

INSTITUTO POLITÉCNICO DE VISEU



**Politécnico
de Viseu**



associação para
o desenvolvimento
e investigação de viseu

AVALIAÇÃO FITOSSANITÁRIA E BIOMECÂNICA

de

Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.)

Centro Ecoturístico da Ribeira Grande

Fronteira

VISEU, 12 de fevereiro de 2023

Página deixada propositadamente em branco

Avaliação Fitossanitária e Biomecânica e um exemplar arbóreo

Requerente: Município de Fronteira

Espécie: *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh

Localização: Centro Ecoturístico da Ribeira Grande

Concelho: Fronteira

V/ Referência: ADS N.º: RI_11/2023,

N/ Referência:

Data de avaliação: 2022/02/06

Coordenação Técnico-Científica

Paulo Barracosa, Biólogo. Doutorado em Biotecnologia

Helder Viana, Eng.º Florestal, Doutorado em Ciências Agronómicas e Florestais

Contactos

IPV - Instituto Politécnico de Viseu / ESAV

Escola Superior Agrária de Viseu

Quinta da Alagoa. Av. Dr. António Almeida Henriques

3500-606 Viseu, Portugal

Tel: +351 232 446 600

ADIV - Associação para o Desenvolvimento e Investigação de Viseu

Campus Politécnico

Pavilhão Oficinal Gabriel Afonso

3504-510 VISEU

Telefone: 232 480 662

Email: adiv@adiv.pt

Índice

1.	Preâmbulo.....	1
2.	Localização geográfica do exemplar avaliado.....	2
3.	Contexto histórico do regime hídrico no local.....	3
4.	Metodologia da avaliação	4
4.1.	Observação da envolvente.....	4
4.2.	Avaliação geral de sintomas	5
4.3.	Dendrologia e medição de parâmetros dendrométricos e de lesões.....	5
4.4.	Sondagens com o resistógrafo e tomógrafo.....	6
4.5.	Avaliação do Nível de Risco	8
5.	Avaliação fitossanitária e análise da estabilidade biomecânica.....	10
5.1.	Descrição do <i>Eucalyptus</i> sp.	10
5.2.	Inspeção visual.....	12
5.3.	Diagnóstico da Fitossanidade	16
5.4.	Medição dos parâmetros dendrométricos e das lesões	16
5.5.	Sondagens com o resistógrafo e tomógrafo.....	17
5.6.	Fatores de predisposição e indução	23
5.7.	Determinação do nível de risco.....	23
6.	Proposta de intervenção.....	25
7.	Conclusões	26
8.	Agradecimentos.....	26
9.	Referências Bibliográficas.....	27
	Ficha de Análise Visual Arbórea.....	28

Índice de Figuras

Figura 1 - Localização geográfica do eucalipto avaliado.....	2
Figura 2 – Vista geral do Eucalipto em estudo.....	2
Figura 3 – Imagens das inundações dos dias 12 e 13 dezembro de 2022.....	3
Figura 4 – Sondagem realizada com resistógrafo (a) e tomógrafo (b) na base da árvore.....	6
Figura 5 - Análise do sistema radicular com recurso ao ARBORADIX.....	7
Figura 6 - Drone DJ Mavik 2Pro usado para análise visual dos exemplares arbóreos em altura.....	7
Figura 7 - Vista superior da copa do Eucalipto mostrando ramos secos e sinais de Dieback.....	12
Figura 8 - Pormenor do colo e tronco evidenciando a zona de fendilhamento e podridão.....	12
Figura 9 - Imagem do eucalipto (datada de 17/06/2011).....	13
Figura 10 - Pormenor da zona do colo e raízes do eucalipto (06/02/2023).....	14
Figura 11 - Ramo do eucalipto caído no solo (esq.); Pormenor do ramo (dir.)	14
Figura 12 - Imagens da árvore em outubro de 2020 (esq.) e 6 de fevereiro de 2023 (dir.).....	15
Figura 13 - Imagens da árvore em outubro de 2020.....	15
Figura 14 - Análise com recurso ao resistógrafo.	17

Figura 15 - Sondagens realizadas por resistógrafo no exemplar de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. A 25cm do solo..... 18

Figura 16 - Tomografia 2D de uma secção transversal da árvore realizada a 40 cm do solo..... 20

Figura 17 - Registo com o Tomógrafo mostrando a resistência mecânica da árvore à força de tração do vento a 40 cm do solo..... 20

Figura 18 - Tomografia 2D de uma secção transversal da árvore realizada a 160 cm do solo. 21

Figura 19 -Registo com o Tomógrafo mostrando a resistência mecânica da árvore à força de tração do vento, a 160 cm do solo..... 21

Figura 20 - Registo com o tomógrafo do estado do sistema radicular 22

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Parâmetros dendrométricos do eucalipto..... 16

Tabela 2 - Caracterização e medição das lesões 23

Tabela 3- Cálculo do Nível de Risco 24

1. Preâmbulo

O presente relatório de avaliação dá resposta à solicitação feita pelo Município de Fronteira, ADS Nº: RI_11/2023, datado de 27/01/2023, para a avaliação fitossanitária e análise da estabilidade biomecânica de um Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) enquadrado no Centro Ecoturístico da Ribeira Grande junto à EN245, da ponte histórica e no início do passadiço.

Esta árvore foi afetada pelas inundações provocadas pela subida do caudal da ribeira devido às fortes chuvadas, o que provocou a destruição do tabuleiro e das guardas da ponte que ficou totalmente submersa no dia 12 de dezembro. A ponte está inserida no Centro Ecoturístico da Ribeira Grande, fazendo a ligação, através da Estrada Nacional (EN) 245, entre as vilas de Fronteira e Alter do Chão.

A avaliação fitossanitária e diagnóstico biomecânico, foi levada a cabo no terreno no dia 6 de fevereiro de 2023, com o objetivo de identificar potenciais constrangimentos e eventuais riscos que esta possam representar para a via pública e para a segurança de pessoas e bens. Esta caracterização pretende contribuir para justificar uma tomada de decisão relativa ao planeamento de recuperação e requalificação do espaço.

2. Localização geográfica do exemplar avaliado

O eucalipto avaliado localiza-se na freguesia e concelho de Fronteira, no Distrito de Portalegre, junto à EN245, enquadrado no Centro Ecoturístico da Ribeira Grande, da ponte histórica que liga as vilas de Fronteira e Alter do Chão, conforme indicado na Figuras 1 e 2.

As coordenadas das árvores foram levantadas com um receptor GNSS de elevada precisão e sobrepostas em cartografia OSM e ortofotomapa da DGT de 2018.



Figura 1 - Localização geográfica do eucalipto avaliado



Figura 2 - Vista geral do Eucalipto em estudo

3. Contexto histórico do regime hídrico no local

Em relação ao padrão de cheias neste local uma das primeiras notícias disponível data do ano de 1604 e nela se informa sobre a arrematação das obras de reparação da ponte em virtude das cheias desse mesmo ano. Em 1699, na noite de 13 para 14 de janeiro, uma terrível cheia abriu grandes boqueirões no pavimento da ponte, deixando-a intransitável. Em 6 de dezembro de 1802 voltou a ocorrer uma grande enchente e a Câmara Municipal determinou que à vista da ruína se atentasse à necessidade de transportar não só as gentes, mas também carros e bestas de uma para outra parte. Semelhante a esta, em danos e prejuízos foi a cheia de 25 de novembro de 1858 que derrubou 136 m de guardas da ponte para além de ter arrancado 252 m² de calçada do pavimento. A 6 de Dezembro de 1876, um terrível temporal produziu nesta vila e nos seus subúrbios horríveis estragos, sobretudo na ponte da Ribeira Grande, cujas guardas e grande parte do solo ficaram completamente destruídas e a ponte de todo intransitável podendo apenas, com muita dificuldade, dar passagem individual a pessoas a pé. As cheias continuaram a fazer-se sentir ciclicamente, por vezes com grande intensidade, como aconteceu em 1979 ou 1981, sem atingir as proporções ou provocar os prejuízos das anteriores. O evento ocorrido, recentemente, em 13 de dezembro de 2022 (Figura 3) voltou a provocar graves danos estruturais na ponte histórica e em outras infraestruturas do centro ecoturístico da Ribeira Grande onde se encontram as piscinas e o parque envolvente.



Figura 3 – Imagens das inundações dos dias 12 e 13 dezembro de 2022

4. Metodologia da avaliação

A metodologia da avaliação fitossanitária e de estabilidade biomecânica assenta no método, amplamente usado, designado por *Visual Tree Assessment - VTA* (Mattheck, 2007 e 2015), o qual se baseia na inspeção visual, na medição de parâmetros biométricos da árvore e dos defeitos da mesma, complementado com instrumentos de análise, como o resistógrafo ou tomógrafo, para detetar a condição interna de árvores, analisando posteriormente a possibilidade de fratura, assente em critérios pré-estabelecidos.

Este método, baseia-se no axioma da tensão constante, isto é, no facto das árvores crescerem mantendo uma tensão uniforme em toda a sua estrutura (Mattheck, 2015). Quando este modelo é alterado por um qualquer defeito, agressão biótica ou abiótica, a árvore tende a restabelecer o equilíbrio com a deposição de material reparador (Shigo, 1991). Contudo, há limites de carga máxima que uma árvore pode suportar e a partir da qual se dá a rutura das suas estruturas.

4.1. Observação da envolvente

Compreender o ambiente da árvore e a zona envolvente, é fundamental para melhor avaliar o estado fitossanitário e a condição biomecânica. Para isso, foram ponderados os fatores de predisposição e os fatores de indução, atendendo ao modelo de espiral de declínio (Manion, 1991). Estes fatores de predisposição (aqueles intrínsecos ao local ou à árvore e com efeitos a longo prazo: clima, fertilidade do solo, qualidade da drenagem, exposição, espécie, genética da árvore, entre outros) e os fatores de indução (de natureza abiótica ou causados pelo homem, como surtos de seca, inundações, podas severas, compactação do solo, entre outros), contribuem para o declínio da árvore. Acresce que alguns agentes patogénicos (fatores de aceleração) como fungos, bactérias, vírus, nemátodos, insetos e outros animais agravam a estabilidade da árvore promovendo esse declínio. Estes fatores, presentes com maior ou menor severidade, associados a outros parâmetros avaliados permitem inferir sobre o vigor vegetativo e o estado geral da árvore.

O historial das ações realizadas nas árvores, como podas, desbastes, tratamentos fitossanitários, operações de manutenção, é de extrema importância quando se fazem avaliações fitossanitárias e análise da estabilidade biomecânica. Por exemplo, podas em excesso, com elevado grau, ou tecnicamente mal executadas podem originar a formação de ramos adventícios, ou feridas que são a porta de entrada para agentes patogénicos. Os desbastes mal planeados podem colocar as árvores vizinhas expostas às ações climatéricas. Assim, a recolha desta informação foi tida em conta.

Na avaliação da envolvente é fulcral identificar as zonas de potencial impacto, identificando os potenciais alvos no caso de fraturas da árvore ou das componentes (ramos, pernadas, etc).

Determinar o valor intrínseco de uma árvore, pode por vezes ser subjetivo, mas sempre que a notabilidade de um exemplar o justifique é desejável associar um valor, de acordo com os métodos em vigor (e.g. Calaza Martínez *et al.*, 2020).

4.2. Avaliação geral de sintomas

A avaliação geral feita desde a copa, tronco, colo e sistema radicular permite, numa primeira análise, aferir acerca do estado de desenvolvimento da árvore, do seu vigor, do equilíbrio da conformação geral (copa, bifurcações e pernadas), de sintomas de *dieback*, folhas e ramos indicando ataques de insetos, estado da casca (fendilamentos, inclusa, etc.), da presença de carpóforos indicando presença de fungos patogénicos, cancros, entre outros.

Aquando da presença de sintomas de defeitos, a inspeção pode necessitar de instrumentos complementares de análise como verruma de pressler, fractómetro, resistógrafo, tomógrafo, etc. O uso de um maço para bater no tronco, e se ouvir os sons emitidos, é um método de muita utilidade prática.

4.3. Dendrologia e medição de parâmetros dendrométricos e de lesões

A primeira fase da avaliação consiste em fazer a identificação dendrológica dos exemplares em estudo, como o nome científico e comum(uns) da(s) espécie(s), atendendo às características morfológicas e ecológicas.

Os parâmetros dendrométricos de cada exemplar (diâmetro à altura do peito <1,30 m>, altura média e diâmetro médio de projeção horizontal da copa), foram medidos com fita de diâmetro e vertex, respetivamente. A classe de idade foi estimada, o que permite relacionar com o desenvolvimento (aéreo e radicular e vigor vegetativo. Estes parâmetros permitem obter outras variáveis tais como o coeficiente de adelgaçamento, o volume (m³), a biomassa (Kg), etc.

A avaliação das dimensões das lesões da árvore, como cavidades, fendas, codominâncias, e cancros, etc., permite conhecer a respetiva gravidade e avaliar a possibilidade de fratura.

A avaliação das dimensões das lesões/defeitos da árvore, como cavidades, fendas, codominâncias, e cancros, etc., quando presentes, também foram registados, bem como o diâmetro na altura das sondagens feitas por resistógrafo e/ou tomógrafo (quando

necessário), permitindo obter a razão t/R para árvores com cavidades internas, bem como conhecer a respetiva gravidade e analisar a possibilidade de fratura.

4.4. Sondagens com o resistógrafo e tomógrafo

Para complementar a observação das debilidades internas do tronco, assinalando as zonas de menor resistência estrutural foram realizadas sondagens com um Resistógrafo IML F400, constituído por uma sonda com 2 milímetros de espessura e uma extensão de 40 centímetros de profundidade (Figura 4a).

De forma a fundamentar a avaliação do estado biomecânico das árvores e consequente determinação da possibilidade de fratura e queda do exemplar, foi também feita uma tomografia com o equipamento Arbotom (Figura 4b). O Tomógrafo de impulsos, desenvolvido para a avaliação do estado do interior das árvores é baseado no princípio denominado de "stress wave timing"(medição linear de stress cronometrado). As velocidades dos impulsos ao percorrer a madeira, estão diretamente correlacionadas com a densidade do material, podendo assim ser usadas para a recolha de informação relativa à sua qualidade. A madeira densa transmite melhor as ondas de stresse do que a madeira danificada por apodrecimento ou fraturas (Rinn, 2011).

Cada sensor do ARBOTOM está equipado com um vibrómetro e regulação eletrónica para a análise direta e em tempo-real dos impulsos recebidos. Uma simples pancada de martelo nos sensores gera ondas de stresse que atravessam a madeira. O tempo que as ondas de stresse levam a percorrer a distância entre os sensores é registado e convertido em velocidades. As velocidades dos impulsos são reunidas numa matriz, o que permite a sua representação num gráfico de linhas ou de superfície.



Figura 4 – Sondagem realizada com resistógrafo (a) e tomógrafo (b) na base da árvore

O ARBORADIX™ foi desenvolvido para a detecção de raízes e estimativa da área coberta por raízes, especialmente no caso de uma possível infecção por fungos (Figura 5).

Ao bater numa vara de metal os impulsos mecânicos são induzidos no solo e os tempos de propagação desses impulsos para a árvore são medidos. Se nenhum impulso chegar à árvore, pode-se supor que não havia raízes em baixo da área onde o impulso foi inserido no solo.



Figura 5 - Análise do sistema radicular com recurso ao ARBORADIX

Para as observações superiores da copa da árvore, com o objetivo de detetar a presença de fungos ou outros agentes patogénicos foi utilizado um Drone DJ Mavik 2Pro (Figura 6).

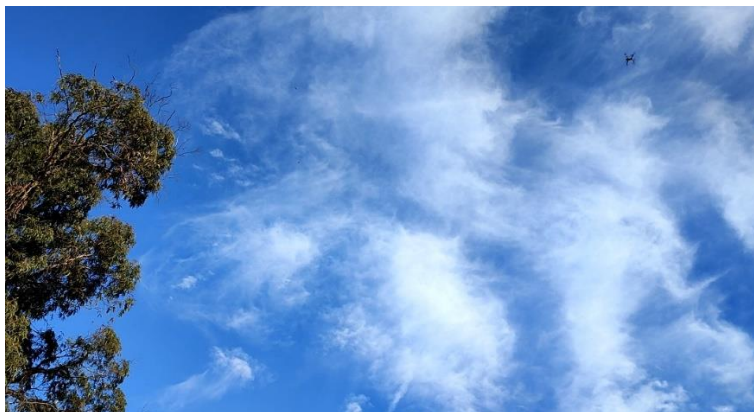


Figura 6 - Drone DJ Mavik 2Pro usado para análise visual dos exemplares arbóreos em altura.

4.5. Avaliação do Nível de Risco

O **Nível de Risco** associado ao exemplar foi determinado de acordo com a metodologia do Departamento de Agricultura e Serviços Florestais dos Estados Unidos da América (USDAFS), proposta por Pokorny (2003).

Antes de mais importa distinguir os conceitos de **Perigo** e **Risco** atribuído a determinada árvore. O **PERIGO é uma fonte potencial de dano**, e é identificado como a **parte da árvore ou partes que afetarão uma zona-alvo**. Por exemplo, uma árvore inteira ou um ramo pode ser determinado como um perigo. Já o **RISCO** é a combinação da **probabilidade de fratura** da árvore e a **gravidade** das possíveis consequências desse evento. Qualquer árvore tem a possibilidade de fratura parcial ou total, no entanto, apenas um pequeno número de fraturas causa, realmente, ferimentos ou danos.

Os perigos são identificados durante as avaliações e os proprietários/responsáveis das árvores devem tomar medidas para minimizar o **risco de danos** causados pela quebra/rotura de uma árvore (Pokorny, 2003).

É também importante perceber que é impossível manter as árvores livres de riscos, pelo que algum nível de risco deve ser aceite pelos responsáveis pelo arvoredo urbano.

O cálculo do **Nível de Risco** é feito da seguinte forma:

Nível de Risco = Probabilidade de fratura parcial ou total (1-4) + Diâmetro da peça (1-3) + Probabilidade de atingir um alvo (1-3) + Outros fatores a ponderar (0-2)

A) A classificação da **probabilidade de fratura parcial ou total (1-4)** é feita seguindo os critérios gerais:

- 1 - Baixa: presença de alguns defeitos menores
- 2 - Moderada: presença de defeitos moderados
- 3 - Alta: presença de múltiplos defeitos ou significativos
- 4 - Muito Alta: presença de múltiplos defeitos e significativos; obstrução visual de sinais e semáforos de trânsito.

A determinação da **probabilidade de fratura** assenta na observação dos critérios propostos por Mattheck (2007) quanto à *Fragilidade da componente da árvore em análise*, em que o limite crítico do Momento da Fratura, acontece quando: $t/R \leq 30$; e o *Coefficiente de Adelgaçamento* - $CA = Ht \text{ (m)}/dap(m) \geq 50$.

B) O Diâmetro da parte da árvore afetada tem a seguinte ponderação:

Diâmetro da peça (1-3)	Fator
$d < 10$ cm	1
$11 < d < 49$	2
> 50	3

C) Probabilidade de atingir um alvo:

A análise da zona envolvente tem como objetivo identificar as infraestruturas que se encontram área de projeção em caso de queda da árvore, ou componentes, e a frequência de uso pelas pessoas. A probabilidade de atingir um alvo tem a seguinte ponderação:

Probabilidade de atingir um alvo (1-3)	Fator
Ocasional (Mata)	1
Frequente (Trilho)	2
Muito frequente (Estrada/caminho/Praceta)	3

Em árvores com troncos muito inclinados e/ou com fungos saprófitas, etc., há que atender a esses fatores, que ampliam a probabilidade de fratura total ou parcial e, conseqüentemente, aumentar o Nível de Risco (*Outros fatores a ponderar: 0-2*).

O nível de Risco varia entre 3 e 10, com a seguinte classificação:

3 < NÍVEL DE RISCO < 10		
	Baixo <	3
4	< Moderado <	5
6	< Elevado <	7
8	< Crítico <	10

5. Avaliação fitossanitária e análise da estabilidade biomecânica

5.1. Descrição do *Eucalyptus* sp.

O nome *Eucalyptus* significa “bem coberto” e refere-se às flores do eucalipto em que as pétalas estão unidas às sépalas formando uma cobertura com uma tampa que, apenas quando se desprende é possível ver os estames (López, 2007). Deriva do grego *eú*: bem, e *kalyptós*: coberto, oculto. É uma árvore de médio a grande porte que pode atingir os 40 a 50 m de altura (excepcionalmente os 70 m). Mantém as folhas durante todo o ano. O tronco é grosso, com uma tendência a produzir uma torção espiral, e está coberto por uma casca de cor acinzentada, lisa, que se desprende em tiras longitudinais. As folhas jovens são opostas, de contorno oval, de cor verde, quando observadas em contraluz podem ser observadas as glândulas que produzem as essências típicas da família das mirtáceas. As folhas adultas são largas e estreitas, com 12-25x1,7-3 cm, curvadas e inteiras; como as folhas juvenis, apresentam muitas glândulas translúcidas; as folhas apresentam-se numa posição vertical pelo que a árvore fornece pouca sombra. As flores nascem na axila das folhas, são solitárias, ocasionalmente em grupos de 3; têm uma forma característica de urna, com quatro ângulos muito marcados, coberta por uma cera branco-azulada; a tampa apresenta uma ligeira depressão, com um pico central e ao desprender-se no momento da floração liberta centenas de estames. O fruto é uma cápsula, com 10-21x14-24 mm, que se abre na parte apical por 3-5 valvas triangulares. As sementes são pequenas e mais ou menos numerosas. A floração ocorre entre o Outono e Inverno (López, 2007).

O eucalipto surge espontaneamente no Sul da Austrália (Victoria), Tasmânia e nas ilhas do estreito de Bass. Estende-se entre as latitudes 38° 26' a 43° 30' Sul. As espécies de eucaliptos em geral surgem na Europa em meados do século XIX, tendo sido introduzidos por monges e naturalistas. Há atualmente cerca de 812.000 ha de eucaliptos no País, sendo a “espécie” florestal com maior área de ocupação (a 2ª é o sobreiro e a 3ª o pinheiro-bravo) (ICNF, 2013).

Devido à sensibilidade às geadas e ao frio intenso, é aceite geralmente uma altitude máxima para a extensão de cultivo entre os 400 e os 450 metros. No entanto, deverão considerar-se outras particularidades da parcela, tais como a exposição aos ventos dominantes, a insolação ou a possibilidade de geadas frequentes ou neve persistentes. Desta feita, parcelas até aos 550 metros poderão oferecer condições adequadas para o cultivo, enquanto áreas mais baixas, mas com condições mais adversas (em lugares muito batidos pelo vento, muito frios ou com geadas habituais), poderão ser recomendáveis para eucaliptos tais como o *Eucalyptus nitens*. O *Eucalyptus globulus* tem preferência por climas

húmidos, sem geadas, com uma precipitação média anual superior a 700 mm e com uma distribuição pluviométrica uniforme. Cresce em grande variedade de substratos se bem que seja muito comum em zonas graníticas e arenosas. Geralmente não se apresenta em solos calcários ou fortemente alcalinos e em terrenos mal drenados. A profundidade do solo é outro fator importante a ter em consideração, observando-se maiores crescimentos em substratos mais profundos. Não obstante, devido ao vigor e plasticidade da espécie, é capaz de crescer satisfatoriamente em solos pobres ou pouco profundos, desde que se realize o cultivo adequado. Os melhores crescimentos observam-se sobretudo em solos argilosos, siliciosos, soltos e profundos, com uma acidez moderada ou neutra (com valores de pH entre 5 e 7).

Frequentemente plantada como ornamental e nas bermas das estradas. Rebenta de toça com grande facilidade, o que dificulta a sua eliminação. O sistema radical penetra profundamente no solo e absorve grandes quantidades de água, competindo com a vegetação autóctone. A evapotranspiração desta árvore é comparável à de outras espécies de crescimento rápido, mas, tendo em atenção que as raízes do sistema radicular do eucalipto, mais superficiais, são as que têm maior capacidade de obter água a partir dos aquíferos, conclui-se que essa influência só deverá ser significativa nos primeiros metros do conjunto solo-rocha.

A madeira apresenta qualidades de interesse para aproveitamento industrial. É adequada para diversas utilizações, com destaque para o consumo doméstico, lenhas de alto poder calorífico, produção de carbono vegetal, estruturas de edifícios, postes para comunicações, parquet, pasta celulósica, estacas mineiras, entre outras. A pasta de celulose pode ser aproveitada em papel, laminados, transparências, higiénicos e sanitários, fotografia, filtros, papéis eletrónicos, usos especiais tal como elaboração de fibras têxteis, entre outras utilizações. A madeira queimada não tem atualmente saída comercial nem industrial. É uma espécie com interesse para apicultura. Devido à sua floração precoce, permite a produção de um mel típico.

Recentemente, um eucalipto localizado em Contige, freguesia de Sátão, considerada como "Árvore Monumental" pela Autoridade Florestal Nacional e classificada como Árvore de Interesse Público pelo Instituto de Conservação da Natureza e Florestal (ICNF), foi a árvore vencedora na 6ª edição nacional da Árvore do Ano que irá representar Portugal no concurso internacional *Tree of the Year 2023* com uma altura total de 50,8 m, com um PAP de 11 m e de 13 m junto à base do tronco e uma idade de 144 anos.

5.2. Inspeção visual

Esta avaliação biomecânica foi suscitada pela ocorrência de um evento de grandes proporções que afetou diretamente este exemplar colocando em causa a sua estabilidade biomecânica por ter atingido o solo onde esta árvore está instalada. Contudo, este exemplar arbóreo encontra-se com pouco vigor e num avançado estado de senescência que se pode observar pelos ramos secos que observam um pouco por toda a copa (Figura 7).



Figura 7 - Vista superior da copa do Eucalipto mostrando ramos secos e sinais de Dieback.

O tronco revela uma podridão acentuada, iniciando desde o colo, sendo que as inundações cujo caudal subiu alguns metros acima do leito puseram à vista uma grande parte do colo e raiz, o que agrava de forma muito significativa a sustentabilidade da árvore e acelera a podridão que se prolonga longitudinalmente até á copa (Figura 8).



Figura 8 - Pormenor do colo e tronco evidenciando a zona de fendilhamento e podridão.

Não temos registo do início deste processo de declínio nem da sua evolução, embora fotos datadas de 17 de junho de 2011 revelem uma árvore, aparentemente, sem quaisquer sinais de senescência (figura 9). Seria interessante saber qual foi a data em que terá sido realizado o asfaltamento do local pois parece existir uma forte ligação entre essa obra e o acentuar da senescência da árvore tão evidente no espaço de uma década. Podemos reparar na figura que o tapete betuminoso aparenta ser recente. O asfaltamento do local em torno da árvore poderá ter originado alguma ferida no tronco em resultado das obras e também ter contribuído para a compactação e impermeabilização do solo e a limitação do crescimento radicular para o lado sul que é exatamente o local onde a podridão do caule é mais evidente. Esta podridão que se prolonga até ao cume pode também ter sido provocado por algum raio que possa ter atingido a árvore e acelerado essa degradação.



Figura 9 - Imagem do eucalipto (datada de 17/06/2011).
Fonte: www.rotasturisticas.com

O sistema radicular da árvore estará claramente direcionado no sentido da zona do talude (Figura 10), o que pode aumentar o risco de queda. A presença deste exemplar foi determinante para que a força das águas não tivessem tido uma ação ainda mais destrutiva.



Figura 10 - Pormenor da zona do colo e raízes do eucalipto (06/02/2023).

Observamos parte de um ramo caído junto à árvore, de grandes dimensões, que desconhecemos a data precisa da quebra, o qual pudemos constatar numa foto datada de 27 janeiro (blogue de Eugénio Queiroz). O ramo estava completamente seco e a queda poderá ter sido provocada pela intensa pluviosidade e ventos fortes (Figura 11).



Figura 11 - Ramo do eucalipto caído no solo (esq.); Pormenor do ramo (dir.).
 Fonte: esq. - Eugénio Queiroz 27 de janeiro 2023), dir. - foto do autor

Pela comparação das imagens de 2020 e 2023 (Figura 12) não é perceptível um evidente agravamento da inclinação da árvore, a qual já ocorria para a zona do talude. Constata-se, no entanto, algum agravamento do *dieback* nos ramos extremos da copa.



Figura 12 - Imagens da árvore em outubro de 2020 (esq.) e 6 de fevereiro de 2023 (dir.).
Fonte: esq.: Google street view; dir - foto do autor

Por fim, é importante conhecer a frequência de utilização deste espaço pelos cidadãos. Como mostram as imagens seguintes, este local é muito frequentado por pessoas e automóveis estacionados para usufruto da sombra proporcionada.



Figura 13 - Imagens da árvore em outubro de 2020.
Fonte: Google street view

5.3. Diagnóstico da Fitossanidade

O género *Eucalyptus* é afetado por diversas doenças e pragas no seu local de origem e em Portugal, essencialmente causados por insetos e fungos.

As principais doenças identificadas são a Doença-das-manchas causada por um fungo (*Teratosphaeria/Mycosphaerella spp.*), que provocam manchas necróticas nas folhas, sobretudo em plantas jovens e podem causar intensa queda das folhas; o Bolor-cinzento (*Botrytis cinerea*), que provoca lesões características nos caules e rebentos de eucaliptos, sobretudo em viveiro, embora possa ocasionalmente ocorrer em campo, em plantações jovens; e Cancros originados por fungos oportunistas (*Neofusicoccum spp.*), aproveitando-se de árvores em stress que podem levar à sua morte.

As pragas mais significativas, especialmente em povoamentos de eucalipto são: o Gorgulho-do-eucalipto (*Gonipterus platensis*) – As larvas e insetos adultos alimentam-se das folhas; a Brocas-do-eucalipto (*Phoracantha semipunctata* e *P. recurva*) – As larvas alimentam-se do tronco, onde escavam galerias danificando os tecidos vasculares conduzindo frequentemente morte da planta; e o Percevejo-do-bronzeamento-do-eucalipto (*Thaumastocoris peregrinus*) – Este inseto, tanto em adulto como na sua fase precoce (ninha), pica a superfície das folhas (alimentando-se do conteúdo das células), que adquirem um aspeto bronzeado ou prateado, sintoma que deu nome ao inseto. Ataques destes intensos causam a queda das folhas e a redução da produtividade dos povoamentos.

Este eucalipto não aparenta sintomas externos destas doenças ou pragas, como carpóforos de fungos visíveis, ataques de insetos ou outros fatores patogénicos.

5.4. Medição dos parâmetros dendrométricos e das lesões

Os parâmetros dendrométricos foram medidos, desde o perímetro na base (à altura das sondagens), à altura do peito (1,30 m), convertido posteriormente para o diâmetro (DAP), a altura da árvore e da copa e diâmetro médio da copa (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros dendrométricos do eucalipto

Árvore	PAP (Cm)	Dap (Cm)	Classe d (Cm)	gi (m ²)	ht (m)	hfuste (m)	Hcopa (m)	DC Medio (m)	Classe de Idade
1	470	149,6	150	1,758	29,1	4	25,1	20	60-70

Onde: PAP (Cm) – Perímetro à altura do peito; dap (Cm) – diâmetro à altura do peito; gi (m²) – área basal; ht (m) – altura total; hfuste (m) – altura do tronco até à copa viva; hcopa (m) – altura da copa viva; DC Medio (m) – diâmetro médio da copa

5.5. Sondagens com o resistógrafo e tomógrafo

Este eucalipto apresenta uma grande cavidade longitudinal no tronco, com sinais de podridão, que inicia no colo até à copa da árvore, pelo que foi medida externamente e internamente foram feitas sondagens com resistógrafo e o tomógrafo.

As sondagens com resistógrafo foram feitas em diferentes alturas e direções, de forma a obter dados mais objetivos e diretos do estado interior do lenho (Figura 14).



Figura 14 - Análise com recurso ao resistógrafo.

Para a avaliação em apreço foram realizadas três sondagens (Figura 15):

- 1- Do lado do talude (N), na zona da sonda 1 do tomógrafo, 0,25 m de altura - existe um padrão de redução na resistência e por isso elevada fragilidade em toda a extensão dos 40 cm de sondagem.
- 2- Do lado da estrada (SE), na zona da sonda 4 do tomógrafo, 0,25 m de altura - existe um padrão de redução na resistência e por isso elevada fragilidade em toda a extensão dos 40 cm de sondagem.
- 3- Do lado da estrada (W), na zona da sonda 7 do tomógrafo, 0,25 m de altura - existe um padrão de redução na resistência e por isso elevada fragilidade em toda a extensão dos 40 cm de sondagem.

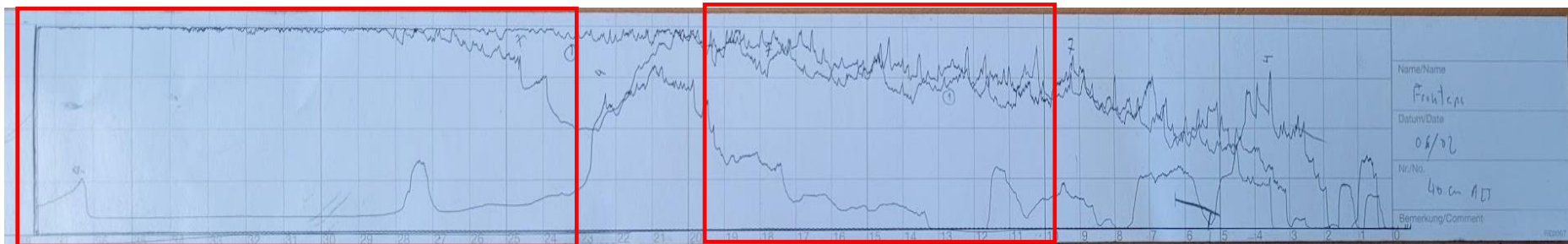


Figura 15 - Sondagens realizadas por resistógrafo no exemplar de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. A 25cm do solo.
Data: 6 de fevereiro de 2023.

A sondagem com o tomógrafo foi feita a cerca de 40 cm do solo. Os sensores estão identificados na figura, sendo que o nº 1 está direcionado para Norte e os restantes no sentido do ponteiro dos relógios.

Em termos gráficos o ARBOTOM permite a visualização dos resultados, do plano transversal, num gráfico de cores em 2D. É importante ter em conta que a paleta de cores representa apenas uma amplitude de valores, não sendo necessariamente um julgamento imediato da qualidade da madeira (Rinn, 2011). Por exemplo, diferentes espécies de árvores apresentam velocidade de impulso distintas em madeira sã. Este facto tem de ser tomado em conta quando se interpretam as tomografias.

O registo obtido pela Tomografia 2D mostra as zonas do colo da árvore com menor resistência, que indicam má conexão mecânica, revelando a degradação podridão da madeira numa extensão significativa (Figuras 16 a 19).

O gráfico da resistência mecânica mostra que esta árvore perdeu parte da sua capacidade de sustentação e resistência à flexão quando sujeita a ventos fortes.

O círculo verde representa que a resistência de flexão da secção transversal é de cerca de 85% para ventos com direcção nordeste-sudoeste devido ao facto de a árvore não apresentar uma secção transversal completamente circular. Uma árvore perfeitamente redonda apresenta uma estabilidade de 100% em relação a todas as direcções do vento. A seta verde indica a direcção para a qual a árvore tem uma menor resistência à flexão.

O círculo vermelho revela a influência do decaimento da árvore, neste caso da presença da cavidade / podridão que apresenta, na redução da resistência à flexão quando sujeita a ventos fortes. No registo apresentado, a secção transversal perdeu 69% da sua resistência à flexão devido à presença de decaimento/cavidades, e tendo em consideração a forma da secção transversal. A seta vermelha representa a direcção em que a força de resistência à flexão é menor.

Quando a deterioração do tronco ocorre numa das extremidades (e não no centro o momento de resistência no sentido oposto ao da deterioração diminui num grau maior porque a força de tensão na madeira é maior do que a força de compressão. Portanto, a perda de resistência de uma secção transversal de um tronco depende não só da extensão da degradação, mas acima de tudo da sua localização (Rinn 2011b).

Esta informação permite decidir se uma árvore deve ser podada de forma a reduzir a copa e, conseqüentemente, aumentar a sua resistência aos ventos ou mesmo ter de ser abatida.

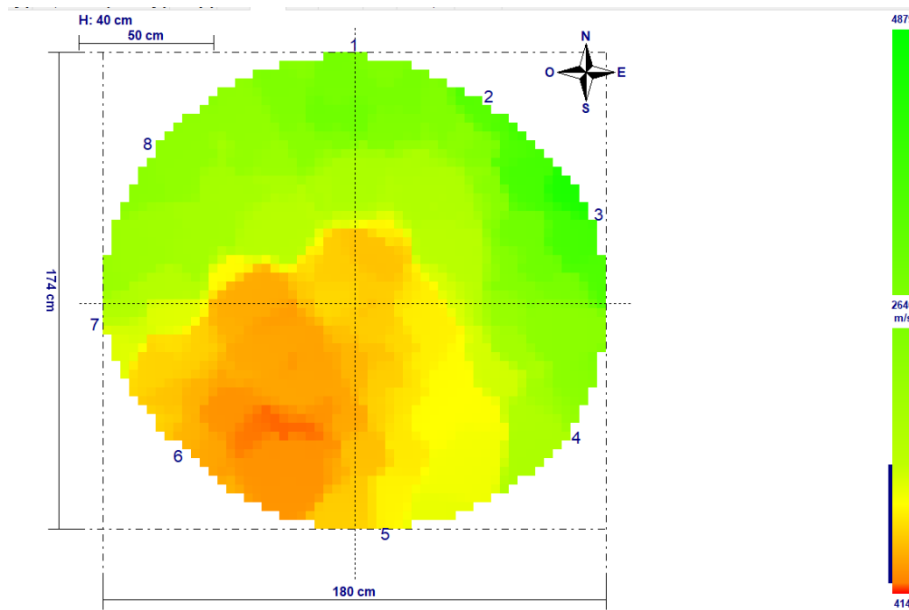


Figura 16 - Tomografia 2D de uma seção transversal da árvore realizada a 40 cm do solo. Nota: As cores indicam valores de velocidade diferentes.

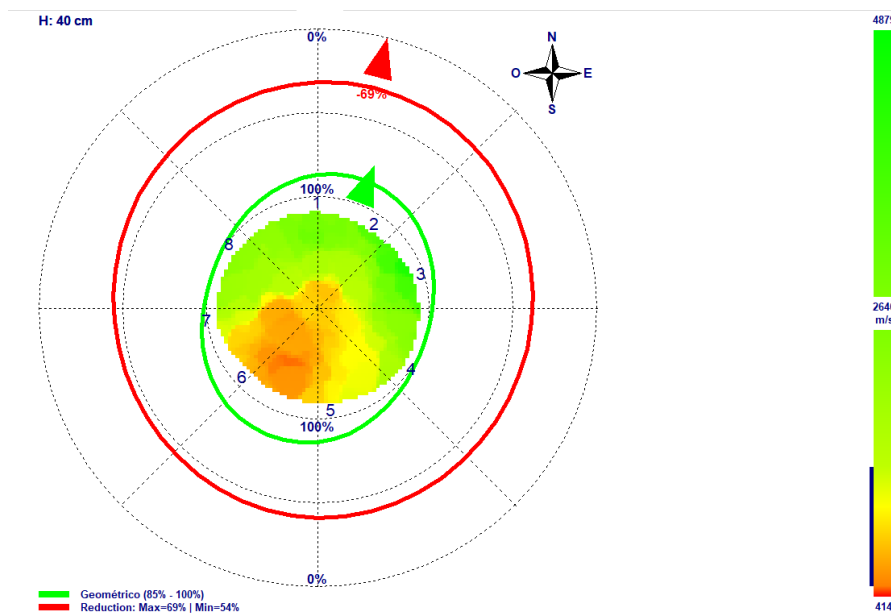


Figura 17 - Registro com o Tomógrafo mostrando a resistência mecânica da árvore à força de tração do vento a 40 cm do solo. Nota: Círculo verde do modelo mecânico baseia-se apenas na geometria da seção transversal da árvore e o círculo vermelho no decaimento da seção transversal da árvore.

Foi realizada uma segunda tomografia a 1,60 m de altura (Figura 18 e 19). O registro obtido mostra o mesmo padrão de redução de resistência embora com uma severidade

menor. A secção transversal apresenta uma redução de 40% da sua resistência à flexão, quando sujeita à força de tração do vento, em resultado da cavidade da árvore, e tendo em consideração a forma da secção transversal. A seta vermelha representa a direção em que a força de resistência à flexão é menor.

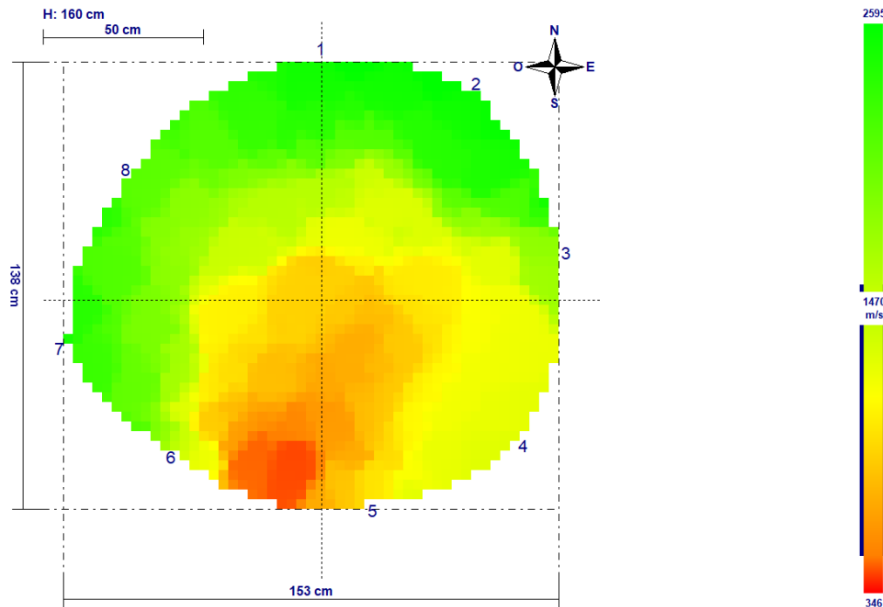


Figura 18 - Tomografia 2D de uma secção transversal da árvore realizada a 160 cm do solo. Nota: As cores indicam valores de velocidade diferentes.

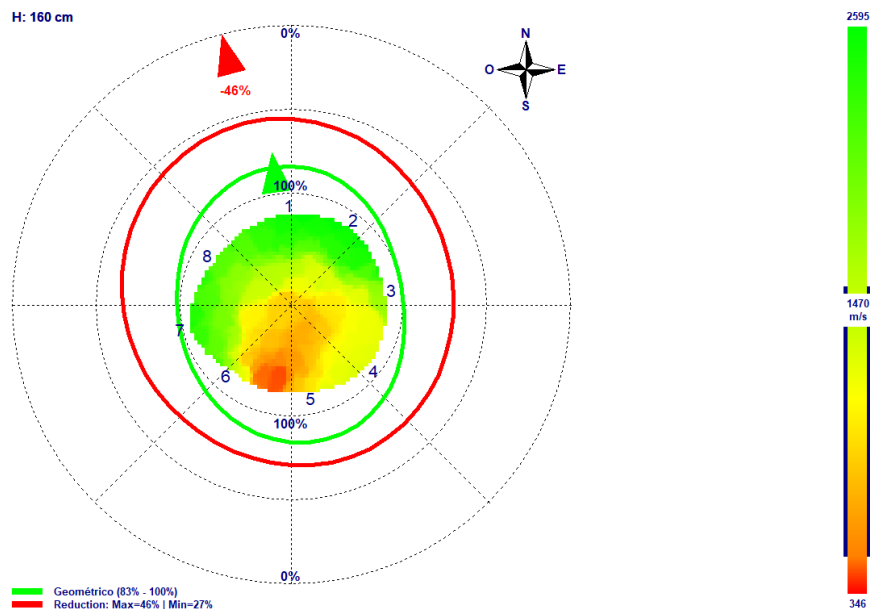


Figura 19 - Registo com o Tomógrafo mostrando a resistência mecânica da árvore à força de tração do vento, a 160 cm do solo.

Nota: Círculo verde do modelo mecânico baseia-se apenas na geometria da secção transversal da árvore e o círculo vermelho no decaimento da secção transversal da árvore.

A avaliação do sistema radicular (ARBORADIX) mostra as zonas do solo com as raízes da árvore em melhor ou pior estado. A avaliação foi realizada no prolongamento dos sensores localizados na árvore com o primeiro localizado a norte (Figura 20).

As linhas verdes indicam uma rápida propagação dos impulsos até à árvore, indicando a existência de raízes sãs e grossas e as linhas a roxo ou a vermelho indicam uma baixa ou ausência de propagação dos impulsos, indicando fraca densidade, raízes com danos ou ausência de um sistema radicular forte, respetivamente.

Importa referir que esta metodologia deteta a presença de raízes no subsolo, mas não permite definir a resistência do sistema radicular. Admite-se, portanto, que ao detetar as raízes mais grossas, estas muito provavelmente permitem uma maior sustentação da árvore. Contudo, não se pode avaliar sobre a estabilidade de uma árvore, unicamente a partir desta medição.

As raízes localizadas na zona do talude são aquelas que registam uma maior atividade e um melhor desempenho, por oposição às raízes localizadas sob a zona asfaltada onde não foi detetada uma densidade radicular tão elevada.

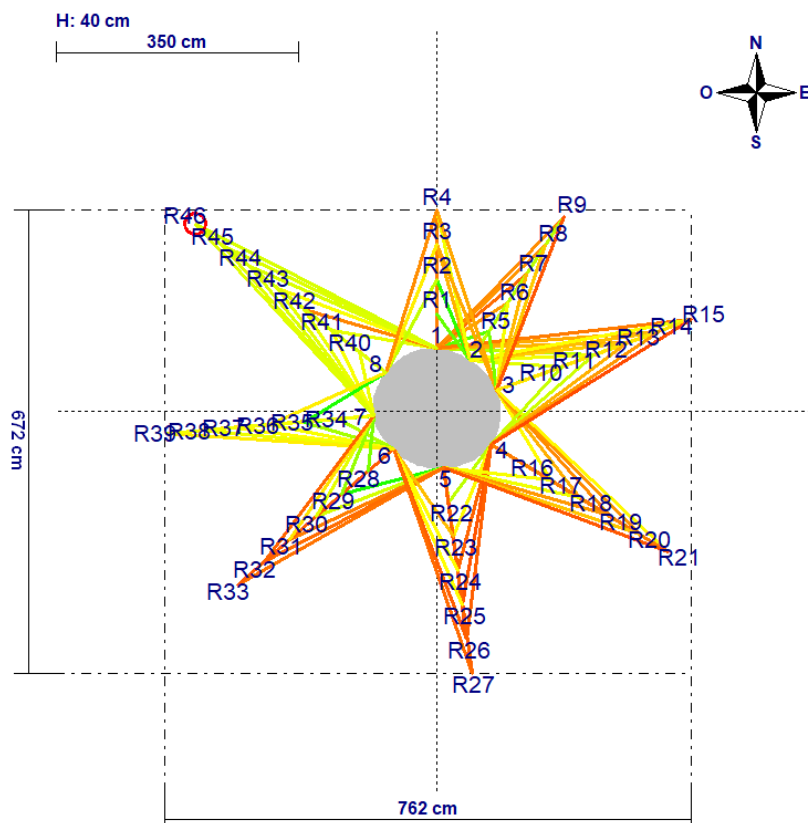


Figura 20 - Registo com o tomógrafo do estado do sistema radicular

5.6. Fatores de predisposição e indução

Como fatores de predisposição e indução assinalamos que a árvore apresenta parte do sistema radicular exposto ao ar. Para além da dissecação das raízes de sustentação e secundárias, diminui em grandemente a estabilidade de suporte da árvore. A podridão no tronco se não for bem compartimentada e acumular água no interior, levará ao rápido evoluir da podridão.

5.7. Determinação do nível de risco

Para além da inspeção visual das árvores e interpretação da sua envolvente, a medição dos parâmetros dendrométricos e das lesões, com recurso às sondagens de resistógrafo e tomógrafo permitiu estimar o nível de risco associado a esta árvore, conforme consta nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Caracterização e medição das lesões

Id_Árv	1
Condição Geral	Decrépita
N.Científico	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.
N.Comum	Eucalipto
PAP_cm	4.7
DAP_cm	149.6
Classe_DAP	150
G_m2	1.758
H_m	29.1
HBCP_m	4
DCP_m	20
Inclinação Tronco (º)	10º
IDADE	60-70
Alvo	Talude / estrada
Raiz e Colo	Podridão / raízes descobertas
Tronco	Cavidade / Podridão
Pernadas	Secas/Partidas
Ramos	Secos
Folhas	Desfolhada
Copa	Desequilibrada / Ápice danificado
SONDAGEM COM RESISTÓGRAFO	
Altura do solo-lesão (m)	0
Comprimento da lesão (m)	4
Largura da lesão (m)	0.4
h_Sondagem (m)	0.4
Sondagem 1 (S-N): t_cm:	149.6

Tabela 3– Cálculo do Nível de Risco

Coefficiente de Adelgaçamento	19
Grau	1
t (m)	0,22
R (m)	0,75
t/R	0.29
Grau	4
Possibilidade de Fratura	4
Perigo_dap	3
Perigo_alvo	3
Outros (Inclinado)	0
Outros (fungos)	0
RISCO	10
RISCO Classificação	Crítico

O **nível de risco** foi determinado de acordo com o descrito na metodologia. A **probabilidade de fratura parcial ou total** do tronco resultou da consideração dos critérios propostos por Pokorny (2003), e dos limiares predefinidos por Mattheck (2015) para o coeficiente de adelgaçamento e da razão t/R. Como se constata, a árvore apresenta **Grau de fratura Elevado**. O **grau de perigo associado ao dap** é considerado **Elevado**, dado o elevado diâmetro do tronco. Quanto à **Probabilidade de atingir um alvo**, constata-se que esta está implantada num local muito frequentado por pessoas e veículos, pelo que se considera **Elevada**. Assim, o **nível de risco** é considerado **CRÍTICO**.

É necessário atender que a probabilidade de fratura parcial ou total indicada, pode aumentar com condições climáticas extremas, que podem ocorrer uma vez que se trata de uma árvore isolada, mais exposta à força de tração do vento.

6. Proposta de intervenção

Em resultado da avaliação realizada e analisando a sintomatologia apresentada por este exemplar arbóreo, o qual denota uma acentuada perda de vigor e decrepitude, por força da evolução da podridão na zona do colo que se prolonga para o tronco e atinge uma larga proporção da copa, coloca em causa a estabilidade estrutural e biomecânica da árvore. Acresce que atendendo à sua localização, próxima da estrada EN 245 e à ponte e por ser um lugar frequentado, deve ser considerado o seu abate como a medida preventiva de segurança mais ajustada.

Uma eventual opção pela manutenção do exemplar por elevado interesse patrimonial, evocando questões de índole cultural, paisagística ou outra, obrigaria à realização de um conjunto de intervenções sem quaisquer garantias de sucesso no controlo e estabilização estrutural e biomecânica da árvore.

Esta árvore cumpriu o seu papel neste último evento evitando que uma maior área e volume do talude fosse destruído com a força das águas. De recordar que esta árvore já terá resistido a diversas ocorrências similares à que se registou no final do ano. Acreditamos que não terão sido estes eventos que precipitaram a sua acentuada degradação, mas muito provavelmente as movimentações de compactação e de asfaltamento que foram realizados na sua área circundante e que acentuaram o declínio de uma forma significativa nos últimos 10 anos. Esta árvore será a única testemunha que presenciou as inundações neste local nos últimos 60 a 80 anos e que tem resistido e auxiliado na preservação do talude ao longo deste período. Face ao historial de inundações a preservação do talude deve ser olhada com especial atenção com a manutenção de um coberto vegetal e a plantação de arbustos e árvores que possam responder às questões da sua estabilidade estrutural e função ecológica para além da valorização paisagística, cujas espécies a plantar deixamos ao critério dos responsáveis, mas que na nossa opinião deverão ser privilegiadas espécies da flora autóctone.

7. Conclusões

As propostas apresentadas, fundamentadas em pressupostos técnico-científicos, com recurso a equipamento especializado para o efeito e com base na experiência da equipa são as que se julgam as mais adequadas, no momento atual. Há, contudo, fatores de ponderação como a memória da comunidade, o enquadramento paisagístico ou o valor temporal, que possam fazer condicionar a decisão no sentido de preservar este exemplar com todas as limitações que indicamos anteriormente.

Estamos certos de que os responsáveis autárquicos de Fronteira farão o melhor uso das informações contidas neste parecer técnico-científico para tomarem as opções que entenderem melhor representar os interesses superiores em prol das suas populações e do desenvolvimento do Concelho e da Região.

Estamos ao inteiro dispor para quaisquer esclarecimentos suplementares, que possam ser solicitados, por parte da edilidade, para ajudar a fundamentar técnico-cientificamente a melhor decisão política.

8. Agradecimentos

Agradecemos, toda a colaboração e apoio prestado para a realização deste estudo por parte dos representantes do Município de Fronteira.

9. Referências Bibliográficas

- Barracosa, P. Viana, H., Costa, D., Coimbra, F., (2009). Preservação e Valorização do Património Arbóreo. Estudos de Avaliação Biomecânica: Estudo de Casos. 6º Congresso Florestal Nacional, pp. 794-801.
- Bingre P., Aguiar C., Espírito-Santo D., Arsénio P. & Monteiro-Henriques T. (2007). Guia de árvores e arbustos de Portugal Continental. Jornal Público, Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, Liga para a Protecção da Natureza. (Árvores e Florestas de Portugal; IX). Lisboa. 462 pp.
- Calaza Martínez, P. et al. (2020) Norma Granada 2020. Método de Valoración de árboles, palmeras y arbustos ornamentales. Manual de aplicación. Asociación española de Parques y jardines públicos. Madrid. España. ISBN: 978-84-09-24828-5.
- Humphires C. J., Press J. R. & Sutton D. A. (2005). Árvores de Portugal e Europa. Guia FAPAS, Fapas, Porto. 320 pp.
- López G (2007) Guía de los árboles y arbustos de la Península Ibérica y Baleares. 3ª ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Manion, P.D. (1991). Tree Disease Concepts Prentice-Hall Inc.
- Matheny N. P. & Clark J. R. (1994). A Photographic Guide to the Evaluation of Harzard Trees in Urban Areas (2ª edição), International Society of Arboriculture Champaign, Illinois, USA. 85 pp.
- Mattheck, Claus (2007). Updated Field Guide for Visual Tree Assessment. 1st edition. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH.
- Mattheck, Claus (2015). The Body Language of Trees: Encyclopedia of Visual Tree Assessment. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH - more, pp. 548.
- News. 52-54.
- Pokorny, J. D. (2003). Urban Tree Risk Management - A Community Guide to Program Design and Implementation. St. Paul, USDA Forest Service - Northeastern Area.
- Raimbault P., (1991). Quelques observations sur les systèmes racinaires des arbres de parcs et d'alignements: diversité architecturale et convergence dans les développement. *Naturalia Monpeliensia* n. h.s. 1991, 85 - 96.
- Rinn F (2011b) Basic Aspects of Mechanical Stability of Tree Cross-Sections. Arborist
- Rinn F (2012) ARBOTOM 3-D Tree Impulse Tomograph – User Manual. RINNTECH.
- Sanches, BM, (1997). La Conservación del patrimonio arbóreo: menudo plan. Simposio sobre árboles monumentales y singulares. Barcelona.
- Shigo, A.L. (1991). Arboricultura moderna. Toque Árboles. Durham, NH, 165 pp.

Ficha de Análise Visual Arbórea

1. DENDROLOGIA

Nome comum: Eucalipto	N. Científico: <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.
------------------------------	--

2. PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS (m)

Perímetro (d):4,70	Altura (H):29,1	Altura 1ºs ramos (h _R):4	Diâm. Copa (D _C): 20
Idade aproximada:	<input type="checkbox"/> < 10	<input type="checkbox"/> 10 – 20	<input type="checkbox"/> 20 - 40
	<input type="checkbox"/> 60-80	<input type="checkbox"/> 80-100	<input type="checkbox"/> >100

3. AMBIENTE e FACTORES ABIÓTICOS

3.1 Análise à localização da árvore

<input checked="" type="checkbox"/> Permite acessibilidade de pessoas	<input type="checkbox"/> Encontra-se a danificar passeio	<input type="checkbox"/> Encontra-se a danificar propriedade privada
---	--	--

3.2. Envoltente à árvore (Env); 3.3. Projeção da copa (Prj)

<input type="checkbox"/> Parque	<input type="checkbox"/> Rua/Avenida	<input type="checkbox"/> Estacionamento	<input type="checkbox"/> Junto a edifício
<input type="checkbox"/> Isolada	<input type="checkbox"/> Bosque	<input checked="" type="checkbox"/> Talude	<input type="checkbox"/> Relvado
<input type="checkbox"/> Jardim	<input type="checkbox"/> Calçada	<input type="checkbox"/> Terra	<input checked="" type="checkbox"/> Estrada

3.4. Fatores de predisposição/indução

<input type="checkbox"/> Excesso de água	<input type="checkbox"/> caldeira	<input checked="" type="checkbox"/> sistema radicular descoberto	<input checked="" type="checkbox"/> Cavidade / Podridão
<input type="checkbox"/> Edifícios	<input type="checkbox"/> podas anteriores	<input type="checkbox"/> Idade	

4. INTERVENÇÕES

<input type="checkbox"/> Cirurgia	<input type="checkbox"/> Corte ramos Secos	<input type="checkbox"/> Corte ramos ladrões
<input type="checkbox"/> Corte ramos codominantes	<input type="checkbox"/> Poda de Formação	<input type="checkbox"/> Cortar tocos
<input type="checkbox"/> Limpar cavidade	<input type="checkbox"/> Drenar cavidade	<input type="checkbox"/> Retirar tutor
<input type="checkbox"/> Redução rega	<input type="checkbox"/> Aumentar caldeira	<input checked="" type="checkbox"/> ABATE

4.1. Proposta de realocização

Espécie de árvore a colocar: à decisão do Município	Colocada no mesmo local <input type="checkbox"/> ou noutra local adjacente <input type="checkbox"/>
---	---

5. PRIORIDADE DE INTERVENÇÃO

<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	(1- Mínima, 2- Média, 3- Alta, 4- Urgente)
----------------------------	----------------------------	---------------------------------------	----------------------------	--

