvimento, perde-se a continuidade entre o solo e as raízes absorventes que o protocolo de produção estabeleceu. Assim, o exemplar chega ao local com uma perda radicular acrescida àquela que a extração já implicou. A prática dos viveiros identifica esta condição como a principal causa de rejeição dos exemplares na obra, precisamente porque não pode ser verificada através da inspeção do exterior do torrão (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). A verificação possível é indireta, com base nos sinais apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Receção e movimentação de exemplares adultos: Operações, riscos, sinais de verificação em obra e medidas preventivas.

Operação	Risco principal	Sinal verificável em obra	Medida preventiva
Receção	Fragmentação do torrão em trânsito	Deslocamento do fuste relativamente ao eixo do torrão; folga entre o torrão e o material de envolvimento	Rejeição do exemplar; registo fotográfico à chegada
Descarga	Concentração de esforço num único ponto	Deformação da rede; abaulamento lateral do torrão	Aro inferior de suporte ao torrão com olhal superior de ligação à grua
Movimentação (torrão > 2 t)	Torção do torrão; rotura do envolvimento	Fissuração da superfície do torrão	Coordenação de dois equipamentos de elevação
Contacto com o ritidoma	Lesão do câmbio nos pontos de cinta	Descolamento ou fissuração do ritidoma	Proteção acolchoada em todos os pontos de contacto
Transporte da copa	Fratura de ramos contra a estrutura do reboque	Ramos partidos ou descascados	Contenção da copa por estrutura de varas; fardos de palha ou paletes como amortecimento

Fonte: elaboração própria, com base em Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal) e em Lorenz von Ehren Baumschule (2023).

O método Balled & Burlapped, que combina uma rede metálica com um revestimento de juta, continua a ser a solução mais utilizada para exemplares de grande calibre. Nesta fase, a fibra de coco é igualmente utilizada sob a forma de corda de amarração, devido à sua resistência à tração. No entanto, é importante distinguir esta função da sua utilização como cobertura do solo, que é desaconselhada no contexto nacional pelas razões discutidas no ponto 3.6.2.

Em qualquer dos casos, os materiais de envolvimento têm a função de facilitar o transporte e não a instalação. A sua permanência no torrão após a plantação é abordada no ponto seguinte. A corda de fibra de coco, devido à sua resistência à tração, não pertence a este grupo. A sua função no viveiro é a amarração entre o fuste e o tutor (Tabela 7) e não o acondicionamento do torrão ou a cobertura do solo. Existem alternativas em desenvolvimento, como redes geotêxteis de alta porosidade, que foram concebidas para conduzir água e ar até à zona radicular, em vez de funcionarem como uma barreira passiva (LITE-SOIL GmbH, s. d.). Na ausência de literatura independente que documente o seu desempenho mecânico ou a respetiva taxa de degradação, estas soluções devem ser interpretadas como estando em fase de validação.

A movimentação é uma das fases com maior risco mecânico em todo o processo e este risco aumenta com o calibre (Figura 21). Os danos causados nesta fase são, na sua maioria, imediatos e visíveis, ao contrário dos danos resultantes das operações seguintes. No entanto, estes não são menos graves, visto uma lesão no ritidoma constituir um ponto de entrada num exemplar cuja capacidade de compartimentação já se encontra reduzida pelo transplante (3.2.2).



Figura 21. Manuseamento de exemplar adulto com torrão: (esq.) transporte em posição horizontal; (dir.) equipamento de elevação para descarga. Fonte: Lorenz von Ehren Baumschule (2023). Reproduzido para fins académicos.

Após a verificação do estado do exemplar e a sua colocação no local definitivo, a operação seguinte consiste na abertura e dimensionamento da cova que o irá receber.

3.5.2 Dimensionamento da cova e gestão do torrão

A geometria da cova deve ser definida em relação ao torrão e às condições do local, proporcionando espaço para a instalação e a expansão radicular. A profundidade é determinada após identificar o colo radicular e a sua distância à base de apoio do torrão, considerando a cota do terreno acabado e o assentamento previsível. Em contexto pavimentado, a cova de instalação e o volume de enraizamento acessível devem ser distinguidos e coordenados com o pavimento e as infraestruturas (Harris & Bassuk, 1993; Urban Tree Foundation, 2014).

A Tabela 5, a Tabela 22 e os pormenores devem usar a mesma distinção: altura exterior do torrão não demonstra, isoladamente, a posição do colo. Não acrescentar uma cota numérica à figura para preencher a ausência de dimensionamento.

O critério fundamental da geometria é a cota de implantação do colo radicular, que deve permanecer visível à superfície do solo após a colocação. O enterramento do colo, mesmo que parcial, pode dar origem a condições de anoxia e favorecer o desenvolvimento de raízes estranguladoras. Wells et al. (2006) observaram que, no caso do *Acer rubrum*, a proporção do perímetro do fuste envolvido por raízes estranguladoras aumentou de 14%, ao nível do solo, para 48%, com um soterramento de 15 cm, e para 71%, com 31 cm. Bryan et al. (2010) documentaram um aumento da mortalidade e uma diminuição do crescimento em amostras de *Platanus occidentalis* plantadas abaixo da cota, independentemente do regime de rega. Por este motivo, e para que a cota se mantenha após o assentamento, a base da cova deve ser assente em solo firme e não revolvido (Figura 22).



Figura 22. Cova de plantação em fase de enchimento, em obra acompanhada durante o período de estágio: exemplar posicionado com o torrão assente em solo firme não revolvido, antes da cobertura completa. Fonte: registo fotográfico do estágio (Dias, M. R., 2026).

A segunda interface estabelece-se entre o torrão e o solo envolvente. Nos exemplares provenientes de contentores, a inspeção deve identificar as raízes circulares e, se necessário, a raspagem periférica deve ser feita para favorecer o crescimento radial no solo definitivo (Urban, 2008; Gilman & Kempf, 2009). Nos torrões embalados, a rede metálica e os materiais de embalagem presentes na parte superior devem ser retirados ou libertados, a fim de reduzir o risco de estrangulamento das raízes e do colo (Struve, 2009; Appleton, 1995).

A diferença entre o torrão e o solo envolvente pode afetar a forma como a água é distribuída.

Durante o processo de estabelecimento, é necessário verificar a humidade em ambos, sem presumir que a água aplicada na cova molhe uniformemente o torrão. O enchimento deve promover o contacto entre os materiais, evitando espaços vazios em excesso e uma compactação desnecessária. A primeira rega deve humedecer o torrão e o solo de enchimento, favorecendo o assentamento. A expressão "rega de encharcamento", utilizada neste relatório, refere-se a esta operação inicial e não à manutenção do meio saturado. O volume e a aplicação devem considerar a infiltração e a drenagem locais (Harris e Bassuk, 1993; Urban Tree Foundation, 2014).

A verificação da geometria, do colo e do torrão deve ser realizada, de preferência, antes e durante o enchimento, visto ser nesse momento que o acesso é mais direto. Embora a inspeção ou correção posterior possa exigir uma intervenção adicional, tal não é impossível.

Tabela 5. Parâmetros da cova de plantação e momentos preferenciais de verificação.

Parâmetro	Valor de referência	Fundamento	Momento preferencial de verificação
Largura da cova	2 a 3 × o diâmetro do torrão (mín. 3 × segundo a fonte)	Expansão radicular lateral nas camadas superficiais	Início do enchimento
Profundidade da cova	Definida pela distância entre o colo identificado e a base de apoio do torrão, em relação à cota final especificada	Limitação do assentamento posterior	Colocação do torrão
Base da cova	Solo firme, não revolvido	Estabilidade da cota após assentamento	Colocação do torrão
Cota do colo radicular	2,5 a 5 cm acima do nível final do solo (Azevedo, C., 2026)	Evitar soterramento inadvertido e considerar apoio, drenagem e assentamento	Início do enchimento
Raspagem periférica do torrão	2 a 3 cm (exemplares de contentor)	Eliminação de raízes circulares	Colocação do torrão
Acondicionamento na zona superior	Remoção ou libertação	Prevenção do estrangulamento de raízes e colo	Início do enchimento
Enchimento	Camadas sucessivas, compactação ligeira	Eliminação de bolsas de ar sem perda de porosidade	Durante a operação
Rega de encharcamento	Rega inicial de assentamento, ajustada à infiltração e drenagem, sem saturação prolongada	Humedecer o torrão e o enchimento e promover o contacto entre materiais	Conclusão da instalação
Bacia de rega	Opcional, em redor do torrão	Concentração da água no volume do torrão	Conclusão da instalação

Fonte: elaboração própria, com base em Harris & Bassuk (1993); Wells et al. (2006); Bryan et al. (2010); Gilman & Kempf (2009); Struve (2009); Appleton (1995); Urban (2008); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

3.5.3 Estabilização e resposta biomecânica

A primeira questão colocada pela estabilização não é qual o sistema a adotar, mas sim se esta é necessária. De facto, o movimento do fuste estimula o desenvolvimento estrutural da árvore, contribuindo para a formação de conicidade e de madeira de reação ao longo do fuste e das raízes. Por esse motivo, a estabilização deve responder às exigências do local sem obstruir esse movimento. A estabilização justifica-se em caso de elevada exposição ao vento, de uma relação desfavorável entre a dimensão da copa e a capacidade de ancoragem do torrão, de baixa coesão do solo ou de risco de deslocação associado a um uso intenso do espaço público. Fora destas

condições, a imobilização do exemplar limita o desenvolvimento do qual depende a aquisição da sua autonomia estrutural (Figura 23).

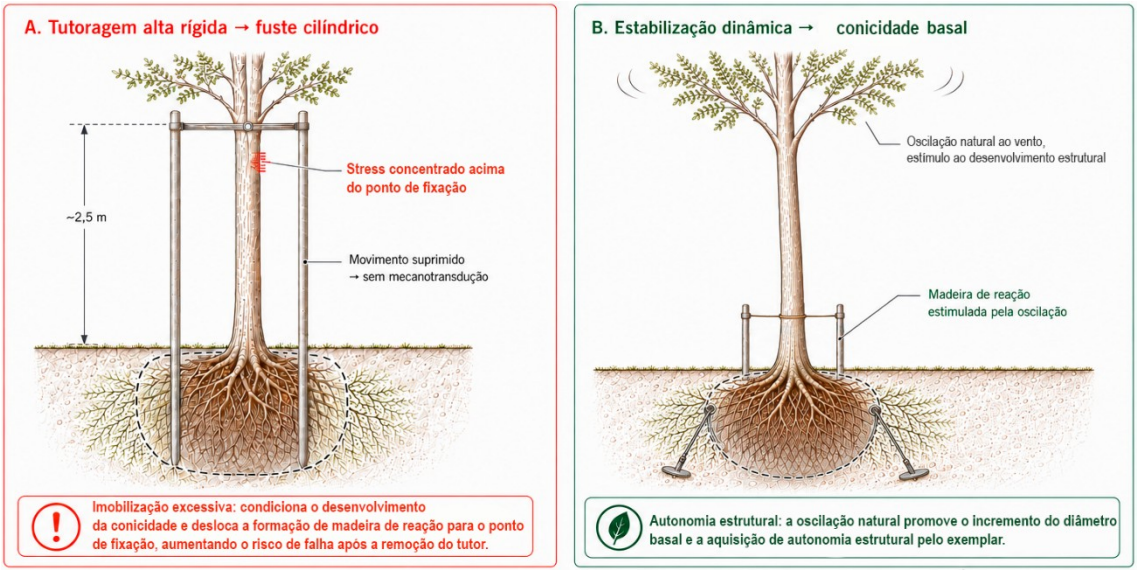


Figura 23. Consequência do regime de oscilação na forma do fuste: (A) a tutoragem alta rígida suprime o movimento acima do ponto de fixação e produz um fuste cilíndrico, dependente do suporte; (B) a estabilização dinâmica, por ancoragem do torrão ou tutoragem baixa, converte a oscilação em crescimento radial e produz conicidade basal. Representação esquemática. Fonte: elaboração própria, com base em Leiser & Kemper (1968); Alvey et al. (2009); Labrosse et al. (2011).

A tutoragem aérea convencional, com fixação elevada até cerca de 2,5 metros, restringe o movimento natural do fuste e pode condicionar o desenvolvimento da conicidade. De acordo com Leiser e Kemper (1968), os sistemas rígidos e elevados alteram a distribuição das solicitações provocadas pelo vento, concentrando a resposta estrutural em zonas específicas do fuste e aumentando o risco de falha após a remoção do tutor. A utilização de sistemas inadequados pode também causar lesões mecânicas progressivas. Num estudo sobre 488 árvores em Guelph, Ontário, Labrosse, Corry e Zheng (2011) verificaram que o estrangulamento vascular foi o sintoma mais frequente associado aos sistemas de estabilização, ocorrendo em cerca de 17,4% dos exemplares observados. Por conseguinte, é importante não apenas controlar a configuração inicial do sistema, mas também a sua manutenção e remoção atempada.

A Tabela 6 transcreve os valores da ilustração reproduzida de Bradshaw, Hunt & Walmsley (1995, Fig. 12.6): diâmetros de 50, 42 e 35 mm, medidos a 0,5 m do solo, para as situações sem suporte, com estaca curta e com estaca alta, respetivamente. Estes valores são usados como exemplo ilustrativo; a reprodução não fornece todos os

elementos necessários para reanalisar o ensaio ou estabelecer uma regra geral de dimensionamento.

Tabela 6. Efeito do grau de suporte no desenvolvimento do fuste: ensaio com plátanos em local de elevada exposição eólica.

Sistema de suporte	Diâmetro do fuste a 0,5 m do solo	Verticalidade mantida
Sem suporte	50 mm	Não
Estaca curta	42 mm	Sim
Estaca alta	35 mm	Sim

Fonte: Bradshaw, Hunt & Walmsley (1995, Fig. 12.6).

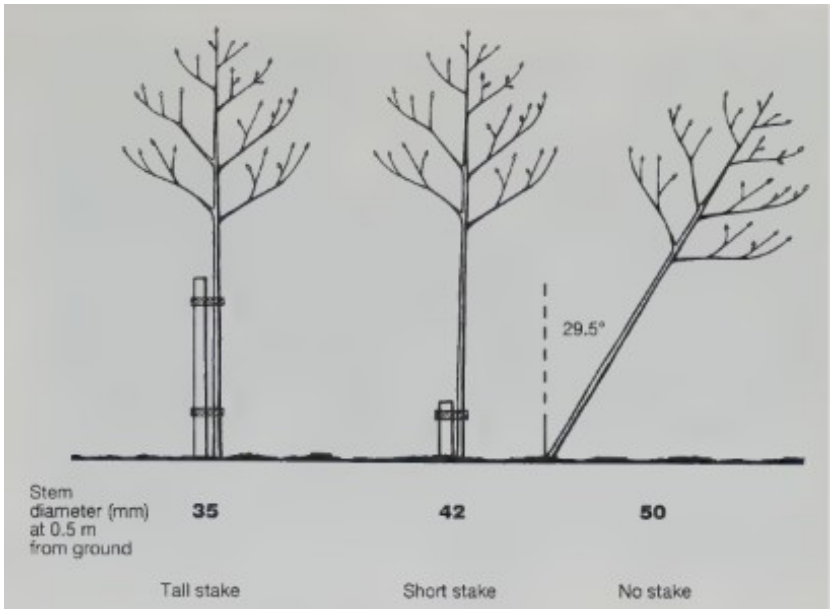


Figura 24. Ensaio comparativo de três sistemas de suporte em plátanos sob exposição eólica elevada: sem suporte, estaca curta e estaca alta. Fonte: Bradshaw, Hunt & Walmsley (1995, Fig. 12.6).

Daqui decorre o princípio da estabilização dinâmica, que consiste em ancorar o exemplar sem rigidificar o fuste, ou seja, sem suprimir a solicitação mecânica de que este depende para desenvolver a sua própria estrutura de suporte (Alvey et al., 2009; Appleton et al., 2008). A eficácia de qualquer sistema depende também do respetivo período de permanência e da sua remoção atempada. O suporte deve corresponder ao período inicial de estabelecimento, não devendo permanecer indefinidamente associado ao exemplar. Se for mantido por um período superior ao necessário, pode transformar-se numa fonte de restrição mecânica, abrasão ou estrangulamento. Geralmente, uma a

duas estações de crescimento são suficientes (Urban Tree Foundation, 2014), desde que o exemplar tenha desenvolvido uma ancoragem adequada às condições locais. Em exemplares de maior dimensão ou com elevada exposição eólica, o período poderá ter de ser prolongado. A decisão deve basear-se na observação da estabilidade efetivamente adquirida e não num prazo fixo. Como este horizonte pode coincidir com o termo da garantia da obra, a remoção do sistema e a verificação periódica da folga das amarras devem ser explicitamente previstas na documentação do projeto. No Anexo II, encontram-se reunidas a progressão dos sistemas de tutoragem e ancoragem e a sua correspondência com os códigos utilizados nos orçamentos analisados.

A eficácia da estabilização depende também de uma segunda escala mais localizada, nomeadamente da interface entre o fuste e o elemento de fixação, que será abordada no ponto seguinte.

3.5.4 Materiais de ligação entre fuste e tutor

A seleção do sistema de tutoragem, quer seja simples, dupla, tripla ou oblíqua, distribui as cargas pelos pontos de apoio. No entanto, é a interface entre o fuste e o elemento de fixação que determina a forma como essas cargas chegam à árvore. Uma interface apropriada distribui a pressão de forma uniforme, evita a abrasão do ritidoma e permite os movimentos necessários para o desenvolvimento biomecânico adequado.

Os materiais em contacto com o tronco devem distribuir os esforços e evitar abrasão ou compressão persistente. A largura, a resistência e a configuração das ligações devem ser especificadas para o sistema e o exemplar, com possibilidade de ajuste durante o crescimento. Neste trabalho não se adota uma largura mínima universal de 25 mm nem uma folga fixa aplicável a qualquer arvore. A inspeção deve verificar a estabilidade do torrão, o movimento permitido ao fuste e a ausência de lesões de contacto (Appleton et al., 2008; Labrosse et al., 2011). O método tradicional de "arame com mangueira" deve ser evitado, por motivos sistematizados na Tabela 7 (Figura 25).



Figura 25. (esq.) Estrangulamento vascular provocado por cinta de fixação não ajustada ao crescimento do fuste. Fonte: Bradshaw, Hunt & Walmsley (1995, Fig. 12.3). Reproduzido para fins académicos. (dir.) Lesão mecânica do fuste resultante de uma interface de fixação incorreta, com interrupção do crescimento acima e abaixo do ponto de fixação. Fonte: Bradshaw, Hunt & Walmsley (1995, Fig. 12.4). Reproduzido para fins académicos.

A peça de fixação deve envolver o fuste, sem o comprimir nem criar contacto abrasivo com o tutor. As deformações do tronco indicam uma interface com dimensões inadequadas ou uma manutenção deficiente, pelo que a verificação periódica da folga das amarras deve ser considerada parte integrante do sistema, e não um acessório (Figura 26).

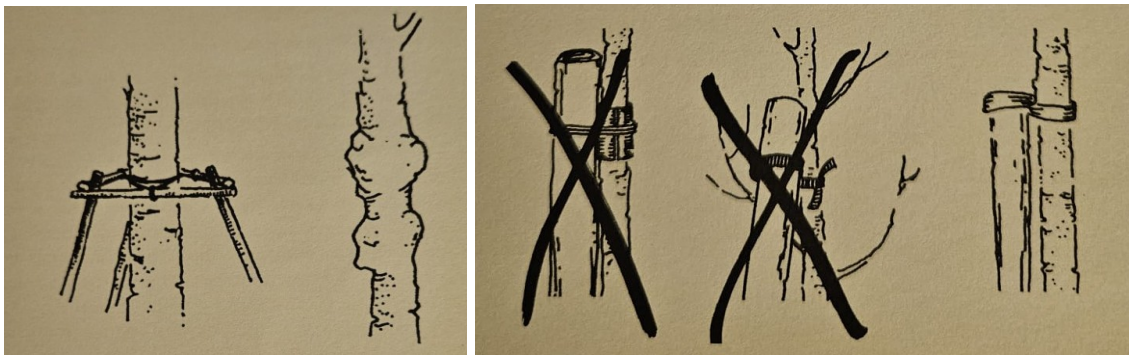


Figura 26. Sistemas de tutoragem e amarração: (sup. esq.) estrutura de suporte com estacas inclinadas e peça de fixação horizontal; (sup. dir.) deformações do tronco resultantes de amarração inadequada; (inf.) comparação entre métodos incorretos, assinalados com X, e método correto com fita única entre tutor e tronco. Fonte: Caldeira Cabral & Ribeiro Telles (2005). A árvore em Portugal (2.ª ed.). Assírio & Alvim. Reproduzido para fins académicos.

O projeto SMARTWASTE investiga materiais têxteis obtidos de resíduos agrícolas, incluindo caules de tomateiro (Comissão Europeia, s.d.). Segundo o responsável de viveiro, a DIAPLANT tem realizado experiências com fitas deste tipo (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). A informação consultada não demonstra o desempenho dessas

fitas como amarras de arvores nem estabelece a relação documental entre os materiais ensaiados pela entidade e os produtos do projeto europeu. A sua adequação depende de ensaios mecânicos, de durabilidade e de comportamento em contacto com a planta.

Tabela 7. Materiais de fixação e tutoragem: Funções, vantagens, limitações e cuidados de aplicação

Material	Função	Vantagens	Limitações	Cuidados de aplicação
Cinta de tecido (*webbing*) em polipropileno	Fixação fuste–tutor, especialmente em calibres elevados	Suave, não abrasiva e com boa distribuição das cargas	Material sintético e durável; não se degrada caso a remoção falhe	Remoção no prazo previsto; verificar a folga anualmente
Cinta de borracha	Fixação em calibres intermédios	Flexível e com boa capacidade de absorção do movimento	Menor resistência à tração	Verificar o estado e a folga em cada época de crescimento
Fita de juta natural	Fixação fuste–tutor	Biodegradável e adequada a soluções temporárias	Degradação pode exigir substituição em tutoragens prolongadas	Verificar a integridade periodicamente
Materiais fotodegradáveis	Fixação temporária	Redução do risco associado à permanência prolongada	Desempenho dependente das condições de exposição	Não dispensam a verificação do sistema e o protocolo de remoção
Arame com mangueira	Não recomendado	-	Concentra pressão, restringe movimento e pode reter humidade junto ao ritidoma	Evitar ligações que concentrem pressão ou provoquem abrasão; selecionar e dimensionar a interface para o sistema e o exemplar
Corda de fibra de coco	Fixação fuste–tutor	Flexível, resistente à tração e economicamente acessível	Durabilidade elevada pode favorecer estrangulamento se não for ajustada	Verificar e afrouxar anualmente conforme o crescimento do fuste

Tutor de pinho torneado, tratado em autoclave	Suporte estrutural	Disponibilidade e custo	Necessidade de tratamento para aumentar a durabilidade; possibilidade de lixiviação	Verificar uniformidade, superfície lisa e estabilidade
Tutor de castanheiro ou acácia	Suporte estrutural	Durabilidade natural e ausência de tratamento químico	Custo e disponibilidade superiores	Adequado a situações de maior exigência
Tutor de madeira não tratada	Suporte temporário	Ausência de produtos de tratamento	Durabilidade reduzida	Utilização limitada a períodos curtos

Nota: independentemente do material utilizado, os elementos de suporte devem apresentar superfícies lisas e estáveis, sem pontos de abrasão ou retenção de humidade junto ao fuste. Fonte: elaboração própria, com base em Urban Tree Foundation (2014); Labrosse et al. (2011); Agro de Arend (s.d.b, s.d.d).

A escolha do material tem ainda uma consequência que só se manifesta durante a sua remoção: o destino dos resíduos. Os tutores de pinho tratado em autoclave contêm produtos de preservação que condicionam a sua eliminação, não podendo ser reduzidos a estilha nem ser utilizados na compostagem local. Por outro lado, a madeira não tratada e as fitas de juta ou de fibra natural podem integrar os fluxos orgânicos do próprio local. As cintas sintéticas de polipropileno são resíduos plásticos que devem ser recolhidos na totalidade, visto os fragmentos que ficam na caldeira permanecerem no solo por tempo indeterminado. A previsão desta operação de remoção, triagem e encaminhamento deve constar da documentação do projeto, juntamente com o respetivo prazo de desmontagem, sob pena dos materiais permanecerem no local por falta de um responsável designado.

Se o material da amarra determina a forma como a carga é transmitida ao fuste, a altura do ponto de fixação determina que parte do fuste está sujeita a restrições. A questão seguinte é a seguinte.

3.5.5 Geometria da tutoragem e da ancoragem subterrânea

A aplicação do princípio da estabilização dinâmica resulta em duas categorias de soluções: os sistemas de tutoragem aérea, nos quais a estabilidade é alcançada através de elementos externos que interagem com o fuste, e os sistemas de ancoragem subterrânea, que transferem a estabilização para o solo. A geometria de cada uma

condiciona a distribuição das solicitações e o grau de liberdade de movimento permitido ao fuste (Figura 27).

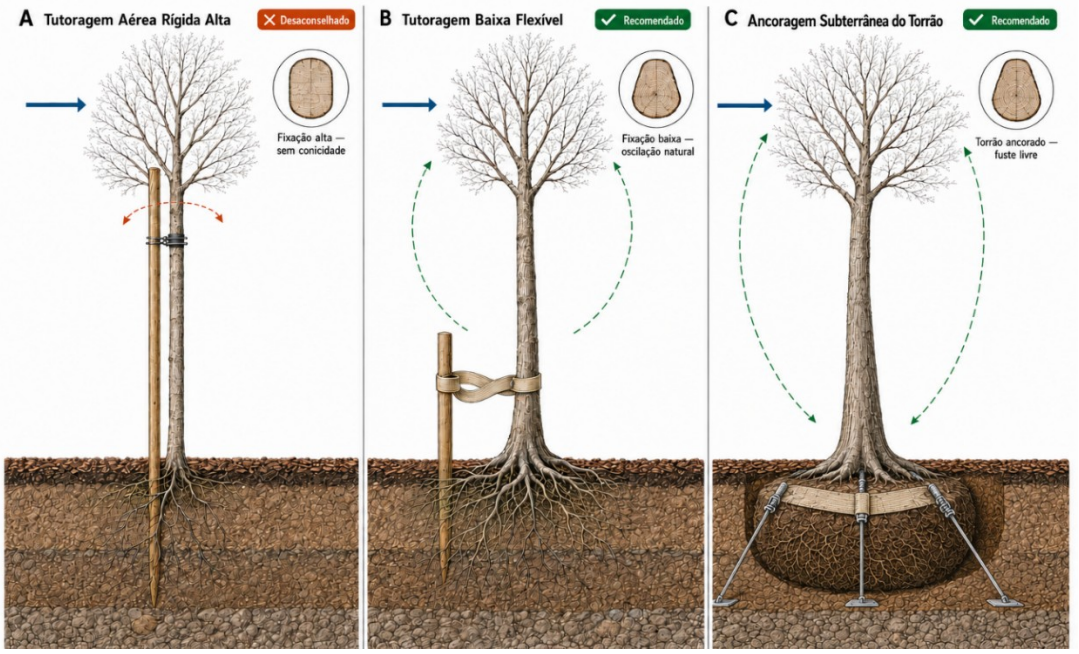


Figura 27. Comparação de três sistemas de estabilização arbórea: ponto de aplicação da força e resposta biomecânica do fuste em tutoragem aérea rígida alta (A), tutoragem baixa com amarras flexíveis (B) e ancoragem subterrânea do torrão (C). Representação esquemática. Fonte: elaboração própria, com base em Leiser & Kemper (1968); Harris (1984); Alvey et al. (2009); Appleton et al. (2008); Labrosse et al. (2011); GreenBlue Urban (2021b); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

Na tutoragem aérea, a altura do ponto de fixação é a principal variável geométrica, uma vez que determina que parte do fuste fica isenta de tensão durante a instalação. A literatura especializada recomenda que o ponto de fixação não exceda um terço da altura do tronco como referência proporcional. A prática corrente utiliza estacas com cerca de 2,5 m de comprimento, colocadas a aproximadamente 1,5 m acima do solo. Por outro lado, a prática de viveiro documentada pela Ebben Nurseries (citado em DIAPLANT, 2026) utiliza estacas mais curtas, com 80 a 100 cm acima do solo, o que limita a mobilidade da base, mas preserva a liberdade de movimento na parte superior. Estas são referências de práticas distintas e não limites universais de dimensionamento, embora a evidência experimental apresentada no ponto 3.5.3 aponte para fixações mais baixas.

A geometria abrange igualmente o número e a disposição dos pontos de apoio. As configurações individuais, duplas ou triplas distribuem as solicitações por um número

crescente de elementos, mas aumentam o número de interfaces de contacto com o fuste, cada uma com o potencial de dano descrito no ponto anterior.

A forma de crescimento introduz um critério distinto do calibre, podendo condicionar a escolha entre as duas famílias. A Tabela 8 e a Figura 28 sistematizam esta correspondência. Nos exemplares de fuste plumoso, a ramificação a partir da base ocupa o espaço onde seria feita a fixação aérea. Nos exemplares multicaules, a ausência de um eixo dominante e a oscilação independente de vários fustes podem tornar inadequada a utilização de um único ponto de fixação: o número de apoios passa a depender da arquitetura do exemplar e não da sua massa.

Tabela 8. Aplicabilidade dos sistemas de estabilização segundo a forma de crescimento do exemplar.

Forma de crescimento	Ancoragem subterrânea (S1)	Tutoragem aérea (S2)	Condicionante
Fuste limpo	Aplicável	Aplicável	As duas soluções são alternativas
Fuste plumoso	Aplicável	Não aplicável	A ramificação desde a base ocupa o volume onde a fixação aérea assentaria
Multicaule	Sistema de base	Complementar, individualizado por eixo	Ausência de eixo dominante; o número de apoios decorre da arquitetura e não da massa

Fonte: elaboração própria, com base em Appleton et al. (2008); Alvey, Wiseman & Kane (2009); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

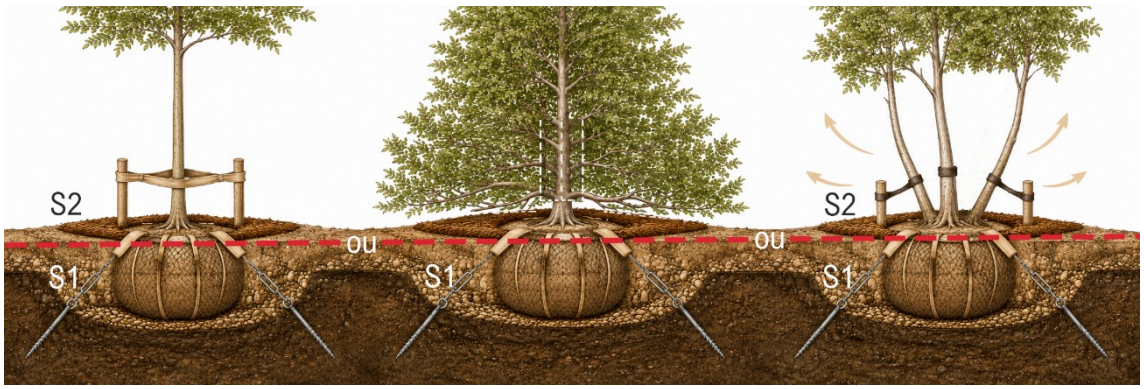


Figura 28. Sistemas de estabilização por forma de crescimento: fuste limpo (esq.), fuste plumoso (centro) e multicaule (dir.). A linha tracejada assinala o nível do terreno, separando a ancoragem subterrânea do torrão (S1) da tutoragem aérea (S2). Representação esquemática. Fonte: elaboração própria, com base em Appleton et al. (2008); Alvey, Wiseman & Kane (2009); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

A ancoragem subterrânea utiliza cabos ou cintas ligadas a âncoras cravadas no solo para imobilizar o volume radicular durante o estabelecimento, deixando a parte aérea livre de elementos de suporte e eliminando a necessidade de contacto entre o fuste e o tutor. No entanto, a sua aplicação pressupõe um torrão com dimensões e coesão suficientes para suportar as solicitações transmitidas pelos cabos, o que nem sempre é o caso quando os exemplares chegam à obra (Zimmermann, 2011). A Figura 29 mostra uma configuração com cabos oblíquos, tensores e âncoras de cravação. Em contexto pavimentado, a ausência de suportes à superfície reduz os conflitos com a circulação pedonal, o que constitui uma vantagem não biomecânica, mas sim de gestão do espaço público.

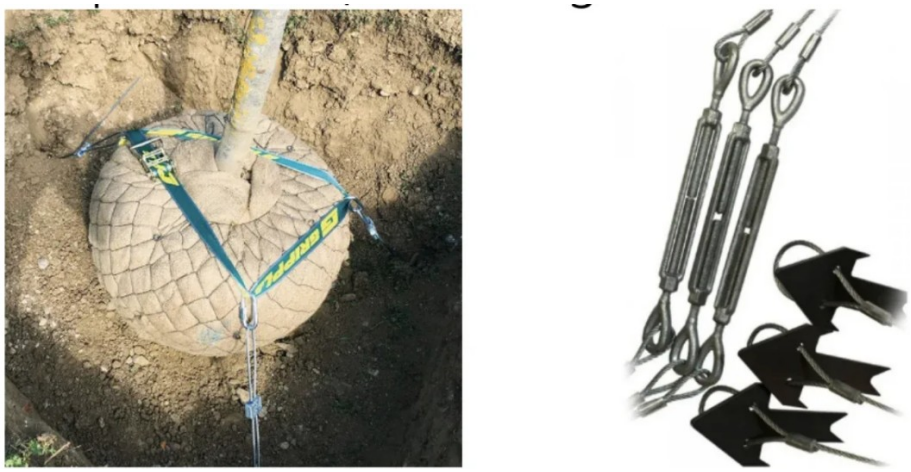


Figura 29. Sistema de ancoragem subterrânea do torrão com cabos oblíquos tensionados: aplicação em cova de plantação, com tensores e âncoras de cravação. Fonte: Ebben Nurseries, citado em DIAPLANT (2026). Cuidados básicos na plantação de árvores

A escolha entre as duas famílias e a respetiva geometria concreta decorre da articulação entre o calibre e a forma de crescimento do exemplar, a dimensão e a densidade da copa, a exposição eólica do local e a capacidade de ancoragem proporcionada pelo torrão e pelo solo envolvente. Esta articulação é retomada sob a forma de critérios de especificação no Capítulo 5. Após a instalação e estabilização do exemplar, inicia-se o período que determinará a sua sobrevivência, tema abordado no subcapítulo seguinte.

3.6 Estabelecimento e Manutenção Pós-Transplante

O período seguinte à instalação é aquele em que o exemplar depende inteiramente de condições que não criou. Três aspetos caracterizam este período: a sua duração, as exigências hídricas do período crítico e os materiais que protegem o exemplar durante o mesmo. Outro aspeto importante são os indicadores que permitem avaliar se a recuperação está efetivamente a ocorrer. É por esta ordem que os pontos seguintes os abordam.

3.6.1 Estabelecimento, exigências hídricas e clima

Após o transplante, o desenvolvimento radicular e a disponibilidade de água condicionam o estabelecimento. A duração do período de vulnerabilidade varia consoante a espécie, o tamanho, o sistema de produção, o tipo de solo, as condições climáticas e a manutenção. Não é possível definir um período geral de dois a quatro anos nem um prazo calculado por PAP/8.

A seca pode reduzir a condutividade do xilema devido à embolia. Savi et al. (2015) associaram uma maior impermeabilização da envolvente a uma maior vulnerabilidade hidráulica em *Quercus ilex*. Este resultado reforça a necessidade de se prestar atenção à disponibilidade de água, mas não demonstra a presença de embolias nos espécimes analisados nem permite diagnosticá-las apenas com base em sintomas visuais.

Gilman, Black & Dehgan (1998) estudaram o efeito da rega em *Quercus virginiana*, em solo arenoso na Florida, com respostas dependentes das condições experimentais e do sistema de produção. O estudo não permite prescrever uma dose universal por centímetro de PAP. Neste relatório, o protocolo de rega deve definir volume, frequência e duração a partir da condição do torrão e do solo envolvente, da precipitação e da resposta do exemplar, prevendo a sua revisão durante o acompanhamento.

Esta exigência é particularmente relevante no contexto mediterrânico ibérico, caracterizado por verões secos e longos. Os valores produzidos noutros contextos edafoclimáticos não devem, portanto, ser aplicados diretamente, sobretudo no caso de espécies de grande dimensão e de origem atlântica instaladas fora do seu habitat natural. A gestão deve corresponder ao equilíbrio hídrico real do local.

A tentação de recorrer a *inputs* químicos manifesta-se sobretudo em condições de stress hídrico acentuado. No entanto, a literatura não apoia esta substituição: os bioestimulantes foliares testados por Banks e Percival (2014) não proporcionaram uma

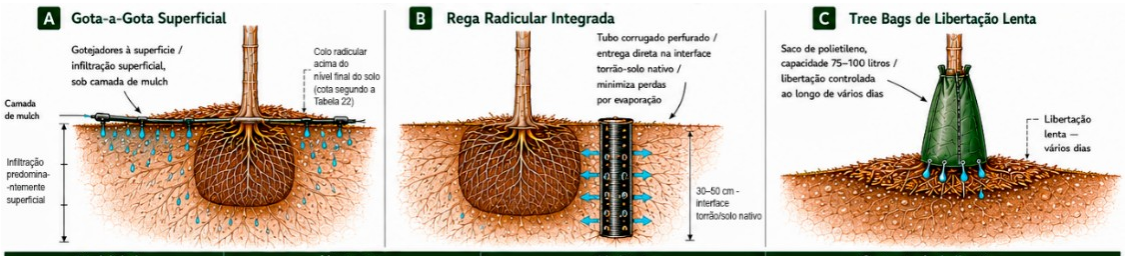
proteção significativa contra o stress hídrico ou salino e a resposta à fertilização mineral varia consoante a espécie (Ferrini & Baietto, 2006). Os exemplares em recuperação mobilizam prioritariamente as suas reservas internas de carbono para a regeneração das raízes (Watson, 1985), pelo que a fertilização pode complementar, mas não substituir, um protocolo de rega adequado. As implicações desta assimetria para a especificação do projeto são analisadas no ponto 4.5.3.

A eficácia da rega depende também da forma como a água chega à planta. A descontinuidade hidráulica entre o torrão e o solo envolvente, descrita no ponto 3.5.2, exige que a água chegue efetivamente ao volume radicular nas primeiras fases. A Tabela 9 compara as três modalidades atuais em termos do ponto de entrega, dos requisitos de instalação e da possibilidade de correção posterior (Figura 30).

Tabela 9. Modalidades de rega durante o período de estabelecimento: Ponto de entrega, vantagens, limitações e possibilidade de correção após a conclusão da obra.

Modalidade	Ponto de entrega da água	Vantagens	Limitações
Gota a gota superficial	Superfície, sob a camada de cobertura	Permite aplicação localizada e automatização; a distribuição depende do desenho e da manutenção	Verificar se o volume e a distribuição humedecem o torrão e o solo pretendidos; o nome do sistema não demonstra a profundidade molhada
Rega radicular integrada	Interface torrão/solo nativo, a 30–50 cm de profundidade	Pode facilitar a entrega de água em pontos definidos; exige verificação da distribuição	Instalação coordenada preferencialmente antes do enchimento e pavimentação; prever acesso e manutenção
***Tree bags* de libertação lenta**	Superfície, libertação gradual ao longo de vários dias	Reservatório superficial de libertação gradual; autonomia dependente do modelo, aplicação e necessidades.	Superfície, junto do torrão; duração de libertação dependente do produto e condições

Fonte: Fonte: síntese da autora, com base em Harris & Bassuk (1993), Gilman, Black & Dehgan (1998) e Urban Tree Foundation (2014). A comparação é funcional e não constitui um ensaio de eficácia entre modalidades. Características de produtos concretos requerem identificação da ficha consultada



Modalidade	Vantagens	Limitações	Contexto de Aplicação
A Gota-a-gota Superficial	✓ Aplicação simples; facilmente automatizável	✗ Risco de humidade apenas superficial; evaporação elevada	Parques e zonas ajardinadas contínuas
B Rega Radicular Integrada	✓ Responde diretamente à descontinuidade hidráulica; minimiza perdas por evaporação	✗ Exige instalação prévia na cova técnica	Arruamentos, caldeiras pavimentadas e solos compactados
C Tree Bags de Libertação Lenta	✓ Dispensa infraestrutura instalada; adequado a locais sem rede de rega	✗ Enchimento manual periódico; presença visual no espaço público	Estabelecimento inicial de exemplares isolados, sem rega automática instalada

Figura 30. Modalidades de rega durante o período de estabelecimento: (A) gota a gota superficial; (B) rega radicular integrada na cova; (C) tree bags de libertação lenta. Representação esquemática. Fonte: elaboração própria, com base em Gilman, Black & Dehgan (1998); City of Raleigh Urban Forestry (2021); GreenBlue Urban (2021c); LITE-SOIL (s.d.); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

A modalidade de rega deve ser coordenada com o projeto do solo, do pavimento e da capacidade de manutenção. Os elementos enterrados devem ser previstos, de preferência, antes do enchimento e pavimentação, devendo ser assegurado o respetivo acesso para efeitos de inspeção e conservação. A escolha não dispensa a verificação da distribuição da água nem a revisão do volume e da frequência durante o estabelecimento.

Embora a rega crie as condições necessárias à sobrevivência, a sua execução correta não permite determinar se o exemplar está efetivamente a recuperar. Essa avaliação exige indicadores capazes de traduzir a evolução do equilíbrio fisiológico, que é o tema do ponto 3.6.3, após a caracterização dos materiais que acompanham o exemplar durante este período.

3.6.2 Proteção e cobertura no estabelecimento

Após a conclusão da instalação, um conjunto de materiais permanece em contacto com o exemplar e com o solo durante os anos de estabelecimento. A seleção dos materiais deve obedecer a um critério técnico e não a um critério de tradição ou de conveniência de mercado, visto cada material apresentar um perfil distinto em termos de durabilidade, comportamento no contexto pedoclimático nacional e risco biótico associado. A Tabela 10 reúne as opções atuais; os pontos seguintes abordam o que a tabela não pode proporcionar: o mecanismo pelo qual cada uma age ou falha.

Tabela 10. Materiais aplicados durante o período de estabelecimento: Função, risco e condições de aplicação.

Material	Função	Principal risco	Condições de aplicação
Malha de fibra de algodão	Proteção do ritidoma	Retenção de humidade se mal aplicada ou mantida além do período de risco	Amarração folgada; remover no inverno e recolocar no verão nos primeiros anos
Esteira de bambu ou caniço	Proteção do ritidoma em fustes altos	Atrito com o fuste se mal amarrada	Amarração folgada, garantindo circulação de ar
Materiais plásticos ou sintéticos	Não recomendados	Retenção de humidade; favorecem fungos e insetos subcorticais	Substituir por materiais respiráveis
Estilha de madeira autóctone	Cobertura do solo	Contacto com o colo radicular	Camada e extensão ajustadas ao material e ao local, mantendo fuste e colo livres de acumulação
Casca de pinheiro	Cobertura do solo	Contacto com o colo radicular	Camada e extensão ajustadas ao material e ao local, mantendo fuste e colo livres de acumulação
Palha ou resíduos de cereais	Cobertura do solo	Imobilização temporária do azoto durante a decomposição	Associar a protocolo de fertilização azotada de libertação lenta
Fibra de coco	Não recomendada como cobertura no contexto nacional	Degradação muito lenta sem microbioma adaptado; anaerobiose junto ao colo	Reservar para amarração entre fuste e tutor (Tabela 7)

Fonte: elaboração própria, com base em Appleton & French (1992); Appleton (1995); Struve (2009); Salva et al. (2025); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

3.6.2.1 Proteção do Ritidoma

As espécies de ritidoma fino e pouco suberizado, como o Acer, o Fraxinus ou a Tília, são particularmente suscetíveis a danos térmicos por radiação solar *(sunscald)* durante os primeiros anos após a plantação. O risco aumenta quando a orientação solar original da planta é alterada durante o transporte e a instalação, expondo à radiação

direta faces do câmbio anteriormente protegidas (Appleton & French, 1992). A necrose resultante constitui uma falha na barreira de compartimentação referida no ponto 3.2.2, comprometendo a capacidade de resposta da planta num período em que esta já se encontra sob stress (Figura 31).

A conservação temporária de ramos baixos pode contribuir para a criação de sombra no tronco, que anteriormente estava protegido no viveiro, e é compatível com a formação, a segurança e a utilização do espaço (University of California Statewide IPM Program, s.d.). A proteção solar proporcionada pela casca é distinta da prevenção de embolias no xilema.

Deve usar-se a expressão «ramos baixos» sempre que a posição estiver documentada. Não se deve converter todos esses ramos em «adventícios» ou «epicórmicos», visto que a sua origem não foi verificada. Não se deve estabelecer uma ligação causal entre tutoragem rígida e embolia, uma vez que as fontes utilizadas não a demonstram.

Na prática operacional observada na DIAPLANT, o risco de insolação concentra-se na exposição a poente, e não a sul como se supõe habitualmente. A radiação solar durante a tarde é mais prolongada e incide com um ângulo mais baixo, afetando sobretudo os exemplares da primeira linha de produção e as espécies de casca mais fina (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal).

A manutenção de um sistema de rega adequado é uma forma de proteger o tronco do stress hídrico, que reduz a turgescência das células do câmbio e as torna mais vulneráveis ao dano térmico.



Figura 31. Dano térmico no ritidoma (*sunscald*) em exemplar do viveiro DIAPLANT, Gondar, Amarante: necrose localizada do câmbio em face do fuste habituada à sombra. Fonte: registo fotográfico do estágio (Dias, M. R., 2026).



Figura 32. Proteção do ritidoma pós-transplante: (esq.) malha de fibra de algodão envolvendo o fuste desde o colo radicular até à primeira ramificação, no viveiro DIAPLANT, Gondar, Amarante; (dir.) esteira de bambu amarrada de forma folgada, em exemplar adulto com tutoragem dupla em parque urbano em Espanha. Fonte: registo fotográfico do estágio (Dias, M. R., 2026).

Os materiais apresentados na Tabela 10 complementam esta condição, não a substituindo (Figura 32). Nenhum deles constitui uma solução permanente, uma vez que a sua utilização prolongada inverte a sua função, ao reter humidade junto ao fuste e criar condições favoráveis à proliferação de agentes patogénicos. Os critérios de seleção dos materiais de proteção e amarração, bem como as operações de acondicionamento e transporte, encontram-se detalhados no Anexo V.

3.6.2.2 Cobertura do Solo

A utilização de materiais orgânicos para cobrir a superfície do solo reduz a evaporação, modera as oscilações térmicas do solo e limita o desenvolvimento de vegetação concorrente durante o período de estabelecimento. A estilha de madeira e a casca de pinheiro são as soluções mais comuns a nível nacional, combinando disponibilidade comercial com propriedades adequadas para o efeito.

A eficácia da cobertura depende do material utilizado, da sua espessura, da sua área de aplicação e das condições do solo. A aplicação deve manter o fuste e o colo livres de acumulações, devendo verificar-se a humidade e a drenagem. A acumulação de água junto ao tronco pode criar condições desfavoráveis, contudo, não se atribui a esta

aplicação uma diminuição significativa da turgescência cambial ou da capacidade de compartimentação (Watson et al., 2014a).

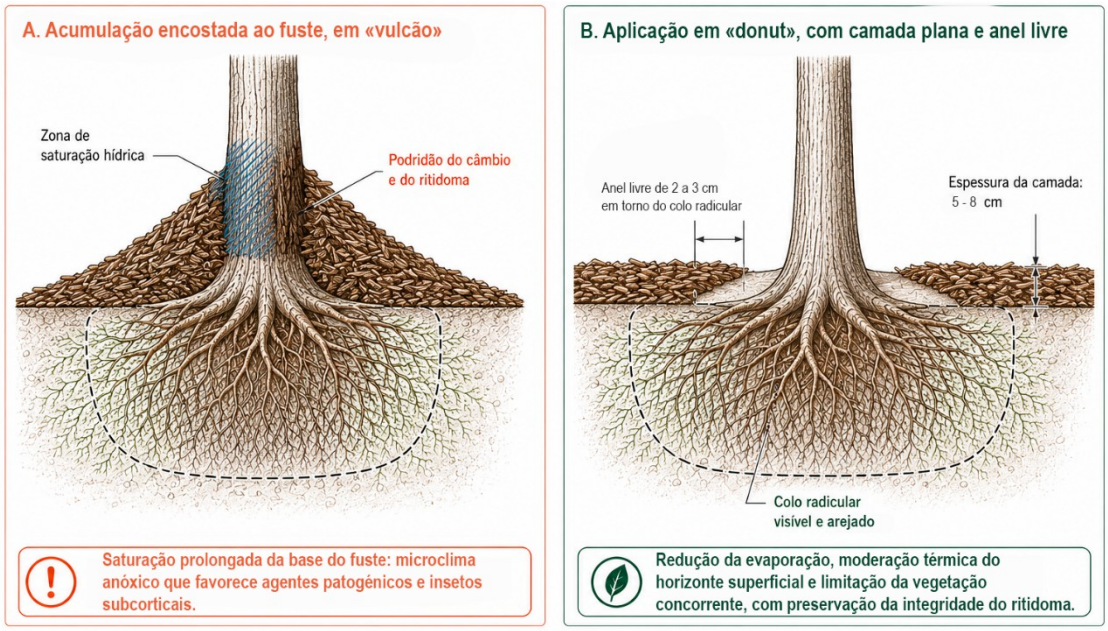


Figura 33. Aplicação da cobertura do solo: acumulação encostada ao fuste, em «vulcão» (esq.), e aplicação em «donut», com camada plana e anel livre em torno do tronco (dir.). Fonte: elaboração própria, com base em Appleton & French (1992); Urban (2008); Ajuntament de Barcelona (s.d.); Salva et al. (2025).

As restantes opções apresentam limitações, que estão sistematizadas na Tabela 10. Destaca-se a fibra de coco, cujas propriedades como cobertura biodegradável são descritas por Salva et al. (2025). No entanto, a sua aplicação no contexto nacional suscita uma preocupação: a decomposição prolongada pode resultar na retenção de humidade no colo por longos períodos, o que é desaconselhado pela prática de viveiro nesta função.

A sua adequação ao acondicionamento radicular durante o transporte, referida em 3.5.1, não se transpõe para esta função, é o mesmo material a cumprir funções incompatíveis.

Os materiais aplicados nesta fase têm uma característica em comum: são temporários e a sua eficácia depende da correta aplicação, bem como da remoção ou reposição atempadas. Os indicadores que permitem avaliar se o estabelecimento está a progredir serão abordados no ponto seguinte.

3.6.3 Monitorização e indicadores de viabilidade

A avaliação do sucesso do estabelecimento deve basear-se em indicadores funcionais, e não em critérios binários de sobrevivência. É possível que um exemplar permaneça vivo sem recuperar o crescimento ou o equilíbrio entre a parte aérea e o sistema radicular, pelo que a avaliação deve acompanhar a evolução do seu desempenho durante todo o período.

Levinsson (2015) encontrou relações entre o tamanho das folhas e o estado hídrico nas condições estudadas. No acompanhamento de uma plantação, o tamanho foliar pode integrar uma avaliação comparativa com exemplares do mesmo taxon e com registos anteriores, mas a sua redução isolada não demonstra stress hídrico ativo nem diagnostica embolias no xilema. A interpretação deve considerar a fenologia, o crescimento, outros sintomas e a humidade do torrão e do solo. A Tabela 11 organiza sinais de acompanhamento, não testes diagnósticos validados para os casos analisados. A monitorização deve igualmente verificar se as condições de instalação são mantidas, conforme sistematizado na Tabela 11. É relevante distinguir entre os dois grupos: os indicadores fisiológicos refletem o estado do espécime, enquanto os indicadores de condição revelam se as condições proporcionadas se mantêm. A periodicidade da observação deve ser ajustada ao calibre e ao tempo estimado de estabelecimento, devendo prolongar-se para além do primeiro ano, de modo a detetar alterações que não se manifestam de imediato, conforme sistematizado no ponto 5.4.1.

Tabela 11. Sinais de acompanhamento da planta e condições de instalação a verificar

Indicador	O que traduz	Referência de comparação	Leitura
Tamanho relativo das folhas	Característica morfológica potencialmente relacionada com as condições de crescimento	Exemplar de controlo não transplantado do mesmo táxon; na sua ausência, registo à data da expedição	Interpretar observações comparáveis em conjunto com outros sinais e a humidade do torrão e do solo; não diagnostica isoladamente stress hídrico ou embolia
Turgescência dos ramos terminais	Estado hídrico	Observação direta	Registar alterações de aspeto; confirmar a interpretação com outros indicadores

Necroses marginais	Estado hídrico	Extensão relativa	Presença e progressão ao longo da estação
Elongação dos rebentos de primavera	Recuperação do crescimento aéreo	Estação anterior	Progressão ano a ano nos primeiros anos
Posição e exposição do colo radicular	Manutenção da cota de instalação	Cota especificada (3.5.2)	Soterramento por assentamento ou por acumulação de cobertura
Estado dos materiais de estabilização	Integridade do sistema	Folga especificada (3.5.4)	Sinais de estrangulamento ou abrasão no fuste
Conservação da cobertura do solo	Manutenção da geometria de aplicação	Geometria e extensão definidas para a aplicação, com colo e fuste livres	Acumulação junto ao fuste

Fonte: elaboração própria, com base em Levinsson (2015) e em Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

A revisão organiza a análise em três eixos: a necessidade de ajustar as soluções às condições de aplicação, a informação a transmitir entre produção, projeto e instalação, e o acompanhamento do estabelecimento. Estes eixos orientam a leitura dos dois casos no capítulo seguinte, onde se distingue a informação efetivamente identificada nas peças das práticas relatadas pelo responsável de viveiro. na infraestrutura verde urbana até à produção em viveiro, desde a seleção botânica até aos contextos de instalação, desde as técnicas de execução até ao estabelecimento após o transplante. Desta análise emergem três padrões transversais. O primeiro é a inexistência de um protocolo único, visto nenhuma das decisões analisadas admitir uma solução válida para todos os contextos. O segundo padrão é a limitada transmissão de informação biológica entre fases: o que o viveiro sabe sobre o exemplar não acompanha este até à obra. O terceiro padrão é a dependência do resultado em relação à continuidade técnica entre o viveiro, o projeto e a obra. São estes os eixos em torno dos quais o Capítulo 4 examina os dois casos de estudo.

4. Da Conceção à Obra: Análise Crítica de Dois Casos de Estudo

4.1 Caracterização dos Projetos Analisados

A análise incide sobre os estudos prévios completos disponibilizados, planos de plantação, elencos e orçamentos dos dois casos. Os esclarecimentos do responsável de viveiro complementam a interpretação e são identificados como informação dessa fonte. Não foram consultados planos gerais, projetos de execução, cadernos de encargos, contratos ou planos de manutenção, nem acompanhadas a conceção e a execução dos casos. A avaliação respeita, por isso, o conteúdo e a fase das peças consultadas, sem se estender à execução ou à totalidade do processo documental.

Além disso, os dois casos apresentam contextos territoriais distintos, uma vez que se encontram implantados em vertentes opostas do mesmo vale, estando sujeitos a condições topográficas e de exposição diferentes (Figura 34).

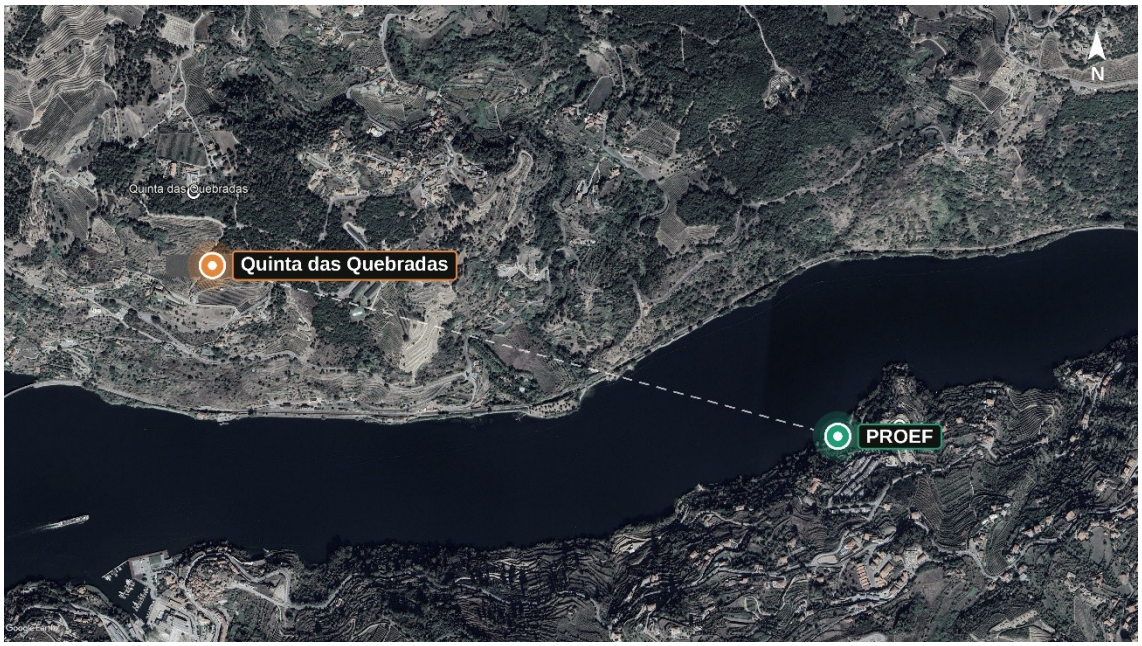


Figura 34. Enquadramento e localização dos dois projetos analisados: Quinta das Quebradas, na margem norte, e PROEF, na margem sul, em vertentes opostas do vale. Fonte: Google Earth (2020), com marcação dos locais pela autora.

A avaliação de cada projeto foi realizada com base em grelhas técnicas que comparam as soluções apresentadas com os princípios definidos no capítulo anterior. A avaliação baseou-se exclusivamente na documentação disponibilizada pela DIAPLANT, nomeadamente nos estudos prévios, nos planos de plantação, nos elencos de espécies e nos orçamentos, bem como na informação recolhida junto do responsável do viveiro. Como nenhum dos dois projetos foi acompanhado durante o estágio, seja na fase de conceção, seja na fase de construção, a avaliação incide sobre o que os documentos especificam e omitem e não sobre o que foi construído.

Os dois casos situam-se fora do meio urbano consolidado: o PROEF intervém num bosque associado ao espaço exterior de uma habitação unifamiliar e a Quinta das Quebradas numa propriedade rural do Vale do Douro. Essa localização diferencia-os dos contextos urbanos discutidos no Capítulo 3, mas não demonstra ausência de compactação, de infraestruturas enterradas ou de limitações do volume de solo explorável.

A análise destes casos permite discutir a informação explicitada em estudos prévios de contexto rural. Não permite isolar os efeitos da organização do processo dos efeitos do local, nem demonstrar a origem das omissões. As recomendações para o meio urbano decorrem da revisão bibliográfica, com adaptação a condições que não foram avaliadas nestes casos.

4.1.1 Projeto PROEF: bosque e exemplares de grande porte

O projeto PROEF consiste numa intervenção num bosque no exterior de uma habitação unifamiliar em Resende, desenvolvida pela DIAPLANT com base no estudo preliminar de novembro de 2024. O local situa-se numa encosta com cobertura arbórea preexistente e com vista para a água, condição que define simultaneamente a oportunidade e a principal restrição do projeto: a instalação de exemplares de grande porte tem de coexistir com o arvoredo a preservar e com as limitações de acesso próprias de um terreno em declive (Figura 35).



Figura 35. Enquadramento do local de intervenção do projeto PROEF, Resende, com delimitação da área intervencionada. Fonte: Google Earth, com delimitação pela autora.

A intervenção está organizada em quatro zonas funcionalmente distintas, o bosque central, o alinhamento do rio, o miradouro do rio e a zona da entrada. Cada uma tem a sua própria lógica de composição botânica e condicionantes técnicas próprias que determinam abordagens de instalação diferenciadas (ver Figura 36, versão ampliada no Anexo VII).

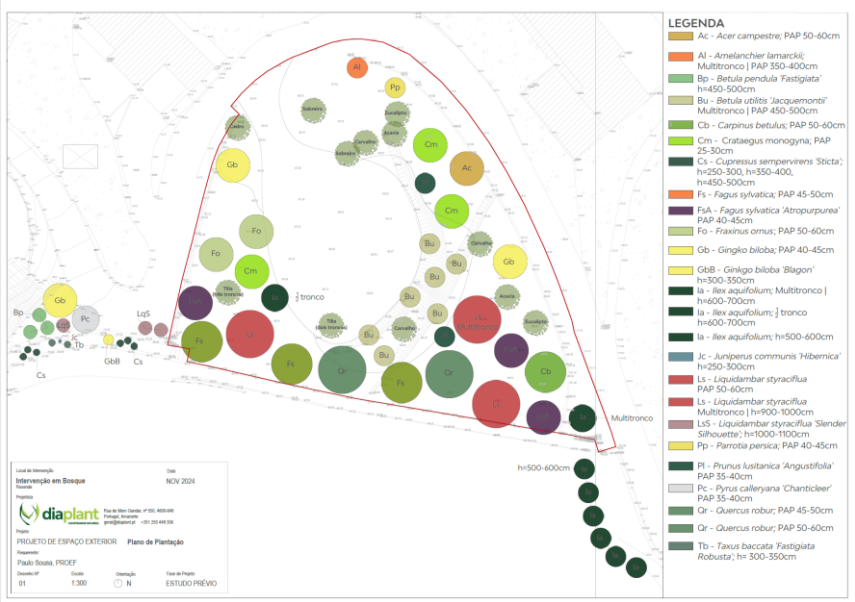


Figura 36. Plano de plantação do projeto PROEF, Resende, organizado em quatro zonas: bosque central, alinhamento do rio, miradouro do rio e zona da entrada. Fonte: DIAPLANT (2024). Projeto PROEF, Resende, Estudo Prévio (peça técnica). Reproduzido com autorização para fins académicos.

O elenco sistematizado na Tabela 12 organiza-se por zonas: o bosque central concentra espécies estruturantes com calibres entre os 40 e os 60 cm; o alinhamento do rio integra táxons adaptados à proximidade da água; e a zona de entrada inclui um exemplar singular de *Cedrus libani* (Cedro-do-libano). A especificação dos calibres desta ordem de grandeza aplica-se às espécies estruturantes.

A atribuição do sistema de estabilização é feita exemplar a exemplar, tendo ficado seis exemplares sem sistema atribuído, sem que o documento explicite o respetivo critério. Esta questão é retomada no ponto 4.4.3.

Tabela 12. Projeto PROEF: Elenco especificado por zona, com calibre, número de exemplares e sistema de estabilização atribuído.

Zona funcional	Espécies estruturantes	N.º	Sistema
Bosque central	*Acer campestre PAP 50-60 cm*	1	T5
	Carpinus betulus PAP 50-60 cm	1	T5
	Fagus sylvatica PAP 45-50 cm	2	T5
	Fagus sylvatica 'Atropurpurea' PAP 40-45 cm	2	T
	Fraxinus ornus PAP 50-60 cm	1	T5
	Ginkgo biloba PAP 40-45 cm	2	T5
	Liquidambar styraciflua PAP 50-60 cm	2	T5
	Parrotia persica PAP 40-45 cm	1	T3
	Quercus robur PAP 45-50 cm	1	T5
	Quercus robur PAP 50-60 cm	1	T5
	Ilex aquifolium multitronco h=600-700 cm, torrão	1	T5

	Ilex aquifolium ½ tronco h=600-700 cm, torrão	1	T5
	Ilex aquifolium h=500-600 cm	5	T5
	Liquidambar styraciflua multitronco h=900-1000 cm	1	T5
	Betula utilis 'Jacquemontii' multitronco h=450-500 cm	5	–
	Betula pendula 'Fastigiata' h=450-500 cm	2	T2
	Crataegus monogyna PAP 25-30 cm	3	T3
	Cupressus sempervirens 'Stricta' h=250-300 / 350-400 / 450-500 cm	2+2+2	T2
	Ginkgo biloba 'Blagon' h=300-350 cm	1	T3
	Juniperus communis 'Hibernica' h=250-300 cm	1	–
	Pyrus calleryana 'Chanticleer' PAP 35-40 cm	1	T3
	Taxus baccata 'Fastigiata Robusta' h=300-350 cm	2	T3
	Cupressocyparis leylandii h=400-450 cm, torrão	30	T5
Alinhamento do rio	*Liriodendron tulipifera PAP 35-45 cm*	5	T3
	Platanus × acerifolia PAP 40-45 cm	7	T3
	Salix babylonica PAP 25-30 cm	6	T5

	Salix babylonica PAP 35-45 cm	02	T5
Miradouro	*Pinus pinea* PAP 40-45 cm	3	T3
Zona de entrada	*Cedrus libani* h=700-800 cm	1	T5
	Pinus pinea PAP 45-50 cm	2	T3
Total	24 táxones, 32 artigos	98	

Nota: T2 - tutoragem dupla 250×7 cm; T3 - tutoragem tripla 300×8 cm; T5 - tutoragem oblíqua com cabos de aço de 5 mm, hélices e roquetes triplos. Fonte: DIAPLANT (2024), orçamento de 25/11/2024. Fonte: DIAPLANT (2024). Projeto PROEF, Resende, Estudo Prévio.

A escolha de um exemplar singular com esta dimensão tem consequências que vão além da escolha das espécies. Estima-se que um torrão desta dimensão pese entre 2500 e 3500 kg, o que exige equipamento de elevação de grande porte e um caminho de circulação compatível até ao local de plantação. Esta condição deve ser verificada na fase de projeto, e não no dia da entrega, sobretudo se o terreno for em encosta e houver árvores a preservar (Figura 37).



Figura 37. Elevação e movimentação de exemplar adulto de *Cedrus atlantica* no viveiro DIAPLANT, Gondar, Amarante, em operação comparável à exigida pelo *Cedrus libani* de 700-800 cm especificado para a zona de entrada do PROEF. Fonte: registo fotográfico do estágio (Dias, M. R., 2026).

A intervenção inclui também trabalhos preparatórios de gestão do arvoredo existente tecnicamente exigentes, nomeadamente: podas de arejamento com remoção de ramos secos, debilitados ou cruzados; abate seletivo de árvores mortas ou com o estado fitossanitário comprometido (nomeadamente, Acácias e Eucaliptos identificados no levantamento); e preservação de árvores de valor (Carvalhos, Sobreiros, Oliveiras, Tílias multicaule, um *Acer pseudoplatanus* e um Cedros), identificadas no terreno. A coexistência entre novas plantações de grande porte e os espécimes existentes a preservar constitui um dos principais desafios técnicos do projeto, sendo necessário respeitar a zona de proteção radicular de cada espécime e gerir cuidadosamente a perturbação do solo durante a execução.

A Tabela 13 confronta as soluções especificadas no estudo prévio com os princípios estabelecidos no capítulo anterior e com a informação obtida junto do responsável do viveiro.

Tabela 13. Projeto PROEF: Confronto entre as soluções especificadas em projeto e os princípios estabelecidos na literatura de referência

Parâmetro	Informação nas peças consultadas	Referência Bibliográfica	Evidência documental e informação complementar	Estado documental e limites de avaliação
Espécies arbóreas selecionadas	*Elenco de 24 táxones distribuído por quatro zonas, com calibres entre PAP 25 e 60 cm e um exemplar singular de Cedrus libani com 700–800 cm de altura (Tabela 12).*	Diversidade taxonómica como estratégia de resiliência da canópia; proporção máxima recomendada de 10% por espécie, 20% por género e 30% por família (Conway & Vander Vecht, 2015)	Confirmado pelo plano de plantação e pelo orçamento (novembro de 2024)	**Documentado** quanto ao elenco e à distribuição por zonas. A adequação às condições edáficas e hídricas não foi demonstrada, por falta de caracterização suficiente do local.
Calibres e sistemas de tutoragem	Espécies estruturantes com PAP 40-60 cm em tutoragem oblíqua com cabos de aço de 5 mm, hélices e roquetes triplos; sistemas T2 e T3 atribuídos de forma não coincidente com as classes de calibre; *Cedrus libani* de 700-800 cm em tutoragem	Avaliação da necessidade e do tipo de suporte em função do torrão, da forma do exemplar, do solo e da exposição; especificação das interfaces, inspeções e remoção. Não se adota um limiar	O responsável de viveiro confirma a tutoragem oblíqua com cabos de aço como sistema corrente para PAP ≥ 40 cm, alertando que a eficácia depende da tensão dos cabos e da manutenção periódica dos	**Parcialmente documentado.** Existem sistemas atribuídos, mas não foi identificado o critério completo de seleção. Seis exemplares surgem sem sistema atribuído no orçamento; não foi

	oblíqua (T5); exemplares *de Betula utilis 'Jacquemontii'* em multitronco (450-500 cm) sem sistema atribuído	universal de PAP ou de altura de ligação (Appleton et al., 2008; Alvey et al., 2009).	roquetes nos dois primeiros anos (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal)	verificada a execução.
Gestão do arvoredo preexistente	Abate seletivo de exemplares mortos ou comprometidos (acácias e eucaliptos); preservação de carvalhos, sobreiros, tílias de dois e três troncos e um cedro; poda de arejamento, com remoção de ramos secos, debilitados e cruzados	Delimitação da zona de proteção radicular dos exemplares a preservar, definida a partir do raio da copa ou das distâncias estabelecidas pela norma BS 5837 (cit. in Bradshaw, Hunt & Walmsley, 1995)	Trabalhos preparatórios descritos no orçamento; ausência de delimitação formal da zona de proteção radicular nos documentos analisados	**Parcialmente documentado.** A preservação está prevista, mas não foi identificada nas peças consultadas a delimitação das zonas de proteção radicular. Não foi avaliada a proteção efetivamente aplicada na obra.
Qualidade radicular do material vegetal	A caracterização e os critérios de aceitação radicular não são reconstituíveis integralmente a partir das peças consultadas. A fertilização é referida no artigo de plantação, mas não comprova a qualidade radicular.	Transplantes sucessivos como determinante da densidade de raízes absorventes (Watson & Himelick, 1982, 2013; Gilman & Kempf, 2009); eficácia da fertilização mineral condicionada à disponibilidade hídrica (Banks & Percival, 2014; Ferrini & Baietto, 2006)	O responsável descreve transplantes sucessivos e identifica a coesão do torrão como critério de avaliação (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). O trabalho não dispõe de registos quantitativos de mortalidade ou de inspeção dos exemplares dos casos.	Qualidade efetiva não avaliada. Não foi identificado nas peças consultadas um protocolo completo de receção e verificação radicular. A prática relatada não permite classificar o material entregue como conforme.
Época de transplante e protocolos de execução	Não especificados nos documentos analisados	Transplante em dormência vegetativa, entre novembro e abril; soterramento do colo, ausência de rega de encharcamento e não remoção de redes metálicas e juta identificados como erros críticos frequentes	As estações favoráveis ao transplante são aquelas em que a procura transpiratória é baixa e o potencial de regeneração radicular é elevado, condições que não costumam coincidir (Harris & Bassuk, 1993). Os protocolos de execução decorrem de 3.5.1 e 3.5.2.	Não identificado nas peças consultadas quanto à época e ao protocolo de execução. Não é possível determinar se estes requisitos foram definidos noutros documentos ou aplicados em obra.
Rega de estabelecimento	Fornecimento e instalação de sistema de rega automático provisório, inscrito como verba global. Regime, dotação e	Regime definido para o exemplar, o torrão, o solo e o clima, com volume, frequência e critérios de ajuste.	O responsável de viveiro identifica a ausência de rega de encharcamento como um dos erros mais frequentes em obra (Azevedo, C.,	**Parcialmente documentado.** Está previsto um sistema automático provisório, mas não foi identificado um protocolo completo de frequência,

	duração não especificados	Gilman, Black & Dehgan (1998) não fundamentam uma dose universal por cm de PAP.	2026, comunicação pessoal)	volume, duração e responsabilidade. Não foi avaliada a rega efetivamente realizada.

Fonte: elaboração própria, com base nas peças técnicas do projeto (DIAPLANT, 2024), na literatura citada e em Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

O estado documental respeita apenas às peças consultadas e à fase de estudo prévio. A informação do responsável de viveiro é complementar e não comprova a execução. A indicação de requisito não identificado não demonstra a inexistência da operação, de decisão técnica ou de documentação adicional.

Na grelha do PROEF distinguem-se dois limites documentais. A preservação de exemplares está prevista, mas não foi identificada nas peças consultadas a delimitação das respetivas zonas de proteção radicular. Essa informação não pode ser reconstituída apenas a partir da intenção de preservar.

Também não foram identificados requisitos suficientemente explícitos sobre a época de transplante e os protocolos de instalação. A análise não permite determinar se estes elementos constavam de documentos de execução ou de outros instrumentos não consultados. A necessidade de os transmitir a um executante externo constitui uma questão a considerar na proposta, não uma prova de ausência de cobertura contratual.

4.1.2 Quinta das Quebradas: paisagem florestal de grande escala

A intervenção na Quinta das Quebradas, em Santa Cruz do Douro, Baião, constitui um projeto de composição florestal de carácter ornamental (*forest landscaping*), desenvolvido pela DIAPLANT com base no Estudo Prévio de janeiro de 2025. Ao contrário do PROEF, onde a intervenção se insere num bosque preexistente com arvoredo a gerir e a preservar, a Quinta das Quebradas constitui uma plantação de raiz, destinada a criar uma estrutura florestal de identidade paisagística deliberada num território sem coberto arbóreo estruturado (Figura 38).



Figura 38. Enquadramento do local de intervenção da Quinta das Quebradas, Santa Cruz do Douro, Baião, com delimitação da área intervencionada. Fonte: Google Earth, com delimitação pela autora

O projeto organiza-se em quatro zonas conceptualmente distintas, Color Diversity Forest, Nature Contact Forest, Red Heart Forest e Shady Forest, cada uma com um elenco orientado para experiências sensoriais e ecológicas diferenciadas ao longo das estações (Figura 39), versão ampliada no Anexo VII.

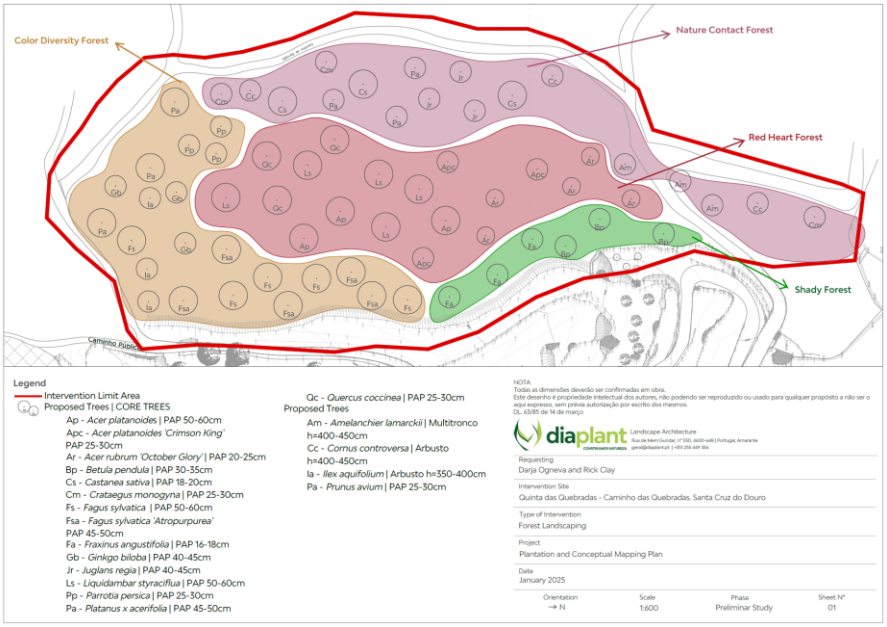


Figura 39. Plano de plantação do projeto Quinta das Quebradas, Santa Cruz do Douro, Baião, organizado em quatro zonas conceptuais. Fonte: DIAPLANT (2025). Quinta das Quebradas, Baião, Estudo Prévio (peça técnica). Reproduzido com autorização para fins académicos

O elenco arbóreo é sistematizado na Tabela 14. A organização por zonas segue predominantemente atributos do material vegetal, cromatismo e interação, e apenas na *Shady Forest* o critério de agrupamento coincide com uma condição do local, ao concentrar as duas espécies de maior afinidade ribeirinha na faixa adjacente ao caminho. A correspondência entre táxone e condições edáficas de cada setor não é declarada nas restantes zonas.

Tabela 14. Quinta das Quebradas: elenco arbóreo por classe de calibre.

Classe	Táxones	Exemplares
PAP 50-60 cm	*Acer platanoides* · *Fagus sylvatica* · *Liquidambar styraciflua*	13
PAP 45-50 cm	*Fagus sylvatica 'Atropurpurea'* · *Platanus × acerifolia*	8
PAP 40-45 cm	*Ginkgo biloba*	3
PAP 30-35 cm	*Betula pendula*	3
PAP 25-30 cm	*Acer platanoides 'Crimson King'* · *Crataegus monogyna* · *Parrotia persica* · *Prunus avium* · *Quercus coccinea*	15
PAP 20-25 cm	*Acer rubrum 'October Glory'*	5
PAP 16-20 cm	*Amelanchier lamarckii* · *Castanea sativa* · *Fraxinus angustifolia* · *Juglans regia*	9
Multitronco, h 400-450 cm	*Amelanchier lamarckii* · *Liquidambar styraciflua*	6
Porte arbustivo, h 350-500 cm	*Cornus controversa* · *Ilex aquifolium*	6
Total	19 táxones	68

Nota: calibres e quantidades conforme o orçamento de fornecimento. As divergências face ao plano de plantação são analisadas em 4.2. Fonte: DIAPLANT (2025), orçamento de 10/02/2025.

A diversidade de espécies e calibres torna pertinente discutir a articulação entre seleção em projeto e disponibilidade em viveiro. Segundo o responsável da entidade, a produção interna e o planeamento antecipado contribuem para essa articulação. A análise não incluiu uma consulta comparável a outros fornecedores, pelo que não permite concluir que o elenco apenas seria viável através da integração vertical, nem demonstrar indisponibilidade no mercado. A Figura 40 ilustra a coexistência de diferentes fases de produção no viveiro.



Figura 40. Produção simultânea de Liquidambar styraciflua em formação multitronco (esq., ciclo mais avançado) e Ginkgo biloba (dir., ciclo inicial) no viveiro DIAPLANT, Gondar, Amarante. Fonte: registo fotográfico do estágio (Dias, M. R., 2026).

A Tabela 15 confronta as soluções especificadas no Estudo Prévio com os princípios estabelecidos no capítulo anterior e com a informação recolhida junto do responsável de viveiro.

Tabela 15. Quinta das Quebradas: confronto entre as soluções especificadas em projeto e os princípios estabelecidos na literatura de referência.

Parâmetro	Informação nas peças consultadas	Referência Bibliográfica	Evidência documental e informação complementar	Estado documental e limites de avaliação
Espécies arbóreas selecionadas	19 espécies e cultivares distribuídas por quatro zonas conceptuais (Color Diversity Forest, Nature Contact Forest, Red Heart Forest, Shady Forest); calibres entre PAP 16 e 60 cm	Proporção máxima recomendada de 10% por espécie, 20% por género e 30% por família, com vista à resiliência da canópia face a pragas e a perturbações climáticas Santamour (1990)	Confirmado pelo plano de plantação e pela seleção de espécies (janeiro de 2025)	Documentado quanto ao elenco. O número de táxones não permite, isoladamente, demonstrar cumprimento de proporções máximas por espécie, género ou família, nem resiliência efetiva.
Calibres e sistemas de tutoragem	Espécies estruturantes com PAP 45-60 cm (*Fagus sylvatica*, *Liquidambar styraciflua*, *Platanus* × *acerifolia*, *Acer platanoides*) em tutoragem oblíqua com cabos de aço de 5 mm, hélices e roquetes triplos; espécies de sub-bosque (*Amelanchier lamarckii*, *Cornus controversa*, *Ilex aquifolium*) em multitronco com h = 350-500 cm, sem sistema de estabilização especificado	A seleção do suporte deve ser discutida com referência às condições de aplicação. A descrição de sistemas e calibres não demonstra a adequação da solução nem caracteriza o solo recetor.	O responsável de viveiro alerta para o risco de instabilidade em espécies multitronco de grande porte sem tutoragem em solos mobilizados e recomenda ancoragem mínima com três estacas e cabos para alturas superiores a 400 cm, independentemente da forma de apresentação (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal)	Parcialmente documentado. Existem sistemas atribuídos e exemplares sem sistema identificado no orçamento. As peças não permitem reconstituir integralmente o critério de escolha; a adequação e a execução não foram verificadas.
Filtro de disponibilidade no viveiro	Elenco de 19 espécies e cultivares, incluindo calibres elevados. Não foi realizado levantamento comparável da disponibilidade junto de outros fornecedores.	A limitação do elenco pela disponibilidade de stock no mercado viveirista convencional compromete os objetivos de resiliência e de identidade paisagística do projeto (Conway & Vander Vecht, 2015)	O responsável de viveiro confirma que a DIAPLANT produz internamente *Ginkgo biloba*, *Parrotia persica* e *Fagus sylvatica* 'Atropurpurea' nos calibres especificados; para *Quercus coccinea* e *Castanea sativa* a disponibilidade depende de planeamento antecipado de produção (Azevedo, C., 2026,	Informação complementar do responsável, sem verificação independente do stock integral ou do mercado. A articulação interna poderá facilitar o planeamento, mas não foi demonstrado que elimine restrições de disponibilidade.

			comunicação pessoal)	
Adequação das espécies ao contexto climático	Elenco identificado nas peças. Não foi realizada avaliação integrada das condições edafoclimáticas e do desempenho das espécies no local.	Espécies de clima atlântico-temperado instaladas em contexto de clima de transição exigem validação do balanço entre benefícios esperados e custos hídricos de estabelecimento (Akbari et al., 2001)	Segundo o responsável, as espécies estruturantes de maior dimensão exigem acompanhamento rigoroso da rega nos dois primeiros ciclos estivais (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). Não foi monitorizada a aplicação desta orientação.	Adequação local não demonstrada pela análise documental. A apreciação geral do elenco não substitui caracterização do solo, balanço hídrico ou acompanhamento do estabelecimento.
Época de transplante e protocolos de execução	Não especificados nos documentos analisados	Transplante em dormência vegetativa entre novembro e abril; a especificação da época no caderno de encargos reduz a mortalidade pós-instalação (Gilman et al., 1998; NP 186:1994)	As estações favoráveis ao transplante são aquelas em que a procura transpiratória é baixa e o potencial de regeneração radicular é elevado, condições que não costumam coincidir (Harris & Bassuk, 1993). A época é, por isso, uma decisão a fixar em projeto.	Não identificado nas peças consultadas quanto à época e ao protocolo. Esta ausência não demonstra falta de definição noutro documento nem decisão necessariamente remetida para o executante.

Fonte: elaboração própria, com base nas peças técnicas do projeto (DIAPLANT, 2025), na literatura citada e em Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

O estado documental respeita apenas às peças consultadas e à fase de estudo prévio. A informação do responsável de viveiro é complementar e não comprova a execução. A indicação de requisito não identificado não demonstra a inexistência da operação, de decisão técnica ou de documentação adicional.

Na Quinta das Quebradas, o orçamento não atribui um sistema de estabilização a treze exemplares, incluindo quatro *Amelanchier lamarckii* multitronco com 400 a 450 cm de altura. Outros exemplares multitronco apresentam tutoragem atribuída. As peças não explicitam o critério dessas diferenças. A falta de atribuição no orçamento não prova ausência de suporte na execução, e não foram disponibilizadas medições que permitam caracterizar a coesão ou a mobilização do solo recetor.

Segundo o responsável de viveiro, determinadas espécies e calibres exigem confirmação antecipada de disponibilidade. A ausência desse planeamento poderá conduzir a substituições, mas não foi verificado se tal ocorreu nos dois casos. A antecedência referida pelo informante deve ser entendida no contexto da produção da entidade, e não como regra universal do mercado.

A ausência de observação da execução é particularmente sensível neste caso: uma plantação de raiz, com elevada diversidade e calibres de grande porte, é precisamente o tipo de intervenção em que a conformidade entre o especificado e o executado produziria os dados mais informativos.

Os dois casos permitem comparar a especificação de árvores adultas em situações distintas, com elencos de vinte e quatro e dezanove táxones. As peças registam características do material e várias operações, mas não permitem reconstituir integralmente os critérios de seleção das soluções nem os protocolos de instalação e estabelecimento. Esta conclusão incide sobre a explicitação documental; não constitui uma avaliação da qualidade do material, da execução ou do sucesso das plantações.

4.2 Fase de projeto: critérios de especificação e lacunas documentais

Os dois projetos especificam exemplares de calibre elevado. A literatura discutida no Capítulo 3 fundamenta a necessidade de relacionar essa escolha com produção, transporte, instalação e acompanhamento posterior. Nas peças consultadas não foram identificados elementos suficientes para reconstituir o planeamento conjunto dessas condições. Não se pode, porém, concluir que não tenham sido definidos noutros documentos ou que o calibre determine, por si só, um prazo universal de estabelecimento.

A comparação entre plano de plantação e orçamento identifica diferenças nas designações e correspondências dos códigos, sistematizadas na Tabela 16. Estas diferenças dificultam a leitura conjunta das peças disponíveis. Sem confirmar a correspondência entre versões e eventuais revisões, não permitem determinar se se trata de erro, alteração de projeto ou diferença entre documentos emitidos em momentos distintos.

Tabela 16. Divergências entre o plano de plantação e o orçamento de fornecimento nos dois projetos analisados.

Projeto	Elemento	Plano de plantação	Orçamento de fornecimento
PROEF	*Amelanchier lamarckii, multitronco*	Especificado (código Al)	Ausente
PROEF	*Liquidambar styraciflua 'Slender Silhouette', h=1000-1100 cm*	Especificado (código Lss)	Ausente
PROEF	*Prunus lusitanica 'Angustifolia', h=500-600 cm*	Especificado (código Pl)	Ausente
PROEF	*Cupressocyparis leylandii, h=400-450 cm*	Ausente	30 exemplares (30,6% do total)
PROEF	*Unidade de calibre nos códigos Al e Bu*	PAP 350-400 e PAP 450-500 cm	h=350-400 e h=450-500 cm
PROEF	*Notação*	Ia designa três artigos; Ls dois; Qr dois	Artigos discriminados individualmente
Quinta das Quebradas	*Juglans regia*	PAP 40-45 cm	PAP 18-20 cm
Quinta das Quebradas	*Cornus controversa*	h=400-450 cm	h=400-500 cm
Quinta das Quebradas	*Liquidambar styraciflua, multitronco h=400-450 cm*	Ausente	2 exemplares (T2)
Quinta das Quebradas	*Amelanchier lamarckii, PAP 16-18 cm*	Ausente	1 exemplar (T2)
Quinta das Quebradas	*Notação*	Pa designa *Platanus* × *acerifolia* PAP 45-50 cm e *Prunus avium* PAP 25-30 cm	Artigos discriminados individualmente

Fonte: elaboração própria, com base em DIAPLANT (2024, 2025).

No PROEF, os trabalhos preparatórios referem abate seletivo e preservação de exemplares. Nas peças consultadas não foi identificada a avaliação individual que sustentou essas decisões nem a delimitação das zonas de proteção radicular das

árvores a manter. A análise não permite determinar se essa informação foi produzida noutro suporte ou utilizada durante a execução.

Os orçamentos atribuem sistemas de estabilização a vários exemplares, mas as peças não explicitam o conjunto de variáveis que orientou essa seleção. Encontram-se sistemas diferentes dentro da mesma classe de calibre ou forma de crescimento e exemplares sem código atribuído. Essas diferenças não demonstram incompatibilidade técnica: podem depender de características individuais ou locais não descritas. O resultado verificável é a impossibilidade de reconstituir integralmente o critério a partir das peças consultadas.

Segundo o responsável do viveiro, a articulação interna entre a produção e o projeto facilita o planeamento da disponibilidade. No entanto, não demonstra que outro fornecedor ou executante seria incapaz de concretizar o elenco.

O limite comum aos dois casos é de natureza documental: as peças consultadas não permitem a reconstituição de todos os critérios e protocolos considerados na análise. A transmissão desta informação é um dos objetivos da proposta do Capítulo 5. A sua circulação efetiva entre equipas e a existência de outros instrumentos de transmissão não foram avaliados.

4.3 Fase de Viveiro: Viabilidade face à disponibilidade do mercado

Segundo o responsável de viveiro, os exemplares com PAP entre 40 e 60 cm podem corresponder, na produção da entidade, a ciclos de 15 a 25 anos (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). Esta informação contextualiza a antecedência potencial da produção relativamente ao projeto, mas não constitui um registo de rastreabilidade dos exemplares dos dois casos. O Anexo VIII apresenta um levantamento exploratório de informação sobre viveiros selecionados, sem representar a totalidade da oferta do setor.

Daqui decorre a tensão estrutural desta fase. O viveiro produz antecipadamente o que prevê que venha a ser solicitado, sem conhecer os projetos que se irão efetivamente desenvolver. Espécies menos comuns, como a Quercus coccinea e a Castanea sativa, com um PAP 40 a 60 cm, necessitam, segundo o responsável do viveiro, de confirmação da encomenda com uma época vegetativa de antecedência (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). Nos dois projetos analisados, esta dependência temporal não tem correspondência documental: as peças definem o táxone e o calibre, mas nenhuma

estabelece prazos para a confirmação das encomendas, a programação da produção ou quaisquer outras condições associadas à disponibilidade do material.

A avaliação do material pode abranger características observáveis na receção e informação de rastreabilidade sobre a sua produção. Nas peças consultadas não foi identificado um protocolo que explicite a verificação da qualidade radicular e os respetivos critérios de aceitação. Não se conclui, por isso, que nenhuma verificação tenha ocorrido, nem que todas as características do material sejam impossíveis de inspecionar. A relação entre eventuais efeitos posteriores e os prazos de garantia dos casos não pode ser avaliada sem os contratos e sem acompanhamento das árvores.

Segundo o responsável do viveiro, a produção prolongada envolve um risco que ele designa informalmente como "raquíticos genéticos": os exemplares mantidos para além do calibre ótimo de comercialização desenvolvem raízes circulares devido à compressão do torrão e acumulam stress fisiológico não percetível no exterior (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). Embora a literatura disponível permita enquadrar alguns dos mecanismos associados a este efeito na produção em contentor, não demonstra que estes ocorram de forma equivalente no sistema de produção em campo aberto, que é o mais comum nos casos analisados. Gilman e Harchick (2008) observaram que, nas condições ensaiadas, 80% dos espécimes foram rejeitados de acordo com a norma de qualidade aplicável. Gilman, Paz e Harchick (2015) concluíram que a deflexão imposta pelos primeiros contentores persiste, mesmo após as transplantações subsequentes. Os mesmos autores (2017) demonstram que o efeito da deformação radicular pode ser reduzido por meio de poda radicular no momento da plantação. Nos documentos analisados, porém, não existe um protocolo de receção que estabeleça a verificação destas condições.

A permanência no viveiro permitiu identificar duas práticas em que o conhecimento adquirido na obra contribui para a produção. A primeira prática consiste numa técnica artesanal de formação do fuste, na qual são utilizadas canas de bambu amarradas com elásticos e rolhas para orientar o eixo principal, evitando exercer pressão abrasiva sobre o ritidoma. A segunda prática consiste numa adaptação do sistema Air-Pot, na qual o fundo permanece em contacto com o solo nativo, o que implica uma poda aérea parcial em benefício de uma transição hídrica mais gradual (3.2.3). Não foi encontrada documentação específica sobre estas adaptações na bibliografia consultada (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal).

Segundo o responsável, cerca de 90% da produção da entidade ocorre em campo aberto (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). A utilização de resultados obtidos

em contentor exige, por isso, delimitar as condições em que podem ser comparados com a prática descrita. O trabalho não incluiu análise económica nem comparação sistemática de modelos de produção, pelo que não permite estabelecer a replicabilidade do modelo ou classificá-lo como exceção do setor.

Os casos mostram a necessidade de distinguir a informação de produção relatada pelo viveiro da informação efetivamente registada nas peças. Não permitem avaliar como a qualidade do material foi verificada na receção.

4.4 Fase de obra: condicionantes e riscos de execução

A análise da instalação incide sobre as peças disponibilizadas, nas datas e fases nelas identificadas, e não sobre o estado documental no início efetivo da obra. Não houve acompanhamento da execução dos dois casos.

Distingue-se, em cada operação, o requisito identificado nas peças, a prática descrita pelo responsável de viveiro e a informação que não é possível determinar. No caso da Quinta das Quebradas, o transplante de uma Sequoia e de um *Acer rubrum* é referido numa nota final do orçamento, sem artigo e preço discriminados nem protocolo específico nas peças consultadas.

Os riscos de execução discutidos a seguir resultam da literatura e dos relatos profissionais do informante (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). Não são apresentados como erros observados nestas obras, nem como prova de que a informação em falta tenha sido deixada para decisão durante a execução.

4.4.1 Solo e lacunas de caracterização

Nas peças consultadas não foram identificados resultados de caracterização do solo recetor que permitam avaliar, designadamente, a textura, a densidade aparente, o pH ou o teor de matéria orgânica. Segundo o responsável de viveiro, a prática da entidade recorre sobretudo à observação visual e existe intenção de introduzir kits portáteis de análise (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). Este relato não substitui resultados medidos para os locais estudados nem demonstra a inexistência de análises noutros suportes.

As descrições orçamentais diferem: o PROEF refere composto de plantação, fertilização e uma verba global de modelação e preparação do terreno; a Quinta das Quebradas

inclui terras férteis no artigo de fornecimento e plantação. As peças não fornecem caracterização suficiente dos materiais e do solo para avaliar a adequação dessas opções.

A presença de bosque num caso e a nova plantação no outro não permite concluir que os solos tenham determinados graus de compactação, teores de matéria orgânica ou atividade biológica. A informação disponível também não permite estabelecer quando ou com que dados foram tomadas as decisões de preparação. A proposta deverá, por isso, exigir caracterização do meio de enraizamento antes de definir critérios de intervenção, sem atribuir aos casos condições que não foram medidas.

4.4.2 Condições de plantação e gestão do torrão

Nas peças consultadas não foram identificados requisitos específicos para a geometria da cova e para a cota do colo radicular. A nota «todas as dimensões deverão ser confirmadas em obra», na planta da Quinta das Quebradas, é genérica e não permite concluir que estes parâmetros tenham sido definidos ou remetidos para a execução. O responsável de viveiro descreve procedimentos internos de dimensionamento e preparação do material (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal), mas esse relato não comprova a sua aplicação nos dois casos.

4.4.2.1 Profundidade de plantação e colo radicular

O responsável pelo viveiro identificou o plantio demasiado profundo, com o colo radicular soterrado, como um dos erros de execução mais frequentes (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). As consequências fisiológicas deste erro foram descritas no ponto 3.5.2.

A proposta privilegia a verificação e o registo da cota do colo antes de concluir o enchimento. Nas peças analisadas não foi identificado um requisito que articule esse parâmetro com o momento e o registo da sua verificação. Esta ausência documental não permite determinar como o controlo foi realizado, nem atribuir eventuais sintomas posteriores a uma operação que não foi observada.

4.4.2.2 Gestão do torrão e remoção de materiais

O responsável do viveiro identificou a remoção da malha metálica e da juta do terço superior do torrão como uma das operações mais frequentemente omitidas na

obra (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). Esta operação aplica-se diretamente aos dois casos em que o material é fornecido em torrão acondicionado e em nenhum dos casos analisados é referida, nem como operação a realizar nem como ponto de verificação na receção.

Por outro lado, o *root ball shaving* é uma operação de produção que integra o protocolo interno da DIAPLANT na fase 4xR (3.2.1), não constituindo, no entanto, um elemento que deva ser especificado num documento de projeto. Os documentos poderiam prever a verificação do resultado da operação no momento da receção, ou seja, a ausência de raízes circulares no torrão entregue, mas não o fazem. Assim, a qualidade construída no viveiro permanece sem correspondência no momento em que poderia ser confrontada.

A distinção entre executar com quem produziu o material e adjudicar a terceiros, estabelecida em 4.2, aplica-se integralmente aqui.

O padrão comum a ambos os casos é o de operações que existem como prática e não como requisito. A estabilização mecânica, abordada a seguir, segue o mesmo padrão, mas com uma diferença relevante: ao contrário da cova, permanece visível após a conclusão da instalação.

4.4.3 Estabilização mecânica e critérios de escolha

Em ambos os projetos, a estabilização é atribuída a cada artigo, por meio de um código inscrito na designação do respetivo exemplar. Nos maiores calibres, o sistema mais frequente é a tutoragem oblíqua com cabos de aço de 5 mm, hélices e roquetes triplos (T5). O responsável pelo viveiro confirma que este é o procedimento corrente da DIAPLANT neste intervalo, salientando que a sua eficácia depende da tensão dos cabos e da manutenção periódica dos roquetes durante os dois primeiros anos (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). Este sistema não é espacialmente neutro, uma vez que os cabos, as hélices e os roquetes ocupam uma área ao nível do solo em torno do exemplar durante o período em que permanecem instalados. Tal exige a sua compatibilização com o uso e com as operações de manutenção do espaço envolvente.

A Tabela 17 reúne diferenças de atribuição dos sistemas que não podem ser explicadas apenas pelas variáveis explicitadas nas peças. Sistemas distintos em exemplares da mesma classe de calibre ou forma de crescimento não são, por si só, incompatíveis. Nos orçamentos, seis exemplares do PROEF e treze da Quinta das Quebradas surgem sem sistema atribuído; este registo não demonstra ausência de estabilização na obra.

Tabela 17. Atribuições de sistema de estabilização não redutíveis a um critério declarado, nos dois projetos analisados.

Projeto	Comparação	Atribuições
PROEF	*Mesma classe, PAP 40-45 cm*	*Fagus sylvatica* 'Atropurpurea' e *Ginkgo biloba*: **T5** · *Parrotia persica*, *Platanus* × *acerifolia* e *Pinus pinea*: **T3**
PROEF	*Mesma classe, PAP 25-30 cm*	*Salix babylonica*: **T5** · *Crataegus monogyna*: **T3**
PROEF	*Mesmo género, mesma altura (h=450-500 cm)*	*Betula pendula* 'Fastigiata', fastigiada: **T2** · *Betula utilis* 'Jacquemontii', multitronco: **sem sistema**
PROEF	*Mesma forma de crescimento (multitronco)*	*Ilex aquifolium* h=600-700 cm e *Liquidambar styraciflua* h=900-1000 cm: **T5** · *Betula utilis* 'Jacquemontii' h=450-500 cm: **sem sistema**
Quinta das Quebradas	*Mesma forma, mesma altura (multitronco h=400-450 cm)*	*Liquidambar styraciflua*: **T2** · *Amelanchier lamarckii*: **sem sistema**
Quinta das Quebradas	*Calibre superior sem sistema*	*Betula pendula* PAP 30-35 cm: **sem sistema** · *Crataegus monogyna* PAP 25-30 cm: **T3**

Fonte: elaboração própria, com base nos orçamentos de 25/11/2024 (PROEF) e 10/02/2025 (Quinta das Quebradas).

A notação em si, questão distinta da atribuição, é retomada em 4.4.3.1.

Para as formas que se afastam do fuste único, a entidade dispõe de um sistema de ancoragem subterrânea destinado a estabilizar o torrão, sem elementos de suporte aéreos. Acima de 400 cm de altura, o responsável do viveiro recomenda uma ancoragem mínima com três estacas e cabos, independentemente da forma de apresentação (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). Nenhum dos dois está documentado.

A eficácia da ancoragem subterrânea em solos de baixa coesão depende da forma como a instalação é realizada (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). No entanto, sem a caracterização do solo discutida no ponto 4.4.1, esta condição não pode ser antecipada com base na documentação. A escolha do sistema depende de um dado que os projetos não registam.

Questionado sobre o que determina a atribuição, o responsável do viveiro descreve uma matriz de risco que pondera o tamanho do exemplar, a sua exposição ao vento e o risco de o torrão se mover. Apresenta-a como um critério interno preliminar, afirmando que a entidade se encontra num ponto de viragem, com o objetivo de normalizar os métodos e reduzir a variabilidade entre obras (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal).

A informação recolhida junto do responsável em 2026 descreve critérios e instrumentos internos em desenvolvimento. Não permite determinar, sem registos datados, o estado da sua formalização quando foram emitidos os orçamentos. A conclusão documental mantém-se limitada às peças consultadas: nelas não foi identificado o critério completo de atribuição dos sistemas.

4.4.3.1. Geometria e material dos tutores

Ambos os orçamentos especificam tutores de pinho torneado com tratamento em autoclave para os sistemas T2 e T3 (Figura 41). O material é o mesmo nos dois projetos, mas a geometria é diferente. No PROEF, os tutores têm 250x7 cm em T2 e 300x8 cm em T3, ao passo que na Quinta das Quebradas têm 250x7 cm em ambos os casos. A divergência não está entre os dois projetos, mas sim entre cada um deles e a respetiva nomenclatura.



Figura 41. Sistemas de tutoragem dupla (esq.) e tripla (dir.) em obras acompanhadas durante o período de estágio. Fonte: registo fotográfico do estágio (Dias, M. R., 2026).

No documento interno, a DIAPLANT distingue quatro sistemas, a que associa uma ripa: T2, com 250×6 cm; T3, com 250×7 cm; T3.1, com 300×8 cm; e TO, para a tutoragem oblíqua com cabos de aço em triangulação (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). No entanto, ao cruzar as três peças, a correspondência entre o código e a ripa deixa de ser válida. A ripa de 250×6 cm, internamente designada por T2, não consta de nenhum dos orçamentos. A ripa de 250×7 cm, internamente designada por T3, surge no PROEF como T2, bem como na Quinta das Quebradas, onde é referida como T2 e T3. A ripa de 300×8 cm, internamente designada por T3.1, é apresentada no PROEF como T3. Por fim, o sistema oblíquo, internamente designado por TO, é T5 nos dois orçamentos.



Figura 42. Sistema de tutoragem quádrupla (T4) com proteção do ritidoma por esteira de bambu, em obra acompanhada durante o período de estágio: quatro tutores distribuídos simetricamente em torno do fuste. Fonte: (Dias, M. R., 2026).

A comparação evidencia diferenças entre a nomenclatura descrita pelo responsável e os códigos utilizados nos dois orçamentos. As correspondências apresentadas devem ser entendidas como uma leitura dessa informação, e não como prova da intenção dos autores das peças. Um código isolado não é suficiente quando a sua descrição e a correspondência entre documentos não estão explicitadas. A análise não permite classificar o orçamento como contrato nem determinar a causa das diferenças de notação.

Relativamente ao material, o responsável do viveiro admite a utilização de madeiras com durabilidade natural, como o castanheiro ou a acácia, em contextos de maior exigência biológica. Esta é uma alternativa conhecida, mas que ainda não foi formalizada (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). No entanto, a estabilização

adequada é uma condição necessária, mas não suficiente: o período imediatamente posterior à instalação exige uma gestão hídrica, que será analisada no ponto seguinte.

4.4.4 Rega de estabelecimento e requisitos

O orçamento do PROEF inclui uma verba global para fornecimento e instalação de sistema automático de rega provisório. No orçamento da Quinta das Quebradas não foi identificado artigo equivalente. Nas peças consultadas não foi identificado um protocolo que articule frequência, volume por evento, duração do acompanhamento e responsabilidade pela rega de estabelecimento.

A referência a uma infraestrutura de distribuição não permite reconstituir o regime de utilização nem verificar a sua execução. Também não permite concluir que a rega tenha sido a única operação contratada sem requisitos, ou que as condições de pagamento tenham determinado o detalhe da sua descrição. A comparação é limitada aos dois conjuntos documentais.

O responsável pelo viveiro identificou a falta de rega de encharcamento imediatamente após a plantação como um dos erros mais frequentes cometidos pelas equipas externas e a gestão hídrica no período de estabelecimento como um dos fatores de que a sobrevivência depende mais (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal).

O artigo do PROEF identifica uma tecnologia de distribuição, mas não permite determinar a localização efetiva da entrega de água, a profundidade molhada ou o protocolo adotado. A rega inicial de saturação do torrão também não foi identificada como requisito nas peças consultadas. Não é possível concluir que tenha sido omitida na execução ou que o sistema utilizado tenha produzido um determinado padrão de infiltração.

No que se refere à Quinta das Quebradas, o responsável em questão identificou a necessidade de uma rega rigorosa nos dois primeiros ciclos estivais para as espécies estruturantes de maior dimensão (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal), exigência esta reconhecida pelo produtor do material, mas que não está contemplada em nenhum dos requisitos das peças.

Por fim, a qualificação do sistema como provisório remete para a questão da duração: nenhum dos documentos estabelece o período de instalação, o momento de remoção do sistema ou a entidade responsável pela sua operação após a conclusão dos

trabalhos. A análise conjunta dos quatro parâmetros em questão é apresentada no subcapítulo seguinte.

4.5. Leitura transversal: entre a prática estabelecida e o requisito formal

A instalação de uma árvore adulta não depende de uma decisão isolada, mas sim de uma série de decisões interdependentes, distribuídas por fases, entidades e períodos temporais distintos. O responsável pelo viveiro designa esta sequência por "cadeia de eventos ininterrupta", expressão que traduz a condição a que está sujeita: a falha de um elo pode pôr em causa os benefícios das operações realizadas em todos os elos anteriores, independentemente do rigor com que tenham sido executadas (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal).

A análise identifica diferentes graus de explicitação de requisitos nas peças consultadas. Os esclarecimentos do responsável mostram que a entidade dispõe de conhecimento sobre várias das operações discutidas, mas não permitem determinar por que motivo esse conhecimento não é explicitado nesses documentos. Entre as explicações a considerar encontram-se a fase de estudo prévio e a distribuição da informação por peças não consultadas.

A Tabela 18 relaciona riscos de execução descritos na literatura ou pelo informante com a informação identificada nos dois casos. Não regista desvios observados nas respetivas obras.

Tabela 18. Riscos de execução e requisitos nas peças analisadas.

Desvio ou lacuna identificada	Enquadramento	Observação do responsável de viveiro (Azevedo, C., 2026)	Estado nos documentos analisados
Profundidade de plantação e risco de soterramento do colo	3.5.2	Um dos erros críticos mais frequentes, sobretudo em execução por equipas sem formação especializada	Não foi identificado requisito específico nas peças consultadas. A prática relatada não foi verificada nestas obras.
Geometria da cova e preparação da base	3.5.2	A prática interna segue critérios adaptados ao calibre	Não foi identificado requisito específico nas peças consultadas. A prática relatada não

			foi verificada nestas obras.
Gestão de raízes deformadas na periferia do torrão	3.5.2	Praticada internamente, raramente exigida por especificação	Não foi identificado requisito específico nas peças consultadas. A prática relatada não foi verificada nestas obras.
Critérios de receção e verificação da qualidade radicular	3.5.1, 3.5.2	Raízes circulares corrigidas em viveiro na fase 4xR	Não foi identificado requisito específico nas peças consultadas. A prática relatada não foi verificada nestas obras.
Configuração, inspeção e remoção da estabilização	3.5.3, 3.5.5	Tutoragem oblíqua adotada em exemplares de grande porte; risco de permanência além do prazo por ausência de visita de manutenção	São descritos sistemas de estabilização; não foi identificado protocolo de inspeção e remoção. A sua execução e permanência não foram verificadas.
Aplicação de cobertura e contacto com o fuste	3.6.2	Erro frequente, resultante de rotinas de manutenção sem formação específica	Não foi identificado requisito específico nas peças consultadas. A prática relatada não foi verificada nestas obras.
Rega inicial e manutenção da humidade do torrão	3.6.1	O volume por evento e o espaçamento entre regas são mais determinantes do que a frequência	O PROEF prevê sistema automático provisório. Não foi identificado um protocolo completo de rega nos dois casos; a execução não foi acompanhada.
Poda na instalação e redução da copa	3.2.2	Desaconselhada como rotina; admissível pontualmente em exemplares com torrão muito reduzido	A aplicabilidade e a execução desta operação não foram avaliadas nos dois casos. A ausência de requisito não fundamenta a classificação «Não aplicável».

Fonte: elaboração própria, com base nas peças dos dois casos e em Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal). Os riscos e as práticas relatados pelo informante não correspondem a ocorrências verificadas nestas obras. A coluna «Enquadramento» remete para a fundamentação técnica; o registo documental não demonstra execução ou incumprimento.

4.5.1 Rega de estabelecimento e responsabilidades

A rega de estabelecimento exige articulação entre as características do material, as condições locais e o acompanhamento posterior à plantação. Nas peças consultadas não foi identificado um protocolo que permita reconstituir essa articulação e a atribuição das respetivas tarefas.

Sem contratos, planos de manutenção e acompanhamento da execução, não é possível determinar quem assumiu essas tarefas, durante quanto tempo ou com que resultado. A hipótese de um desajustamento entre o acompanhamento necessário e a duração das responsabilidades deve, por isso, permanecer como questão de investigação e de projeto, e não como causa demonstrada nos dois casos.

4.5.2 Volume de solo e decisões de projeto

O volume de solo explorável e as suas condições físicas constituem requisitos a considerar na especificação, nos termos do Capítulo 3. Nos dois casos, a documentação consultada não fornece dados suficientes para quantificar esse volume ou caracterizar a compactação. A localização rural não demonstra condições favoráveis nem elimina a possibilidade de limitações subterrâneas.

Os trabalhos de modelação e circulação de equipamentos previstos no PROEF tornam pertinente considerar a proteção do solo na proposta. Sem medições anteriores e posteriores, não é possível determinar o estado inicial ou atribuir alterações à obra. O resultado da análise é a falta de informação para avaliar estas condições, não a demonstração de compactação, de insuficiência de solo ou da irreversibilidade de qualquer alteração.

4.5.3 Inputs químicos e condições de execução

A fertilização é referida nos dois orçamentos, integrada na descrição da plantação, mas sem indicação de dosagens. O PROEF identifica um fertilizante de libertação controlada com ação indicada de oito a nove meses; a Quinta das Quebradas refere um fertilizante NPK de libertação lenta. Sem caracterização do solo e sem os restantes dados de aplicação, não é possível avaliar a adequação dessas opções.

A literatura consultada não sustenta a ideia de que a aplicação de fertilizantes minerais na cova produza, no período crítico, o efeito que lhe é habitualmente atribuído. Os

exemplares em recuperação mobilizam prioritariamente as suas reservas internas de carbono para a regeneração das raízes, apresentando uma reduzida capacidade de absorção de nutrientes minerais (Watson, 1985). Além disso, as respostas à fertilização mineral variam consoante a espécie (Ferrini & Baietto, 2006; subcapítulo 3.6.2). No que se refere aos bioestimulantes foliares, Banks e Percival (2014) não observaram, nos produtos e condições ensaiados, um aumento da tolerância à seca ou ao stress salino. Este resultado não permite concluir que toda a categoria é ineficaz, mas desaconselha a sua utilização para responder a um défice hídrico.

A presença desta descrição permite comparar o grau de detalhe atribuído a diferentes operações, mas não demonstra que a fertilização tenha sido executada ou que a facilidade de verificação explique a sua inclusão. Os relatos do responsável sobre práticas de manutenção são informação profissional complementar, não resultados de observação da manutenção dos dois casos.

4.5.4 Síntese da formalização documental

A comparação revela diferenças no detalhe com que as peças descrevem material vegetal, soluções de estabilização, fertilização e acompanhamento posterior. Não foi identificado um conjunto completo de requisitos relativos ao solo, à receção, à cota de plantação e à rega de estabelecimento. Esta conclusão respeita aos documentos consultados e não hierarquiza a influência desses parâmetros no resultado.

A facilidade de medir ou verificar uma operação constitui uma hipótese para discutir essas diferenças. Os dados não permitem demonstrar que tenha orientado as decisões dos autores, nem excluir outras explicações, como a fase do projeto ou a existência de informação noutros documentos. A articulação entre produção, projeto e execução numa mesma entidade poderá facilitar a transmissão de informação, mas essa circulação não foi acompanhada nos dois casos.

A proposta procura tornar explícitos critérios e momentos de verificação que não puderam ser reconstituídos a partir das peças. A sua utilidade para intervenções com entidades distintas permanece por testar

4.6. O Impacto da Estandardização: Da Solução-Tipo ao Critério de Decisão

Nos subcapítulos anteriores, foi examinado o que a documentação analisada não fixa. Este subcapítulo analisa o que está fixado e questiona a natureza dessa fixação: que tipo de decisão registam efetivamente os documentos dos dois projetos e que consequências decorrem do facto de estarem registados dessa forma.

4.6.1 Alcance da estandardização

Os documentos analisados contêm soluções padronizadas identificáveis. Os sistemas de estabilização são designados por códigos, T2, T3 e T5, que se repetem entre projetos; as dimensões dos tutores são fixas dentro de cada projeto, independentemente da altura do exemplar a que se destinam; e no PROEF o enchimento das covas é definido por uma composição única. A existência de soluções padronizadas não constitui, por si só, uma inadequação: permite estabilizar procedimentos e conferir previsibilidade à execução.

As peças permitem identificar soluções, mas não reconstituir integralmente a regra que relaciona cada exemplar com o sistema selecionado. As diferenças entre códigos e as atribuições observadas justificam explicitar essa regra em futuros documentos. Não permitem, isoladamente, concluir que a solução tenha sido escolhida sem critério ou determinar quando esse critério foi formalizado internamente.

Importa, por isso, distinguir a descrição de uma solução da explicitação do seu critério de seleção. A análise encontra limites no segundo nível; não demonstra a inadequação técnica de todas as soluções descritas.

4.6.2 Conformidade e desempenho biológico

Uma peça que descreve um elemento, mas não explicita o seu critério de seleção, pode permitir identificar a solução sem permitir avaliar a sua adequação ao caso. Esta é uma limitação da leitura documental e não uma avaliação de conformidade da obra.

Não foram medidos resultados de estabelecimento ou insucesso. Consequentemente, não é possível atribuir resultados à espécie, à qualidade do material, às operações de

instalação ou à informação não identificada nas peças. A análise também não determina se esses requisitos foram definidos em documentos não consultados.

Parte do conhecimento que orienta a aplicação das soluções pode permanecer na experiência de quem as executa, sem deixar um registo que acompanhe a documentação descrita no ponto 4.5.4. A falta de explicitação do critério de seleção na estandardização da solução dificulta a distinção entre as decisões que podem ser previamente definidas no projeto e aquelas que exigem uma adaptação fundamentada às condições encontradas na obra.

A questão colocada no final desta análise não é, portanto, a produção de mais conhecimento sobre a biologia da árvore adulta. Trata-se antes de transformar o conhecimento existente em critérios de decisão explícitos que relacionem as características do exemplar e as condições locais com a solução a aplicar e o momento em que a sua aplicação pode ser verificada. É esta conversão que fundamenta a proposta técnica apresentada no capítulo seguinte.

5. Proposta Técnica: Princípios e Recomendações para a Instalação de Árvores Adultas em Contexto Urbano

5.1. Princípios Orientadores: Da Análise às Recomendações de Projeto

O presente capítulo propõe instrumentos de apoio à especificação e à verificação da instalação de árvores adultas. A proposta articula a literatura do Capítulo 3, os limites de explicitação identificados no Capítulo 4 e os esclarecimentos do responsável de viveiro.

Os instrumentos procuram tornar legíveis os critérios de decisão e os momentos de verificação, incluindo situações com intervenientes distintos. A análise não demonstrou que a informação se perca sempre que essas funções são separadas, nem avaliou a eficácia dos instrumentos propostos.

As recomendações especificamente urbanas assentam na revisão bibliográfica, e não na observação dos dois casos rurais. As matrizes, os pormenores e as condições de acompanhamento são propostas de trabalho que exigem adaptação ao local, verificação das fontes técnicas e validação na prática.

As recomendações baseiam-se no princípio da correspondência entre as exigências biológicas do exemplar e as condições proporcionadas pelo local, semelhante à orientação para as condições naturais de crescimento discutida por Hirons e Thomas (2018). Ao longo deste trabalho, essa correspondência é designada por "mimetismo florestal".

Os subcapítulos seguintes organizam a presente proposta em cinco princípios orientadores, que são convertidos em critérios de decisão e consolidados numa matriz de verificação do projeto e da obra. A seguir, são apresentadas as recomendações técnicas para cada fase do processo, bem como os respetivos detalhes construtivos, de modo a traduzir cada exigência em parâmetros que possam ser especificados e posteriormente verificados.

5.1.1 Princípio 1 - Adequação biológica ao local

O primeiro princípio propõe a identificação do colo radicular e a definição explicita da sua posição relativamente ao terreno acabado, considerando a condição do torrão, a drenagem e o risco de assentamento. Bryan et al. (2010) demonstram respostas distintas de duas espécies as profundidades ensaiadas, mas não validam uma cota de 2,5 a 5 cm acima do terreno para os táxones dos dois casos. A Tabela 22 delimita o resultado desse estudo e as extrapolações que não podem ser feitas. O ensaio testou colo ao nível do terreno e 7,6 cm acima ou abaixo. Não testou 2,5-5 cm, nem *Fagus sylvatica, Liquidambar styraciflua* ou *Platanus* × *acerifolia*. Os 5 cm de profundidade do colo dentro do torrão, num critério UTF de receção, são outra grandeza.

Este princípio traduz-se num critério cujo momento de verificação está definido. Conforme identificado no subcapítulo 4.4.2.1, a cota do colo pode ser confirmada enquanto a cova estiver aberta, deixando de ser possível após o enchimento. Por conseguinte, a sua verificação deve constituir um ponto de paragem na execução, com registo prévio ao enchimento, e não pode limitar-se à vistoria de receção, momento em que o parâmetro já não é observável.

O mesmo princípio aplica-se à seleção. Antes da especificação do elenco, devem ser caracterizados o regime hídrico, a exposição solar, o volume de solo disponível e a presença de infraestruturas enterradas. Nos arruamentos com intenso tráfego e estreita geometria, há que acrescentar um critério que não foi possível aplicar nos dois casos analisados, ambos em contexto não urbano: a emissão de compostos orgânicos voláteis pela espécie selecionada (subcapítulo 3.3.2), que deve ser ponderada em função da adaptação climática e da tolerância edáfica e não em substituição destas. Como a resposta do exemplar ao transplante depende da forma como este foi produzido, o respetivo histórico de produção, o número de transplantes sucessivos, a data do último transplante, a dimensão do torrão e o método de acondicionamento devem acompanhar o material, sob a forma de ficha, entregue aquando da sua entrega. O responsável de viveiro descreveu informação de produção que não foi identificada como requisito de acompanhamento nas peças consultadas (subcapítulo 4.3). Não foi verificada a existência de registos individuais completos dos exemplares dos casos. A sua conversão em documento de acompanhamento é que a torna utilizável por aqueles que não participaram na produção.

5.1.2 Princípio 2 - Volume e conectividade do solo

O volume de enraizamento deve ser especificado como parâmetro de projeto, indicando o material, a profundidade considerada, a continuidade e as condições de água e de arejamento. A Tabela 21 apresenta uma orientação específica para misturas estruturais de base pétrea, não sendo os respetivos valores aplicáveis automaticamente a solo natural ou a células preenchidas com solo.

A continuidade entre os espaços de plantação pode facilitar o acesso das raízes ao solo, mas não justifica uma redução percentual universal do volume por árvore. O dimensionamento deve identificar o volume total e a sua distribuição prevista, evitando contabilizar o mesmo espaço partilhado como se estivesse integralmente disponível para cada exemplar.

Como não foi realizada uma caracterização dos solos em questão, não é possível concluir sobre a sua adequação com base numa densidade aparente presumida. Propõe-se uma caracterização prévia do solo ou substrato especificado, com critérios de aceitação adequados, que incluam a textura, a estrutura, as condições hídricas, a presença de matérias orgânicas e, quando pertinente, a resistência à penetração. A ausência de caracterização nas peças consultadas não significa que não tenha sido realizada noutro contexto.

A verificação antes do enchimento e da pavimentação é o momento ideal para documentar a geometria, a continuidade e os materiais. A inspeção ou correção posterior pode exigir acessos, ensaios ou intervenções adicionais, embora não seja impossível.

5.1.3 Princípio 3 - Estabilização por forma de crescimento

O terceiro princípio estabelece que a estabilização deve imobilizar o torrão, sem tornar o fuste rígido, um conceito desenvolvido no subcapítulo 3.5.3.A sua aplicação prática tem duas componentes. A primeira componente consiste na substituição de dimensões fixas por relações proporcionais. Por exemplo, o ponto de fixação não deve exceder um terço da altura do tronco, o que substitui a indicação de uma altura do tutor em valor absoluto. A análise dos casos mostrou que a dimensão do tutor é fixa em cada projeto, independentemente da altura do exemplar a que se destina, nem sequer coincidindo entre os dois (ver o subcapítulo 4.4.3.1), o que produz relações variáveis entre o ponto de fixação e o comprimento do fuste, o qual permanece isento de solicitações.

A análise das peças não permitiu reconstituir integralmente os critérios de atribuição dos sistemas. A presença de soluções diferentes ou de exemplares sem código no orçamento não demonstra ausência de critério ou de suporte na execução. A proposta pretende explicitar os fatores de decisão, incluindo a forma de crescimento, em vez de deduzir a adequação apenas do calibre.

De acordo com o responsável do viveiro, a prática interna consiste em aplicar a tutoragem tripla a exemplares com boa verticalidade e exposição moderada, até PAP 35-40 cm, e a tutoragem oblíqua a exemplares com mais de 500 cm de altura, copas densas, multicaules ou solos recentemente mobilizados (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal).

A Tabela 23 estabelece a prescrição ao cruzar as duas variáveis, com base no enquadramento biomecânico 3.5.5. O critério que a rege pode ser enunciado da seguinte forma: à medida que o fuste deixa de ser único e dominante, o ponto de aplicação da força desloca-se do fuste para o torrão. A comparação biomecânica entre os três sistemas está representada na Figura 27.

O caso mais exigente é o dos exemplares multicaules, nos quais a solicitação eólica gera esforços de torção multidirecionais sobre o colo radicular, sem existir um eixo dominante ao qual se possa recorrer para a ancoragem. Neste caso, a ancoragem subterrânea do torrão constitui o sistema de base, podendo ser complementada, em exemplares com mais de 500 cm de altura, por uma fixação aérea baixa destinada a limitar o movimento relativo entre os fustes. No entanto, os fustes não devem ser solidarizados rigidamente entre si, uma vez que a independência de movimento de cada eixo é condição do seu desenvolvimento radial (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal).

A estabilização está descrita nos dois orçamentos, mas não foi identificado nas peças consultadas um protocolo de inspeção e remoção dos suportes. Propõe-se que futuros documentos explicitem os critérios de revisão e remoção, a periodicidade de inspeção e o responsável por essas operações. A necessidade e a duração do acompanhamento devem ser ajustadas ao sistema e ao exemplar; o trabalho não verificou lesões resultantes de permanência dos suportes nos dois casos.

5.1.4 Princípio 4 - Proteção fisiológica no estabelecimento

O quarto princípio incide sobre dois materiais aplicados ao exemplar após a instalação: a proteção do ritidoma e a cobertura do solo. Estabelece que a eficácia destes depende menos da escolha do material do que do protocolo que rege a sua permanência. A proposta distingue verificações a privilegiar antes do enchimento e da conclusão dos trabalhos de verificações que se repetem durante a manutenção, sem considerar impossíveis todas as correções posteriores. Por outro lado, a proteção do ritidoma e a cobertura do solo são operações recorrentes, reexecutadas a cada ciclo de manutenção, o que as torna suscetíveis de serem repetidamente mal executadas.

A proteção do ritidoma varia consoante a espécie. As espécies de casca lisa e ritidoma fino, que são suscetíveis de queimar com o sol nos termos do subcapítulo 3.6.2.1, necessitam de proteção nos primeiros anos após a instalação. Por outro lado, as espécies de casca rugosa e ritidoma espesso não necessitam de proteção, exceto se houver risco de danos mecânicos. No caso das primeiras, o calendário inverte a convenção corrente na literatura de origem temperada: a proteção é retirada no inverno para evitar a retenção de humidade e o desenvolvimento de fungos e é novamente colocada no verão, quando a exposição solar direta constitui o risco dominante, durante os três primeiros anos (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). Esta adaptação ao contexto ibérico não é registada na literatura consultada e ilustra a ressalva de transferibilidade enunciada no Capítulo 3.

A cobertura do solo obedece a uma geometria, e não a uma quantidade. A camada é aplicada de forma plana, com uma espessura de 5 a 8 cm, deixando um anel de 2 a 3 cm de largura em torno do tronco (ver Figura 33 no subcapítulo 3.6.2.2). A acumulação junto ao fuste provoca a saturação permanente da base do tronco e a degradação progressiva do ritidoma. Combinada com a proteção do tronco, o efeito é cumulativo, pelo que não é recomendável aplicar as duas soluções na mesma superfície.

A aplicação inicial destes materiais pode ser verificada na receção, e a sua condição posterior exige acompanhamento. Propõe-se que a documentação de manutenção explicite a configuração a respeitar, as verificações e a responsabilidade pela intervenção. Os erros discutidos resultam de relatos da experiência profissional do responsável de viveiro, não de ocorrências observadas nos dois casos.

5.1.5 Princípio 5 - Rega como especificação de projeto

O quinto princípio incide sobre a continuidade do acompanhamento após a plantação. A sua duração deve ser fundamentada pelas necessidades do exemplar e pelas condições locais, e não deduzida apenas do momento de conclusão da obra. Nas peças consultadas não foi identificado um protocolo completo de acompanhamento, mas a falta de acesso aos contratos e aos planos de manutenção impede determinar a duração e a distribuição efetiva das responsabilidades nos dois casos.

Sugere-se que se especifiquem a modalidade de entrega de água, o volume por evento, a frequência, a duração prevista e os critérios de ajuste e verificação. A escolha deve ser compatível com o local e o exemplar. No orçamento do PROEF, foi identificado um sistema automático provisório, cuja descrição não permite reconstituir o respetivo protocolo de utilização, nem atribuir à modalidade adotada um desempenho não medido.

A especificação da rega deve corresponder à dos critérios de avaliação. Os indicadores funcionais estabelecidos no subcapítulo 3.6.3, o tamanho relativo da folha, medido por comparação com exemplares de controlo não transplantados do mesmo táxon, e a turgescência dos ramos terminais, podem ser aplicados por um técnico de obra sem equipamento especializado, o que os torna adequados a um requisito contratual. A documentação deve definir a periodicidade das observações, o critério a partir do qual se considera o estabelecimento concluído e as condições que desencadeiam uma intervenção corretiva.

As soluções de distribuição integradas na cova, como as redes geotêxteis de alta porosidade referidas no subcapítulo 3.6.2, constituem uma medida complementar e não substitutiva do protocolo, sendo particularmente interessantes em locais sem rede de rega instalada. A identificação de quem executa a rega, com que periodicidade e durante quanto tempo integra a proposta de explicitação do acompanhamento. Nas peças consultadas não foi encontrado esse conjunto de requisitos, o que não permite concluir que não tenha sido definido em contratos ou planos não consultados.

Tabela 19. Matriz de verificação em projeto e obra: Síntese dos princípios orientadores

Princípio	Critério de Verificação	Parâmetro Técnico	Fase de Aplicação	Critério de Rejeição Imediata
Especificidade biológica **(Bryan et al. (2010); Hirons & Thomas (2018)**	Espécie adequada ao contexto edáfico, hídrico e climático; colo radicular visível após instalação	Plantação 2,5 a 5cm acima do nível final em espécies sensíveis; tolerância ao soterramento validada por grupo ecológico	Projeto e execução em obra	Rejeitar o exemplar se, à receção em obra, o colo radicular se encontrar a mais de 5 cm de profundidade no torrão
Volume e conectividade de solo **(City of Raleigh Urban Forestry (2021); Grabosky & Bassuk (1995); TDAG (2014); Van Geel et al. (2019)**	Volume de solo não compactado garantido antes da especificação do calibre; densidade aparente verificada; valas contínuas consideradas em arruamento	Mínimo 17-30m³ por árvore; redução até 22% com solo partilhado em vala contínua; densidade aparente < 1,60 g/cm³; MOS avaliada antes da instalação	Projeto e preparação do solo	Rejeitar instalação se densidade aparente > 1,60 g/cm³ na zona radicular sem correção prévia
Estabilização dinâmica **(Alvey et al. (2009); Appleton et al. (2008); Leiser & Kemper (1968)**	Sistema de tutoragem diferenciado por tipologia de crescimento; tutores removidos dentro do prazo recomendado	Tutoragem oblíqua ou ancoragem subterrânea para PAP ≥ 40cm; amarras não superiores a 1/3 da altura do tronco; remoção máxima aos 2 anos	Execução em obra e manutenção	Rejeitar tutoragem aérea rígida alta em espécimes que requerem tutoragem oblíqua com cabos de aço de 5mm; rejeitar fixação rígida entre fustes em multicaule
Interface de fixação tronco-tutor (complementar ao Princípio 3) **Urban Tree Foundation (2014); Labrosse et al. (2011)**	Tipo de material e largura da cinta de amarração; folga para oscilação do fuste	Cintas elásticas ou de tecido com largura ≥ 25mm; folga de 2,5-5cm para oscilação em qualquer direção; vigilância anual se corda de coco	Execução em obra e manutenção	Rejeitar sistemas de "arame com mangueira"; rejeitar fixação rígida sem folga; rejeitar fixação rígida entre fustes em multicaule
Proteção fisiológica **(Appleton & French (1992); Dias (2026)**	Proteção respirável aplicada em espécies sensíveis; mulch em "donut" sem contacto com o fuste; protocolo de remoção sazonal cumprido	Malha de algodão respirável; remoção obrigatória no inverno e recolocação no verão nos primeiros 3 anos; mulch a 2-3cm do colo	Execução em obra e manutenção ano 1-3	Rejeitar mulch em contacto direto com o fuste; rejeitar proteções plásticas não respiráveis

Gestão da recuperação fisiológica **(Gilman et al. (1998); Watson (2005); Xiang (2018)**	Protocolo de rega especificado na documentação de projeto; monitorização baseada em indicadores funcionais com referencial comparativo	Rega: 1,2L/cm de diâmetro por evento; frequência superior a volume; monitorização mínima 3 a 5 anos; tamanho da folha medido face a exemplares de controlo não transplantados	Documentação de projeto e manutenção pós-instalação	Não iniciar a plantação sem protocolo de rega especificado em peça escrita

Estes cinco princípios estabelecem o enquadramento conceitual que orienta a plantação de árvores adultas em contexto urbano. No entanto, a sua aplicação não pode ser uniforme, uma vez que as exigências em termos de volume de solo, cota de plantação e estabilização variam significativamente consoante o local (por exemplo, um parque ou um arruamento), a espécie (por exemplo, uma espécie sensível à anoxia ou uma espécie tolerante) ou a forma da árvore (por exemplo, um fuste limpo ou um exemplar multicaule). É esta diferenciação contextual que o subcapítulo seguinte sistematiza em matrizes de decisão aplicáveis à prática do projeto.

5.2 Matrizes de Decisão: Diferenciação por Contexto e por Exemplar.

As recomendações estão organizadas em dois planos. O primeiro plano diferencia os parâmetros de instalação consoante o contexto, dado que a mesma exigência biológica pode dar origem a requisitos distintos em função do volume de solo disponível e da origem da compactação, nomeadamente o uso intensivo no parque e a carga do pavimento no arruamento (Tabela 20). O segundo plano diferencia os parâmetros em função do próprio exemplar, com base nas matrizes apresentadas nos subcapítulos 5.2.2 e 5.2.3.

Tabela 20. Parâmetros técnicos de instalação em contexto de parque versus arruamento

Parâmetro Técnico	Contexto: Parque/Jardim	Contexto: Arruamento/Hardscape	Fundamentação Científica
Volume de solo útil	Dimensionado pelo porte esperado na maturidade (Tabela 21)	Dimensionado pelo porte esperado na maturidade (Tabela 21); mínimo genérico de referência de 17 a 30 m³ por exemplar	City of Raleigh Urban Forestry (2021) ;Smiley (s.d.); Stockholm Tree Pits (s.d.)

Conectividade radicular	Solo contínuo natural, sem necessidade de infraestrutura adicional	Valas contínuas de solo partilhado, com redução do volume individual entre 20% e 25%, consoante o porte (Tabela 21)	TDAG (2014)
Compactação máxima	Densidade aparente de referência < 1,60 g/cm³	Densidade aparente de referência < 1,60 g/cm³, particularmente crítica dada a compactação induzida pela carga de pavimento	Grabosky & Bassuk (1995)
Enriquecimento do solo de enchimento	Incorporação de composto orgânico maturado, com teores de matéria orgânica entre 5% e 10%	Incorporação de composto orgânico maturado (MOS > 5-10%); em solos estruturados, mistura de pedra limpa com 7,5% biocarvão enriquecido + 7,5% composto PAS100, seguindo o modelo Stockholm Tree Pits	Van Geel et al. (2019); Embrén (2016); Stockholm Tree Pits (s.d.)
Modalidade de rega de estabelecimento	Rede automatizada de superfície, instalável e corrigível a qualquer momento	Rega radicular integrada na cova, a definir em projeto por deixar de ser executável após reposição do pavimento	Gilman, Black & Dehgan (1998); GreenBlue Urban (2021c); subcapítulo 3.6.1

A presença de matérias orgânicas no solo é o parâmetro mais importante em ambos os contextos. Num estudo que incluiu a cidade do Porto, Van Geel et al. (2019) identificam a presença de matérias orgânicas no solo como o indicador mais robusto da saúde das árvores urbanas, mais do que a diversidade micorrízica isoladamente considerada, devido à sua contribuição para a porosidade e para a retenção hídrica (subcapítulo 3.4.3). Este é um dos poucos estudos com dados recolhidos em contexto português no conjunto da literatura mobilizada neste trabalho, o que lhe confere relevância acrescida face à ressalva de transferibilidade climática enunciada no Capítulo 3. A incorporação de biocarvão enriquecido constitui uma abordagem complementar, e não substitutiva, que é particularmente interessante em solos estruturados em vias públicas, onde a matriz de pedra limpa beneficia da retenção de água e da disponibilidade de nutrientes proporcionada pelo biocarvão nos espaços vazios entre os agregados (Embrén, 2016; Stockholm Tree Pits, s. d.).

Tabela 21. Volume de solo por porte de crescimento da árvore

Porte do estrato arbóreo	Volume mínimo recomendado	Volume com solo partilhado	Entradas de ar/água indicadas no guia
Muito pequeno (<5m)	8m³	6m³	Uma por árvore; uma por duas árvores em espaço partilhado.
Pequeno (5-10m)	15m³	12m³	Uma por arvore; uma por duas árvores em espaço partilhado.
Médio (10-15m)	26m³	20m³	Uma por árvore
Grande (15-25m)	36m³	28m³	Duas por árvore; em espaçopartilhado, o guia indica 1,5 por árvore, equivalente a três por duas árvores.

Nota: Os calibres PAP 40-60 cm especificados nos dois casos analisados correspondem, na maturidade, a espécies de porte médio a grande. Fonte: Stockholm Tree Pits, Soil Volume Guidance (s.d.)

Os valores do volume do solo apresentados neste estudo derivam, na sua maioria, de estudos e metodologias desenvolvidos em climas temperados húmidos do norte da Europa e da América do Norte, nomeadamente da metodologia Stockholm Tree Pits. Quando transpostos para o contexto ibérico, em que a evapotranspiração estival é mais elevada e a precipitação concentra-se no outono e no inverno, devem ser considerados como valores orientativos mínimos e não como especificações precisas. Além disso, a densidade aparente tolerável varia consoante a textura do solo (Arango, 2015) e a especificação de volumes superiores está biologicamente justificada em locais com intensa exposição solar, em substratos com baixa capacidade de retenção de água ou em espécies com copas densas (subcapítulo 6.2).

Estes dois conjuntos de valores não são contraditórios, mas sim correspondem a metodologias de dimensionamento distintas. O intervalo de 17 a 30 m³ representa um valor mínimo genérico frequentemente aplicado a árvores adultas em arruamento. A metodologia Stockholm Tree Pits ajusta o volume ao tamanho esperado na fase de maturação, possibilitando uma especificação diferenciada por espécie. No que se refere aos calibres PAP 40-60 cm, especificados nos dois casos analisados e correspondentes, em termos de maturidade, a espécies de porte médio a grande, a Tabela 21 situa o requisito entre os 26 e os 36 m³. Estes valores aproximam-se do limite superior do intervalo genérico e, no caso do porte grande, excedem-no. Esta diferença tem consequências na fase de projeto: a aplicação do valor mínimo a uma espécie de

grande porte subdimensiona o volume em cerca de seis metros cúbicos, com efeitos que só se manifestam anos após a conclusão da obra.

5.2.1 Matriz de plantação: cova e colo radicular

A geometria da cova deve ser definida em função do torrão e da posição efetiva do colo radicular, considerando a base de apoio e as condições do solo. A identificação do colo precede a determinação da profundidade, uma vez que a altura exterior do torrão não indica se o colo está devidamente posicionado no seu interior.

O estudo de Bryan et al. (2010) aborda os riscos da plantação profunda, mas não permite atribuir uma cota ótima por afinidade ecológica aos táxons dos dois casos. A Tabela 22 distingue os resultados experimentais das espécies e situações que o referido ensaio não avaliou.

Tabela 22. Cota de plantação do colo radicular em função da tolerância ecológica ao soterramento

Grupo Ecológico	Espécies documentadas na fonte	Espécies atribuídas por afinidade ecológica	Cota do Colo Radicular	Risco Identificado
Sensíveis (solos bem drenados)	*Platanus occidentalis* (Bryan et al., 2010)	*Platanus* × *acerifolia*, *Fagus sylvatica*, *Liquidambar styraciflua*	2,5 a 5 cm acima do nível final, compensando o assentamento posterior à rega de encharcamento	Crítico - elevada mortalidade por anoxia radicular e desenvolvimento de raízes estranguladoras (Bryan et al., 2010)
Tolerantes (zonas húmidas)	*Taxodium distichum* (Bryan et al., 2010)	*Taxodium distichum*, *Salix babylonica*, *Alnus glutinosa*	Ao nível do solo final, admitindo-se pequenas margens em espécies adaptadas a solos sazonalmente inundáveis	Moderado - maior resiliência a condições hipóxicas temporárias, mantendo-se desaconselhado o soterramento excessivo

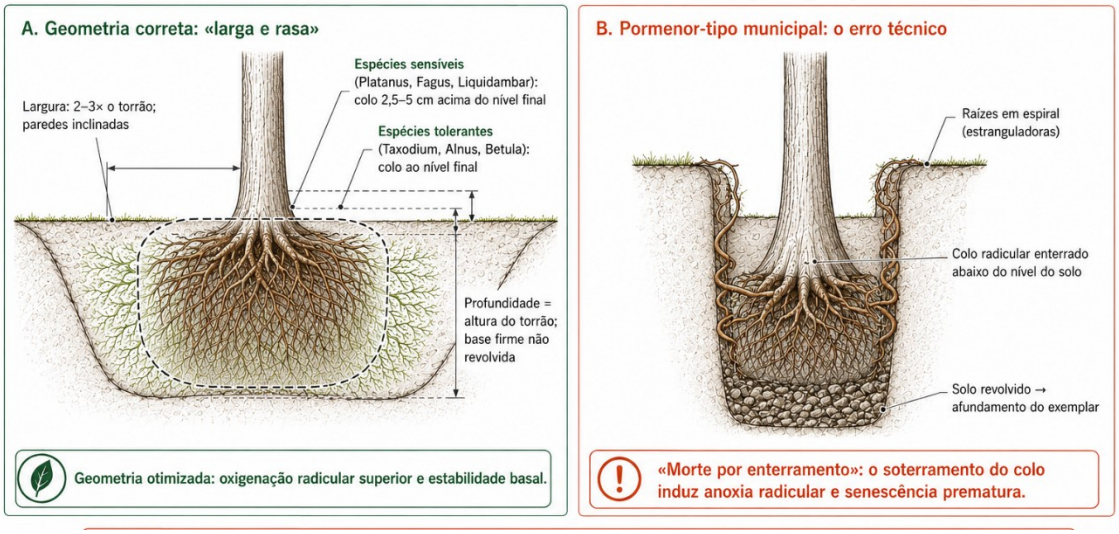


Figura 43. Geometria da cova de plantação e cota do colo radicular por grupo ecológico: configuração larga e pouco profunda, com as duas cotas de referência sobrepostas, acima do nível final para espécies de reduzida tolerância ao soterramento e ao nível final para espécies tolerantes (esq.); cova estreita e profunda de pormenor-tipo corrente, com o colo abaixo do nível final (dir.). Representação esquemática. Fonte: elaboração própria, com base em Bryan et al. (2010); Harris & Bassuk (1993); Urban Tree Foundation (2014); GreenBlue Urban (2021c).

O painel direito da Figura 43 ilustra esquematicamente uma configuração desfavorável, com cova estreita e colo abaixo do nível final. Não representa uma situação observada nos dois casos. A comparação serve para explicitar o parâmetro a verificar e o momento proposto para essa verificação.

Embora não substitua a avaliação específica de cada espécie, a classificação apresentada fornece uma orientação de projeto assente na tolerância de cada espécie ao soterramento. Independentemente do grupo em questão, a identificação prévia do colo radicular e a respetiva verificação antes do enchimento da cova continuam a ser critérios de conformidade na obra.

Os ensaios citados foram realizados em condições que devem ser consideradas na transferência das recomendações. A revisão realizada não permite estabelecer um intervalo universal para o contexto nacional, nem justificar automaticamente a adoção do limite superior. A cota de instalação deve ser definida com base nas características do exemplar, no perfil do solo e nas referências técnicas aplicáveis.

5.2.2 Matriz de estabilização: forma de crescimento e calibre

Tal como a cota de implantação deve corresponder à tolerância ecológica da espécie, o sistema de estabilização deve corresponder à forma de crescimento e ao

calibre do exemplar, nos termos do Princípio 3 (subcapítulo 5.1). A matriz seguinte visa colmatar a lacuna identificada na análise dos dois casos, na medida em que a diferenciação existente se prende com o calibre e não com a forma de crescimento, sem que as peças declarem o critério que rege a atribuição, incluindo nos exemplares multicaule (subcapítulo 4.4.3).

Tabela 23. Matriz de prescrição do sistema de estabilização por forma de crescimento e calibre

Forma de Crescimento	Sistema Recomendado	Material e ferragem	Prazo máximo de permanência	Condições que alteram a escolha
Fuste limpo (PAP < 40cm)	Tutoragem baixa, simples ou dupla, com amarras a altura não superior a um terço da altura do fuste	Cintas elásticas ou de tecido, largura ≥ 25 mm; folga de 2,5 a 5 cm	Uma a duas estações de crescimento; até três em exposição eólica severa	Solos de baixa coesão podem exigir tutoragem dupla
Fuste limpo (PAP ≥ 40cm)	Tutoragem oblíqua ou ancoragem subterrânea do torrão	Cabos de aço de 5 mm, com hélices e roquetes triplos	Idem	A escolha entre os dois sistemas considera a exposição eólica do local e o histórico de produção do exemplar
Fuste plumoso	Ancoragem subterrânea do torrão	Cabos e âncoras enterradas	Idem	Desaconselha-se tutoragem aérea, pela criação de pontos de atrito nos ramos baixos e de pontos de rotura no fuste
Multicaule (h > 500cm)	Ancoragem subterrânea do torrão, com um mínimo de três estacas e cabos em exemplares de altura superior a 400 cm; nos de maior porte, complementada por fixação aérea baixa quando a estabilidade inicial do torrão o justifique	Cintas individuais por fuste, sem solidarização rígida entre eixos	Idem	A independência de movimento de cada eixo é condição do seu crescimento radial

Fonte: elaboração própria, com base em Leiser & Kemper (1968); Appleton et al. (2008); Alvey et al. (2009); Labrosse et al. (2011); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

A resposta biomecânica do fuste aos diferentes sistemas de estabilização foi estabelecida no subcapítulo 3.5.5 (Figura 27).

No entanto, a classificação por forma de crescimento não é o único fator a considerar. O estado do sistema radicular construído no viveiro, o histórico de transplantes sucessivos da espécie e a exposição ao vento no local devem igualmente influenciar a escolha, conforme discutido nos subcapítulos 3.2 e 4.3. Independentemente da tipologia, há dois critérios transversais que devem constar da documentação do projeto: a folga necessária para permitir a oscilação controlada do fuste e o prazo máximo de permanência do sistema, que podem ser verificados durante a obra e nas operações de manutenção.

As três matrizes apresentadas neste subcapítulo refletem os principais critérios de decisão identificados na análise, nomeadamente as condições do solo e da infraestrutura, a cota de implantação e o sistema de estabilização. Para serem aplicadas na obra, é necessário traduzi-las em detalhes construtivos que possam ser integrados nos desenhos técnicos e nas peças escritas. Essa tradução é desenvolvida no subcapítulo seguinte.

5.3 Pormenores Construtivos: Da Matriz ao Desenho Técnico

As matrizes apresentadas no subcapítulo anterior definem os critérios que orientam a escolha técnica consoante o contexto, a espécie e a tipologia de crescimento. Este subcapítulo traduz esses critérios em pormenores construtivos, materializando as soluções a incluir nos desenhos técnicos e nas peças escritas que acompanham a obra. Os pormenores articulam quatro componentes: o volume e a qualidade do meio de enraizamento, o arejamento, a distribuição de água à zona radicular e a estabilização do torrão. A figura 44 representa-os de forma integrada em contexto de arruamento, por ser aquele em que a restrição de solo obriga a mobilizar os quatro em simultâneo, os pontos seguintes isolam cada um em pormenores aplicáveis a qualquer contexto de instalação.

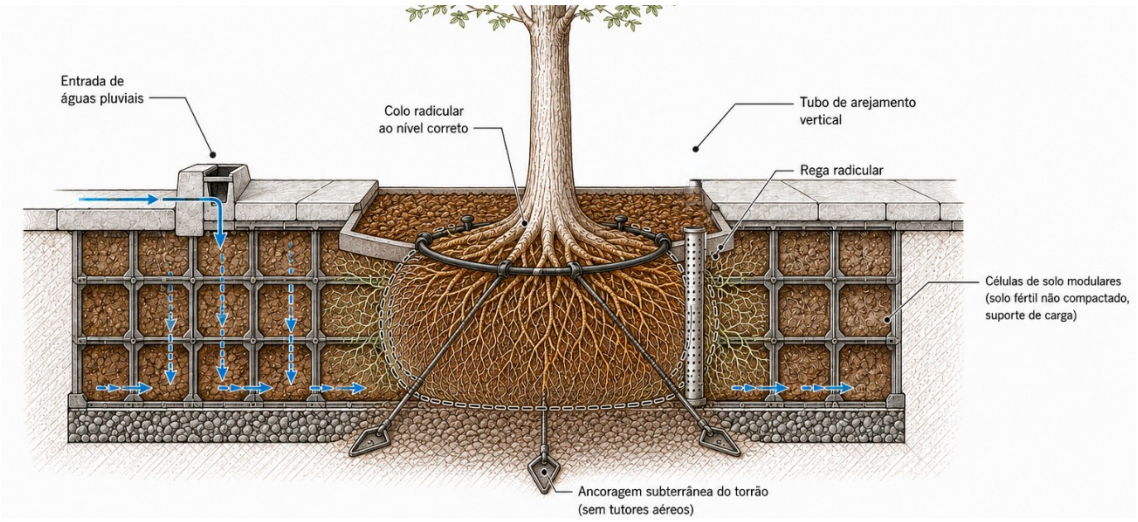


Figura 44. Corte integrado de caldeira em contexto de arruamento, articulando os quatro componentes da solução: volume e qualidade do meio de enraizamento em sistema modular de células de solo, arejamento por tubo vertical, distribuição de água à zona radicular com entrada de águas pluviais, e ancoragem subterrânea do torrão sem elementos aéreos. Representação esquemática. Fonte: elaboração própria, com base em GreenBlue Urban (2021c); Grabosky & Bassuk (2016).

Os pormenores relativos aos solos estruturados e aos pavimentos suspensos correspondem, contudo, aos dois cenários alternativos apresentados no Anexo IV, e não a componentes cumuláveis entre si: a Figura 44 representa um deles.

5.3.1 Geometria da cova e cota do colo radicular

O pormenor apresenta uma proposta esquemática de articulação entre o torrão, o colo radicular, a base de apoio e o terreno acabado. As dimensões finais devem resultar do exemplar, do solo, da drenagem e das condições de instalação. A representação não constitui um pormenor universal nem valida uma cota por grupo ecológico; a identificação e a verificação do colo devem preceder o enchimento.

O fabricante apresenta materiais porosos destinados a promover a retenção e a distribuição de água. Este trabalho não avaliou o desempenho desses produtos em condições reais nem os considera substitutos do protocolo de rega. A sua utilização eventual exige a consulta da respetiva ficha técnica, bem como das condições de instalação, manutenção e desempenho demonstradas na documentação.

As soluções construtivas concebidas para a restrição de solo em arruamentos, solos estruturados e pavimentos suspensos são específicas de um contexto que nenhum dos casos analisados apresenta. Por conseguinte, são remetidas para o Anexo IV, onde se encontram os respetivos critérios de decisão e pormenores.

5.3.2 Ancoragem subterrânea do torrão

A ancoragem subterrânea imobiliza o torrão sem afetar o fuste, um princípio estabelecido no subcapítulo 3.5.3. A matriz do subcapítulo 5.2.3 apresenta-a como sistema de base para as tipologias de fuste plumoso e multicaule e como alternativa à tutoragem oblíqua para os exemplares de fuste único com um PAP igual ou superior a 40 cm. Além da vantagem biomecânica, há também a vantagem de não haver elementos visíveis à superfície, o que elimina a interferência do sistema na leitura do exemplar e reduz a exposição a atos de vandalismo, como é referido no subcapítulo 1.1.

O pormenor está organizado em planta e em corte (Figura 45, figura ampliada no Anexo VII). Três cintas de tecido, dispostas radialmente com um ângulo de 120°, assentam sobre os ombros do torrão e apresentam uma almofada de proteção no ponto de contacto. São tensionadas por esticadores ancorados no solo nativo não revolvido até atingir o solo firme. A triangulação confere estabilidade multidirecional e nenhuma das cintas entra em contacto com o fuste. O colo radicular mantém-se a uma distância de 2,5 a 5 cm acima do nível final do terreno, com a aplicação de uma cobertura do solo em forma de "donut", sem contacto com o tronco, conforme descrito nos subcapítulos 5.3.1 e 3.6.2.2.

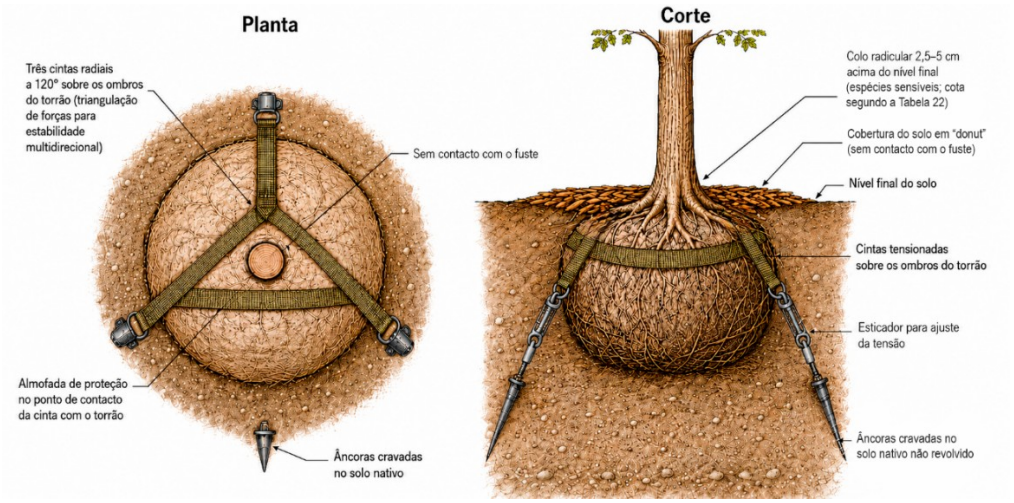


Figura 45. Sistema de ancoragem subterrânea do torrão por cintas radiais, em planta e em corte. Representação esquemática. Fonte: elaboração própria, com base em Urban Tree Foundation (2014); Appleton et al. (2008); Alvey, Wiseman & Kane (2009).6.3.6. Matriz Comparativa para Apoio à Decisão de Projeto

A especificação da ancoragem deve identificar os componentes, a forma de instalação, a capacidade de fixação apropriada ao terreno, bem como os procedimentos de

inspeção e manutenção. A possibilidade de ajustar, remover ou manter elementos enterrados depende do sistema e dos materiais utilizados, devendo ser prevista no projeto e respeitar as condições de utilização. Não se presume a impossibilidade de remoção nem se exige uma degradação programada sem que haja documentação que demonstre o comportamento e a duração dos componentes (Urban Tree Foundation, 2014).

Os detalhes apresentados materializam os princípios e as matrizes desenvolvidos ao longo deste capítulo em soluções construtivas: a geometria da cova e a cota do colo aplicam-se transversalmente a qualquer contexto e decorrem dos critérios apresentados no Anexo IV; a coexistência com as infraestruturas de serviço é independente dessa escolha e aplica-se a ambos os cenários; a ancoragem subterrânea responde à prescrição do subcapítulo 5.2.3 para as tipologias de fuste plumoso e multicaule. No entanto, todos eles descrevem operações que se executam num momento específico. O que não é resolvido é o tempo que decorre a seguir.

5.4. Condições Contratuais para a Execução das Especificações

Este subcapítulo propõe explicitar responsabilidades, duração do acompanhamento e registos de verificação, articulando-os com os instrumentos técnicos anteriores. Trata-se de uma proposta de organização documental para futuras intervenções. A análise não incluiu os contratos dos dois casos nem permite avaliar a suficiência jurídica ou a viabilidade económica destas recomendações.

5.4.1 Manutenção em função do calibre

A duração do acompanhamento deve ser fundamentada pelas necessidades do exemplar e pelas condições de instalação e manutenção. As estimativas bibliográficas de recuperação devem ser distinguidas de prazos contratuais e não substituem o acompanhamento do caso concreto. O trabalho não dispõe dos contratos dos dois casos para comparar essas durações.

A Tabela 24 apresenta uma proposta de organização do acompanhamento por classes de calibre, que permanece por validar. Não foi realizada análise económica que permita afirmar a viabilidade ou a inviabilidade de cobrir todo o período de recuperação. A fixação de prazos exige, por isso, revisão das referências, consideração de outros fatores além do calibre e avaliação técnica e económica específica.

Tabela 24. Período de estabelecimento estimado e requisitos mínimos de monitorização e manutenção, por intervalo de calibre.

PAP (cm)	Estabelecimento (PAP/8)	Período contratual mínimo proposto	Monitorização mínima	Operações associadas
8 -14	~1–2 anos	2 anos	Trimestral no 1.º ano	Rega de estabelecimento; remoção dos suportes findas uma a duas estações de crescimento
16–25	~2–3 anos	2 anos	Trimestral nos 2 primeiros anos	Rega de estabelecimento; verificação da folga das amarras e remoção dos suportes; verificação da cota do colo
30–40	~4–5 anos	3 anos	Semestral	Rega de estabelecimento prolongada; verificação da tensão dos cabos em tutoragem oblíqua; remoção dos suportes no prazo fixado
45–60	~6–8 anos	4 anos	Semestral nos 3 primeiros anos, anual depois	Rega de estabelecimento; monitorização funcional por indicadores (tamanho relativo da folha, alongamento dos rebentos terminais); verificação da ancoragem
60+	~8–10 anos	5 anos	Anual, com registo funcional	Manutenção prolongada; monitorização funcional; verificação da estabilidade do sistema de ancoragem

Nota: Síntese dos critérios desenvolvidos nos Capítulos 4 e 5. Os valores da terceira coluna constituem proposta deste trabalho, não inferior à fase crítica de vulnerabilidade estabelecida no subcapítulo 3.6.1 e crescente com o calibre instalado. Fonte: elaboração própria, com base em Watson (1985, 2005); City of Raleigh Urban Forestry (2021); GreenBlue Urban (2021c); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

5.4.2 A atribuição de responsabilidade

A documentação técnica deve tornar legível a atribuição das tarefas de acompanhamento, sem que esta análise permita determinar as obrigações jurídicas dos

intervenientes. Nas peças consultadas não foi identificado um protocolo completo de rega ou de inspeção e remoção dos suportes. Propõe-se indicar, para cada operação, o responsável, a periodicidade, o registo e o momento de verificação, em articulação com os instrumentos contratuais aplicáveis.

5.4.3 A participação na definição dos documentos

A explicitação dos critérios deverá articular os contributos do produtor, do projetista, do dono de obra e dos responsáveis pela execução e manutenção, conforme a organização de cada intervenção. Os esclarecimentos de um responsável e a análise de dois casos da mesma entidade não permitem afirmar que o setor conhece, mas não formaliza, esses critérios. A participação na preparação das peças constitui uma recomendação do trabalho, cuja aplicação deve ser discutida com os intervenientes.

As matrizes, os pormenores e as condições contratuais aqui propostos derivam da literatura e da análise documental de dois casos, não tendo sido confrontados com a execução em obra. É nesta condição que o capítulo seguinte retoma as questões de investigação enunciadas no subcapítulo 1.3.2.

6. Conclusões

6.1 Síntese Crítica: O que Condiciona a Viabilidade na Instalação de Árvores Adultas

A análise dos três capítulos anteriores levou à seguinte conclusão: a instalação de um exemplar adulto não é decidida num único gesto técnico, mas sim numa sequência de decisões distribuídas por fases, entidades e horizontes temporais distintos. O responsável do viveiro chama a esta sequência de decisões "cadeia de eventos ininterrupta" (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal). A falha de um elo pode pôr em causa os resultados das operações realizadas em todas as fases anteriores, independentemente do rigor com que tenham sido executadas (Figura 46).

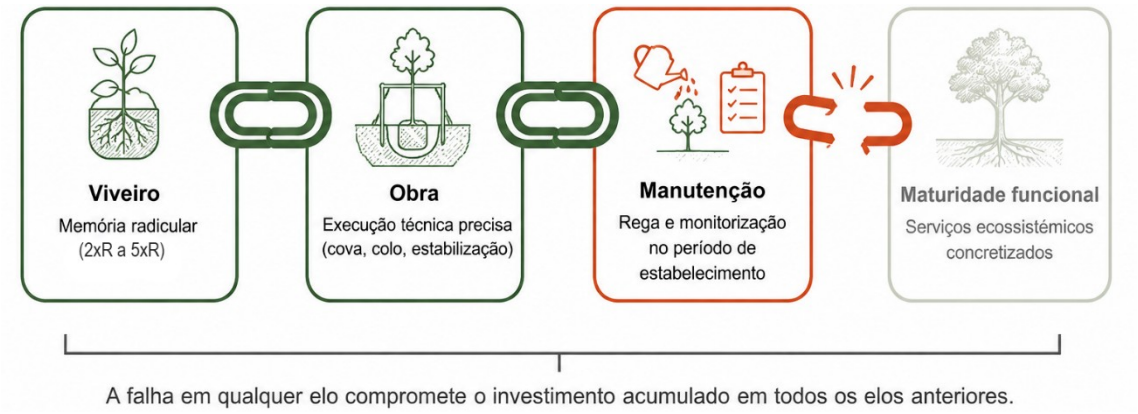


Figura 46. A cadeia de eventos ininterrupta»: articulação sequencial entre a qualidade do material produzido em viveiro (memória radicular, 2xR a 5xR), a precisão da execução em obra e o rigor da manutenção pós-instalação, da qual depende a concretização da maturidade funcional. Uma falha em qualquer elo pode comprometer o benefício acumulado nos anteriores. Fonte: elaboração própria, com base em Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal); Struve (2009).

Em resposta à primeira questão, as peças dos dois casos identificam espécies, calibres e várias operações de instalação, mas não permitem reconstituir todos os requisitos relativos à produção, à receção e ao estabelecimento. A informação sobre ciclos de produção e antecedência de encomenda foi fornecida pelo responsável de viveiro e não constitui rastreabilidade individual dos exemplares. Não foi identificado nas peças um protocolo completo de rega e acompanhamento. Esta conclusão não demonstra interrupção efetiva da articulação entre equipas nem ausência de obrigações em contratos não consultados.

Relativamente à segunda questão, encontram-se diferentes graus de explicitação: algumas soluções são descritas, outras são mencionadas sem os critérios que permitem avaliar a sua seleção, e determinados requisitos não foram identificados. A estabilização ilustra a diferença entre designar um sistema e explicitar a sua atribuição. Estes resultados não permitem estabelecer uma hierarquia dos fatores de sucesso, demonstrar inadequação das soluções ou determinar a causa das omissões. A facilidade de verificação de uma operação é uma hipótese interpretativa, a considerar juntamente com a fase dos estudos prévios e a eventual existência de informação em documentos não consultados.

Em resposta à terceira questão, o Capítulo 5 propõe princípios, matrizes de decisão e pormenores que procuram explicitar critérios e momentos de verificação. As recomendações urbanas decorrem da revisão bibliográfica, enquanto os casos contribuem para identificar limites de explicitação documental. Os instrumentos não foram aplicados ou testados, pelo que a sua utilidade permanece uma hipótese fundamentada. O desenvolvimento de um protocolo referido pelo responsável de viveiro situa essa preocupação na entidade analisada, sem demonstrar uma necessidade reconhecida por todo o setor.

6.2. Limitações do Trabalho

O alcance do trabalho está condicionado, em primeiro lugar, pelo corpus e pela fase dos documentos. Foram consultados estudos prévios, planos de plantação, elencos e orçamentos, mas não planos gerais, projetos de execução, cadernos de encargos, contratos ou planos de manutenção. A informação não identificada nestas peças pode constar de outros documentos. Não houve participação na conceção nem acompanhamento da execução ou do estabelecimento, pelo que não foram avaliados resultados das plantações ou incumprimentos.

Em segundo lugar, a seleção dos casos e parte da informação técnica dependem da mesma entidade. Os casos foram indicados pelo responsável de viveiro pela sua escala, e os esclarecimentos foram obtidos em conversas informais e por questões e respostas escritas. O confronto com a literatura permite uma leitura crítica, mas não constitui validação independente. O procedimento de revisão bibliográfica descrito, apoiado também em recomendações da orientadora e da entidade, não permite reivindicar o carácter de revisão sistemática ou cobertura exaustiva da produção científica.

Em terceiro lugar, dois casos da mesma entidade, ambos fora do meio urbano consolidado, não constituem uma amostra representativa do setor. O seu contraste não permite isolar variáveis do local e do processo, explicar causalmente as omissões ou generalizar a sua frequência. A aplicação ao meio urbano assenta na literatura e exige adaptação a condições que não foram medidas nestes casos.

Por último, os instrumentos propostos não foram aplicados ou validados. Os seus critérios e valores exigem verificação das referências e adequação ao local, e a sua eficácia, viabilidade económica e articulação contratual permanecem por avaliar.

6.3 Perspetivas de Investigação Futura

As limitações identificadas definem, elas próprias, as direções mais úteis para investigação futura.

6.3.1 Transferibilidade climática e ensaios nacionais

Em contexto português, a investigação poderá acompanhar o estabelecimento de árvores de diferentes espécies, dimensões e sistemas de produção, relacionando a evolução do crescimento e o estado hídrico com o solo, o clima e a manutenção. O objetivo será avaliar que indicadores e modelos descrevem adequadamente a recuperação local, em vez de se partir do princípio que uma fórmula única baseada no PAP necessita apenas de um fator de correção.

A DIAPLANT, devido à sua integração entre a produção, o projeto e a execução, está bem posicionada para realizar ensaios desta natureza. Poderá realizar estudos que correlacionem indicadores fisiológicos objetivos, como o potencial hídrico do xilema e a taxa de elongação dos rebentos, com o tempo de estabelecimento real observado em diferentes regiões, contrastando o regime atlântico do noroeste peninsular com o regime mediterrânico do interior e do sul.

6.3.2 Monitorização radicular não invasiva

O radar de penetração no solo possibilita a criação de mapas da arquitetura radicular sob o pavimento, sem ser necessário realizar uma intervenção destrutiva (Nichols et al., 2017). A sua integração em protocolos de monitorização após a instalação permitiria validar o desenvolvimento radicular nos sistemas de solo

estruturado e de pavimento suspenso apresentados no Anexo IV com evidência direta, o que é particularmente relevante em vias públicas, onde a verificação visual do sistema radicular é, por definição, impraticável.

6.3.3 Dendromecânica de precisão e modelação 3D

Num contexto mais prospetivo, a aplicação da tecnologia LIDAR por Bobek (2025) à análise dendromecânica de espécies existentes poderia ser alargada ao desenvolvimento de sistemas de estabilização adaptados a espécies veteranas ou monumentais, onde a geometria específica da copa e do fuste influencia de maneira única a distribuição das cargas eólicas. Esta é uma questão que vai além do âmbito deste relatório, mas que está alinhada com a natureza dos problemas nele identificados.

A instalação de árvores adultas exige articular a informação de produção, as decisões de projeto e o acompanhamento após a plantação. O contributo deste trabalho consiste em identificar o que é possível reconstituir a partir de dois conjuntos documentais e propor formas de explicitar critérios e verificações. A relação entre esses instrumentos e os resultados das árvores permanece uma questão a avaliar através de aplicação e monitorização em casos concretos.

Referências Bibliográficas

ACB Paisagem. (s.d.). Arborização da EXPO'98. https://acbpaisagem.com/arborizacao-da-expo98/

ACIPN. (2018). Árvores com história. Associação Cívica do Parque das Nações. Consultado em maio de 2026, em https://www.acipn.pt/2016/09/06/arvores-com-historia/

Agro de Arend. (s.d.a). Eco Keeper / Bio kluitverankering. Consultado em junho de 2026, em https://www.agrodearend.com/nl/producten/groeiplaatsinrichting/eco-keeper-bio-kluitverankering

Agro de Arend. (s.d.b). Plant support materials. Consultado em junho de 2026, em https://www.agrodearend.com/en/products/plant-support-materials

Agro de Arend. (s.d.c). Rootballing materials. Consultado em junho de 2026, em https://www.agrodearend.com/en/products/rootballing-materials

Agro de Arend. (s.d.d). Tying and fastening materials. Consultado em junho de 2026, em https://www.agrodearend.com/en/products/tying-and-fastening-materials

Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. Solar Energy, 70(3), 295–310. https://doi.org/10.1016/s0038-092x(00)00089-x.

Allen, K. S., Harper, R. W., Bayer, A., & Brazee, N. J. (2017). A review of nursery production systems and their influence on urban tree survival. Urban Forestry & Urban Greening, 21, 183–191. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.12.002.

Alvey, A., Wiseman, P. E., & Kane, B. (2009). Efficacy of conventional tree stabilization systems and their effect on short-term tree development. Arboriculture & Urban Forestry, 35(3), 157–164. https://doi.org/10.48044/jauf.2009.028.

Amoroso, G., Frangi, P., Piatti, R., Ferrini, F., Fini, A., & Faoro, M. (2010). Effect of container design on plant growth and root deformation of littleleaf linden and field elm. HortScience, 45(12), 1824–1829. https://doi.org/10.21273/hortsci.45.12.1824.

Appleton, B. L. (1989). Evaluation of nursery container designs for minimization or prevention of root circling. Journal of Environmental Horticulture, 7(2), 59–61. https://doi.org/10.24266/0738-2898-7.2.59.

Appleton, B. L. (1995). Nursery production methods for improving tree roots — An update. Journal of Arboriculture, 21(6), 265–270. https://doi.org/10.48044/jauf.1995.043.

Appleton, B. L., Cannella, C. M., Wiseman, P. E., & Alvey, A. (2008). Tree stabilization: Current products and practices. Arboriculture & Urban Forestry, 34(1), 54–58. https://doi.org/10.48044/jauf.2008.008.

Appleton, B. L., & French, S. (1992). Current attitudes toward and uses of tree trunk protective wraps, paints and devices. Journal of Arboriculture, 18(1), 15–20. https://doi.org/10.48044/jauf.1992.004.

Arango, A. (2015). Soil structure and tree health in urban areas: What do we need to know? (Ficha técnica). The Connecticut Agricultural Experiment Station. https://portal.ct.gov/-/media/CAES/DOCUMENTS/Publications/Fact_Sheets/Forestry_and_Horticulture/SoilstructureandtreehealthinurbanareasArangoMarch2015pdf.pdf.

Avolio, M. L., Pataki, D. E., Trammell, T. L. E., & Endter-Wada, J. (2018). Biodiverse cities: The nursery industry, homeowners, and neighborhood differences drive urban tree composition. Ecological Monographs, 88(2), 259–276. https://doi.org/10.1002/ecm.1290.

Bainard, L. D., Klironomos, J. N., & Gordon, A. M. (2011). The mycorrhizal status and colonization of 26 tree species growing in urban and rural environments. Mycorrhiza, 21(2), 91–96. https://doi.org/10.1007/s00572-010-0314-6.

Banks, J. M., & Percival, G. C. (2014). Failure of foliar-applied biostimulants to enhance drought and salt tolerance in urban trees. Arboriculture & Urban Forestry, 40(2), 78–83. https://doi.org/10.48044/jauf.2014.009.

Beeson, R. C., Jr., & Gilman, E. F. (1992). Diurnal water stress during landscape establishment of slash pine differs among three production methods. Journal of Arboriculture, 18(6), 281–287. https://doi.org/10.48044/jauf.1992.054.

Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2006). Green infrastructure: Linking landscapes and communities. Island Press.

Benjamin, M. T., Sudol, M., Bloch, L., & Winer, A. M. (1996). Low-emitting urban forests: A taxonomic methodology for assigning isoprene and monoterpene emission rates. Atmospheric Environment, 30(9), 1437–1452. https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00439-4.

Berland, A., Shiflett, S. A., Shuster, W. D., Garmestani, A. S., Goddard, H. C., Herrmann, D. L., & Hopton, M. E. (2017). The role of trees in urban stormwater management. Landscape and Urban Planning, 162, 167–177. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.017.

Bobek, W. (2025). Tree supports - A method for managing the protection of habitat trees, increasing biodiversity and the resilience of urban ecosystems. Land, 14(11), 2200. https://doi.org/10.3390/land14112200.

Bradshaw, A., Hunt, B., & Walmsley, T. (1995). Trees in the urban landscape: Principles and practice. E & FN Spon.

Bryan, D. L., Arnold, M. A., Volder, A., Watson, W. T., Lombardini, L., Sloan, J. J., Valdez-Aguilar, L. A., & Cartmill, A. D. (2010). Transplant season, irrigation, and planting depth effects on landscape establishment of baldcypress and sycamore. Arboriculture & Urban Forestry, 36(2), 57–65. https://doi.org/10.48044/jauf.2010.008.

Burden, D. (2006). Urban street trees: 22 benefits, specific applications. Glatting Jackson; Walkable Communities, Inc.

Caldeira Cabral, F., & Ribeiro Telles, G. (2005). A árvore em Portugal (2.ª ed.). Assírio & Alvim.

Câmara Municipal do Porto. (2023). Plano Municipal de Arborização da Cidade do Porto. CMP.

Churkina, G., Kuik, F., Bonn, B., Lauer, A., Grote, R., Tomiak, K., & Butler, T. M. (2017). Effect of VOC emissions from vegetation on air quality in Berlin during a heatwave. Environmental Science & Technology, 51(11), 6120–6130. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06514.

City of Raleigh Urban Forestry. (2021). City tree manual: Arboricultural specifications and standards of practice. Parks, Recreation and Cultural Resources Department.

Comissão Europeia. (s.d.). Smart textiles made from agriculture and natural waste materials (SMARTWASTE, projeto 101086258) (Ficha de projeto). CORDIS. https://cordis.europa.eu/project/id/101086258.

Comissão Europeia. (2013). Infraestrutura verde - Valorizar o capital natural da Europa (COM(2013) 249 final). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:52013DC0249

Conway, T. M., & Vander Vecht, J. (2015). Growing a diverse urban forest: Species selection decisions by practitioners planting and supplying trees. Landscape and Urban Planning, 138, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.01.007.

DIAPLANT. (2024). (Estudo prévio do projeto PROEF, Resende) (Documento interno).

DIAPLANT. (2025). (Estudo prévio da Quinta das Quebradas, Baião) (Documento interno).

DIAPLANT. (2026). Cuidados básicos na plantação de árvores (Documento técnico interno). Gondar, Amarante: DIAPLANT.

Dowtin, A. L., Cregg, B. C., Nowak, D. J., & Levia, D. F. (2023). Towards optimized runoff reduction by urban tree cover: A review of key physical tree traits, site conditions, and management strategies. Landscape and Urban Planning, 239, 104849. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104849.

Dudzik, K. R. (1988). Macro-microscopic anatomy: Obtaining a composite view of barrier zone formation in Acer saccharum. IAWA Bulletin n.s., 9(2), 183–186. https://research.fs.usda.gov/download/treesearch/50401.pdf

Embrén, B. (2016). Planting urban trees with biochar. The Biochar Journal. https://www.biochar-journal.org/en/ct/77-Planting-Urban-Trees-with-Biochar.

Ferrini, F., & Baietto, M. (2006). Response to fertilization of different tree species in the urban environment. Arboriculture & Urban Forestry, 32(3), 93–99. https://doi.org/10.48044/jauf.2006.012.

Ferrini, F., Nicese, F. P., Mancuso, S., & Giuntoli, A. (2000). Effect of nursery production method and planting techniques on tree establishment in urban sites: Preliminary results. Journal of Arboriculture, 26(5), 281–284. https://doi.org/10.48044/jauf.2000.035.

Forestry Commission. (2018). The right tree in the right place for a resilient future (Urban tree manual). https://www.forestresearch.gov.uk/publications/urban-tree-manual/.

Ghorui, M., Chowdhury, S., Balu, P., & Burla, S. (2024). Arbuscular mycorrhizal inoculants and its regulatory landscape. Heliyon, 10(9), e30359. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30359.

Gilman, E. F., Black, R. J., & Dehgan, B. (1998). Irrigation volume and frequency and tree size affect establishment rate. Journal of Arboriculture, 24(1), 1–9. https://doi.org/10.48044/jauf.1998.001.

Gilman, E. F., & Harchick, C. (2008). Planting depth in containers affects root form and tree quality. Journal of Environmental Horticulture, 26(3), 129–134. https://doi.org/10.24266/0738-2898-26.3.129.

Gilman, E. F., & Kempf, B. (2009). Nursery tree production strategies. Urban Tree Foundation.

Gilman, E. F., Miesbauer, J., Harchick, C., & Beeson, R. C. (2013). Impact of tree size and container volume at planting, mulch, and irrigation on Acer rubrum L. growth and anchorage. Arboriculture & Urban Forestry, 39(4), 173–181. https://doi.org/10.48044/jauf.2013.023.

Gilman, E. F., Paz, M., & Harchick, C. (2015). Retention time in three nursery container volumes impacts root architecture. Arboriculture & Urban Forestry, 41(3), 146–154. https://doi.org/10.48044/jauf.2015.015.

Gilman, E. F., Paz, M., & Harchick, C. (2017). Effects of retention time in nursery containers and root pruning at planting on landscape establishment and anchorage of three tree taxa. Arboriculture & Urban Forestry, 43(1), 27–37. https://doi.org/10.48044/jauf.2017.003.

Grabosky, J., & Bassuk, N. (1995). A new urban tree soil to safely increase rooting volumes under sidewalks. Journal of Arboriculture, 21(4), 187–201. https://doi.org/10.48044/jauf.1995.030.

Grabosky, J., & Bassuk, N. (2016). Seventeen years' growth of street trees in structural soil compared with a tree lawn in New York City. Urban Forestry & Urban Greening, 16, 103–109. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.02.002.

Grabosky, J., Bassuk, N., & von Es, H. (1996). Testing of structural urban tree soil materials for use under pavement to increase street tree rooting volumes. Journal of Arboriculture, 22(6), 255–263. https://doi.org/10.48044/jauf.1996.039.

GreenBlue Urban. (2019a). ArborGuy anchor plate installation guide.

GreenBlue Urban. (2019b). ArborSystem installation manual.

GreenBlue Urban. (2021a). Overhead guying installation instructions.

GreenBlue Urban. (2021b). Staking and guying trees in the landscape.

GreenBlue Urban. (2021c). Urban tree planting design guide (9.ª ed.). GreenBlue Urban Ltd.

Harris, C. W., & Dines, N. T. (Eds.). (1998). Time-saver standards for landscape architecture (2.ª ed.). McGraw-Hill.

Harris, J. R., & Bassuk, N. L. (1993). Tree planting fundamentals. Journal of Arboriculture, 19(2), 64–70. https://doi.org/10.48044/jauf.1993.012.

Harris, R. W. (1984). Effects of pruning and staking on landscape trees. Journal of Environmental Horticulture, 2(4), 140–142. https://doi.org/10.24266/0738-2898-2.4.140.

Hewitt, A., & Watson, G. W. (2009). Bare root liner production can alter tree root architecture. Journal of Environmental Horticulture, 27(2), 99–104. https://doi.org/10.24266/0738-2898-27.2.99.

Hilbert, D. R., Koeser, A. K., Roman, L. A., Andreu, M. G., Hansen, G., Thetford, M., & Northrop, R. J. (2022). Selecting and assessing underutilized trees for diverse urban forests: A participatory research approach. Frontiers in Ecology and Evolution, 10, 759693. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.759693.

Hirons, A. D., & Thomas, P. A. (2018). Applied tree biology. Wiley-Blackwell.

Labrosse, K., Corry, R., & Zheng, Y. (2011). Effects of tree stabilization systems on tree health and implications for planting specifications. Arboriculture & Urban Forestry, 37(5), 219–225. https://doi.org/10.48044/jauf.2011.029.

Leiser, A. T., & Kemper, J. D. (1968). A theoretical analysis of a critical height of staking landscape trees. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, 92, 713–720.

Levinsson, A. (2013). Post-transplant shoot growth of trees from five different production methods is affected by site and species. Arboriculture & Urban Forestry, 39(5), 201–210. https://doi.org/10.48044/jauf.2013.026.

Levinsson, A. (2015). Urban tree establishment: The impact of nursery production systems and assessment methods (Tese de Doutoramento, Swedish University of Agricultural Sciences).

Levinsson, A., Sæbø, A., & Fransson, A. M. (2014). Influence of nursery production system on water status in transplanted trees. Scientia Horticulturae, 178, 124–131. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.08.020.

LITE-SOIL GmbH. (s.d.). LITE-NET Bio5: Biodegradable water storage net for trees (Product information). Vienna: LITE-SOIL GmbH. Consultado em junho de 2026, em https://lite-soil.com/product/lite-net-bio5/

LITE-SOIL GmbH. (2018). LITE-DRAIN: Active underground irrigation (Product brochure). Vienna: LITE-SOIL GmbH. Consultado em junho de 2026, em https://astrokat.gr/wp-content/uploads/2018/12/Lite-Soil_Brochure_EN.pdf

Littlewood, M. (1997). Landscape detailing volume 3: Structures (3.ª ed.). Routledge.

Lorenz von Ehren Baumschule. (s.d.). Von Ehren Kompendium: Bäume und Sträucher für die Zukunft (6.ª ed.).

Lorenz von Ehren Baumschule. (2016). Klimabaumhain: Begrenzter Raum — Unbegrenzte Möglichkeiten.

Lorenz von Ehren Baumschule. (2020a). Klimabaumhain Broschüre: Stadtbäume für die Zukunft.

Lorenz von Ehren Baumschule. (2020b). Stadtbäume: Planung und Verwendung.

Lorenz von Ehren Baumschule. (2023). Professional tips: Urban tree planting & establishment.

Matos, A. R. B. (2021). Gestão do sistema de vegetação arbóreo em espaço urbano: Manual de boas práticas e documentário (Trabalho de projeto de mestrado, Universidade de Évora). https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/29835.

McPherson, E. G., Nowak, D. J., & Rowntree, R. A. (Eds.). (1994). Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project (General Technical Report NE-186). U.S. Department of Agriculture.

Moser, A., Uhl, E., Rötzer, T., Biber, P., Dahlhausen, J., Lefer, B., & Pretzsch, H. (2017). Effects of climate and the urban heat island effect on urban tree growth in Houston. Open Journal of Forestry, 7(4), 428–445. https://doi.org/10.4236/ojf.2017.74026.

Nichols, P., McCallum, A., & Lucke, T. (2017). Using ground penetrating radar to locate and categorise tree roots under urban pavements. Urban Forestry & Urban Greening, 27, 9–14. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.06.019.

Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. Urban Forestry & Urban Greening, 4(3-4), 115–123. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007.

Parque das Nações. (s.d.). Sobre o parque. Consultado em maio de 2026, em https://www.portaldasnacoes.pt/

Pryor, M., & Watson, G. W. (2016). Mature tree transplanting: Science supports best management practice. Arboricultural Journal, 38(1), 2–27. https://doi.org/10.1080/03071375.2016.1157401.

Rahman, M. A., Moser, A., Rötzer, T., & Pauleit, S. (2017). Microclimatic differences and their influence on transpirational cooling of Tilia cordata in two contrasting street canyons in Munich, Germany. Agricultural and Forest Meteorology, 232, 443–456. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.10.006.

RISCO. (s.d.). Expo'98 — Espaço público do recinto. https://www.risco.org/pt/projectos/espaco-publico/expo98

Robinson, N. (2004). The planting design handbook (2.ª ed.). Ashgate Publishing Limited.

RootSpace. (2019). RootSpace installation guide.

RootSpace. (2021). RootSpace ArborSystem installation guide.

Salva, C. L., Ordista, D. M. B., Sanchez, P. D. C., & Sanchez, J. J. J. (2025). Exploring the potential of coconut coir fiber as a biodegradable mulch: Properties, uses, processing methods, and applications. Bioresource Technology Reports, 32, 102377. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2025.102377.

Savi, T., Bertuzzi, S., Branca, S., Tretiach, M., & Nardini, A. (2015). Drought-induced xylem cavitation and hydraulic deterioration: Risk factors for urban trees under climate change? New Phytologist, 205(3), 1106–1116. https://doi.org/10.1111/nph.13112

Selbig, W. R., Loheide, S. P., II, Shuster, W., Scharenbroch, B. C., Coville, R. C., Kruegler, J., Avery, W., Haefner, R., & Nowak, D. (2022). Quantifying the stormwater runoff volume reduction benefits of urban street tree canopy. Science of The Total Environment, 806, 151296. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151296.

Smiley, E. T., Fraedrich, B. R., & Hendrickson, N. (s.d).

Soares, A. L. (2006). O valor das árvores: Árvores e floresta urbana de Lisboa (Tese de doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa). https://repositorio.ulisboa.pt/entities/publication/d4496e94-21e6-4b49-baa8-833e9e57bf4f.

Stockholm Tree Pits. (s.d.a). Tree pit design: Soil volume guidance (v. 1.4). https://stockholmtreepits.co.uk/assets/downloads/soil-volume-guidance-v1-4.pdf.

Stockholm Tree Pits. (s.d.b). Tree pits with structural soils: Practice note (v. 1.4). https://stockholmtreepits.co.uk/assets/downloads/tree-pits-with-structural-soils-practice-note-V1-4.pdf.

Struve, D. K. (2009). Tree establishment: A review of some of the factors affecting transplant survival and establishment. Arboriculture & Urban Forestry, 35(1), 10–13. https://doi.org/10.48044/jauf.2009.003.

Trees and Design Action Group. (2014). Trees in hard landscapes: A guide for delivery. https://www.tdag.org.uk/trees-in-hard-landscapes.html.

University of California Statewide IPM Program. (s.d.). Sunburn. University of California Agriculture and Natural Resources. https://ipm.ucanr.edu/home-and-landscape/sunburn/

Urban, J. (2008). Up by roots: Healthy soils and trees in the built environment. International Society of Arboriculture.

Urban Tree Foundation. (2009). Guideline specifications for nursery tree quality (Revisão de 2009). https://www.urbantree.org/pdf/NurseryTreeSpecs1.pdf.

Urban Tree Foundation. (2014). Planting specifications (32 9300) (Modelo de especificação). https://www.urbantree.org/pdf_pds/UTF_Planting_Final_Version.pdf.

Van Geel, M., Yu, K., Peeters, G., van Acker, K., Ramos, M., Serafim, C., Kastendeuch, P., Najjar, G., Améglio, T., Ngao, J., Saudreau, M., Castro, P., Somers, B., & Honnay, O. (2019). Soil organic matter rather than ectomycorrhizal diversity is related to urban tree health. PLOS ONE, 14(11), e0225714. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225714.

Vannucci Piante. (2025). Catálogo Vannucci Piante 2025–2026. Quarrata, Itália.

Watson, G. W. (1985). Tree size affects root regeneration and top growth after transplanting. Journal of Arboriculture, 11(2), 37–40. https://doi.org/10.48044/jauf.1985.009.

Watson, G. W., Hewitt, A. M., Custic, M., & Lo, M. (2014a). The management of tree root systems in urban and suburban settings: A review of soil influence on root growth. Arboriculture & Urban Forestry, 40(4), 193–217. https://doi.org/10.48044/jauf.2014.021

Watson, G. W., Hewitt, A. M., Custic, M., & Lo, M. (2014b). The management of tree root systems in urban and suburban settings II: A review of strategies to mitigate human impacts. Arboriculture & Urban Forestry, 40(5), 249–271. https://doi.org/10.48044/jauf.2014.025.

Watson, G. W., & Himelick, E. B. (1982). Root distribution of nursery trees and its relationship to transplanting success. Journal of Arboriculture, 8(9), 225–229. https://doi.org/10.48044/jauf.1982.050.

Watson, G. W., & Himelick, E. B. (2013). The practical science of planting trees. International Society of Arboriculture.

Watson, G. W., & Neely, D. (Eds.). (1998). The landscape below ground II: Proceedings. ISA.

Watson, W. T. (2005). Influence of tree size on transplant establishment and growth. HortTechnology, 15(1), 118–122. https://doi.org/10.21273/horttech.15.1.0118.

Wells, C., Townsend, K., Caldwell, J., Ham, D., Smiley, E. T., & Sherwood, M. (2006). Effects of planting depth on landscape tree survival and girdling root formation. Arboriculture & Urban Forestry, 32(6), 305–311. https://doi.org/10.48044/jauf.2006.039.

Wrigley, M. P., & Smith, G. S. (1978). Staking and pruning effects on trunk and root development of four ornamental trees. New Zealand Journal of Experimental Agriculture, 6(4), 309–311. https://doi.org/10.1080/03015521.1978.10426294.

Xiang, W.-N. (2018). Doing real and permanent good in landscape and urban planning: Actionable knowledge and its spread. Landscape and Urban Planning, 173, 65–70.

Zimmermann, A. (Ed.). (2011). Constructing landscape: Materials, techniques, structural components (2.ª ed.). Birkhäuser. https://birkhauser.com/en/book/9783035604672.

Anexos I – Atividades Desenvolvidas ao Longo do Estágio

Atividades desenvolvidas ao longo do estágio

O estágio na DIAPLANT, que decorreu entre janeiro e julho de 2026, consistiu na participação em 23 projetos de arquitetura paisagista em diferentes fases de desenvolvimento, desde o estudo preliminar até à elaboração de documentos para execução. Esta diversidade proporcionou um contacto direto com todas as etapas do processo de projeto, desde a primeira visita ao local até à apresentação da proposta ao cliente, bem como à elaboração de documentos escritos e desenhados.

As atividades desenvolvidas podem ser organizadas em cinco áreas de competência complementares.

Análise e caracterização do local

A fase inicial de vários projetos consistiu na visita e análise dos terrenos, no levantamento fotográfico e na caracterização das condicionantes biofísicas e regulamentares locais. Numa das situações, a análise incluiu a verificação da inclusão do terreno nas áreas classificadas como Reserva Ecológica Nacional (REN) e Reserva Agrícola Nacional (RAN), bem como a identificação das normas municipais aplicáveis. Esta dimensão do processo de projeto condiciona diretamente as opções de intervenção admissíveis.

Conceção e desenvolvimento de projeto

A elaboração de planos de plantação foi a atividade mais transversal ao período de estágio. Foram elaborados planos para diversos tipos de espaços, como moradias unifamiliares, quintas de eventos, quintas com produção vitivinícola, espaços verdes envolventes a unidades empresariais e espaços exteriores de uma unidade clínica. Os planos abrangeram diferentes escalas e níveis de complexidade, desde a definição do estrato arbóreo em contextos de clareira aberta, bosque e pomar até à seleção e espacialização integrada de todos os estratos de vegetação.

Numa das ocasiões, o trabalho abrangeu todas as peças de um projeto de execução, nomeadamente o plano geral, o plano de plantação, os pormenores construtivos, o plano de iluminação e o plano de rega, complementados pelo orçamento e pelo mapa de quantidades. Este projeto permitiu acompanhar todo o processo, desde a conceção

até à sua apresentação ao cliente, incluindo a incorporação de quaisquer ajustes solicitados após a referida apresentação.

Comunicação visual e apresentação ao cliente

A produção de fotomontagens e simulações representou uma parte significativa do trabalho, tendo sido realizada para projetos de habitações, quintas de eventos, parques empresariais, avenidas de palmeiras e diversas composições arbóreas. O trabalho não se limitou à montagem final, incluindo também a preparação técnica do material de base, nomeadamente o tratamento de fotografias de exemplares arbóreos disponíveis no viveiro, que seriam posteriormente integrados nas simulações.

A comunicação com o cliente estendeu-se também à criação de moodboards. Foi desenvolvido um modelo-tipo que sistematiza a informação sobre as espécies propostas, desde as árvores até às plantas herbáceas. Em relação a um dos projetos, a apresentação incluiu a produção de um vídeo de simulação do espaço em questão.

Preparação de peças técnicas e administrativas

O trabalho incluiu também a conversão de peças desenhadas entre diferentes formatos (nomeadamente de PDF para DWG) e a elaboração de uma proposta de honorários para um projeto numa fase inicial. Esta dimensão do exercício profissional está habitualmente ausente da formação académica, mas é determinante para a viabilidade da prática.

Articulação entre projeto e produção

Em simultâneo com estas atividades, o contexto específico da DIAPLANT, no qual o gabinete de projeto e o viveiro de produção pertencem à mesma estrutura, possibilitou a observação contínua da relação entre a especificação do projeto e a disponibilidade efetiva de material vegetal, proporcionando acesso direto ao stock existente, aos calibres disponíveis e aos ciclos de produção em curso. Foi esta proximidade que constituiu o ponto de partida para a questão central abordada neste relatório.

Acompanhamento de obra

O estágio incluiu também o acompanhamento de obras em diferentes fases de execução, desde a preparação inicial do terreno até à receção final, verificando-se a conformidade entre o que foi executado e o que estava especificado no projeto. Tal permitiu observar diretamente as diferenças entre o projeto e a obra construída, bem como as adaptações introduzidas pela equipa de execução devido a condicionantes não previstas, tais como alterações de cotas, presença de infraestruturas não identificadas no levantamento ou indisponibilidade pontual do material vegetal especificado.

O estágio revelou-se particularmente formativo neste aspeto, na medida em que o confronto entre o projeto e a obra tornou visíveis as limitações da especificação escrita e a importância do conhecimento tácito das equipas de execução. A importância do conhecimento tácito das equipas de execução é uma questão analisada criticamente, em detalhe, no capítulo 5.

Anexos II – Sistema de Tutoragem e Ancoragem: Registo Comparativo



Figura 47. Progressão convencional da tutoragem aérea: (esq.) tutor único, para exemplares de menor calibre; (centro) tutoragem dupla; (dir.) tutoragem tripla com travessas de fixação. A lógica representada, mais pontos de apoio à medida que o porte aumenta, não se prolonga além da tripla: acima dela, a solução passa à tutoragem oblíqua e à ancoragem subterrânea do torrão, pelas razões estabelecidas em 3.5.3. A correspondência com os códigos usados nos orçamentos analisados é tratada em 4.4.3.1. Fonte: Ebben Nurseries, citado em DIAPLANT (2026). Cuidados básicos na plantação de árvores.

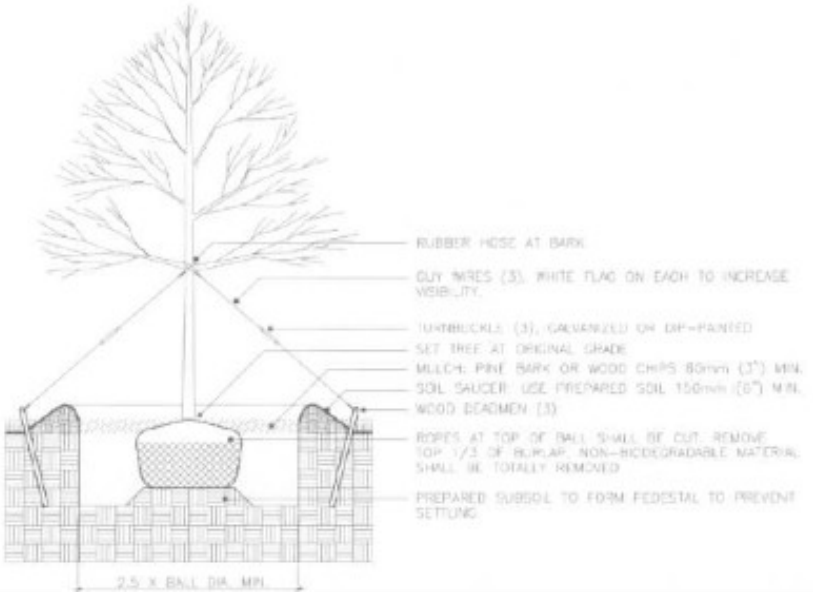


Figura 48. Sistema de ancoragem por espias: três cabos fixados a maciços enterrados, com esticador em cada um, mangueira de borracha na zona de contacto com o ritidoma e sinalização visível em cada cabo. É a versão de referência do sistema que os dois orçamentos designam por T5, com maciços em vez de hélices e esticadores em vez de roquetes. A peça especifica ainda a remoção do terço superior da juta e a integral do material não biodegradável, a cota ao nível original do terreno e a bacia de retenção. Fonte: Harris, C. W., & Dines, N. T. (1998, Fig. 923-1). Time-saver standards for landscape architecture (2.ª ed.). McGraw-Hill. Reproduzido para fins académicos.

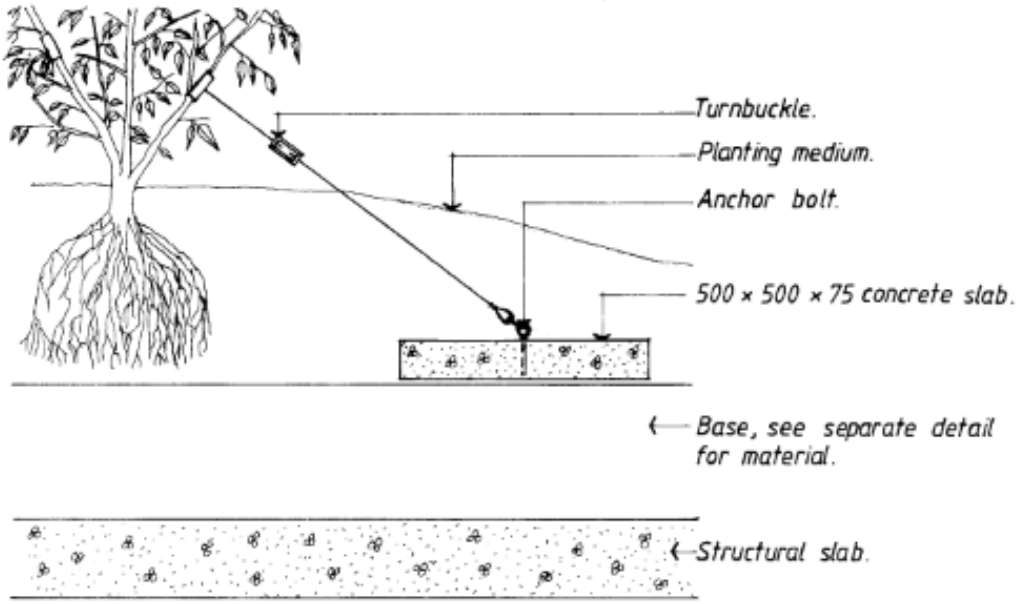


Figura 49. Ancoragem de exemplar plantado sobre laje estrutural: cabo com esticador fixado a um parafuso solidário com uma placa de betão de 500×500×75 mm, embebida no meio de plantação. Onde não há terreno em que cravar hélices ou maciços, a resistência à tração passa a ser dada pela massa da placa, caso-limite da dependência entre sistema de ancoragem e capacidade do solo referida em 4.4.3. Fonte: Littlewood, M. (1997). Landscape detailing volume 3: Structures (3.ª ed.). Routledge, p. 203. Reproduzido para fins académicos

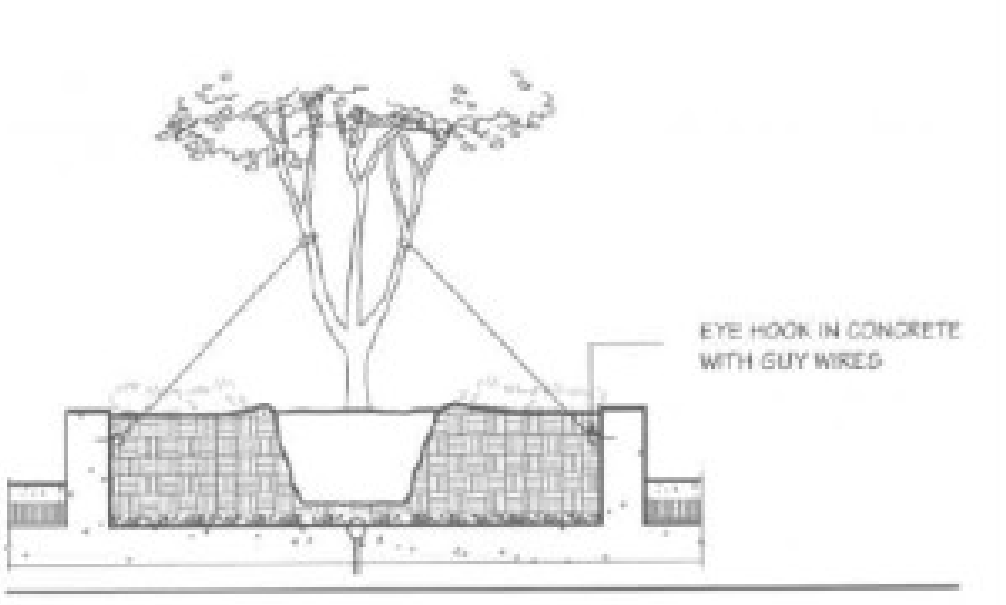


Figura 50. Ancoragem de exemplar multicaule em caldeira construída: cabos fixados a olhais embebidos no betão das paredes do compartimento. Onde a caldeira é confinada por estrutura, o ponto de ancoragem desloca-se do terreno para a obra construída. Fonte: Harris, C. W., & Dines, N. T. (1998, Fig. 610-29). Time-saver standards for landscape architecture (2.ª ed.). McGraw-Hill. Reproduzido para fins académicos.

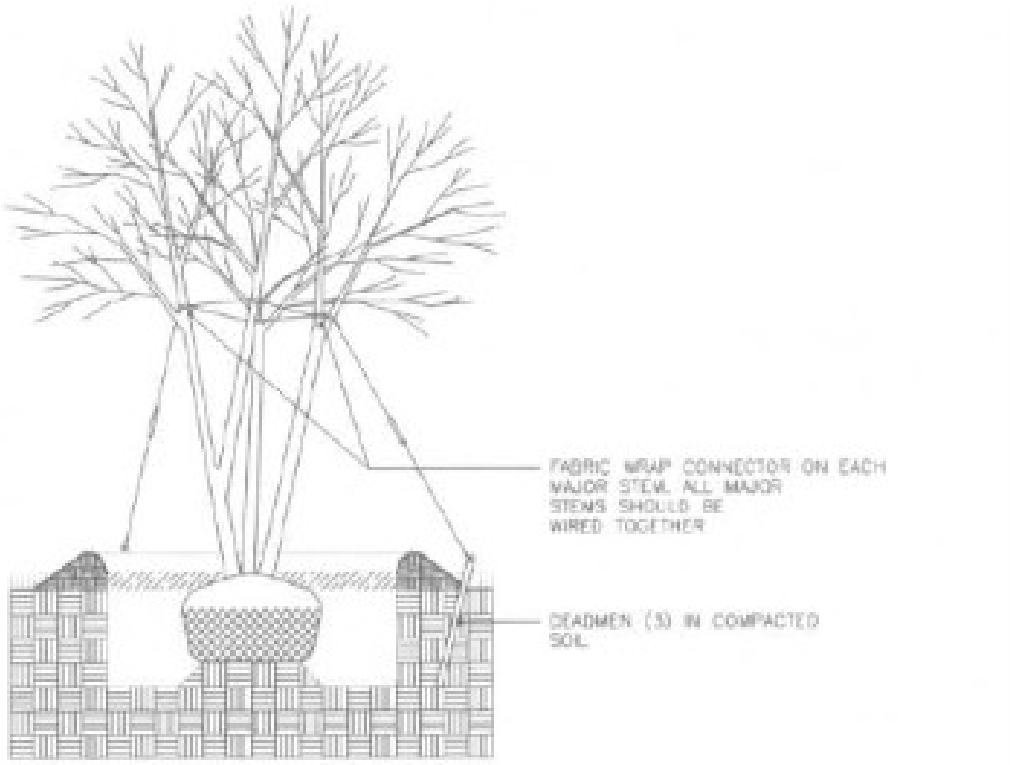


Figura 51. Ancoragem de exemplar multicaule a maciços enterrados em solo compactado, com conector em manta sobre cada fuste principal. A peça especifica que todos os fustes principais sejam solidarizados entre si por cabo, solução que o Princípio 3, em 5.1.3, desaconselha, por a independência de movimento de cada eixo condicionar o seu desenvolvimento radial. Fonte: Harris, C. W., & Dines, N. T. (1998, Fig. 923-4). Time-saver standards for landscape architecture (2.ª ed.). McGraw-Hill. Reproduzido para fins académicos.

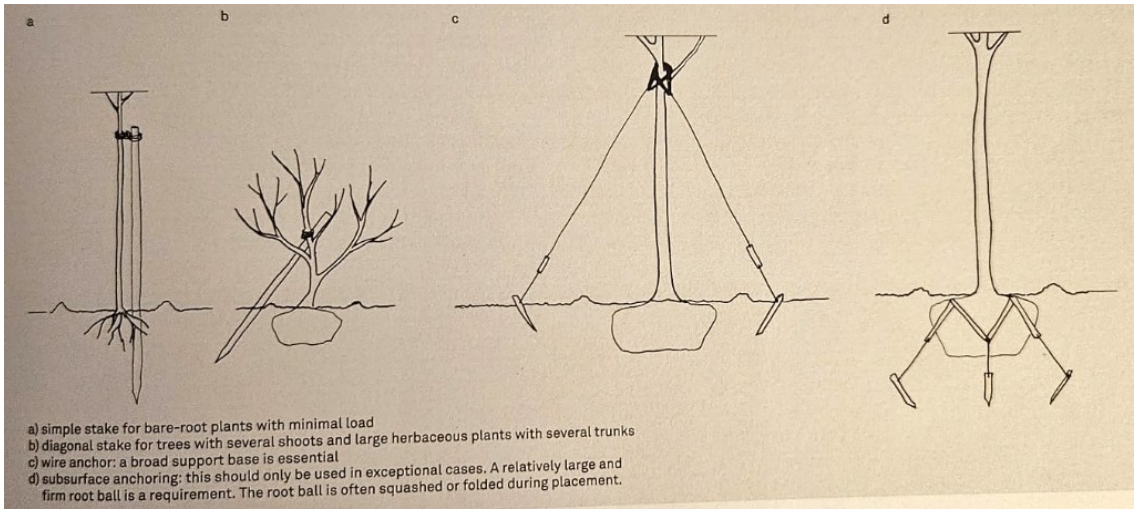


Figura 52. Quatro sistemas de estabilização: (a) tutor simples, para material de raiz nua com solicitação reduzida; (b) tutor diagonal, para exemplares de vários fustes; (c) ancoragem por cabos, que exige base de apoio ampla; (d) ancoragem subterrânea, que a fonte reserva para casos excecionais, por depender de um torrão amplo e coeso e ser frequente a sua deformação durante a colocação. Esta reserva corresponde à condição enunciada em 3.5.5, e é satisfeita pelo material 4xR e 5xR caracterizado na Tabela 1. Fonte: Zimmermann, A. (Ed.). (2011). Constructing landscape: Materials, techniques, structural components (2.ª ed.). Birkhäuser. Reproduzido para fins académicos.

.



Figura 53. Tutoragem baixa de exemplar multicaule: cada eixo fixado por fita a suporte próprio, a altura muito inferior a um terço do fuste. É a alternativa praticada à solidarização entre fustes que a Figura II.5 especifica e que o Princípio 3,em 5.1.3, desaconselha. Fonte: Ebben Nurseries, citado em DIAPLANT (2026). Cuidados básicos na plantação de árvores.

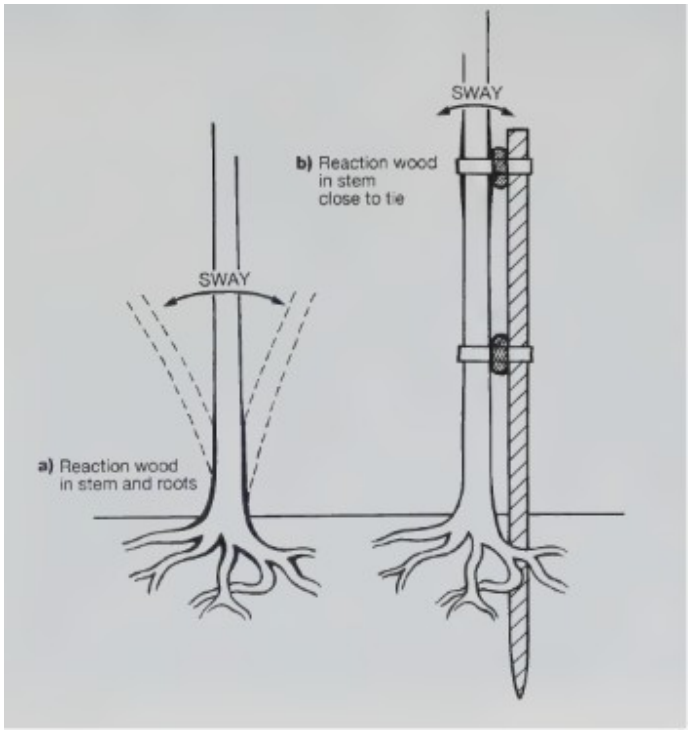


Figura 54. (a) Árvore em crescimento livre, com oscilação natural próxima do solo. (b) Árvore totalmente suportada, com ponto de oscilação elevado e formação de madeira de reação apenas junto ao ponto de fixação. Fonte: Bradshaw, Hunt & Walmsley (1995, Fig. 12.1).

Anexos III – Geometria de Covas e Caldeiras: Pormenores de Referências

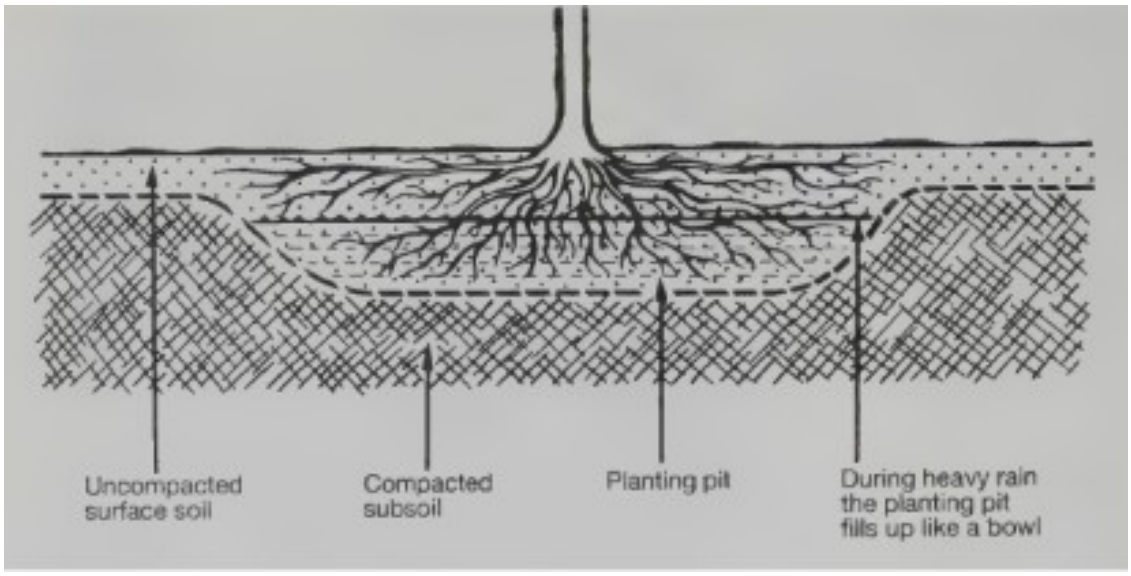


Figura 55. Saturação da cova por horizonte compactado subsuperficial: com boa estrutura à superfície, a camada compactada em profundidade retém a água e a cova comporta-se como um recipiente fechado, criando condições de anoxia radicular. Fonte: Bradshaw, Hunt & Walmsley (1995, Fig. 4.9). Reproduzido para fins académicos

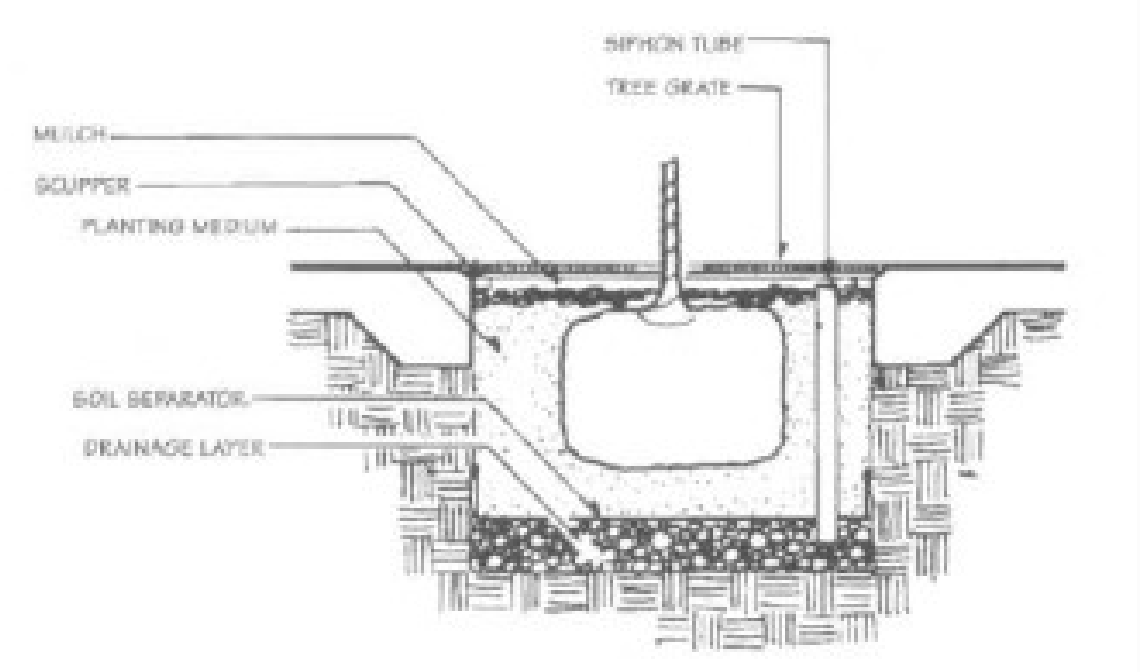


Figura 56. Estratigrafia de uma caldeira técnica de arruamento, da base para a superfície: camada drenante em agregado grosso, separador geotêxtil, substrato de plantação, cobertura do solo e grelha de caldeira; um tubo vertical estabelece ligação entre a superfície e a camada drenante. É a resposta construtiva ao mecanismo representado em III.1. Fonte:

Harris, C. W., & Dines, N. T. (1998, Fig. 620-12). Time-saver standards for landscape architecture (2.ª ed.). McGraw-Hill. Reproduzido para fins académicos.

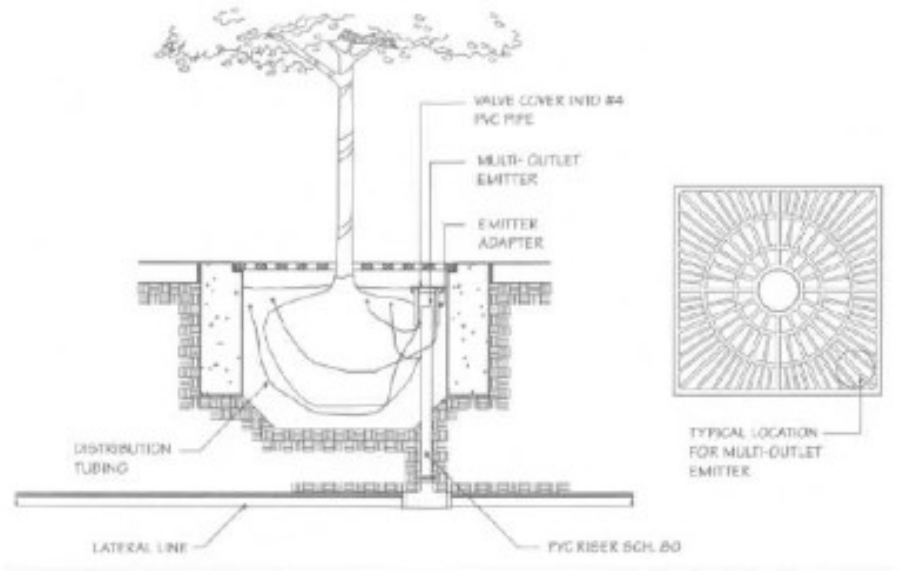


Figura 57. Pormenor de plantação em caldeira pavimentada, com as operações que a peça especifica: remoção integral do invólucro quando não biodegradável e corte de pelo menos um terço do topo quando em juta; pedestal em subsolo compactado, para impedir o assentamento do torrão; separador não biodegradável sob a cobertura; tubo perfurado de arejamento e infiltração, ligado em série aos exemplares contíguos; e cova com a largura total da abertura da grelha. Uma nota final estabelece que a tutoragem nem sempre é necessária acima de 125 mm de diâmetro do tronco. As duas primeiras operações são as que os subcapítulos 4.4.2.1 e 4.4.2.2 identificam como ausentes das peças analisadas. Fonte: Harris, C. W., & Dines, N. T. (1998, Fig. 550-15). Time-saver standards for landscape architecture (2.ª ed.). McGraw-Hill. Reproduzido para fins académicos.

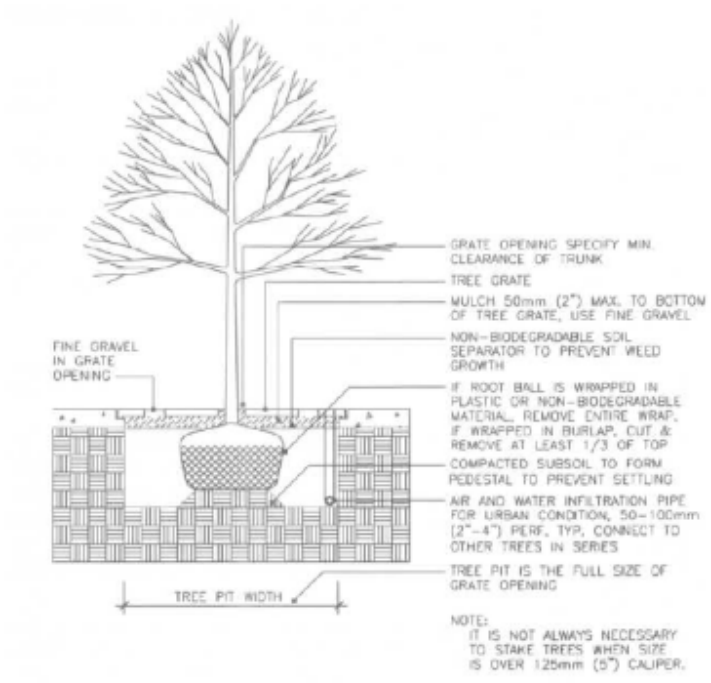


Figura 58. Instalação de rega gota a gota em caldeira pavimentada: linha lateral enterrada, tubo ascendente em PVC, adaptador e emissor multissaída, com tubagem de distribuição disposta em coroa em torno do torrão (planta, à direita) e caixa de válvula acessível à superfície. Fonte: Harris, C. W., & Dines, N. T. (1998, Fig. 750-7). Time-saver standards for landscape architecture (2.ª ed.). McGraw-Hill. Reproduzido para fins académicos

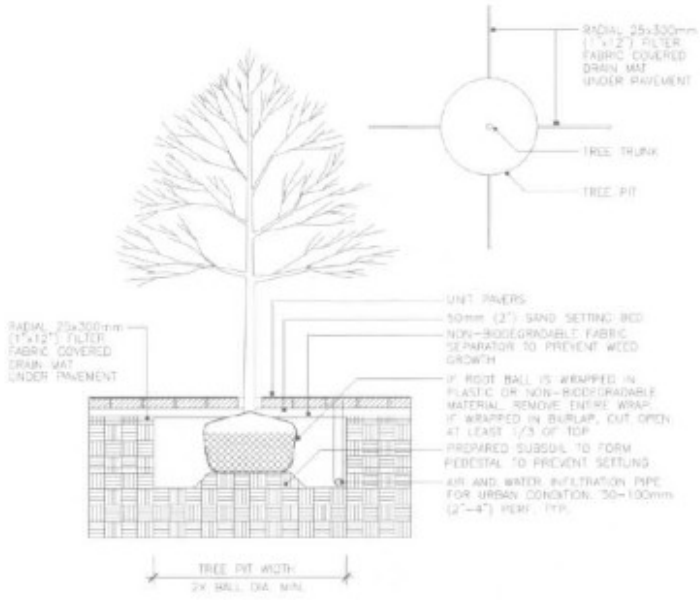


Figura 59. Variante do pormenor anterior para pavimento modular: sobre a cova, leito de assentamento em areia e pavimento de blocos; sob o pavimento, tiras drenantes radiais de 25×300 mm envolvidas em geotêxtil filtrante, que conduzem ar e água a partir da cova (planta, em cima). A peça fixa a largura da cova num mínimo de duas vezes o diâmetro do torrão. As operações de remoção do invólucro e de pedestal são as indicadas em III.4. Fonte: Harris, C. W., & Dines, N. T. (1998, Fig. 923-6). Time-saver standards for landscape architecture (2.ª ed.). McGraw-Hill. Reproduzido para fins académicos.

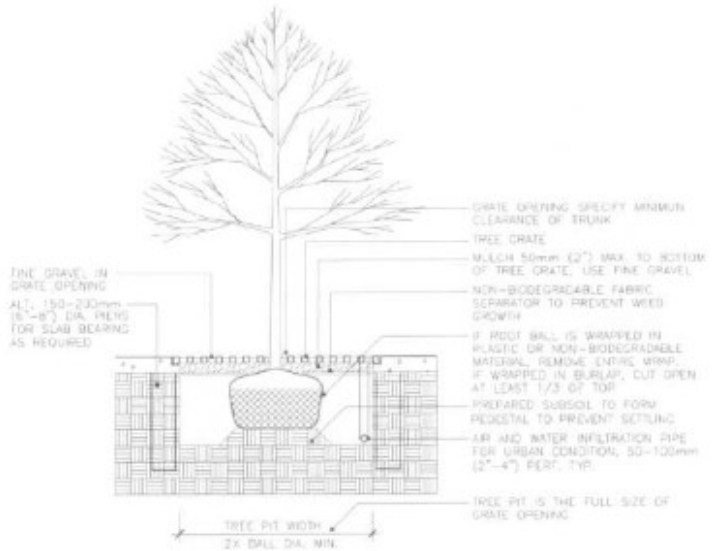


Figura 60. Variante do pormenor da Figura 57 com apoio estrutural do pavimento: pilares de 150 a 200 mm de diâmetro, previstos como alternativa, que transferem a carga da laje para fora do volume de solo da cova. Os restantes elementos são os indicados em III.4. Fonte: Harris, C. W., & Dines, N. T. (1998, Fig. 923-7). Time-saver standards for landscape architecture (2.ª ed.). McGraw-Hill. Reproduzido para fins académicos.



Figura 61. Sistema de rega radicular integrada na cova: tubagem perfurada em anel em torno do torrão, ligada a um ponto de admissão à superfície, que conduz a água ao volume radicular sem depender da infiltração através da cobertura. Corresponde à modalidade (B) da Figura 30. O stress hídrico é o principal fator de insucesso pós-transplante (Harris & Bassuk, 1993), e o fabricante associa a rega programada a um aumento superior ao triplo no peso de raízes finas (GreenBlue Urban, 2021, p. 57), valor de literatura técnica de fabricante, com a reserva assinalada em IV.1. Fonte: GreenBlue Urban (2021, p. 60). Urban tree planting design guide (9.ª ed.). GreenBlue Urban Ltd. Reproduzido para fins académicos.

Anexos IV – Sistemas de Suporte de Solo em Contexto de Pavimento

As soluções deste anexo sistematizam referências bibliográficas para situações urbanas com restrições do meio de enraizamento. Não foram aplicadas ou avaliadas nos dois casos. A sua apresentação complementa a proposta do Capítulo 5 e exige adaptação às condições de cada intervenção; a localização rural dos casos não demonstra a inexistência de restrições subterrâneas nesses locais.

IV.1. Dois Cenários de Decisão: Solos estruturados e Pavimentos suspensos

No que se refere a arruamentos, a escolha da solução de engenharia para o volume de solo radicial não é uma decisão única, dependendo de um conjunto de critérios que devem ser avaliados caso a caso. São apresentados dois cenários representativos que se distinguem pela forma como a carga do pavimento é transferida para o terreno e, consequentemente, pela proporção de solo explorável disponibilizada por cada um.

Tabela IV.1. Critérios de decisão entre solos estruturados e pavimentos suspensos em contexto de arruamento

Critério	Cenário A: Solos Estruturados (ex.: CU-Soil)	Cenário B: Pavimentos Suspensos (ex.: RootSpace)
Volume de solo útil	Fornece apenas 20% a 25% de solo radicável, o restante é matriz de pedra	Fornece até cerca de 95% de solo de alta qualidade não compactado, segundo os fabricantes
Desempenho fisiológico	Permite a sobrevivência em contextos onde o solo comum falharia, mas o crescimento é mais lento	Vigor de copa e crescimento de tronco superiores aos registados em solo estruturado, segundo a literatura técnica dos sistemas

Coexistência com infraestruturas	Alta adaptabilidade; envolve e protege tubagens de gás e água existentes	Requer montagem modular; exige pormenores específicos para coexistência com serviços superficiais
Custo e contexto de aplicação	Mais económico; adequado a reabilitação e *retrofit* de espaço público existente	Investimento inicial superior; justificado em obra nova onde o desempenho fisiológico é prioritário
Contribuição para SuDS	Infiltração limitada pela matriz mineral	Retenção da ordem dos 5 500 L num sistema de 25 m³

A documentação técnica de fabricantes deve ser distinguida dos estudos experimentais. Grabosky & Bassuk (2016) acompanharam árvores em solo estrutural sob pavimento e numa faixa de solo relvada durante 17 anos; não compararam todos os sistemas modulares e misturas aqui apresentados. Os resultados não fundamentam uma hierarquia universal de desempenho ou custo entre as duas soluções.

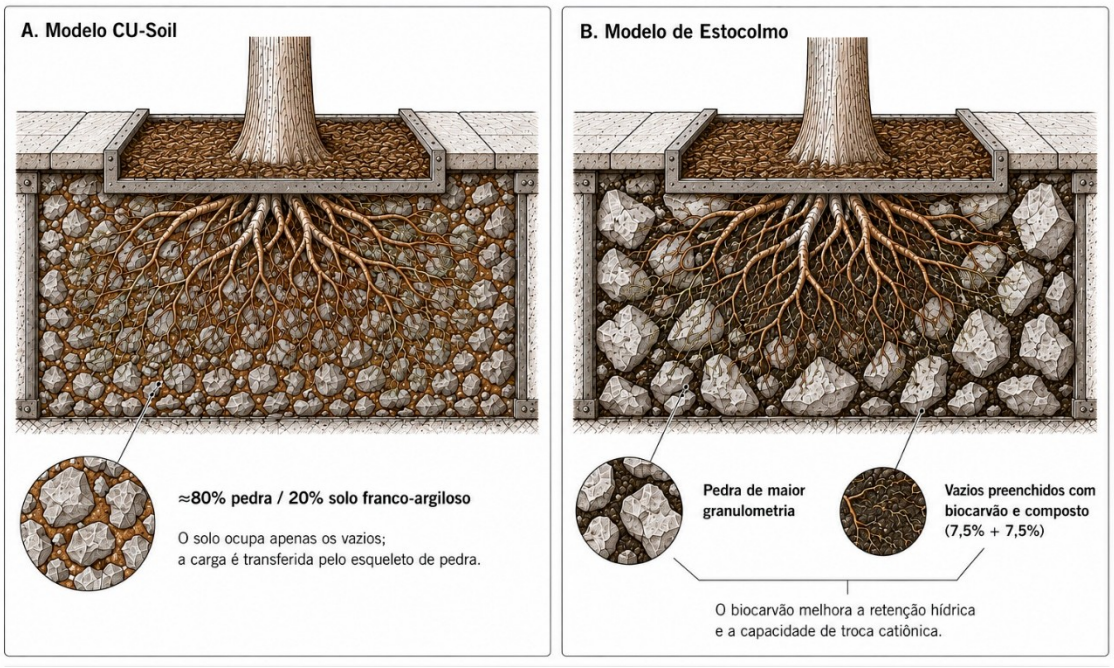


Figura 62. Dois modelos de solo estruturado: (A) CU-Soil, com cerca de 80% de pedra e 20% de solo franco-argiloso, em que o solo ocupa apenas os vazios do esqueleto pétreo que transfere a carga; (B) modelo de Estocolmo, com pedra de maior granulometria e vazios preenchidos com biocarvão e composto, que aumentam a retenção hídrica e a capacidade de troca catiónica. A designação «solo estruturado» abrange, assim, formulações de desempenho distinto. Representação esquemática. Fonte: elaboração própria, com base em Grabosky & Bassuk (2016); Stockholm Tree Pits (s.d.b).

Além disso, os desempenhos documentados para ambos os sistemas foram obtidos em climas temperados húmidos. Num contexto mediterrânico, a eficácia do solo estruturado pode ser afetada pela rápida secagem da fração fina retida entre os agregados durante os meses de verão, o que reforça a necessidade de integrar o sistema de rega ou a função de biorretenção na fase de projeto e não como um complemento após a instalação.

A opção por um dos dois cenários representa, portanto, uma decisão de projeto fundamentada, e não a aplicação automática de uma solução padrão. No caso de obras de reabilitação com uma elevada presença de infraestruturas subterrâneas e um orçamento limitado, o Cenário A é tecnicamente válido, embora com expetativas de crescimento mais moderadas. No caso de uma obra nova em que são especificados calibres elevados, com um investimento acumulado em ciclos sucessivos de transplantes, o cenário B justifica-se pelo retorno biológico, desde que haja disponibilidade orçamental e uma coordenação prévia com as entidades gestoras das infraestruturas (Grabosky & Bassuk, 2016; GreenBlue Urban, 2021). Em qualquer dos casos, o volume de enraizamento é dimensionado antes da implantação dos restantes elementos urbanos e não como um espaço residual entre estes.

IV.2. Pavimentos Suspensos: Sistema Modular de Células de Solo

Em contextos de arruamento em que o desempenho fisiológico é prioritário (Cenário B do subcapítulo IV.2), o pormenor materializa-se num sistema modular de células estruturais que substitui a sub-base compactada convencional. Segundo os fabricantes, este sistema permite manter até cerca de 95% do solo útil sem compactação.

O corte está organizado, da superfície até à base, em quatro componentes funcionais (Figura IV.2). O pavimento assenta numa estrutura modular que transfere a carga para o terreno, sem compactar o solo circundante. É esta separação entre a função estrutural e o meio de enraizamento que distingue a solução da sub-base convencional. Junto à interface com o pavimento, uma barreira defletora dirige o crescimento radicular em profundidade, mantendo-o afastado da zona de conflito. A estrutura modular é preenchida com solo vegetal não compactado e atravessada por tubagem que assegura, em simultâneo, o arejamento e a distribuição de água à zona radicular, correspondendo à modalidade de rega estabelecida para o efeito na Tabela 9

(Subcapítulo 3.6.1). Na base, o sistema de ancoragem subterrânea fixa o torrão, dispensando a utilização de elementos aéreos, em conformidade com o Princípio 3.

A contribuição desta configuração para a gestão das águas pluviais, quantificada no subcapítulo 3.4.3 e tida em conta como critério de decisão na Tabela IV.1, resulta diretamente da proporção de solo não compactado disponibilizada pelo sistema.

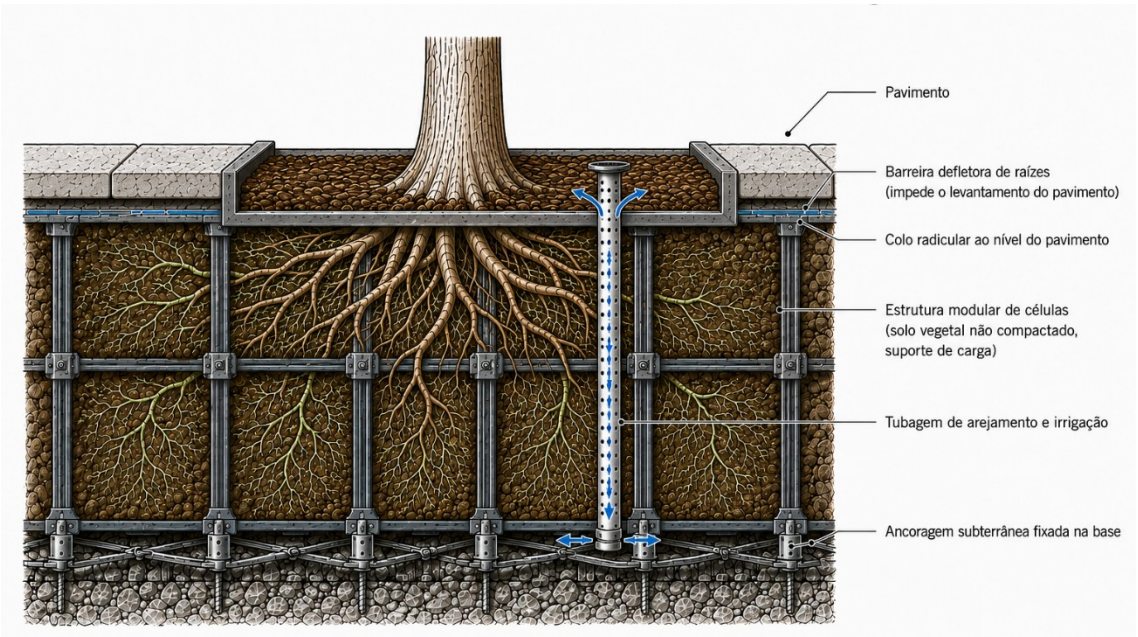


Figura 63. Desenvolvimento da Figura 44 em contexto de arruamento. Corte integrado do sistema modular de células de solo em contexto de arruamento. Representação esquemática. Fonte: elaboração própria, com base em GreenBlue Urban (2021c).

IV.3. Coexistência com as Infraestruturas de Serviço Subterrâneas

A coexistência do sistema radicular com as redes de serviços é uma das principais condicionantes da instalação em arruamento (ver o subcapítulo 3.4.2). Ao contrário dos dois aspetos anteriores, este não se enquadra em nenhum dos cenários, aplicando-se a ambos, visto a interferência com as redes ser independente do sistema de suporte do solo adotado. A barreira aqui representada tem uma função distinta daquela que integra o sistema modular do subcapítulo IV.2: enquanto ali protege a superfície pavimentada, aqui protege a infraestrutura enterrada.

A solução assenta em três medidas complementares (Figura IV.3). As tubagens estão envoltas em agregado fino com uma granulometria entre os 4 e os 10 mm, o que as protege do contacto direto com as raízes. Uma barreira vertical de polietileno de alta

densidade (HDPE) canaliza o crescimento das raízes para longe da rede. Por fim, uma camada de agregado grosseiro sob o pavimento funciona como um desincentivo físico ao enraizamento superficial, ao mesmo tempo que assegura o arejamento e favorece o crescimento em profundidade (GreenBlue Urban, 2021).

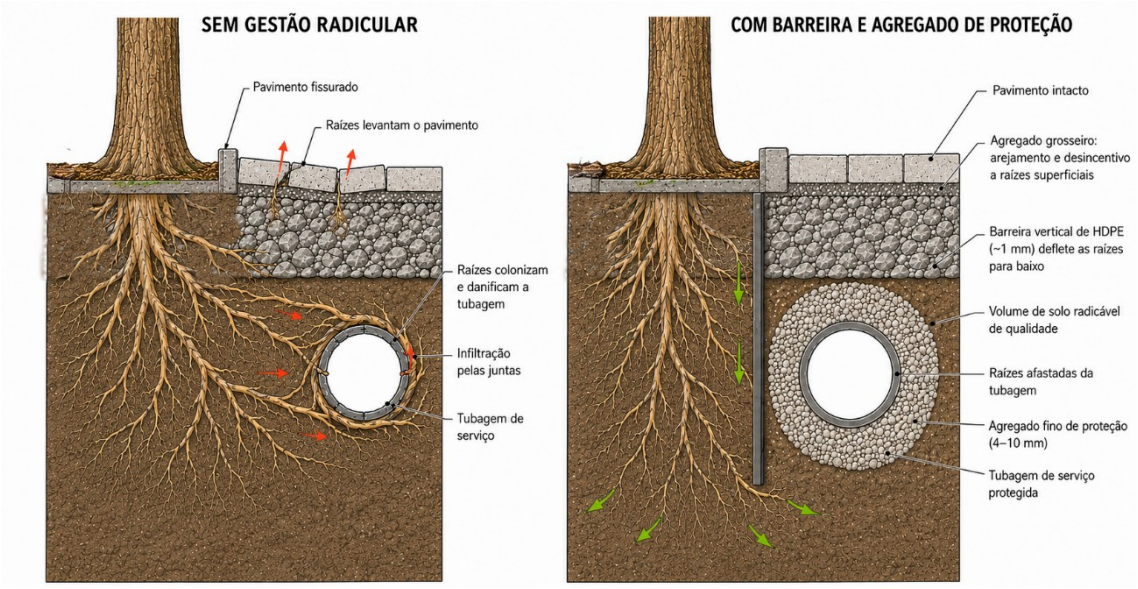


Figura 64. Pormenor de coexistência entre o sistema radicular e as infraestruturas de serviço subterrâneas. Representação esquemática. Fonte: elaboração própria, com base em GreenBlue Urban (2021c).

A conectividade entre os volumes de solo das árvores adjacentes, por meio de valas contínuas, permite que o sistema radicular contorne os pontos de interferência localizados, sem que haja uma diminuição do volume de solo disponível no seu conjunto (Tabela 21).

No entanto, a eficácia destas medidas depende de uma condição prévia: o levantamento das redes existentes deve anteceder o dimensionamento da cova e não pode ser efetuado no momento da sua abertura. Esta é a coordenação com as entidades gestoras de infraestruturas identificada como condicionante no subcapítulo IV.1.

IV.4 Peças de Referência



Figura 65. Sistema modular de células radiculares RootSpace: painéis verticais interlocking de material reciclado com tampa Airflow para movimento de ar no perfil de solo; painel de preenchimento lateral para estabilidade perimetral; integração com sistemas ArborVent, RootDirector, ArborFlow e ArborGuy. Fonte: GreenBlue Urban (2021, pp. 42-44). Urban tree planting design guide (9.ª ed.). GreenBlue Urban Ltd. Reproduzido para fins académicos

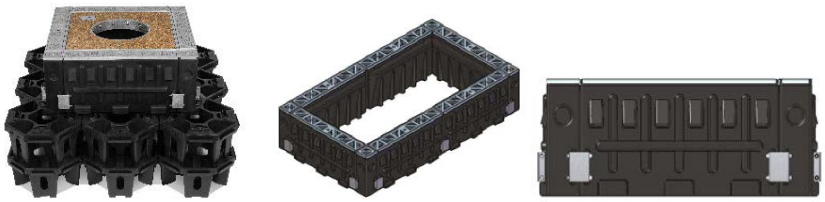


Figura 66. Drenagem convencional vs. sistemas SuDS/LID em contexto urbano: a drenagem tradicional conveia a água da chuva para soakaways ou linhas de água tão rapidamente quanto possível, aumentando o risco de inundação e de poluição difusa; os sistemas de drenagem urbana sustentável (SuDS) retêm, filtram e dispersam gradualmente o escoamento superficial. (b) “View showing a six panel, four corner assembly configuration (ArborFlow 200)”, (c) “Side view of panel plus two corners” Caso de estudo: Goldhawk Road, Londres. Fonte: GreenBlue Urban (2021, p. 104). Urban tree planting design guide (9.ª ed.). GreenBlue Urban Ltd. Reproduzido para fins académicos.



Figura 67. Estrutura do solo como facto determinante para o sucesso da árvore urbana: a arquitetura do solo condiciona o movimento de ar, água e nutrientes essenciais ao crescimento. Cronologia dos sistemas de células modulares de suporte de solo: RootCell (2001), StrataCell (2007) e RootSpace (2016). Fonte: GreenBlue Urban (2021, p. 40). Urban tree planting design guide (9.ª ed.). GreenBlue Urban Ltd. Reproduzido para fins académicos

Anexos V – Proteção do Ritidoma e Operações de Transporte



Figura 68. Critérios de seleção de materiais de amarração tronco-tutor e gama de cintas para fixação de exemplares de grande porte: fatores determinantes incluem dimensão da árvore, localização, requisitos de manutenção, exposição eólica, durabilidade, risco de vandalismo e impacto estético. (1) “Twin stake belt and sleeve”, (2) “Belt and pad”, (3) “Twin stake belt and pad”, (3) “NatureTie – a versatile and natural product suited to various tying application” Fonte: GreenBlue Urban (2021, pp. 75-76). Urban tree planting design guide (9.ª ed.). GreenBlue Urban Ltd. Reproduzido para fins académicos.

Anexos VI – Registo Fotográfico e Documental do Estágio





Figura 69. Tutoragem de formação no viveiro DIAPLANT, Gondar, Amarante. (a) Produção simultânea de dois formatos: fuste único com tutoragem simples (esq.) e multitronco com sistema adaptado à tipologia, que mantém a independência de movimento entre eixos (dir.). (b) Orientação do eixo principal com canas de bambu, elásticos e rolhas, que corrige o crescimento sem pressão abrasiva sobre o ritidoma. A prescrição diferenciada por forma de crescimento é desenvolvida em 5.1.3. Fonte: registo fotográfico do estágio (Dias, M. R., 2026); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).





Figura 70. (dir.) Tutoragem de formação de exemplares multitronco no mesmo viveiro: suporte adaptado à tipologia multicaule, que mantém a verticalidade e a separação dos eixos sem os solidarizar, permitindo a cada fuste um crescimento radial próprio. Fonte: registo fotográfico do estágio (Dias, M. R., 2026). (esq.) Expedição de Cedrus de grande porte em semi-reboque de plataforma rebaixada, no mesmo viveiro: torrão acondicionado em rede e juta sobre estrado, fuste revestido na zona de contacto e ramificação recolhida em manta de proteção, com amarração por cintas à plataforma. Fonte: registo fotográfico do estágio (Dias, M. R., 2026).



Figura 71. Exemplar em 3xR no mesmo viveiro, PAP 14-18 cm: segunda intervenção de transplante em campo, acompanhada de poda de formação da copa. Os parâmetros desta fase constam da Tabela 1. Fonte: registo fotográfico do estágio (Dias, M. R., 2026).



Figura 72. Campo de produção após o primeiro transplante (2xR), no mesmo viveiro: exemplares jovens dispostos em linha, com cana de bambu como guia do eixo principal, em Figura 69(b). O corte radicular que acompanha a transferência do ambiente protegido para o terreno inicia a concentração de raízes absorventes junto ao colo (3.2.1). Fonte: registo fotográfico do estágio (Dias, M. R., 2026).



Figura 73. Gestão do coberto do solo em dois talhões do mesmo viveiro: (a) solo mobilizado sem coberto herbáceo, em exemplares jovens com rega gota-a-gota instalada à superfície; (b) coberto herbáceo em floração, em exemplares de fuste formado e copa estabelecida. A supressão do coberto na fase inicial concentra a água disponível no volume radicular em formação; a sua manutenção na fase seguinte mantém a estrutura do solo e o suporte à fauna auxiliar. Fonte: registo fotográfico do estágio (Dias, M. R., 2026).

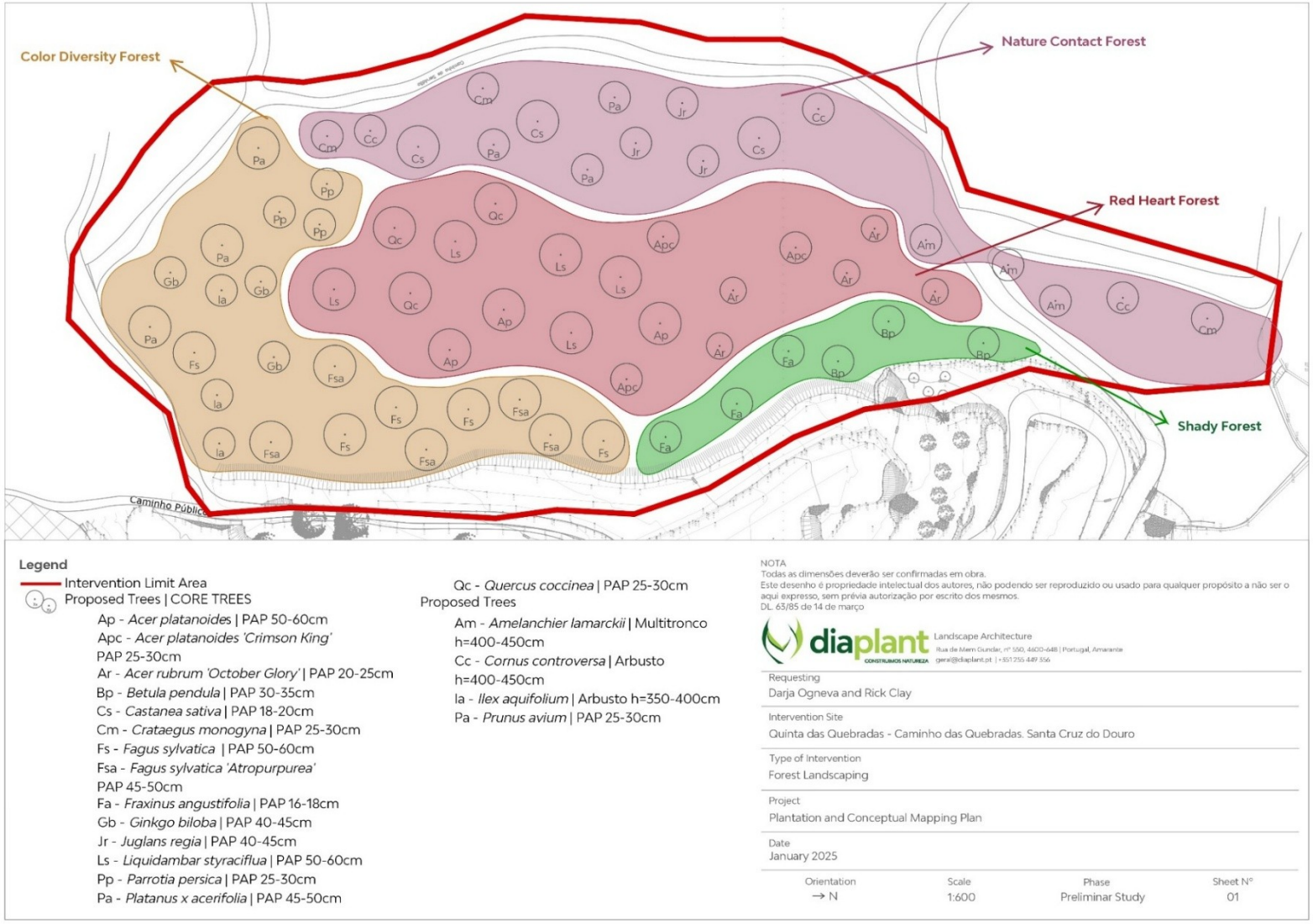


Figura 74. Versão ampliada da Figura 36. Plano de plantação do projeto PROEF, Resende, organizado em quatro zonas: bosque central, alinhamento do rio, miradouro do rio e zona da entrada. Fonte: DIAPLANT (2024). Projeto PROEF, Resende, Estudo Prévio* (peça técnica). Reproduzido com autorização para fins académicos.

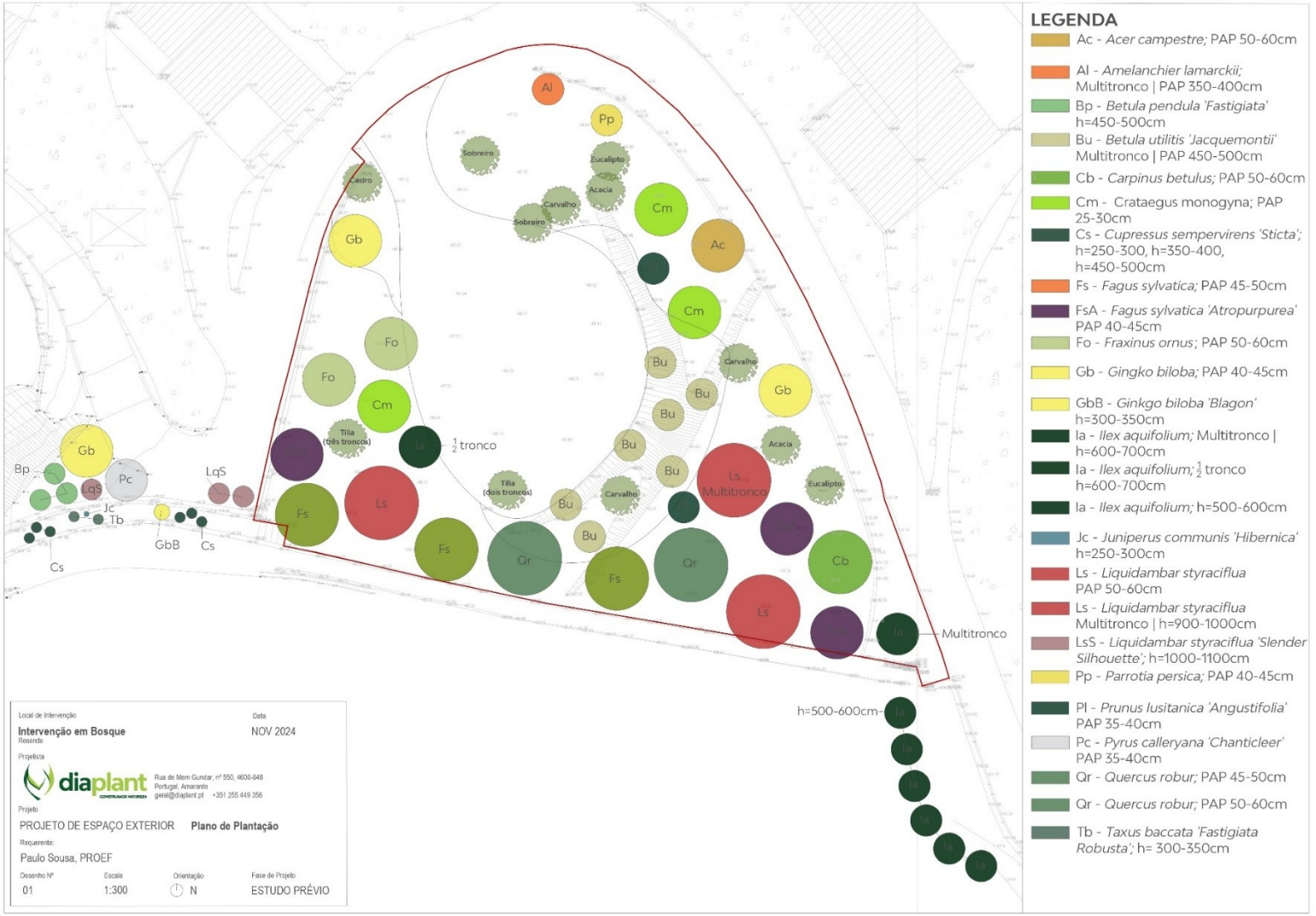


Figura 75. Versão ampliada da Figura 39. Plano de plantação do projeto Quinta das Quebradas, Santa Cruz do Douro, Baião, organizado em quatro zonas conceptuais: *Color Diversity Forest*, *Nature Contact Forest*, *Red Heart Forest* e *Shady Forest*. Fonte: DIAPLANT (2025). *Quinta das Quebradas, Baião, Estudo Prévio* (peça técnica). Reproduzido com autorização para fins académicos.

Anexos VII – Peças Desenhadas em Formato Ampliado

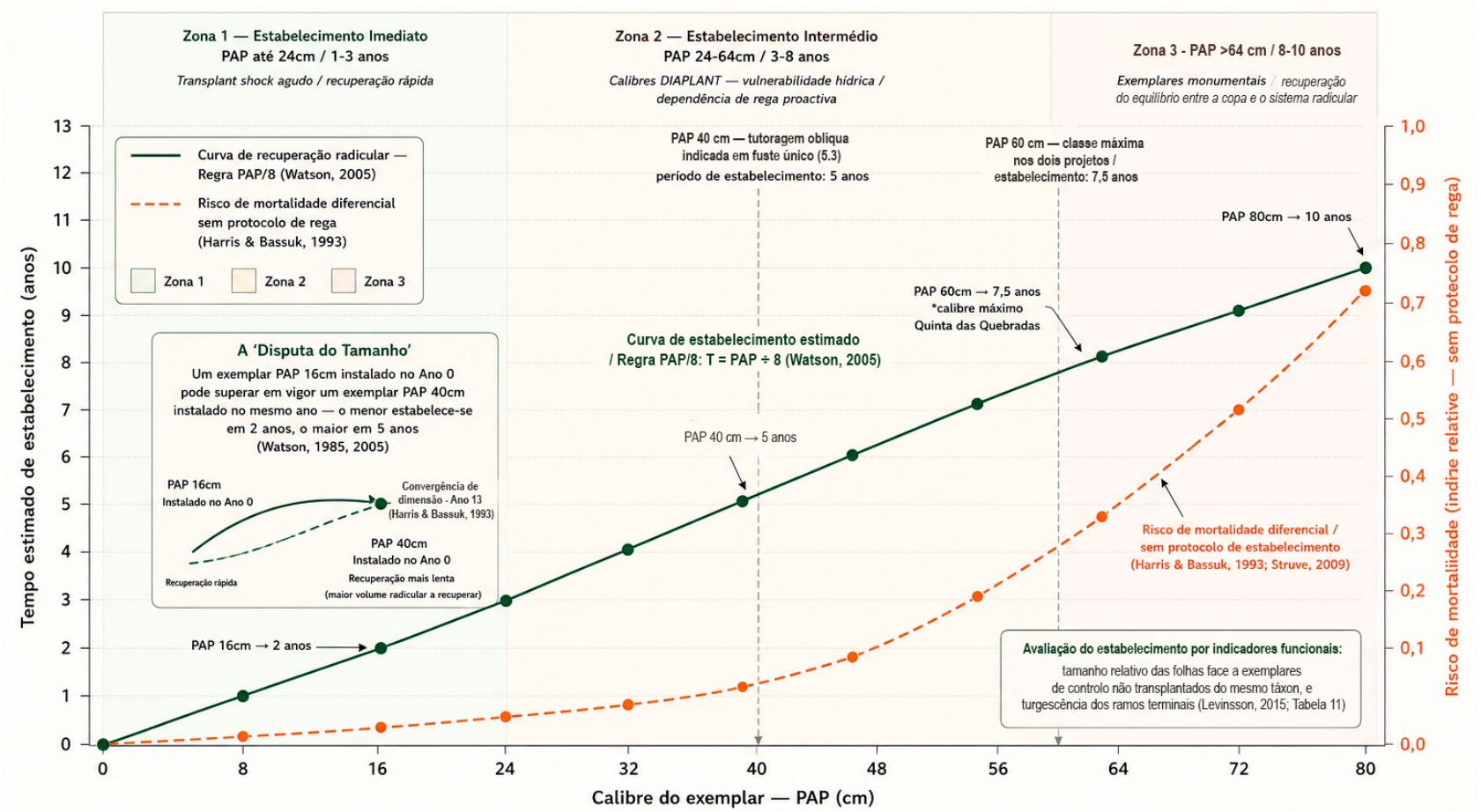


Figura 76. Versão ampliada da Figura 8. Relação entre o calibre do exemplar (PAP) e a duração do período de estabelecimento segundo a regra PAP/8, com identificação de três intervalos de calibre e do agravamento esquemático do risco de mortalidade na ausência de protocolo de rega. Fonte: elaboração própria, com base em Watson (1985, 2005); Harris & Bassuk (1993); Struve (2009); Levinsson (2015).

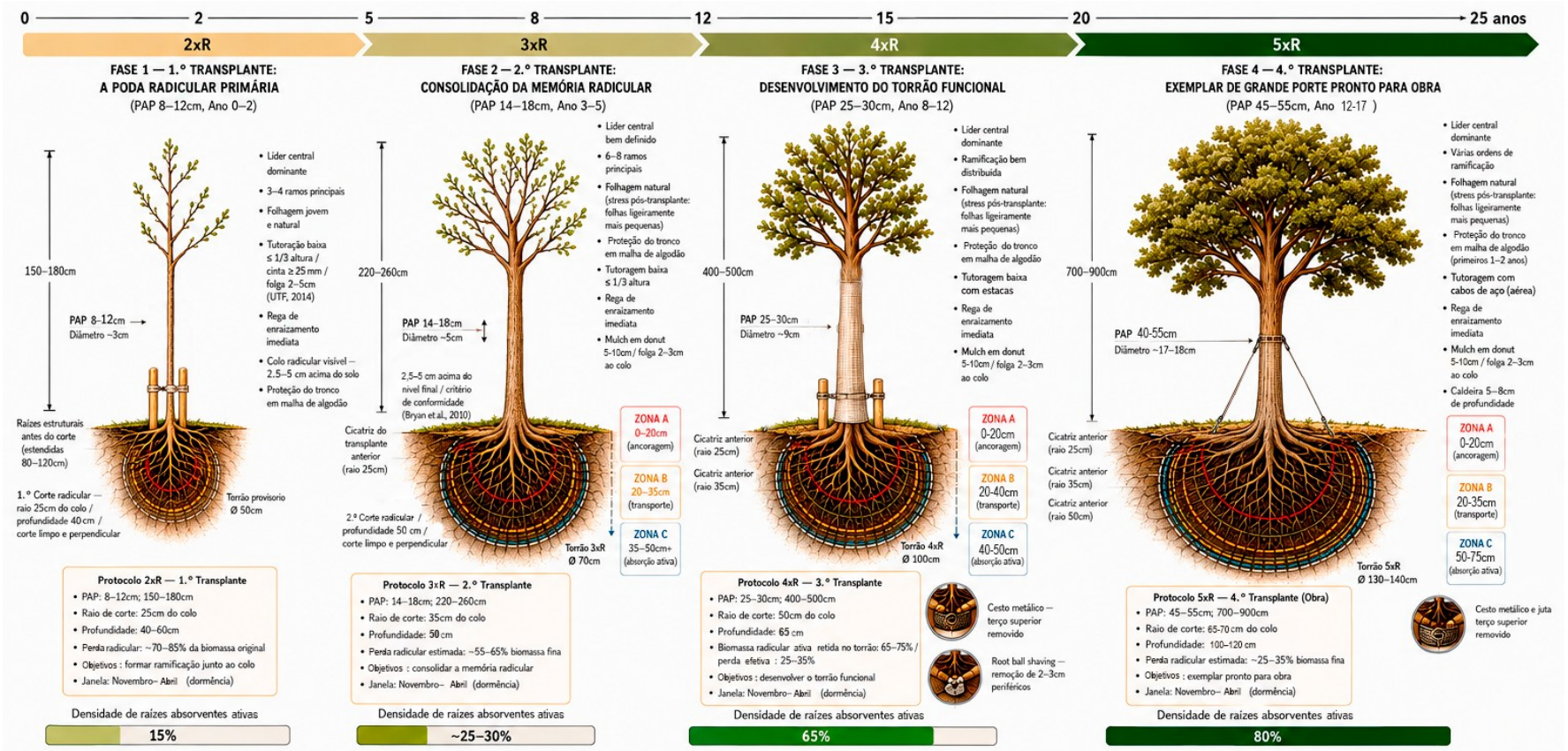


Figura 77. Versão ampliada da Figura 9: ciclo completo de produção em viveiro e progressão estimada da densidade radicular. Fonte: elaboração própria, com base em Harris & Bassuk (1993); Gilman & Kempf (2009); Watson (2005); Struve (2009); Urban (2008); Levinsson (2015); Van Geel et al. (2019); Urban Tree Foundation (2009); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

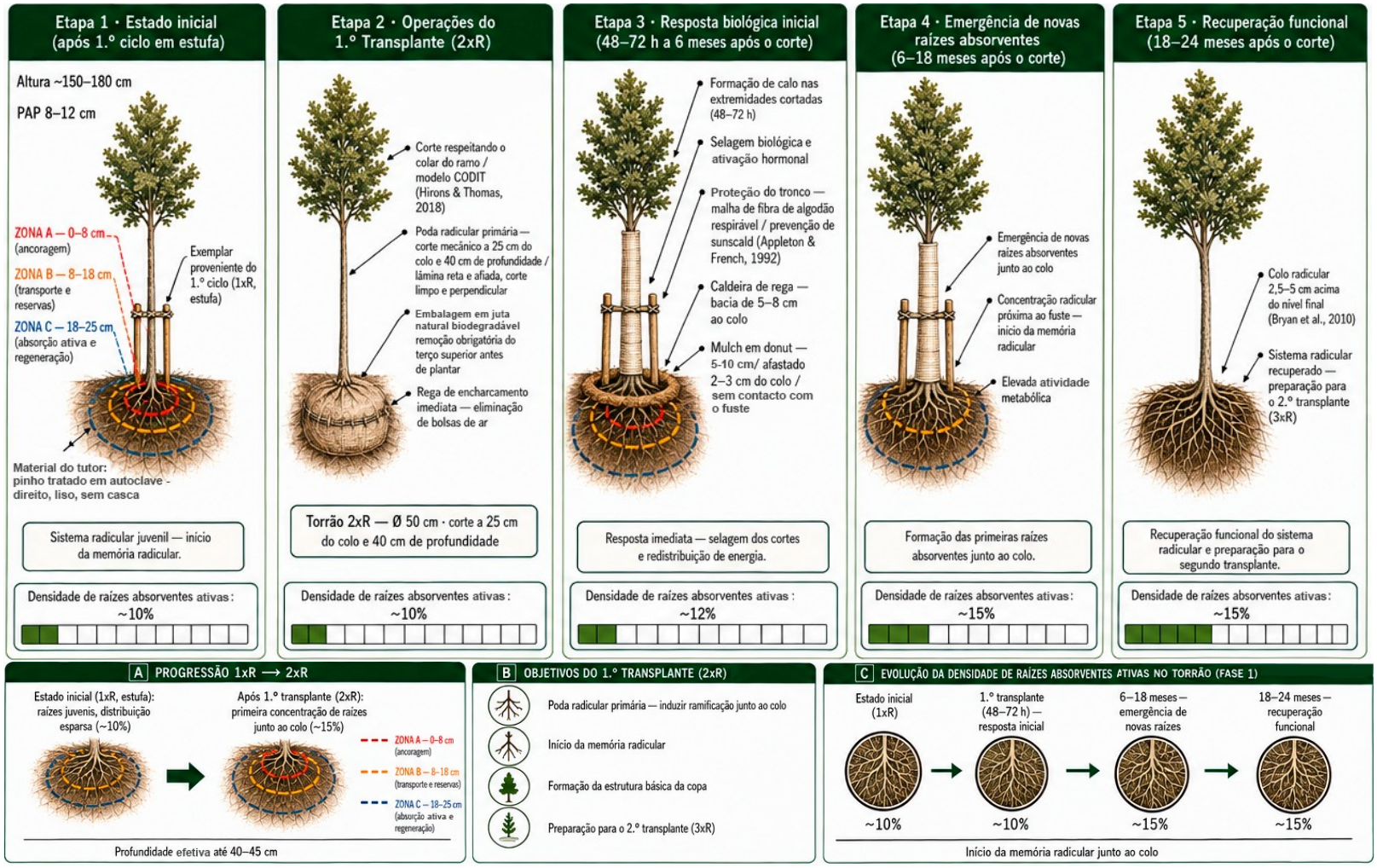


Figura 78. Versão ampliada da Figura 10: primeira intervenção de transplante e poda radicular em campo (2xR). Fonte: elaboração própria, com base em Harris & Bassuk (1993); Watson & Himelick (1982); Appleton & French (1992); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

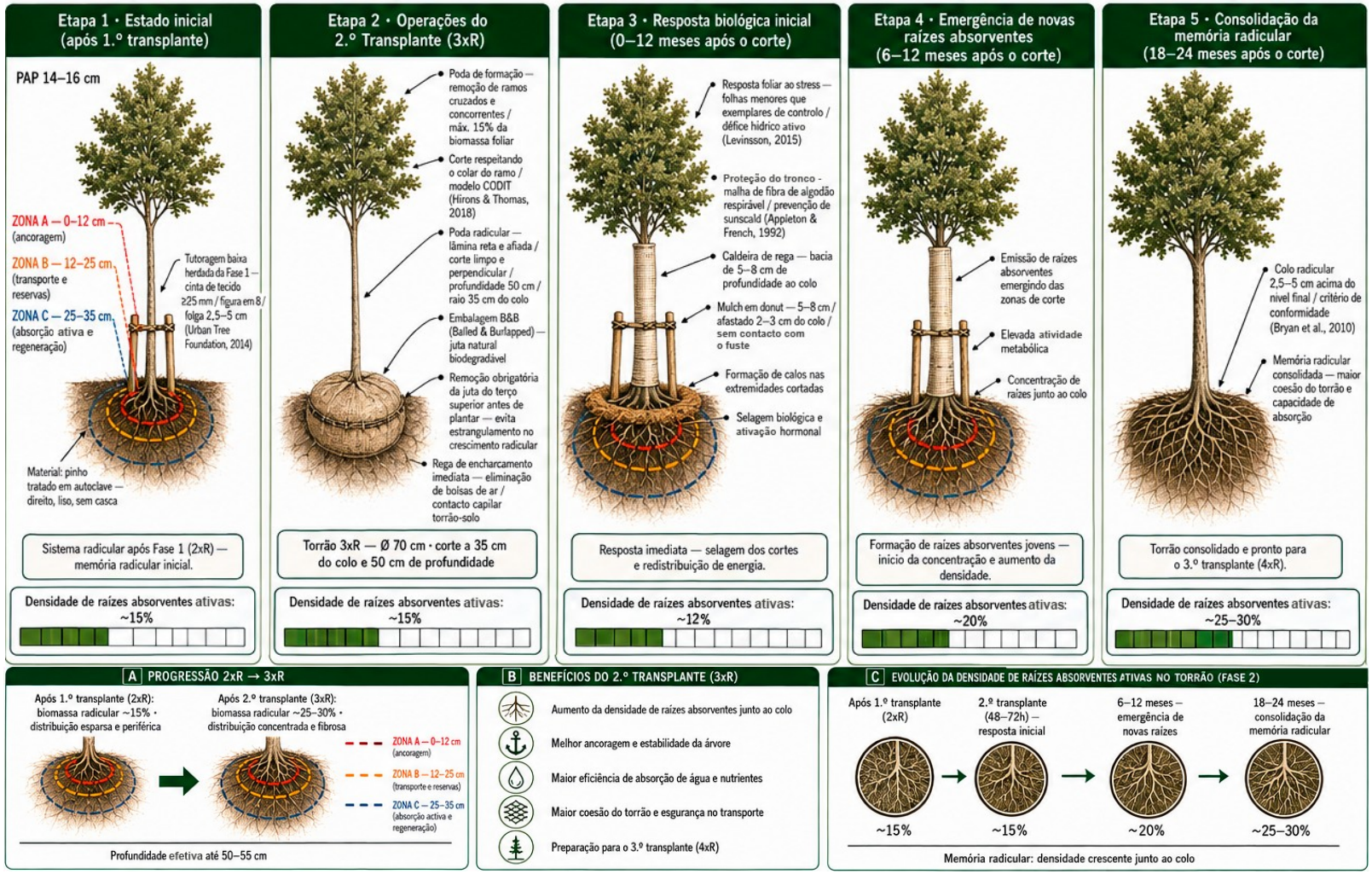


Figura 79. Versão ampliada da Figura 11: segunda intervenção de transplante e poda radicular (3xR). Fonte: elaboração própria, com base em Harris & Bassuk (1993); Appleton (1995); Struve (2009); Levinsson (2015); Watson & Himelick (1982, 2013); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

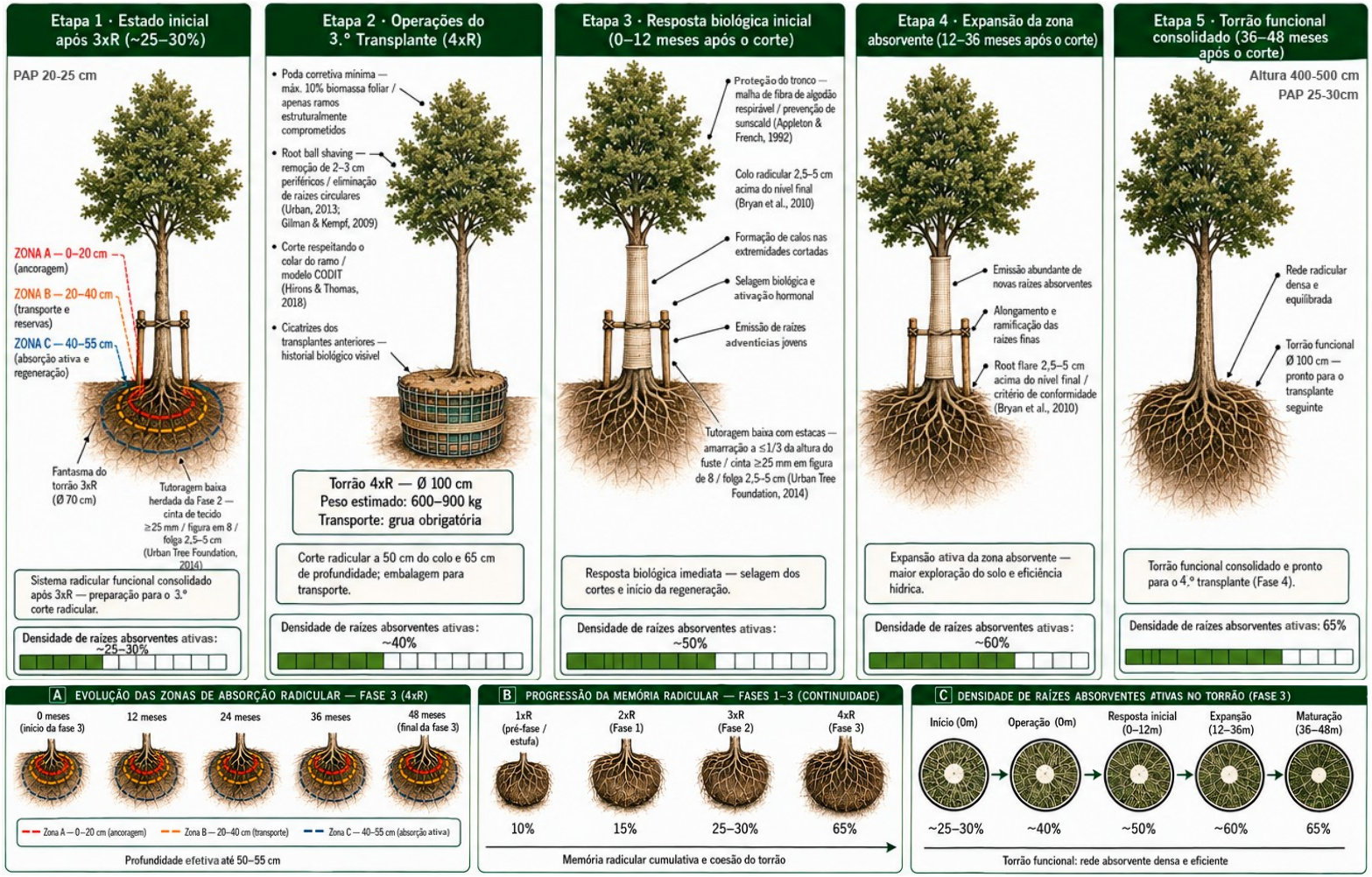


Figura 80. Versão ampliada da Figura 12: terceira intervenção de transplante e poda radicular (4xR). Fonte: elaboração própria, com base em Harris & Bassuk (1993); Appleton (1995); Struve (2009); Watson & Himelick (1982, 2013); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

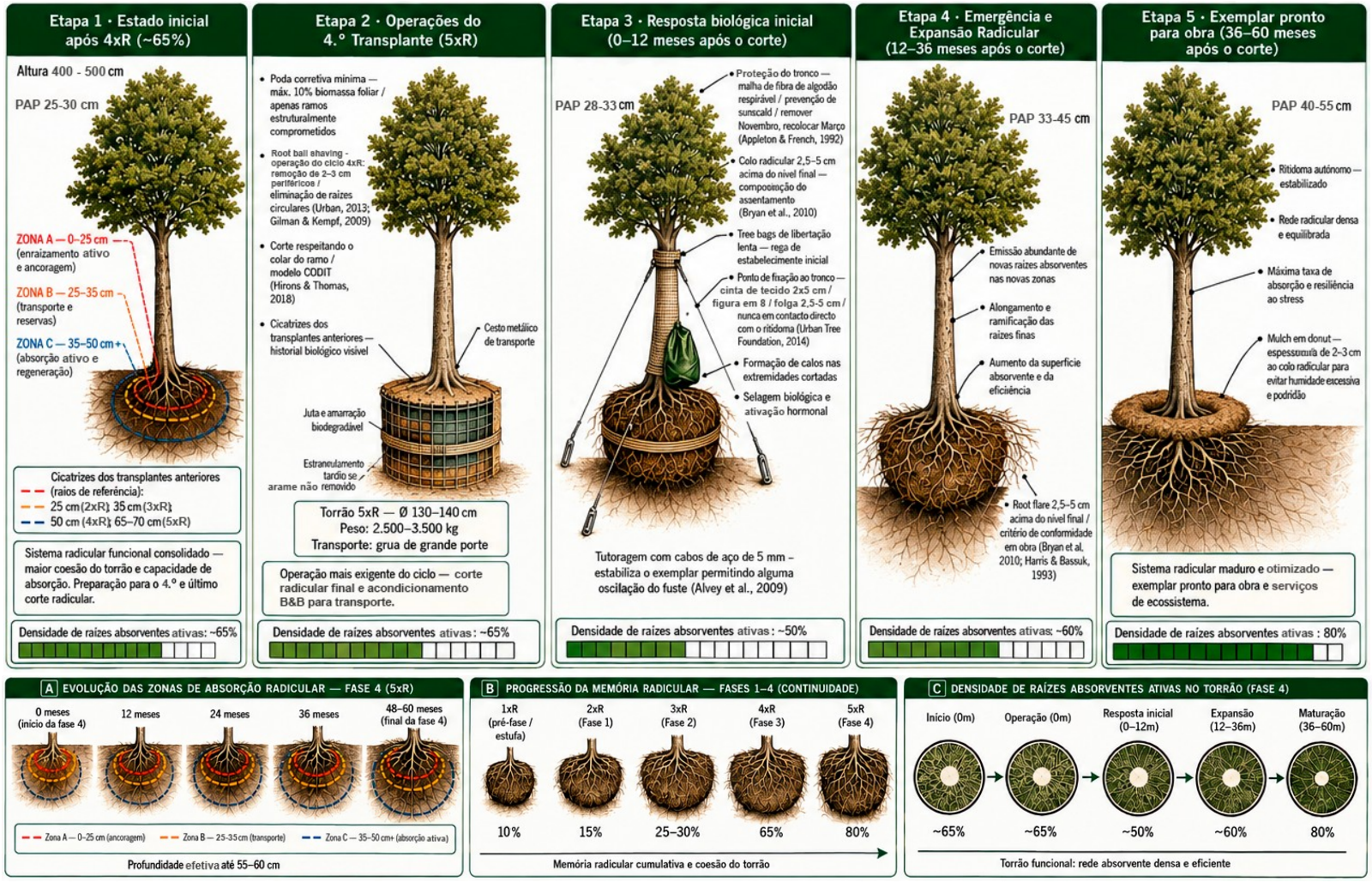


Figura 81. Versão ampliada da Figura 13: quarta intervenção de transplante e poda radicular (5xR). Fonte: elaboração própria, com base em Harris & Bassuk (1993); Appleton (1995); Struve (2009); Watson & Himelick (1982, 2013); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

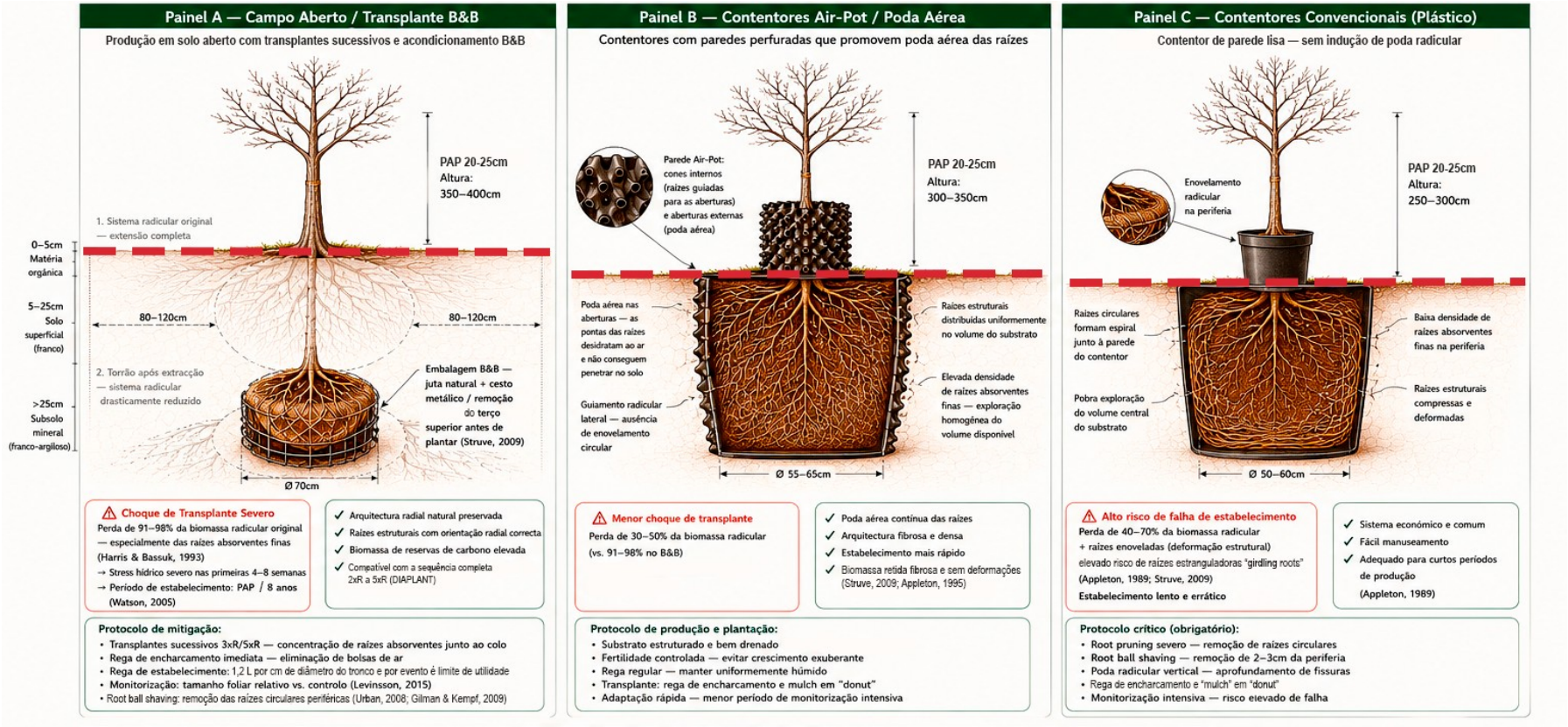


Figura 82. Versão ampliada da Figura 14. Comparação em corte de três sistemas de produção a PAP 20–25 cm, calibre em que os três são aplicáveis (Tabela 3): campo aberto com transplante e acondicionamento Balled & Burlapped (A), contentor de parede perfurada com poda aérea (B) e contentor convencional de parede lisa (C). A quebra ao nível do solo assinala mudança de escala; as percentagens de perda radicular seguem a ressalva de cálculo da nota à mesma tabela. Fonte: elaboração própria, com base em Harris & Bassuk (1993); Appleton (1989, 1995); Struve (2009); Gilman & Kempf (2009); Watson (2005); Levinsson et al. (2014); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

Calibre (PAP)	Protocolo DIAPLANT	Estabelecimento (Anos) — Regra PAP/8	Custo Relativo de Produção	Risco Mediterrânico (Stress Hídrico Estival)	Retorno em Serviços Ecossistémicos
8 – 14 cm	2xR	~1–2 anos	● Baixo	Baixo — recuperação rápida do equilíbrio copa-raiz	Diferido — benefícios plenos após 15–20 anos
16 - 25 cm	3xR	~2–3 anos	●● Baixo-Médio	Baixo-Moderado — recuperação favorável com rega de estabelecimento padrão	Diferido — benefícios plenos após 10–15 anos
30 - 40 cm	4xR	~4–5 anos	●●● Médio	Moderado — exige rega proativa nas primeiras duas estações	Intermédio — sombreamento e retenção hídrica funcionais
45 - 60 cm	5xR	~6–8 anos	●●●● Elevado	Alto — janela de vulnerabilidade longa; tutoragem oblíqua indicada a partir de PAP 40 cm	Imediato — filtragem de poluentes até 70× superior a exemplares jovens (Nowak et al., 2006)
60cm +	5xR limite superior do ciclo (≈ PAP 60 cm)	~ 8 -10 anos	●●●●● Muito Elevado	Crítico — dependência total de manutenção hídrica especializada nos primeiros anos	Máximo — impacto instantâneo na mitigação da ilha de calor urbana

Risco Mediterrânico

Em contexto atlântico-mediterrâneo, a elevada evapotranspiração estival intensifica o stress de transplante (transplant shock), tornando a frequência e o rigor da rega de estabelecimento o mais consequentes para o sucesso da instalação do que o volume aplicado em calibres elevados

A Lógica do PAP/8

O sistema radicular de um exemplar de grande calibre pode perder entre 91% e 98% da sua biomassa original no momento do transplante (Harris & Bassuk, 1993). Como a colonização do solo nativo por novas raízes absorventes ocorre a um ritmo biologicamente limitado, calibres superiores exigem proporcionalmente mais tempo para restabelecer o equilíbrio funcional entre copa e sistema radicular (Watson, 1985, 2005).

Compromisso de Manutenção

A especificação de calibres elevados implica período contratual de manutenção crescente: três anos a partir de PAP 30 cm, quatro a partir de PAP 45 cm e cinco acima de PAP 60 cm (Tabela 24, proposta deste trabalho).
Volumes superiores a 1,2 L por cm de diâmetro do tronco e por evento não produziram ganho adicional de crescimento: o valor é limite de utilidade, não dose recomendada, e a frequência revelou-se mais consequente do que o volume (Gilman, Black & Dehgan, 1998).

Figura 83. Versão ampliada da Figura 14: matriz de apoio à decisão de calibre. Fonte: elaboração própria, com base em Watson (1985, 2005); Harris & Bassuk (1993); Struve (2009); Gilman et al. (2013); Nowak, Crane & Stevens (2006); e em informação técnica da DIAPLANT (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal).

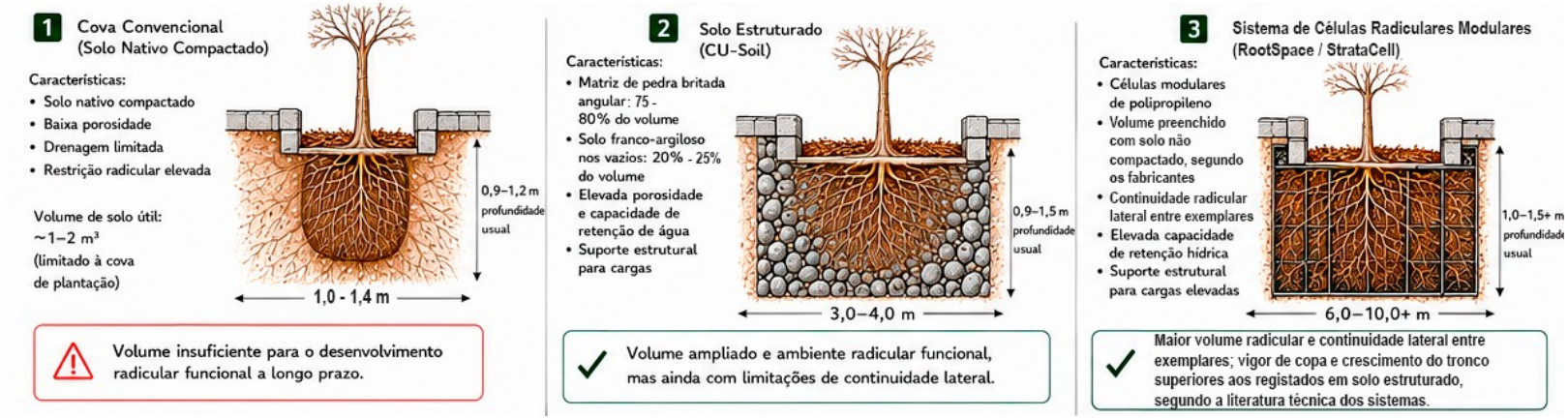


Figura 84. Versão ampliada da Figura 19: corte comparativo de três sistemas de suporte de solo em arruamento. Fonte: elaboração própria, com base em Grabosky & Bassuk (1995, 2016); GreenBlue Urban (2021c); Stockholm Tree Pits (s.d.b).

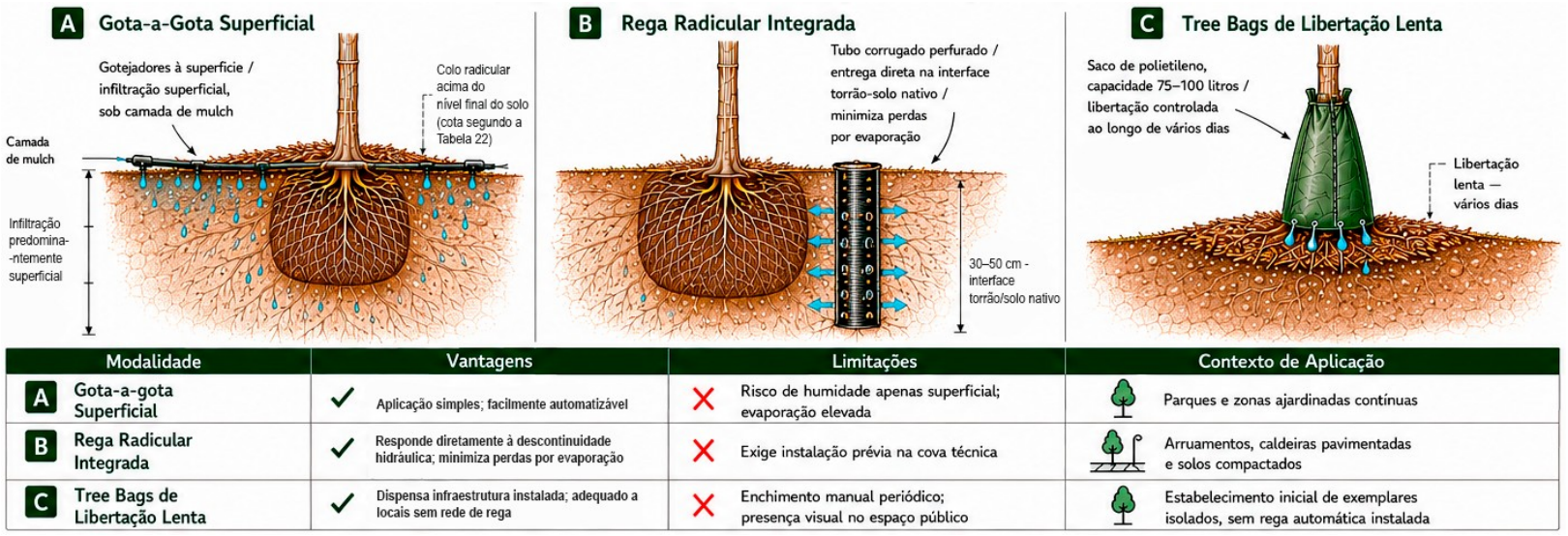


Figura 85. Versão ampliada da Figura 30: três modalidades de rega durante o período de estabelecimento. Fonte: elaboração própria, com base em Gilman, Black & Dehgan (1998); City of Raleigh Urban Forestry (2021); GreenBlue Urban (2021c); LITE-SOIL GmbH (s.d.); Azevedo, C. (2026, comunicação pessoal).

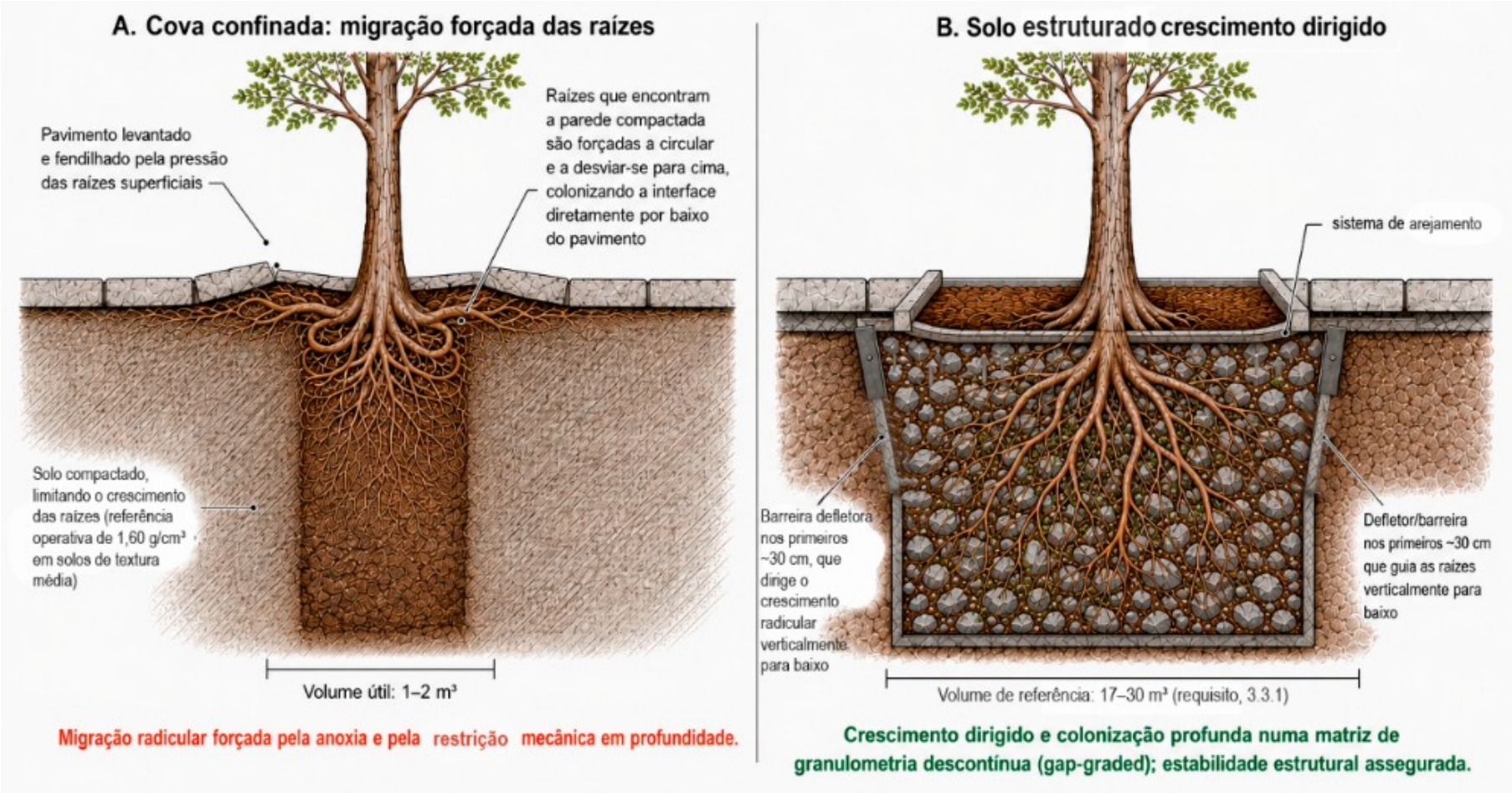


Figura 86. Versão ampliada da Figura 20. Corte transversal comparativo entre caldeira convencional em solo compactado (esq.), em que a compactação força a migração radicular para a interface com o pavimento, e sistema de solo estruturado com elemento defletor (dir.), que dirige o crescimento em profundidade. Representação esquemática. Fonte: elaboração própria, com base em Grabosky & Bassuk (2016); GreenBlue Urban (2021c).

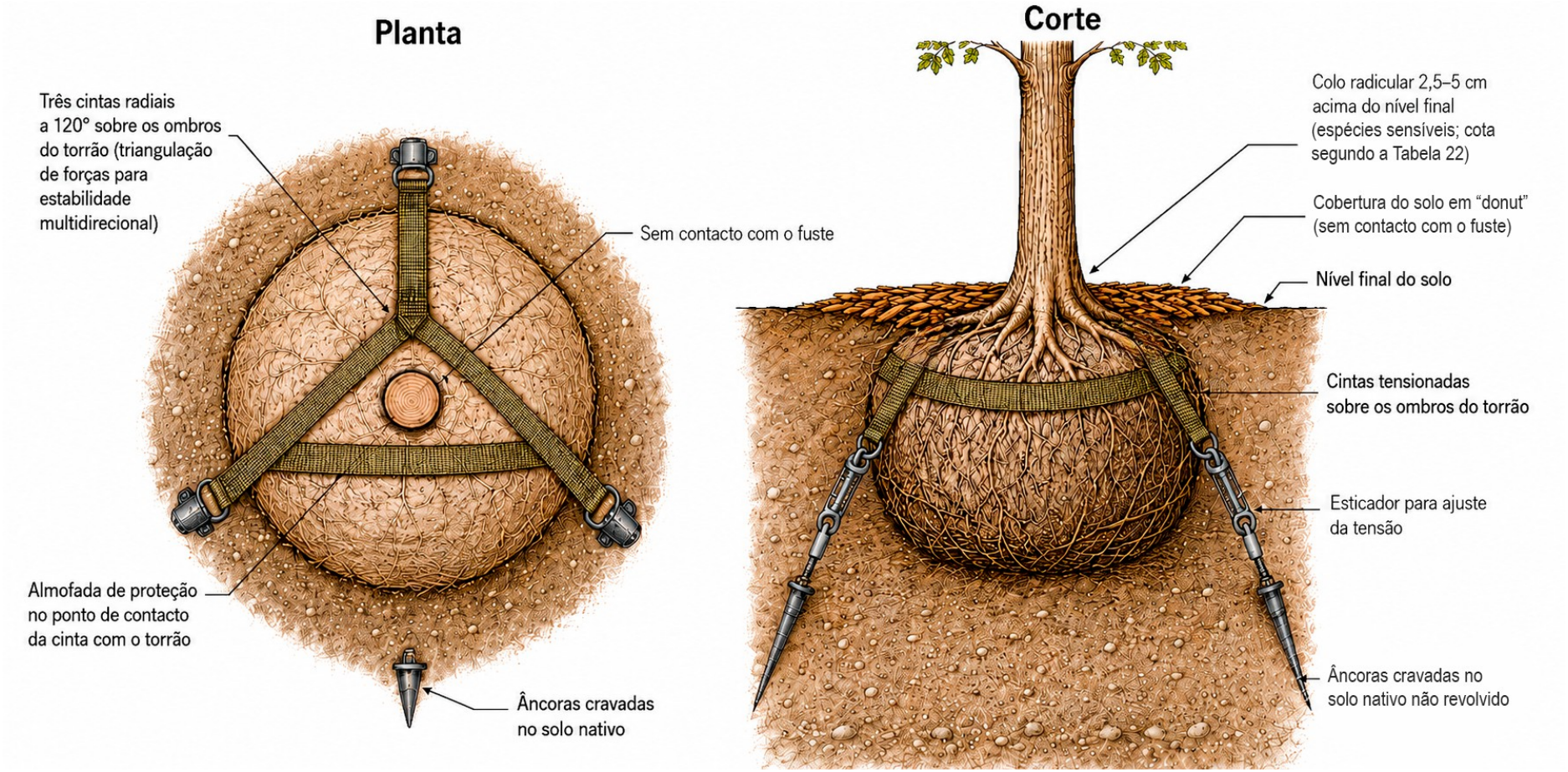


Figura 87. Versão ampliada da Figura 45. Sistema de ancoragem subterrânea do torrão por cintas radiais, em planta e em corte: três cintas de tecido dispostas radialmente a 120°, assentes sobre os ombros do torrão com almofada de proteção no ponto de contacto e tensionadas por esticadores a âncoras cravadas em solo firme não revolvido, sem contacto com o fuste. Fonte: elaboração própria, com base em Urban Tree Foundation (2014); Appleton et al. (2008); Alvey, Wiseman & Kane (2009).

Anexos VIII – Análise Comparativa: Viveiros Nacionais e Internacionais

Análise Comparativa: Viveiros Nacionais e Referências Internacionais

As tabelas seguintes apresentam um levantamento exploratório de informação sobre viveiros nacionais e duas referências internacionais selecionadas. O conjunto não constitui uma amostra representativa do setor. A leitura distingue informação interna da DIAPLANT e informação pública dos restantes viveiros.

Legenda: ✓ Sim / Confirmado ~ Parcial / Provável ✗ Não / Não confirmado **N/D** Não Disponível

1. Viveiros Nacionais - Estrato Arbóreo (Pequeno / Médio / Grande Porte)

Critério de Comparação	Alfredo Moreira Silva	Viveiros Castromil	Viveiros Pinheiro Manso	Quinta dos Cômoros	Agroportugal	Viveiros Valter	Viveiros Albar	Planfor	DIAPLANT
PERFIL GERAL									
Localização	Porto / Mira / Coimbra	Paredes (Porto)	Portugal (N/D)	Serra da Lousã	Aguiar da Beira	Portugal (N/D)	Norte do Porto	Online (FR/PT)	**Amarante**
Ano de fundação	1895 (act. 1985)	1927	N/D	N/D	+25 anos	2005 (+40 exp.)	N/D (gerações)	N/D	**2009**
Área de produção	+100 ha	17 ha	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	Online	**N/D**

Critério de Comparação	Alfredo Moreira Silva	Viveiros Castromil	Viveiros Pinheiro Manso	Quinta dos Cômoros	Agroportugal	Viveiros Valter	Viveiros Albar	Planfor	DIAPLANT
Tipo de empresa	Familiar (5.ª ger.)	Familiar	Unipessoal	Familiar	Privada	Familiar	Familiar (ger.)	Plataforma online	**Familiar / Privada**
ESTRATO ARBÓREO									
Pequeno porte (C ≤ 20 cm, h = ~4)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Médio porte (C 20 - 40 cm, h = ~4 - 10 m)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Grande porte / Adultas (C > 40 cm, h = >10 m)	✓	✓	✓	✓	✓	~	~	✓	✓
Árvores ornamentais	✓	✓	✓	✓	✓	~	~	✓	✓
Árvores florestais / Nativas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fruteiras	✓	✓	~	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Coníferas	✓	✓	✓	✓	✓	~	~	✓	✓
PROTOCOLOS TÉCNICOS									

Critério de Comparação	Alfredo Moreira Silva	Viveiros Castromil	Viveiros Pinheiro Manso	Quinta dos Cômoros	Agroportugal	Viveiros Valter	Viveiros Albar	Planfor	DIAPLANT
Protocolo Transplante Sucessivo (3xr / 4xr)	✓	✓	~	✓	~	~	~	✗	✓
Calibre (Girth) máximo disponível (cm perímetro)	+80 cm	+60 cm	N/D	+40 cm	N/D	N/D	N/D	+50 cm	**+100 cm**
Escala qualitativa de calibre	Excecional	Elevado	Standard	Médio	Standard	Standard	Standard	Elevado	**Excecional**
Conformidade c/ Normas Internacionais (UTF / ISA)	~	~	✗	~	✗	✗	✗	✗	✓
Integração Vertical (Viveiro–Projeto–Obra)	✗	~	✗	✗	~	✗	✗	✗	✓
SERVIÇOS E MERCADO									
Venda a particulares	~	✓	✓	~	✓	✓	✓	✓	✓
Venda a profissionais / B2B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Venda online / envio	✗	✓	~	✗	✓	~	~	✓	✓
Exportação internacional	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	~	✓

Critério de Comparação	Alfredo Moreira Silva	Viveiros Castromil	Viveiros Pinheiro Manso	Quinta dos Cômoros	Agroportugal	Viveiros Valter	Viveiros Albar	Planfor	DIAPLANT
Manutenção	✗	✓	✗	✗	✓	~	✗	✗	✗
Projeto / paisagismo	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓
PRINCIPAL DIFERENCIAL									
Destaque	Maior viveiro da Península Ibérica	Produção diversificada + serviços	Desde florestação até calibres p/ arruamentos	Microclima da Serra da Lousã; qualidade arbórea	Mobilidade regional; jardins municipais	Tradição familiar agrícola	Tradição de gerações no norte do Porto	Milhares de espécies; compra online conveniente	**Especialização em árvores adultas; 3xr/4xr; integração vertical; referência em arboricultura urbana**
Website / catálogo online	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

A informação reunida permite descrever características divulgadas pelos viveiros selecionados e contextualizar o modelo da DIAPLANT. O acesso interno a esta entidade oferece maior detalhe do que as fontes públicas utilizadas para as restantes. Não é possível concluir, a partir desta comparação, que nenhum outro viveiro nacional possua integração semelhante, nem que a produção interna garanta a disponibilidade integral dos elencos de projeto.

2. Referências Internacionais - Lorenz von Ehren (DE) vs Vannucci Piante (IT)

Critério de Comparação	Lorenz von Ehren (Alemanha)	Vannucci Piante (Itália)
PERFIL GERAL		
Localização	Hamburgo, Bad Zwischenahn e Rellingen (Alemanha)	Quarrata, Pistoia (Toscana, Itália)
Ano de fundação	1865 (família von Ehren)	1938 (Vannino Vannucci senior)
Área de produção	~600 ha (3 locais)	Centenas de ha (Pistoia + filiais)
Tipo de empresa	Familiar (5.ª geração); participação família Ströher desde 2013	Familiar; moderna e dinâmica
Número de colaboradores	~180 colaboradores (3 unidades)	Não divulgado (grande equipa)
ESTRATO ARBÓREO E GAMA DE PRODUTOS		
Gama de produtos	+2.000 géneros, espécies e variedades; +500.000 plantas em stock	Árvores médias/grandes caducifólias e perenes, arbustos, efeito imediato, roseiras, oliveiras, citrinos
Pequeno porte	✓	✓
Médio porte	✓	✓
Grande porte / Solitários	✓	✓
Calibres máximos de tronco	Até ~140 cm de perímetro; solitários até 10 toneladas	Árvores de impacto imediato; efeito instantâneo em grandes projetos

Critério de Comparação	Lorenz von Ehren (Alemanha)	Vannucci Piante (Itália)
Árvores de arruamento / parque	✓	✓
Formatos / topiary	✓	✓
Espécies resistentes às alterações climáticas	Foco explícito em espécies tolerantes à seca, calor e chuva intensa	Foco em sustentabilidade; análise de benefícios ambientais de +50 espécies
Fornecimento contínuo (12 meses)	✓	✓
MERCADO E SERVIÇOS		
Mercado-alvo principal	Profissionais e grandes projetos; encomenda mínima aplicável. Particular via garden center parceiro	Arquitetos, paisagistas e grandes projetos globais; também retalho especializado
Exportação internacional	✓	✓
Alcance geográfico	Europa (metrópoles, parques, jardins privados)	Global (projetos internacionais de grande escala)
Logística própria / transporte	✓	✓
Catálogo/encomenda online	✓	✓
Showroom / espaço visita	Sim; viveiro visitável em Hamburgo, Bad Zwischenahn e Rellingen	Pistoia Nursery Park; campus formativo (Campus Vannucci)
SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO		

Critério de Comparação	Lorenz von Ehren (Alemanha)	Vannucci Piante (Itália)
Sustentabilidade ambiental	Foco em adaptação climática; projeto 'Grüner Bunker' em Hamburgo (2024)	Sistemas de rega que poupam até 95% de água; certificações ambientais; código de ética
Formação / inovação	Presidência histórica da European Nurserystock Association	Campus Vannucci (formação de novas gerações); parcerias com PNAT
Reconhecimento / prémios	Bundesverdienstkreuz (Lorenz von Ehren III, 2000); referência histórica europeia	Líderes do setor viveirista italiano; referência em Pistoia (capital europeia dos viveiros)
DIFERENCIAIS DISTINTIVOS		
O que os distingue	Um dos maiores viveiros da Europa; solitários únicos até 10 ton.; presença em metrópoles europeias como Hamburgo, Berlim e Londres	Visão de 'mentor e parceiro' de projetos globais; campus formativo; parque de viveiro de impacto imediato; sustentabilidade como ADN da empresa
Comparação com Portugal	Escala (600 ha vs max. 100 ha PT); variedade (2.000+ taxa); solitários de topo de gama; acesso a parques e monumentos históricos europeus	Inovação, sustentabilidade e visão estratégica global; fornecimento 12 meses; parcerias com arquitetos; dimensão e logística incomparáveis em Portugal

As duas referências internacionais ilustram diferenças de escala e de serviços entre as entidades selecionadas. Os valores e características devem ser lidos com as datas e fontes que os suportam. O levantamento não permite estabelecer o máximo nacional de área de produção, ordenar todos os viveiros europeus ou demonstrar a viabilidade de transferir práticas para a DIAPLANT. Essa transferência constitui uma possibilidade a avaliar, e não um resultado deste trabalho.

Os símbolos «~» e «✗» refletem a ausência de informação pública que confirme a prática em causa, e não a sua inexistência confirmada junto do viveiro. A informação relativa à DIAPLANT resulta de acesso interno (Azevedo, C., 2026, comunicação pessoal), o que introduz uma assimetria de detalhe face aos restantes viveiros analisados, avaliados exclusivamente a partir de informação disponível publicamente em abril de 2026.

Documento elaborado com base em informação pública disponível em abril de 2026.

Referências

Alfredo Moreira Silva & Filhos. (s.d.). Consultado em abril de 2026

Conway, T. M., & Vander Vecht, J. (2015). Growing a diverse urban forest: Species selection decisions by practitioners planting and supplying trees. Landscape and Urban Planning, 138, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.01.007.

Lorenz von Ehren Baumschule. (s.d.). Von Ehren Kompendium: Bäume und Sträucher für die Zukunft (6.ª ed.).

Lorenz von Ehren Baumschule. (2023). Professional tips: Urban tree planting & establishment.

Vannucci Piante. (2025). Catálogo Vannucci Piante 2025–2026. Quarrata, Itália.

Viveiros Castromil. (s.d.). Consultado em abril de 2026

DIAPLANT. (2026). Cuidados básicos na plantação de árvores (Documento técnico interno). Gondar, Amarante.

Hilbert, D. R., Koeser, A. K., Roman, L. A., Andreu, M. G., Hansen, G., Thetford, M., & Northrop, R. J. (2022). Selecting and assessing underutilized trees for diverse urban forests: A participatory research approach. Frontiers in Ecology and Evolution, 10, 759693. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.759693.

DECLARAÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

Declaro que, na elaboração do presente relatório, recorri a ferramentas de inteligência artificial generativa: NotebookLM (Google), Claude (Anthropic / Modelo Sonnet 4.6 / Opus 4.8 / Sonnet 5 / Opus 5) e ChatGPT/DALL·E (OpenAI / Modelo GPT 5.6). Entre abril e setembro de 2026.

Estas ferramentas foram utilizadas como instrumentos de apoio na organização e sistematização da informação proveniente de artigos científicos, manuais técnicos e documentação de fabricantes; na revisão da consistência interna do documento; na verificação e formatação de referências; na elaboração das instruções para a produção das figuras técnicas originais; no apoio à redação e reformulação de passagens de texto; e na revisão linguística.

A conceção do tema, a formulação das questões de investigação, a recolha de dados de campo e o registo fotográfico, a análise crítica dos casos de estudo, a recolha de informação junto do responsável de viveiro, a validação técnica e científica de todo o conteúdo e a formulação das conclusões constituem trabalho original da autora. Todas as passagens redigidas com apoio destas ferramentas foram revistas, corrigidas e validadas pela autora, que verificou individualmente cada referência bibliográfica nas fontes primárias e corrigiu as imprecisões técnicas identificadas.

Nenhum dado confidencial da entidade de acolhimento foi introduzido em ferramentas de inteligência artificial. A autora assume integral responsabilidade pelo conteúdo científico e técnico do trabalho.