



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Biologia da Conservação

Dissertação

**Estudo populacional de *Juniperus navicularis* Gand.:
Cartografia, Biometria e Dendrocronologia**

Diogo Gonçalo Moreira Sá

Orientador(es) | Catarina Isabel Rodrigues Meireles
Nuno de Almeida Ribeiro

Évora 2024





Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Biologia da Conservação

Dissertação

**Estudo populacional de *Juniperus navicularis* Gand.:
Cartografia, Biometria e Dendrocronologia**

Diogo Gonçalo Moreira Sá

Orientador(es) | Catarina Isabel Rodrigues Meireles

Nuno de Almeida Ribeiro

Évora 2024





A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Carla Pinto Cruz (Universidade de Évora)

Vogais | Catarina Isabel Rodrigues Meireles (Universidade de Évora) (Orientador)
Constança Camilo-Alves (Universidade de Évora) (Arguente)

Agradecimentos

A presente dissertação foi possível graças à ajuda de familiares, amigos, colegas e professores, que dispuseram parte do seu tempo para me ajudar durante este trabalho. A todos deixo o meu agradecimento.

Primeiramente, um especial agradecimento aos meus orientadores. À professora Catarina Meireles, por me ter acolhido no seu projeto e grupo de investigação, assim como pela sugestão deste tema de dissertação que decidi aceitar. Com esta dissertação e a ajuda da Catarina, começou uma nova etapa na minha vida, estando neste momento a fazer aquilo que sempre quis, e nem sabia! Ao professor Nuno Ribeiro, por ter aceitado este desafio e colaborado ao longo desta dissertação com a sua valiosa ajuda.

Esta dissertação não teria sido possível sem o apoio logístico do projeto Zimbral for LIFE, deste modo agradeço a toda a equipa do projeto pelo apoio dado ao longo da presente dissertação. Em particular, quero agradecer ao investigador Luís Ferreira, por ter abraçado esta tese como se fosse sua, e me ter ajudado durante todas as fases deste trabalho. Ao professor Carlos Pinto Gomes por todos os ensinamentos dados, inspirando-me assim a enveredar pelos caminhos desconhecidos da geobotânica. Às investigadoras Beatriz Romão, Mariana Machado e Cristina Baião por toda a ajuda durante os trabalhos de campo e por manterem a boa energia durante estes dias cansativos.

A todos os meus amigos e colegas, que me apoiaram, acompanharam e ouviram durante este período, especialmente ao Pedro Costa pelas conversas e ajuda durante o trabalho de campo.

Por fim, à minha família, que apesar estar longe, sempre me manteve por perto, me amparou, e permitiu que eu seguisse as minhas ambições.

Obrigado

Estudo populacional de *Juniperus navicularis* Gand.:

Cartografia, Biometria e Dendrocronologia

Resumo

O presente estudo teve como objetivo caracterizar a estrutura biométrica e etária de *Juniperus navicularis* (zimbro endémico do sudoeste da Península Ibérica) na Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha. Para tal, foram cartografadas as populações em melhor estado de conservação, recolhidos dados dendrocronológicos e biométricos, e desenvolvido um modelo de crescimento para estimar a idade dos indivíduos. Os resultados indicam que *Juniperus navicularis* é uma espécie de crescimento muito lento. Apesar de estarem entre os exemplos mais bem preservados em Portugal, as populações estudadas apresentam valores biométricos baixos e uma média de idades inferior a 40 anos. Estes valores encontram-se significativamente abaixo dos estimados para populações maduras, evidenciando que as mesmas estão longe de alcançar o seu potencial estrutural e etário ótimo. Os resultados confirmam a enorme dificuldade na criação de novos núcleos populacionais, salientando a importância da preservação das comunidades já existentes.

Palavras-chave: conservação, endemismo, modelos de crescimento, sistemas dunares, zimbro

Populational study of *Juniperus navicularis* Gand.: Cartography, Biometry and Dendrochronology

Abstract

The aim of this study was to characterize the biometric and age structure of *Juniperus navicularis* (an endemic juniper from the southwest of the Iberian Peninsula) in the Santo André and Sancha Lagoons Nature Reserve. To this end, the populations in best state of conservation were mapped, dendrochronological and biometric data were collected, and a growth model was developed to estimate the age of the individuals. The results indicate that *Juniperus navicularis* is a very slow-growing species. Despite being among the best-preserved examples in Portugal, the populations studied have low biometric values and an average age of less than 40 years. These values are significantly below those estimated for mature populations, showing that they are far from reaching their optimum structural and age potential. The results confirm the enormous difficulty in creating new population nuclei, highlighting the importance of preserving existing communities.

Key-words: conservation, dune systems, endemism, growth models, juniper

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. A espécie-alvo (<i>Juniperus navicularis</i> Gand.)	6
1.1.1. Taxonomia, Filogenia e Genética	6
1.1.2. Caracterização morfológica	7
1.1.3. Distribuição.....	11
1.1.4. Habitat	13
1.1.5. Importância e serviços do ecossistema.....	15
1.1.6. Ameaças.....	16
1.1.7. Estado de conservação	19
1.2 Objetivos	20
2. Caracterização biofísica do território.....	21
2.1. Área de estudo	21
2.1.1. Enquadramento geográfico e proteção legal	21
2.1.2. Caracterização biológica e valores naturais	24
2.1.3. Traços físicos da paisagem	27
2.1.4. Caracterização biogeográfica e bioclimatologia.....	28
3. Metodologia.....	30
3.1. Esquema metodológico geral.....	30
3.2. Método de mapeamento dos zimbrais de <i>Juniperus navicularis</i> (<i>Objetivo 1</i>).....	31
3.3. Definição da biometria típica da espécie e seleção de variáveis biométricas de interesse - Troia (<i>Objetivo 2</i>)	33
3.3.1. Biometrias.....	35
3.3.2. Dendrocronologia.....	36
3.3.3. Relação biometrias – idade dos indivíduos: seleção das variáveis de interesse .	39

3.4. Modelação da idade de <i>Juniperus navicularis</i> (Objetivo 3)	40
3.4.1. Dados utilizados.....	40
3.4.1. Modelação	40
3.5. Caracterização geral das populações de <i>Juniperus navicularis</i> da RNLSAS (Objetivo 4)	43
4. Resultados e Discussão	46
4.1. Cartografia (objetivo 1)	46
4.2. Estudo biométrico e dendrocronológico de <i>Juniperus navicularis</i> (objetivo 2)	48
4.2.1. Biometrias - Estrutura biométrica típica	48
4.2.2. Relação biometria – idade dos indivíduos: seleção das variáveis.....	52
4.3. Modelação da idade de <i>Juniperus navicularis</i> (objetivo 3).....	54
4.4. Caracterização da estrutura biométrica e etária, e avaliação das características ambientais (objetivo 4).....	64
5. Conclusão	79
Referências.....	82
Anexos.....	90

Índice de figuras

Figura 1. Imagens de habitats dunares presentes ao longo da costa portuguesa (Sudoeste alentejano).....	3
Figura 2. Espécie em estudo: <i>Juniperus navicularis</i>	8
Figura 3. <i>Juniperus navicularis</i> : microestróbilos ou cones ♂ (A e B); megaestróbilos ou cones ♀ (C) e gálbulos (pseudofrutos) (D e E).	9
Figura 4. <i>Juniperus navicularis</i> : a) ramo com gálbulos; b) secção do ramo; c) folha com perfil adaxial (direita), abaxial (esquerda) e corte transversal; d) cone ♀; e) gábululo e secção de um gábululo; f) cone ♂; g) galha. © Liya Liu.	10
Figura 5. Mapa da área de distribuição do <i>Juniperus navicularis</i>	13
Figura 6. Mapa da área de distribuição do habitat 2250* “Dunas litorais com <i>Juniperus</i> spp.” (que incluiu várias comunidades dominadas por diferentes espécies de zimbro) na União Europeia e respetivo estado de conservação.	20
Figura 7. Mapa da área de estudo (1 e 2), inserida nos concelhos de Grândola, Santiago do Cacém e Sines. (1) Troia; (2) Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha.....	22
Figura 8. Extensão arenosa presente ao longo do arco Troia-Sines.....	22
Figura 9. Mapa de localização das diferentes áreas com estatuto de conservação, situadas nos territórios da área de estudo ou na sua proximidade.	23
Figura 10. Espécies RELAPE presentes na área de estudo.....	25
Figura 11. <i>Santolina impressa</i> , endemismo do distrito biogeográfico sadense.	29
Figura 12. Diagrama Ombrotérmico da estação meteorológica de Sines (IPMA, 2023)	29
Figura 13. Esquema metodológico geral da dissertação, com os principais pontos, amostras e questões abordados ao longo desta dissertação.	31
Figura 14. Mapa da área Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha com habitat potencial de 2250pt2.....	32
Figura 15. Mapa da localização do núcleo populacional de <i>Juniperus navicularis</i> em Troia (ano de 2024), depois da destruição da vegetação para a construção de um empreendimento turístico (B).	34
Figura 16. Núcleo populacional de <i>Juniperus navicularis</i> localizado em Troia.....	35
Figura 17. Medições biométricas efetuadas.....	36

Figura 18. Imagem de alta resolução das secções dos troncos do <i>Juniperus navicularis</i> , com a respetiva etiqueta de identificação.	37
Figura 19. Procedimento efetuado para a contagem do número de anéis: raios desenhados (A) e identificação de cada anel, com o sentido de contagem (B). Indivíduo com 12 anos de idade.	38
Figura 20. Esquema metodológico da medição do diâmetro da base do tronco ao longo de cada ano de crescimento, com recurso ao ImageJ (biometria Diametro_tronco_som) e exemplo do diâmetro da base do tronco obtido quando a planta tinha 3 anos.....	39
Figura 21. Exemplo das parcelas usadas na caracterização biométrica (parcela 5 (esquerda) e 23 (direita)).	44
Figura 22. Localização dos núcleos de <i>Juniperus navicularis</i> em melhor estado de conservação, ao longo da Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha.	47
Figura 23. Estrutura biométrica típica do <i>Juniperus navicularis</i> , no núcleo populacional de Troia..	51
Figura 24. Matriz de correlação entre as biometrias medidas com os indivíduos de Troia, e a respetiva idade.....	53
Figura 25. Relação entre idade e altura (esquerda), e distribuição da altura (direita), dos indivíduos de <i>Juniperus navicularis</i> recolhidos em Troia e na Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha (RNLSAS).	57
Figura 26. Relação entre idade e a largura da copa (esquerda), e distribuição da largura da copa (direita), dos indivíduos de <i>Juniperus navicularis</i> recolhidos em Troia e na Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha (RNLSAS).	57
Figura 27. Relação entre idade e a largura do diâmetro da base do tronco (esquerda), e distribuição do diâmetro da base do tronco (direita), dos indivíduos de <i>Juniperus navicularis</i> recolhidos em Troia e na Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha (RNLSAS).	58
Figura 28. Equações de crescimento obtidas em função da altura, e respetiva amostra usada.	59
Figura 29. Equações de crescimento obtidas em função da copa, e respetiva base de dados usada.	60
Figura 30. Equações de crescimento obtidas em função do diâmetro da base do tronco, e respetiva base de dados usada.....	61
Figura 31. Equações de crescimento obtidas em função do diâmetro da base do tronco medido com o ImageJ, e respetiva base de dados usada.....	62
Figura 32. Histograma da distribuição das alturas (cm) dos 1923 indivíduos de <i>Juniperus navicularis</i> avaliados.	65

Figura 33. Distribuição das alturas (cm) dos 1923 indivíduos de <i>Juniperus navicularis</i> avaliados nas 30 parcelas.	66
Figura 34. Histograma da distribuição dos diâmetros da base (mm) dos 1923 indivíduos de <i>Juniperus navicularis</i> avaliados.	67
Figura 35. Distribuição dos diâmetros da base (cm) dos 1923 indivíduos de <i>Juniperus navicularis</i> avaliados nas 30 parcelas.....	68
Figura 36. Histograma da distribuição da largura das copas (cm) dos 1846 indivíduos de <i>Juniperus navicularis</i> avaliados.	69
Figura 37. Distribuição da largura das copas base dos 1846 indivíduos de <i>Juniperus navicularis</i> avaliados nas 30 parcelas.....	70
Figura 38. Histograma da distribuição das classes de idades estimadas, dos 1923 indivíduos de <i>Juniperus navicularis</i> avaliados.	71
Figura 39. Distribuição da classe de idades 1923 indivíduos de <i>Juniperus navicularis</i> avaliados nas 30 parcelas.	73
Figura 40. Distribuição dos gêneros registados nas 30 parcelas. f = feminino; m = masculino; i = indefinido; m/f = masculino e feminino.....	75
Figura 41. Distribuição da densidade de <i>Juniperus navicularis</i> registada nas 30 parcelas amostradas.	75
Figura 42. Distância ao mar das 30 parcelas amostradas.....	76
Figura 43. Percentagem de coberto arbóreo (verde), total (arbustivo) (azul) e de <i>Juniperus navicularis</i> (laranja) das 30 parcelas amostradas.	76
Figura 44. Matriz de correlação entre a média de todas as variáveis por parcela, na RNLSAS.	78
Figura 45. Distribuição da razão Altura/diâmetro da base do tronco (A), da Altura (B) e do Diâmetro da base do tronco (C), nas 30 parcelas amostradas, ao longo de três intervalos de distância ao mar.	78

Índice de Quadros

Quadro 1. Lista de espécies RELAPE presentes ao longo da área de estudo. * = Espécies Prioritárias. VU = Vulnerável; EN = Em Perigo.	26
Quadro 2. Principais espécies características do habitat 2250* “Dunas litorais com <i>Juniperus spp.</i> ”.	33
Quadro 3. Equações de crescimento testadas para a obtenção da idade dos indivíduos de <i>Juniperus navicularis</i> , onde t – tempo; e – número de Euler (aproximadamente 2,71828); a, b, c e d – parâmetros constantes usados nas equações.	41
Quadro 4. Amostras usadas nas equações de crescimento, variando no tipo de biometria usada, e respetiva equação testada.	42

Índice de Tabelas

Tabela 1. Sumário dos dados obtidos com os indivíduos cortados em Troia.	49
Tabela 2. Dados da amostra de Troia, usados no desenho da estrutura biométrica típica do <i>Juniperus navicularis</i> , valores médios obtidos por classe de idade.	51
Tabela 3. Valores obtidos com as equações de crescimento para cada tipo de biometria.	56

Lista de abreviaturas

EN - Em Perigo

RELAPE - Raras, Endémicas, Localizadas, Ameaçadas ou em Perigo de Extinção

RNLSAS – Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha

UE - União Europeia

VU – Vulnerável

ZEC - Zona Proteção Especial

Lista de Comunicações e de Publicações

O presente trabalho baseia-se também na preparação das seguintes comunicações e publicações:

Comunicações Orais:

Moreira Sá, D; Ferreira, L; Romão, B; Pinto Gomes, C; Ribeiro, N; Meireles, C. “Estrutura biométrica, dendrocronologia e modelos de crescimento de *Juniperus navicularis* Gand., um zimbro endémico e ameaçado”. 23^o Encontro Nacional de Ecologia. Sociedade Portuguesa de Ecologia (SPECO). Instituto Pernambuco (Porto, Portugal). 2024.

Moreira Sá, D; Meireles, C; Ribeiro, N; Ferreira, L., Baião, C; Pinto Gomes, C. “Age characterization of Portuguese populations of *Juniperus navicularis* Gand.: growth model”. XVI International Seminar on Biodiversity Management and Conservation. Universidade de Évora (Évora, Portugal). 2024.

Moreira Sá, D; Meireles, C; Ribeiro, N; Ferreira, L; Baião, C; Pinto Gomes, C. “Modelação da idade dos indivíduos de *Juniperus navicularis* Gand. em populações portuguesas”. 22^o Encontro Nacional de Ecologia. Sociedade Portuguesa de Ecologia (SPECO). Universidade do Algarve (Faro, Portugal). 2023.

Publicações:

Sá, Diogo., Portugal Ferreira, L., Baião, C., Machado, M., Pinto Gomes, C. e Meireles, C. (2024). Itinerário Geobotânico aos Habitats Dunares do Território Sadense. Universidade de Évora.

1. Introdução

Segundo o relatório do *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005), nas últimas décadas, os ecossistemas terrestres sofreram transformações mais rápidas do que em qualquer outro período da história humana. Embora estas alterações estejam relacionadas com os avanços tecnológicos, atingidos ao longo deste período, também levaram à degradação dos recursos naturais, resultando em perdas significativas e irreversíveis na biodiversidade terrestre (MEA, 2005). De forma a reverter esta degradação, mudanças significativas nas políticas, instituições e práticas, foram e estão a ser implementadas.

Este alerta mundial, intensificado na última década, foi precedido pela adoção de várias medidas de proteção da Biodiversidade Europeia, das quais se destaca a Diretiva Habitats (92/43/CEE), assinada a 21 de maio de 1992 pelos Estados-Membros da União Europeia (UE). Esta Diretiva, tem como principal objetivo assegurar a conservação dos habitats naturais e semi-naturais, e das espécies de fauna e flora selvagens consideradas ameaçadas na UE (European Commission, 1992). Em conjunto com a Diretiva Aves (2009/147/CE), a Diretiva Habitats levou à criação da Rede Natura 2000, a maior rede de áreas destinadas à conservação da natureza no mundo, que se estende ao longo de 20% da área terrestre e 10% da área marinha da UE (EEA, 2020). Também, com a aplicação desta Diretiva, 1389 espécies de fauna e flora, e 233 habitats presentes nos Estados-Membros da UE são alvo de proteção e/ou ações de conservação (EEA, 2020).

De forma a avaliar o estado de conservação das espécies e habitats presentes na Diretiva Habitats, assim como analisar a eficácia das ações de conservação que lhes são dirigidas, a cada 6 anos os Estados-Membros, elaboram um relatório onde consta o estado e as tendências de conservação das espécies e habitats alvo (European Commission, 1992). Apesar dos mais de trinta anos de implementação desta Diretiva na União Europeia, e de todos os esforços feitos para a sua proteção, o último relatório de avaliação, elaborado em 2019, é preocupante (EEA, 2020): [1.] cerca de 1/3 das espécies listadas na Diretiva Habitats não apresenta qualquer tipo de avaliação sobre o seu estado de conservação, por falta de dados; [2.] das espécies avaliadas, mais de metade apresenta um estado de conservação desfavorável; [3.] mais de 3/4 dos habitats listados encontram-se num estado de conservação desfavorável; [4.] e 1/3 deles apresentam uma tendência decrescente. Em Portugal, esta tendência também se verifica, com mais de metade dos habitats

avaliados a apresentar uma tendência decrescente, com maior incidência nas zonas costeiras (EEA, 2020).

Entre os habitats em pior estado de conservação ao nível nacional e europeu, estão os habitats dunares, pois cerca de metade destes habitats encontram-se em mau estado de conservação (EEA, 2020).

Devido à sua localização, os habitats dunares (Figura 1) encontram-se sujeitos a condições ambientais extremas e a constante perturbação, tanto de origem natural como antropogénica (Vaz *et al.*, 2015). Por um lado, estes ambientes caracterizam-se, sobretudo, pela baixa disponibilidade hídrica e de nutrientes, presença de salinidade, mobilidade do substrato e fortes ventos (Martínez *et al.*, 2013), condicionando o número de espécies capazes de aqui sobreviver. Por outro lado, cerca de 41% da população mundial mora a uma distância menor de 100 km da costa (Martínez *et al.*, 2013). Deste modo, intervenções como a construção urbano-turística, industrial e comercial, o despejo de resíduos, a agricultura e as atividades de recreio, têm um impacto muito significativo nestes ambientes (Martínez *et al.*, 2013; EEA, 2020). Para além disso, com o incremento populacional previsto ao longo da costa, espera-se que o impacto destas pressões seja ainda maior no futuro (Martínez *et al.*, 2007).



Figura 1. Imagens de habitats dunares presentes ao longo da costa portuguesa (Sudoeste alentejano).

Os habitats dunares estão entre os mais importantes habitats da Terra, tanto em termos de valores biológicos (Acosta *et al.*, 2005), como relativamente ao aprovisionamento de serviços de relevância ecológica, económica e social (Wilson *et al.*, 2005). As comunidades vegetais psamófilas aí existentes apresentam adaptações fisiológicas e morfológicas que lhes permitem resistir às condições ambientais extremas, acima mencionadas (Martínez *et al.*, 2013). Neste tipo de habitats, diferentes comunidades vegetais coexistem numa área relativamente limitada, resultando assim numa elevada diversidade ecológica (Acosta *et al.*, 2013). Também, as adaptações desenvolvidas pela flora psamófila originam comunidades totalmente diferentes de quaisquer outras comunidades terrestres (Acosta *et al.*, 2005), o que por sua vez favorece o aparecimento de novas espécies (Neto *et al.*, 2007). As espécies psamófilas formam habitats essenciais na dinâmica geomorfológica das dunas costeiras, contribuindo para a retenção e estabilização das areias, assim como para a formação de solo (Corre, 1991; Neto & Capelo, 2004; Picchi, 2008). No caso de Portugal, devido à sua posição biogeográfica, verifica-se uma elevada riqueza vegetal ao longo sua costa

(Calvão *et al.*, 2013), especialmente na região mediterrânica (costa sudoeste), que apresenta elevados níveis de endemidade florística (Neto *et al.*, 2007).

Entre as comunidades existentes nos habitats dunares costeiros destacam-se os zimbrais. Os habitats costeiros com *Juniperus* spp. distribuem-se maioritariamente ao longo da região biogeográfica do mediterrâneo (Picchi, 2008; Diez-Garretas *et al.*, 2022) e sustentam um enorme valor natural (Van der Meulen & Udo de Haes, 1996; Carmona-Velasco *et al.*, 2022). Estes micro-bosques de zimbro constituem a vegetação climácica atual de uma parte importante dos sistemas dunares costeiros (Neto, 2002). O seu enorme valor foi refletido pela Diretiva Habitats (Diretiva 92/43/CEE), que os considera habitats prioritários para conservação (habitat 2250*, Anexo I). Em Portugal, estes zimbrais são dominados por duas espécies de zimbro, que definem dois subtipos de habitat: *Juniperus turbinata* (habitat 2250 subtipo 1); e *J. navicularis* (habitat 2250 subtipo 2) (ALFA, 2004).

Embora o habitat 2250* seja classificado como prioritário para a conservação, continua muito ameaçado na Europa, em todas as regiões biogeográficas onde ocorre, destacando-se a região mediterrânica onde a tendência continua a ser decrescente (EEA, 2020). No passado, extensos pinhais de *Pinus pinaster* e/ou *P. pinea*, foram plantados na área potencial de zimbral (Neto, 2002), levando à destruição massiva deste habitat. As populações de zimbro que conseguiram sobreviver à instalação e subsequente gestão destes pinhais, hoje presentes no seu subcoberto, enfrentam diversas ameaças (Neto, 2002; Muñoz-Reinoso *et al.*, 2013). Estas populações encontram-se sujeitas a condições biofísicas afastadas do seu ótimo ecológico, nomeadamente sujeitas a maior ensombramento e à diminuição do efeito do vento (importante para a dispersão) (Neto, 2002; Muñoz-Reinoso *et al.*, 2013). Para além disso, a área de distribuição das espécies de zimbro está em regressão, devido principalmente ao desenvolvimento urbano-turístico e a conversão do seu território para áreas de agricultura intensiva (ALFA, 2004; Ballantyne & Pickering, 2013; Castro *et al.*, 2016; Carmona-Velasco *et al.*, 2022).

Para além destes, a falta de conhecimento sobre os habitats e as espécies continua a ser uma das principais ameaças à biodiversidade (EEA, 2020). Por exemplo, a informação disponível sobre as duas espécies de zimbro existentes na costa portuguesa ainda é bastante escassa, principalmente para *J. navicularis*, que apresenta uma área de distribuição mais reduzida, quase exclusiva do território português. Devido à sua reduzida área de distribuição (endemismo ibérico) e ao facto da sua identidade taxonómica só ter sido reconhecida recentemente, é uma espécie com pouca

incidência de estudos. Após uma revisão bibliográfica sobre o *J. navicularis*, verificou-se que, até à data da realização desta dissertação, existem apenas 7 artigos científicos publicados especificamente sobre esta espécie: um sobre a tipificação do seu nome científico (Ferreira *et al.*, 2024); dois sobre a composição química das folhas e bagas (Cavaleiro *et al.*, 2003; Velasco-Negueruela *et al.*, 2004); um sobre a sua micropropagação (Castro *et al.*, 2011); e três sobre o estudo populacional, características morfológicas e/ou ecologia (Castro *et al.*, 2016; Diez-Garretas *et al.*, 2017; Carmona-Velasco *et al.*, 2022).

Apesar destas publicações, inúmeras questões se levantam sobre a biologia e a ecologia desta espécie. Uma das mais importantes para a gestão e restauro ecológico deste habitat, é perceber a idade das populações de *Juniperus navicularis*. De facto, apesar da espécie produzir sementes, não se encontram na natureza quaisquer indivíduos jovens com origem seminal, sendo dominante a reprodução vegetativa. Também, por norma, a altura dos indivíduos encontrados não excede os 2 metros, quando é referido na literatura que este poderia alcançar cerca de 5 metros de altura (Neto, 2002). Estas situações sugerem a existência de populações longe da sua maturidade, associadas a alguma depressão genética.

Esta circunstância, acrescida do facto destas comunidades serem raras, estarem em mau estado de conservação e terem tendência decrescente, leva à necessidade premente de melhorar significativamente o conhecimento sobre esta espécie e as suas populações.

Refira-se que a estrutura etária das populações vegetais fornece informação chave que permite perceber quais os processos de regeneração dessas populações, uma ferramenta importante para avaliar o estado de conservação de uma população e habitat (Andrzejczyk & Brzeziecki, 1995; Primack, 2008). Apesar do seu valor, a maioria dos estudos focam-se apenas em espécies arbóreas (Rozas & Olano, 2013; García-Cervigón *et al.*, 2017; Pavão *et al.*, 2022), negligenciando as espécies arbustivas, elementos que constituem a vegetação mais conspícua de muitos habitats e que apresentam uma elevada importância nos ecossistemas (Callaway & Davis, 1998; Fuller & DeStefano, 2003; Goetz *et al.*, 2007; Götmark *et al.*, 2016). Deste modo, a aplicação deste método às populações de zimbro, irá reduzir esta lacuna no conhecimento, auxiliando no processo de decisão, gestão e restauro das suas áreas nativas, na maioria inseridas na Rede Natura 2000. Também permitirá o desenvolvimento de medidas compensatórias e de proteção mais ajustadas à realidade, quando este habitat é alvo de destruição.

Esta tese foi desenvolvida no âmbito do projeto Zimbral for LIFE (Life21-NAT-PT-ZimbralforLife/101074592).

1.1. A espécie-alvo (*Juniperus navicularis* Gand.)

1.1.1. Taxonomia, Filogenia e Genética

O **género *Juniperus*** apresenta 75 espécies que se distribuem maioritariamente ao longo do hemisfério norte (Adams, 2014). Por se localizar numa posição terminal na árvore filogenética do Reino das Plantas, este constitui um dos géneros de gimnospermas mais avançadas (Rai *et al.*, 2008). O género é monofilético e segundo Adams (2014), este apresenta 3 secções monofiléticas: *Caryocedrus*, *Juniperus* e *Sabina*. Estas secções foram divididas através de métodos genéticos, porém também existem características morfológicas que as distinguem. A secção *Caryocedrus*, com apenas um representante (*J. drupacea*), apresenta folhas com uma forma acicular e os seus pseudofrutos (gálbulos, como são denominados neste género) são constituídos por 3 sementes unidas no seu interior (Adams, 2014). O *J. drupacea* distribui-se ao longo da região este do Mediterrâneo (Grécia, Líbano, Turquia e Síria) (Adams, 2014). Os representantes da secção *Sabina* apresentam folhas escamiformes e os gálbulos podem conter, consoante a espécie, entre 1-12 sementes separadas (Adams, 2014). Em termos quantitativos, esta secção é a maior, sendo constituída por 60 espécies, a maioria distribuída pelo hemisfério norte, com 1 espécie (a única do género) distribuída ao longo do hemisfério sul: *J. procera*, que se distribui ao longo do Vale do Rife, no continente africano (Adams, 2014). Por fim, a secção *Juniperus* caracteriza-se por possuir folhas de forma acicular e gálbulos com 3 sementes separadas (Adams, 2014). Esta secção apresenta 14 espécies, distribuídas ao longo do hemisfério norte, e na Península Ibérica existem quatro espécies: *J. communis*, *J. oxycedrus*, *J. navicularis* e *J. macrocarpa* (Adams, 2014; Diez-Garretas *et al.*, 2017). Em termos reprodutivos todas as secções apresentam espécies dioicas, sendo que na secção *Sabina* também existem espécies monoicas (Adams, 2018).

Portugal continental apresenta quatro espécies de zimbro: *J. communis*, *J. oxycedrus*, *J. turbinata* e *J. navicularis*. As ilhas portuguesas apresentam mais três espécies: *J. brevifolia*, endémico do arquipélago dos Açores, o *J. cedrus* subsp. *maderensis* e *J. turbinata* subsp. *canariensis*, endémicos da Madeira, e da Madeira e Canárias, respetivamente (Adams, 2014).

A espécie-alvo deste trabalho é *Juniperus navicularis* Gand., em Portugal conhecido vulgarmente por zimbro-galego ou piorro, em inglês, português prickly juniper, e em espanhol, enebro português ou piorro. Trata-se de uma espécie de zimbro que ocorre exclusivamente no sudoeste da Península Ibérica. A origem do restritivo específico *navicularis* poderá estar associada à forma que as folhas desta espécie possuem, do latim *navicularibus*: forma navicular (pequeno navio) ou de navícula (Gandoger, 1910).

Esta espécie de gimnospérmica, pertencente à ordem *Pinales* e à família *Cupressaceae*, foi descrita em 1910 por Michel Gandoger pela primeira vez como *J. navicularis*, no artigo “Notes sur la flore hispano-portugaise” do IX Boletim da Sociedade Botânica de França (Gandoger, 1910). Contudo, só em 1986, baseado em caracteres morfológicos, foi incluída na Flora Ibérica com esse mesmo nome: *J. navicularis* (Franco, 1986). Até lá, não foi reconhecida a sua identidade taxonómica, chegando a ser referido em algumas publicações como uma variedade (*J. oxycedrus* var. *transtagana*) (Silba, 1984) ou uma subespécie de *J. oxycedrus* (*J. oxycedrus* subsp. *transtagana*) (Franco, 1963; Pérez-Latorre & Cabezudo, 2009; Farjon, 2010).

As principais características morfológicas que distinguem o *J. navicularis* de outras espécies do género *Juniperus* semelhantes são o comprimento das folhas e dos gábulos maduros e a forma da folha, que no piorro é ligeiramente mais obtusa (Franco, 1986). Análises de óleos essenciais e de DNA polimórfico aleatoriamente amplificado (RAPD), também corroboram a sua categoria de espécie (Adams, 2000; Adams & Schwarzbach, 2012). Estas mesmas análises agrupam a espécie junto do *J. brevifolia* e do *J. deltoides*, presentes, respetivamente, nos Açores e ao longo da região este do Mediterrâneo (Rumeu *et al.*, 2011; Boratyński *et al.*, 2014; Gutiérrez-Larruscain *et al.*, 2024).

J. navicularis especiou-se, provavelmente, a partir do *J. oxycedrus*, possivelmente durante o período seco e frio da última glaciação Pleistocénica (glaciação de Würm), no qual o *J. oxycedrus* ter-se-á expandido para o sul da Península Ibérica e colonizado as areias do Sado (Neto & Capelo, 2004; Boratyński *et al.*, 2014; Neto *et al.*, 2020).

1.1.2. Caracterização morfológica

Juniperus navicularis é uma espécie arbustiva que pode atingir até cerca de 5 metros de altura (apesar de ser muito raro encontrar indivíduos desse tamanho) e que muitas vezes apresenta um

aspecto prostrado (Figura 2) (Neto, 2002). As suas folhas têm um tamanho entre 4-12 por 1-1,5 mm, uma forma acicular com as margens inteiras e 2 bandas estomáticas esbranquiçadas no lado adaxial (Figura 4) (Franco, 1986; Castro *et al.*, 2016). Os óleos essenciais presentes nas folhas e nas bagas são constituídos principalmente por monoterpenos e hidrocarbonetos, presentes em muitas coníferas, nomeadamente α -pineno, limoneno, α -felandreno e p-cimeno nas folhas e, β -mirceno e α -pineno nos gálbulos (Cavaleiro *et al.*, 2003).



Figura 2. Espécie em estudo: *Juniperus navicularis*.

É uma espécie dioica e não apresenta dimorfismo sexual (Castro *et al.*, 2016), como tal, visualmente, apenas é possível distinguir os sexos através dos órgãos reprodutores (estróbilos) ou dos pseudofrutos (gálbulos, presentes nas fêmeas). Resultados de um primeiro estudo feito por Carmona-Velasco *et al.* (2022) nas poucas populações existentes em Espanha, sugerem que o piorro atinge a maturidade sexual entre os 20 e os 30 anos, não sendo feitas distinções entre sexos. Porém, é comum nas espécies lenhosas dioicas, devido a uma maior alocação de recursos para a frutificação, as fêmeas demorarem mais tempo a atingir a maturidade sexual (Obeso, 2002; Gao, 2009; Castro *et al.*, 2016), sendo presumível que o mesmo aconteça com *J. navicularis*.

Os estróbilos, ou cones (órgãos reprodutores dos zimbros e de outras coníferas), inserem-se axialmente (Figura 3 e Figura 4) (Franco, 1986), e no piorro encontram-se presentes entre fevereiro e abril (Adams, 2014; Carmona-Velasco *et al.*, 2022). Durante este período os cones masculinos (microestróbilos) abrem-se e libertam o pólen presente nos sacos polínicos, agregados na face abaxial das escamas que formam os estróbilos (Broome, 2003). Sendo uma espécie anemófila, o

pólen é disperso pelo vento, colando-se às gotículas recetivas (ou polinizadoras) presentes nos cones femininos (megaestróbilos), ocorrendo assim a fecundação (Franco, 1986; Broome, 2003).



Figura 3. *Juniperus navicularis*: microestróbilos ou cones ♂ (A e B); megaestróbilos ou cones ♀ (C) e gálbulos (pseudofrutos) (D e E).

Os gálbulos são frutificações formadas por brácteas carnudas, que no piorro apresentam um tamanho entre 7-10 mm (Figura 3 e Figura 4) e uma coloração entre o verde e o vermelho-escuro, quando atingem a maturação (Figura 3) (Franco, 1986; Diez-Garretas *et al.*, 2017). Quando estão maduros, os gálbulos produzem uma cera epicuticular – a pruína – camada com características hidrofóbicas, que protege e reduz a perda de água destes pseudofrutos (Yavuz & Yilmaz, 2017; Sharma *et al.*, 2018). O período de maturação dos gálbulos do piorro demora cerca de 3 anos a concluir-se (Adams, 2014), como tal a mesma planta pode apresentar gálbulos de diferentes anos, com diferentes colorações. A dispersão das sementes presentes nos gálbulos, tal como noutras espécies de zimbros, é feita por endozocoria, através de várias espécies de aves e mamíferos (Broome, 2003; Muñoz-Reinoso *et al.*, 2013).

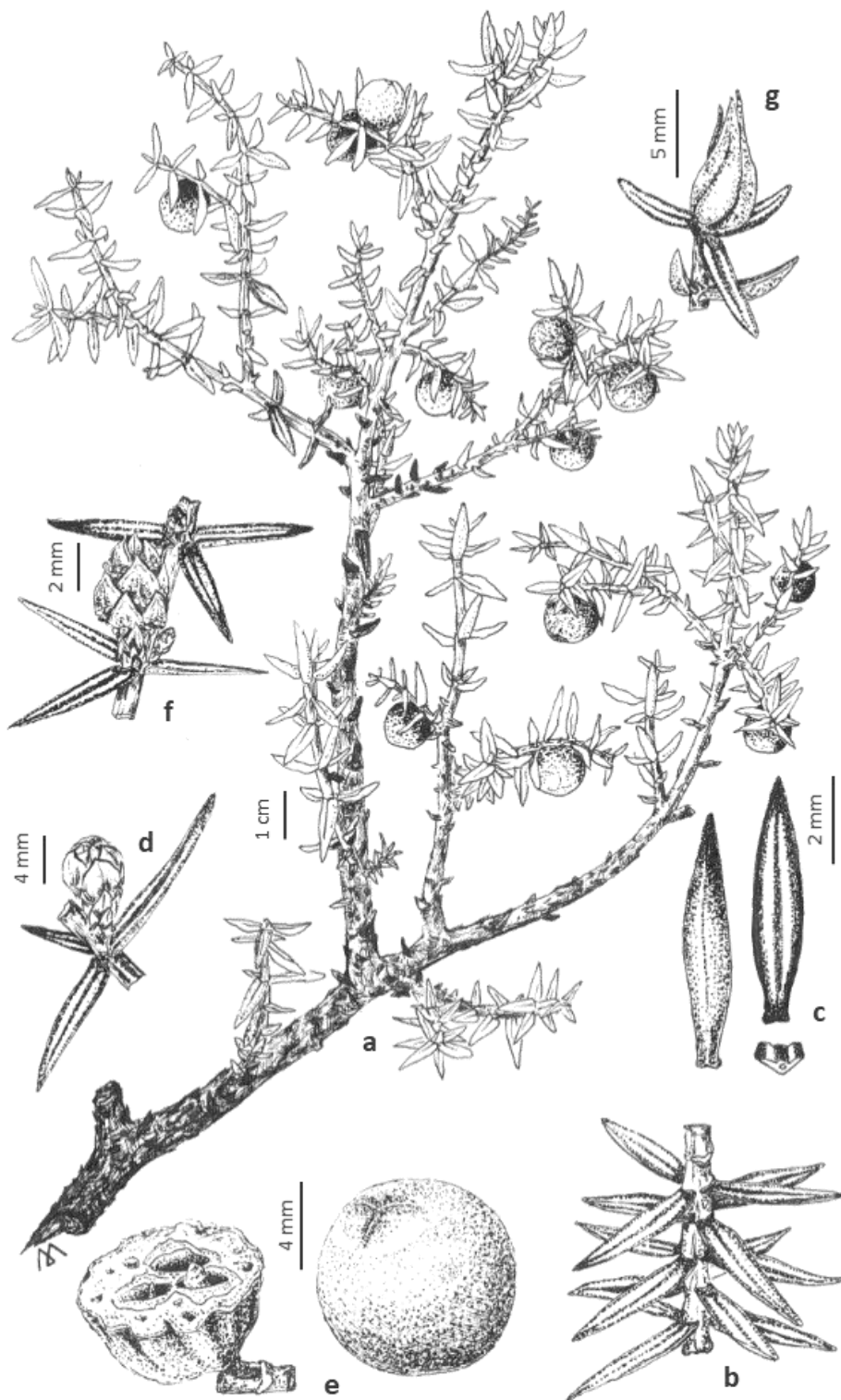


Figura 4. *Juniperus navicularis*: a) ramo com gábulos; b) secção do ramo; c) folha com perfil adaxial (direita), abaxial (esquerda) e corte transversal; d) cone ♀; e) gábulos e secção de um gábulos; f) cone ♂; g) galha. © Liya Liu.

Atualmente, o principal modo de reprodução desta espécie, na natureza, é por multiplicação vegetativa. Neste processo, um indivíduo adulto, através da diferenciação dos rizomas, dá origem a outros indivíduos geneticamente iguais, com um sistema radicular pouco desenvolvido (Sánchez-García *et al.*, 2014; Castro *et al.*, 2016), que dependem essencialmente da planta-mãe para sobreviver durante a fase inicial da sua vida.

Historicamente, o piorro terá sido hospedeiro da espécie *Arceuthobium oxycedri*, uma epífita parasita que cresce em diversas espécies do género *Juniperus* (*J. oxycedrus*, *J. communis*, *J. phoenicea*) (Catalán, 1997), contudo esta espécie já não é observada em Portugal há décadas (Aguiar, 2021), e não se verificam registos atuais na área de distribuição do piorro, deduzindo-se, portanto, que esta relação interespecífica já não exista.

Tal como outras espécies de *Juniperus*, o piorro pode formar galhas (Figura 4), causadas neste caso pelo inseto parasita *Oligotrophus valerii*, um díptero da família *Cecidomyiidae* conhecida por moscas-das-galhas (Tavares, 1904 *apud* Sánchez-García *et al.*, 2012). Este díptero, que também parasita o *J. oxycedrus*, leva à formação de galhas de forma ovoide com 10-12 mm de altura por 6 mm de largura, com uma cor inicialmente verde, amarela e por fim acastanhada quando se abre e liberta a pupa, na primavera (Tavares, 1904 *apud* Sánchez-García *et al.*, 2012).

1.1.3. Distribuição

O *J. navicularis* é uma espécie endémica do sudoeste da Península Ibérica, distribuindo-se essencialmente ao longo de sistemas dunares costeiros portugueses (Franco, 1986), onde se encontram cerca de 95% das populações conhecidas (Diez-Garretas *et al.*, 2017).

Em Portugal, o piorro encontra-se maioritariamente distribuído a sul do Tejo, principalmente na margem sul deste e ao longo da bacia do Sado. Os limites sul e norte da sua distribuição encontram-se em Aljezur e na Figueira da Foz, respetivamente, estando nesta última localização o núcleo populacional mais isolado de Portugal e mais setentrional da espécie (Carapeto *et al.*, 2023). Em Espanha é muito raro, encontrando-se distribuído na região sudoeste, em Cádiz e Huelva (Figura 5) (Diez-Garretas *et al.*, 2017).

Em Portugal, a maior parte da área de distribuição do *J. navicularis* encontra-se associada ao setor biogeográfico Ribatejano Sadense (Rivas-Martínez *et al.*, 2017). Este setor encontra-se na

região bioclimática termomediterrânica, apresentando um ombrótipo sub-húmido a seco (ALFA, 2004). O setor biogeográfico Ribatejano Sadense corresponde à unidade morfoestrutural da bacia Cenozoica do Tejo-Sado, no passado zona de bacia endorreica (Feio & Daveau, 2004). Como tal, a formação do solo aí presente está associada aos vários períodos de enchimento com materiais grosseiros aluviais realizados entre o Eocénico e o Miocénico (Neto & Capelo, 2021). Posteriormente, no Pliocénico, após vários ciclos de deposição deu-se a formação de camadas de rocha arenítica, pelítica e conglomerática – uma das quais a formação da Marateca (Costa *et al.*, 1998; Neto & Capelo, 2021). Esta camada subjaz as dunas pliohistóricas ainda presentes hoje nesta área. Estas dunas formaram-se durante períodos de regressão marinha associados aos ciclos glaciários do Pleistocénico (principalmente o último, a glaciação de Würm) (Neto *et al.*, 2021). Durante este período, as areias presentes nos fundos marinhos, nesse tempo expostas, por ação dos ventos foram conduzidas em direção a este, cobrindo assim as formações miopliocénicas aí existentes (Neto & Capelo, 2021). Sobre estas dunas instalaram-se, entre outras, coníferas e ericáceas, espécies que levaram à acidificação do solo e assim contribuíram para a sua podzolização (Neto *et al.*, 2021). O processo de podzolização consistiu na migração do material coloidal (alumínio e ferro) para os horizontes mais profundos como resultado dos períodos de forte precipitação, originando um horizonte plíntico (imperme, rico em argilas, ferro e alumínio, mas pobre em matéria orgânica), localmente designado de surraipa (Neto, 2002; Neto & Capelo, 2004). Este horizonte argiloso permite uma maior retenção de água no lençol freático, dispondo-o numa posição mais superficial permitindo assim a ocorrência de espécies hidrologicamente mais exigentes, como as pertencentes ao urzal/tojal reliquial (*Erico umbellatae-Ulicetum welwitschiani*) que corresponde ao habitat prioritário 2150* (“Dunas fixas descalcificadas atlânticas (*Calluno-Ulicetea*)”) subtipo 1 (“Dunas fixas com tojais-urzais e tojais-estevais psamófilos com *Ulex australis* subsp. *welwitschianus*”) e que estão intimamente associadas a estes podzóis com surraipa (Neto & Capelo, 2004; ALFA, 2004). A destruição do horizonte de surraipa (muito frequente devido à agricultura praticada nesta região) leva ao desaparecimento deste urzal e à sua substituição pelos matos de *J. navicularis*, hidrologicamente menos exigentes, mas ainda dependentes da humidade existente nos solos podzolizados (Neto & Capelo, 2004).



Figura 5. Mapa da área de distribuição do *Juniperus navicularis*.

1.1.4. Habitat

Em termos de habitat, o piorro ocorre ao longo das dunas terciárias (estabilizadas ou paleodunas), entre uma altitude de 5 a 220 metros (Castro *et al.*, 2016; Diez-Garretas *et al.*, 2017), locais caracterizados pela pouca disponibilidade de nutrientes, baixa capacidade de armazenamento hídrico e onde o efeito da salugem marítima é pouco intenso ou mesmo nulo (Neto & Capelo, 2004; Martins, 2016). Juntamente com outras espécies de flora psamófila (*Corema album*, *Osyris lanceolata*, *Phillyrea angustifolia*, etc.) o *J. navicularis* pode ocorrer em zonas abertas ou no subcoberto de pinhais (*Pinus pinea* e *Pinus pinaster*) e/ou sobreirais (Rivas-Martínez *et al.*, 1990; ALFA, 2004; Sánchez-García *et al.*, 2014; Diez-Garretas *et al.*, 2022). Associado a este tipo de habitat podem encontrar-se várias espécies ameaçadas e endemismos nacionais, como a *Armeria*

rouyana, o *Thymus capitellatus* ou a *Santolina impressa*, endêmicos do sudoeste português (Neto, 2002).

Esta espécie não ocorre em sistemas dunares recentes, próximos da costa, uma vez que esse espaço é ocupado pelas comunidades de *Juniperus turbinata*, que ganham a competição face ao *J. navicularis* (Neto, 2002). Deste modo a sua distribuição encontra-se associada às paleodunas, ocorrendo aí sobretudo nos topos de encostas, onde a água freática subsuperficial também é escassa (Neto & Capelo, 2021), mas onde há menos deposição de areia solta. Aí, esta espécie forma uma comunidade psamófila arbustiva, denominada por *Daphno gnidii-Juniperetum navicularis* (Rivas-Martínez *et al.*, 1990). Devido à oligotrofia e pouca disponibilidade hídrica do solo, *Quercus suber*, espécie que climaticamente poderia ocorrer nesta área, não se consegue estabelecer. Como tal, o zimbral de *J. navicularis* representa a comunidade clímax, representando uma minorissérie edafoxerófila (Neto, 2002). Nas comunidades em melhor estado de conservação, verifica-se a presença de líquenes arenícolas do género *Cladonia*, essenciais na manutenção da humidade do solo e na estabilização superficial das areias (Neto, 2002). Estes líquenes são muito vulneráveis ao pisoteio e, como tal, a sua presença indica a ausência de impacte antrópico no local (Asensi & Diez-Garretas, 2017).

Em zonas com solos mais desenvolvidos, siliciosos e menos arenosos, já com uma maior humidade edáfica, o *J. navicularis* ocorre juntamente com a carvalhiça (*Quercus lusitanica*), formando a comunidade *Junipero navicularis-Quercetum lusitanicae* (Rivas-Martínez *et al.* 1990). Esta comunidade constitui uma etapa subserial do sobreiral termomediterrânico sadense (*Oleo sylvestris-Quercetum suberis*), acabando assim por ser eliminada ao longo da dinâmica da sucessão ecológica (Costa *et al.*, 1998). No entanto, uma vez que apenas existem resquícios destes sobreirais prístinos, o matagal de carvalhiça continua a existir nestes locais, muitas vezes associado às etapas de degradação do sobreiral (Neto *et al.*, 2021).

Em Espanha, também ao longo de paleodunas, perto da costa, o piorro ocorre no subcoberto de plantações de *P. pinea*, fazendo parte da comunidade *Chamaeropo humilis-Juniperetum navicularis* (Sánchez-García *et al.*, 2014). Nesta região do sul de Espanha, onde o clima é termomediterrânico seco, mais uma vez, os matos de piorro constituem uma etapa de substituição dos sobreirais em solos arenosos (Diez-Garretas *et al.*, 2017).

Em Portugal, o matagal de *J. navicularis* como resultado do seu elevado valor natural e das ameaças a que está sujeito, foi considerado uma prioridade para a conservação, fazendo parte do habitat prioritário 2250* (“Dunas litorais com *Juniperus* spp.”), subtipo 2 (“Paleodunas com matagais de *Juniperus navicularis*”) (ALFA, 2004), incluído no Anexo I da Diretiva Habitats (92/43/CEE). Este habitat engloba as comunidades xerofíticas dominadas ou co-dominadas pelo piorro (*Daphno gnidii-Juniperetum navicularis* e *Junipero navicularis-Quercetum lusitanicae*). Também, nas comunidades dominadas por carvalhiça (*Junipero navicularis-Quercetum lusitanicae*), em solos mais desenvolvidos, com uma maior quantidade de matéria orgânica, o *J. navicularis* integra o habitat 5330 (“Matos termomediterrânicos pré-desérticos”), subtipo 4 (“Matagais com *Quercus lusitanica*”) (ALFA, 2004).

1.1.5. Importância e serviços do ecossistema

Os zimbros são espécies cruciais nos ecossistemas áridos e semiáridos do Mediterrâneo, ocorrendo em locais com solos arenosos, nus, secos e/ou oligotróficos onde poucas são as espécies que aí se conseguem estabelecer com sucesso (Boratyński *et al.*, 2014).

Este habitat constitui a comunidade clímax da sucessão ecológica nas dunas costeiras (Diez-Garretas *et al.*, 2022). Em qualquer tipo de habitat, a comunidade clímax representa o máximo potencial que o habitat consegue atingir. Nestes casos, tanto a diversidade específica como as relações existentes entre os seres vivos atingem o seu pico (Fridley, 2001). Esta enorme diversidade e complexidade faz com que as funções de ecossistema que o habitat fornece atinjam também o seu máximo (Mulder *et al.*, 2001; Cardinale *et al.*, 2002). Assim, o habitat torna-se estável e mais resistente a perturbações (Mulder *et al.*, 2001). Este facto é importante em qualquer tipo de habitat, mas é especialmente importante em habitats costeiros, cada vez mais ameaçados pelas alterações climáticas e pelo subsequente aumento do nível médio do mar que leva à erosão da linha de costa onde estes se inserem (Picchi, 2008). Nestes ecossistemas, a comunidade clímax tem um papel essencial na dinâmica geomorfológica das dunas, contribuindo para a retenção e estabilização das areias, assim como para a formação do solo e para a regulação do ciclo da água e dos nutrientes (Corre, 1991; Neto & Capelo, 2004; Picchi, 2008). Desta forma os zimbrals, e os microbosques que eles formam ao longo das dunas (principalmente de *J. navicularis*), permitem a ocorrência de

comunidades com um elevado valor florístico, assim como endemismos que dão a estas comunidades um elevado interesse de conservação (Acosta *et al.*, 2005; Castro *et al.*, 2016).

Por fim, os zimbrais dunares fornecem áreas de refúgio e reprodução para a fauna terrestre associada a estes habitats (ALFA, 2004), sendo os seus gálbulos fonte de alimento para muitos animais, como aves da família *Turdidae* e espécies de mamíferos omnívoros como o texugo (*Meles meles*), a raposa (*Vulpes vulpes*) e o javali (*Sus scrofa*), assim como o coelho-bravo (*Oryctolagus cuniculus*), importantes na dispersão das sementes (Picchi, 2008; Adams & Thornburg, 2010; Muñoz-Reinoso *et al.*, 2013).

1.1.6. Ameaças

Assim como as demais comunidades costeiras de *Juniperus* spp. (Ballantyne & Pickering, 2013; Diez-Garretas *et al.*, 2022), o zimbral de *J. navicularis*, constitui um habitat extremamente vulnerável, encontrando-se no presente bastante ameaçado. Atualmente tanto populações portuguesas como espanholas de *J. navicularis* estão em declínio, assim como o seu habitat continua a desaparecer (Neto, 2002; Castro *et al.*, 2016). Devido à pressão antrópica é raro encontrar zimbrais de piorro pouco perturbados (Neto, 2002). A expansão urbano-turística e a exploração agrícola levam a que as populações existentes apresentem pequenos núcleos muito alterados e que o seu habitat se encontre bastante fragmentado (Castro *et al.*, 2011). Exemplo disso são as populações da península de Setúbal (Castro *et al.*, 2016).

Historicamente, a área de distribuição potencial do *J. navicularis* encontra-se ocupada em grande parte por plantações de pinheiro-bravo e pinheiro-manso (Neto, 2002). O crescimento desta espécie, a sua polinização e germinação seminal, parecem ser afetados negativamente pela sombra, diminuição do efeito do vento e acumulação de agulhas que ocorrem no subcoberto dos pinhais (Muñoz-Reinoso *et al.*, 2013; Carmona-Velasco *et al.*, 2022).

Adicionalmente, com a exploração florestal e/ou extração de resina associada a esses pinhais a maioria dos zimbrais foram destruídos (Neto, 2002). A má gestão florestal nos pinhais, onde o solo é lavrado e se procede ao corte raso e generalizado do subcoberto em períodos cíclicos de poucos anos, é incompatível com o ciclo de vida do *J. navicularis* (ALFA, 2004). Esta gestão, efetuada essencialmente de forma a prevenir o risco de incêndio, é feita com uma frequência que não

permite a recuperação destas comunidades, que vão diminuindo ao longo do tempo, acabando inevitavelmente por desaparecer (Neto, 2002; Castro *et al.*, 2011). Com a degradação e fragmentação do habitat, todo o sistema se torna mais instável, favorecendo a entrada de espécies exóticas invasoras, como *Carpobrotus edulis*, *Opuntia ficus-indica* e *Acacia* spp. (Marchante *et al.*, 2014; Diez-Garretas *et al.*, 2022).

Como resultado das ações antrópicas, a tendência do habitat no futuro é decrescente (Neto, 2002; Carmona-Velasco *et al.*, 2022), principalmente em zonas de dunas mais interiores onde estas ações são mais frequentes. As populações que acabam por permanecer em melhor estado de conservação restringem-se às dunas mais próximas da costa. Aí, as pressões acima mencionadas são mais limitadas, porém, devido à urbanização turística, estas áreas têm vindo a regredir (Gutierrez, 2014).

Para além das causas antropogénicas, há outras limitações biológicas inerentes à espécie que a põem em risco. No género *Juniperus* a baixa taxa de germinação seminal é um problema comum (Juan *et al.*, 2003). A germinação depende da idade dos indivíduos e é afetada pela predação por insetos e pela existência de sementes vazias (Thomas *et al.*, 2007; Verheyen *et al.*, 2009), assim como pela dormência do embrião (Juan *et al.*, 2003), impermeabilidade do tegumento e/ou presença de inibidores de germinação no mesocarpo (Broome, 2003; Juan *et al.*, 2006). Ao serem comidos e passarem pelo tracto digestivo dos animais, tanto o mesocarpo como o tegumento são digeridos, aumentando assim as chances de germinação (Lyons *et al.*, 1998; Broome, 2003).

Outro fator caracteriza-se pela reduzida proporção de sementes viáveis que, mais uma vez, apesar de ser tipicamente baixa nos zimbros (Thomas *et al.*, 2007), no piorro é das mais baixas já registadas, apenas 1-3% das sementes apresentam viabilidade (Castro *et al.*, 2016). Este fenómeno pode ser explicado pela limitação da polinização que se deve em parte à dominância de indivíduos do mesmo sexo numa mesma população e à fragmentação das populações com grandes distâncias geográficas a separá-las (Carmona-Velasco *et al.*, 2022). Nas populações mais isoladas aumenta a probabilidade de autopolinização e de cruzamento com indivíduos com grau de parentesco próximo, diminuindo assim o sucesso reprodutivo (Castro *et al.*, 2016). Também, apesar desta ser uma espécie anemófila, onde as populações podem estar afastadas e mesmo assim reproduzir-se com sucesso, deve-se ter em atenção o facto de muitas delas estarem inseridas no subcoberto de pinhais, zonas fechadas, onde o efeito do vento é menos intenso tornando assim a polinização menos eficaz (Ortiz *et al.*, 2002; Carmona-Velasco *et al.*, 2022). Outra possível razão poderá ser a

mudança das condições climáticas, nomeadamente a temperatura, fator determinante na germinação das sementes de várias espécies (Aouadj *et al.*, 2022). Podendo esta espécie ter surgido por especiação durante a última glaciação, quando o clima era frio e seco, outro possível fator é a atual inexistência de condições apropriadas à germinação das suas sementes (Neto *et al.*, 2020). A escarificação das sementes por baixas temperaturas já foi verificada noutras espécies de zimbro, como o *Juniperus oxycedrus* (Aouadj *et al.*, 2022) e o *Juniperus procera* (Yavuz & Yilmaz, 2017). Com o aumento da temperatura, a ausência deste fator, determinante na quebra da dormência das sementes, impossibilitará a germinação das mesmas (Neto *et al.*, 2020).

A baixa percentagem de plantas maduras nas populações, devido ao corte do subcoberto nos pinhais, afeta da mesma forma as taxas de reprodução, uma vez que as plantas não conseguem atingir a maturidade entre os períodos de corte (Castro *et al.*, 2011). Também a presença de galhas, quando em número excessivo pode afetar a produção de estróbilos (Carmona-Velasco *et al.*, 2022).

Como resultado destas limitações intrínsecas à espécie e das ameaças a que está sujeita, a única forma de reprodução observada nas populações portuguesas é a multiplicação vegetativa (Castro *et al.*, 2016). O mesmo ocorre nas populações espanholas (Sánchez-García *et al.*, 2014; Carmona-Velasco *et al.*, 2022), levando, deste modo, a uma redução da variabilidade genética intrapopulacional e a uma possível grande diferenciação genética interpopulacional (Boratyński *et al.*, 2014).

Também, devido às alterações climáticas, onde se verificam verões cada vez mais quentes e secos, ocorre um aumento das taxas de evaporação o que afeta de forma negativa especialmente espécies presentes em habitats áridos como nos sistemas dunares (Broome, 2003; Picchi, 2008). Com o aumento da aridez, existe um menor investimento na reprodução, especialmente visível nos indivíduos femininos que necessitam de mais recursos (Ortiz *et al.*, 1998; Otto *et al.*, 2012), o que leva à diminuição da produção e perda da viabilidade das sementes (García *et al.*, 1999; García *et al.*, 2000). Por sua vez, uma menor viabilidade das sementes leva a uma menor proporção de juvenis (Castro *et al.*, 2016), resultando no envelhecimento das populações. Este fenómeno verifica-se sobretudo nas populações mais litorais, mais expostas às condições ambientais e menos afetadas pelo corte do subcoberto nos pinhais.

A área restrita de distribuição associada às alterações climáticas leva a que o piorro não atinja o seu estado ecológico ótimo resultando nas limitações inerentes à espécie já referidas, tornando

assim as populações mais vulneráveis (Boratyński *et al.*, 2014). Deste modo, a maioria dos indivíduos de *J. navicularis* apresentam uma altura inferior a 2 metros, sendo expectável que em condições ótimas pudessem atingir o dobro dessa altura (Neto, 2002). Existe uma grande diferenciação genética entre as populações, provavelmente resultado do baixo fluxo génico (Castro *et al.*, 2011; Boratyński *et al.*, 2014). Também as composições florísticas das comunidades de piorro encontram-se alteradas, estando em contacto com comunidades acidófilas associadas à degradação do habitat, como tomilhais, urzais e tojais (Neto, 2002).

Por fim, a falta de conhecimento sobre esta espécie constitui outra ameaça. Apesar do seu elevado valor ecológico, as informações sobre a biologia do piorro são escassas, dificultando assim ações de restauro dirigidas a esta espécie e à comunidade na qual ela se insere (Castro *et al.*, 2016).

1.1.7. Estado de conservação

Juniperus navicularis é uma espécie avaliada como “Quase Ameaçada” (NT) pela Lista Vermelha da Flora Vascular de Portugal Continental (LVFVPC) (Carapeto *et al.*, 2020) e pela Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) (Farjon, 2013). Em Espanha está classificada como “Críticamente em Perigo” (CR) pela Lista Vermelha da Flora Vascular Espanhola (Moreno, 2008).

Segundo o último relatório da Agência Europeia do Ambiente (EEA, 2020a), em Portugal, o habitat 2250* encontra-se num estado de conservação Desfavorável-Mau (Figura 6) e apresenta uma tendência decrescente.



Figura 6. Mapa da área de distribuição do habitat 2250* “Dunas litorais com *Juniperus* spp.” (que incluiu várias comunidades dominadas por diferentes espécies de zimbro) na União Europeia e respetivo estado de conservação: vermelho = Desfavorável-Mau, amarelo = Desfavorável - Inadequado e verde = Favorável. Fonte: EEA, 2020a.

1.2 Objetivos

Por tudo isto, os objetivos deste trabalho são:

- 1) Cartografia das populações de *Juniperus navicularis* em melhor estado de conservação presentes na Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha;
- 2) Estudo biométrico e dendrocronológico de *Juniperus navicularis*, para a definição da estrutura típica da espécie e seleção das variáveis a integrar o modelo de crescimento;
- 3) Modelação da idade de *Juniperus navicularis* através de modelos de crescimento;
- 4) Caracterização da estrutura biométrica e etária das populações de *Juniperus navicularis* presentes na Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha.

2. Caracterização biofísica do território

2.1. Área de estudo

A área de estudo abrange duas localizações: a primeira, na península de Troia, correspondente a uma área de menores dimensões, onde foi estudada uma população de *Juniperus navicularis* e desenvolvido um estudo preliminar para aplicar nos modelos de crescimento; e a segunda localização, na Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha (RNLSAS), onde foi desenvolvido grande parte deste estudo (Figura 7).

Estes dois locais encontram-se a cerca de 35 km de distância um do outro. Deste modo, tanto as características edáficas, como climáticas são semelhantes entre si, assim como o tipo de habitat é o mesmo, “Paleodunas com matagais de *Juniperus navicularis*” (habitat 2250 pt2).

Embora *J. navicularis* tenha uma distribuição mais ampla, a escolha da RNLSAS foi fundamentada em dois aspetos: trata-se de uma área protegida, com zonas de proteção integral, onde se encontram os melhores e mais extensos exemplares conhecidos destas comunidades; neste território está a ser implementado um projeto LIFE, o que possibilitou uma colaboração estreita, apoio logístico e a troca de conhecimentos com a equipa de trabalho.

2.1.1. Enquadramento geográfico e proteção legal

Localizada na costa sudoeste portuguesa, a sul do rio Sado, a área de estudo compreende os concelhos de Grândola, Santiago do Cacém e Sines (Figura 7), e caracteriza-se por ser uma das mais longas extensões predominantemente arenosas de Portugal e da Península Ibérica (Neto *et al.*, 2020a) (Figura 8).

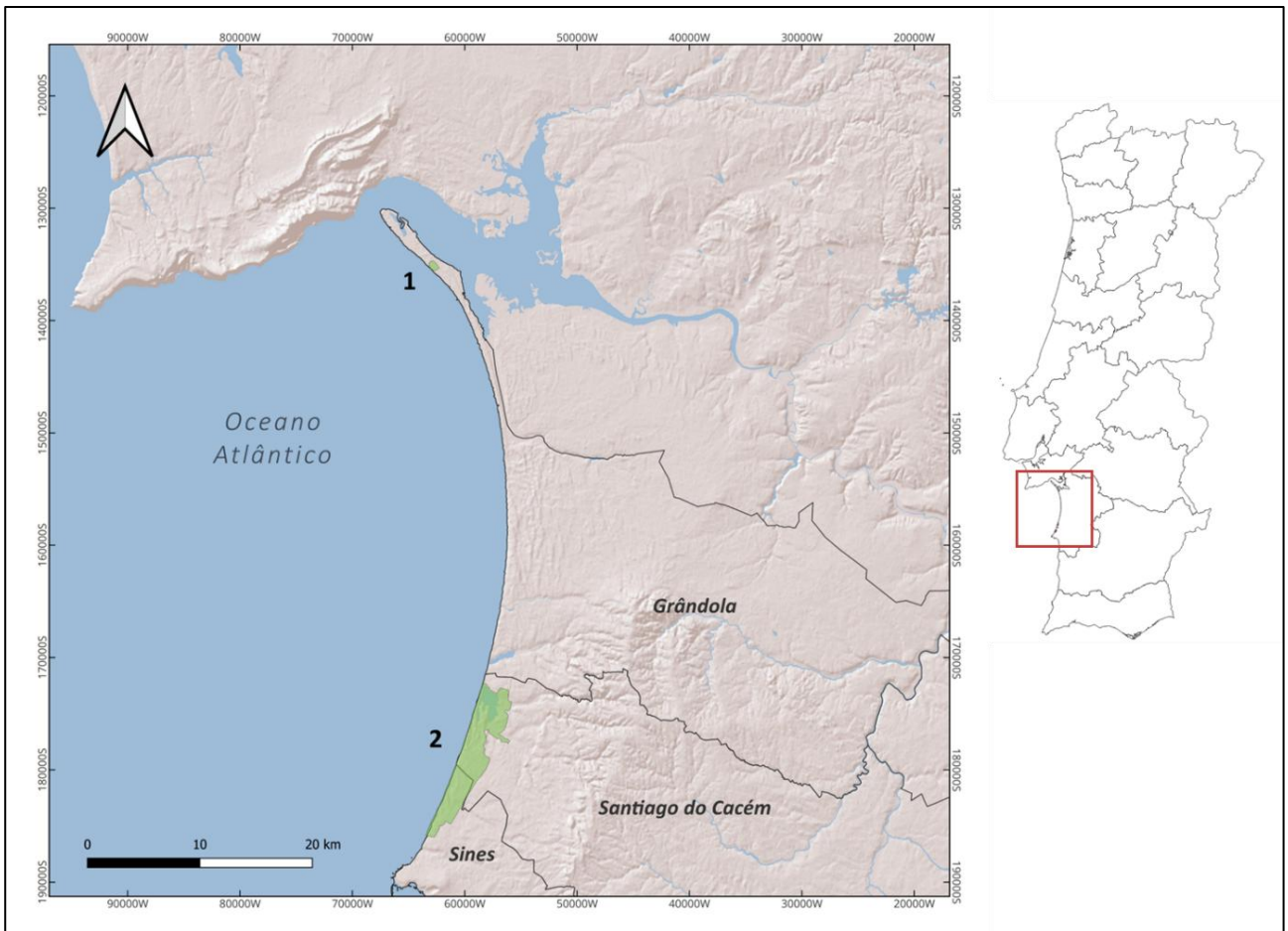


Figura 7. Mapa da área de estudo (1 e 2), inserida nos concelhos de Grândola, Santiago do Cacém e Sines. (1) Troia; (2) Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha.



Figura 8. Extensão arenosa presente ao longo do arco Troia-Sines.

Devido às suas características geográficas e topográficas, este território apresenta uma elevada biodiversidade, especialmente em termos de flora e vegetação. Como tal, ao longo desta área, verifica-se a presença de várias zonas com estatutos de conservação, que em muitos casos se chegam a sobrepor: desde 1980 e 2000 foram criadas a Reserva Natural do Estuário do Sado e a

Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha, respetivamente; estes mesmos territórios foram classificados, em 1996, como Zona Húmida de Importância Internacional (Sítio Ramsar); assim como foram classificadas 4 Zonas de Proteção Especial (ZPE) nestas áreas, nomeadamente, ZPE do Estuário do Sado (PTZPE0011), ZPE do Açude da Murta (PTZPE0012), ZPE da Lagoa da Sancha (PTZPE0014) e ZPE da Lagoa de Santo André (PTZPE0013), sendo também esta área abrangida pela Zona Especial de Conservação (ZEC) Estuário do Sado (PTCON0011) e Comporta/Galé (PTCON0034) (ALFA, 2006) (Figura 9).

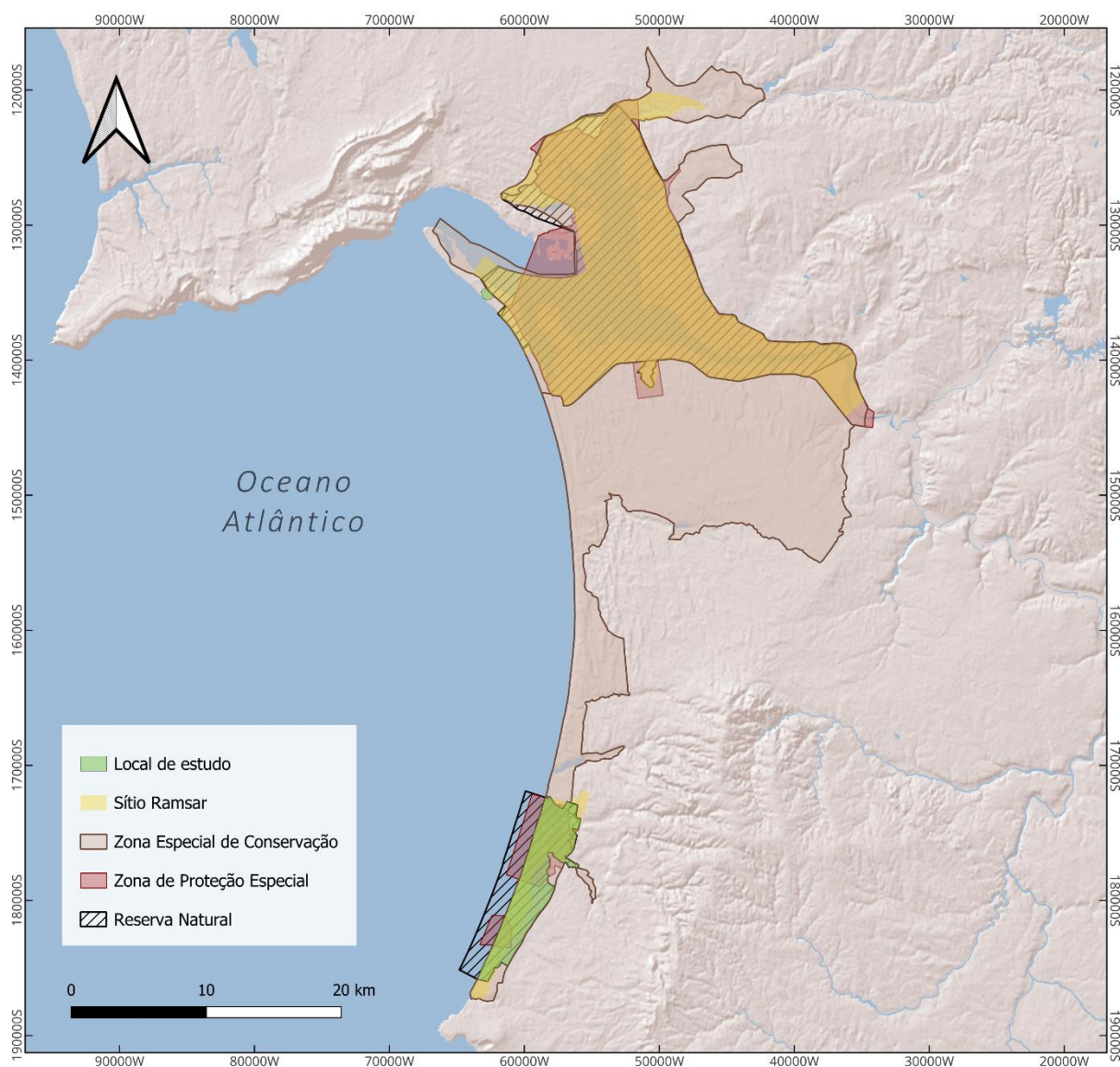


Figura 9. Mapa de localização das diferentes áreas com estatuto de conservação, situadas nos territórios da área de estudo ou na sua proximidade.

2.1.2. Caracterização biológica e valores naturais

Estas áreas caracterizam-se pela presença de um extenso cordão dunar que se estende ao longo da costa, onde coexistem diferentes comunidades vegetais com elevado valor natural. Os habitats psamófilos são os que se encontram melhor representados ao longo desta área (ALFA, 2006). Numa posição mais próxima da costa, existe uma variedade de habitats que acompanham toda uma sequência dunar. Destacam-se as comunidades edafófilas que ocupam uma posição mais interior nos sistemas dunares, nomeadamente os zimbrais de *Juniperus turbinata* (*Osyrio quadripartitae-Juniperetum turbinatae*) e *Juniperus navicularis* (*Daphno gnidii-Juniperetum navicularis*), ao longo das dunas estabilizadas, numa posição mais e menos litoral, respetivamente (Neto, 2002). Numa posição mais interior, onde o solo já é menos arenoso e oligotrófico, verifica-se a presença do sobreiral sadense (*Aro neglecti-Quercetum suberis*) que climaticamente ocuparia as áreas mais interiores, onde o solo ainda seria arenoso (Neto, 2002). No entanto uma grande parte da paisagem encontra-se alterada, tendo sido convertida em campos agrícolas e florestas de produção (*Pinus pinaster* e *Pinus pinea*) (ALFA, 2006). É o caso da RNLSAS, ocupada em grande parte por um pinhal de *P. pinaster*, associado à atividade resineira, muito importante no século passado (Lopes, 2011). Na RNLSAS a atividade resineira já não é praticada, contudo ainda é possível observar vestígios dessa atividade em algumas zonas.

Esta é uma área rica em diversidade florística, com mais de 60 espécies RELAPE (Raras, Endémicas, Localizadas, Ameaçadas ou em Perigo de Extinção) (Figura 10 e Quadro 1). A maioria destas, são espécies que ocorrem ao longo das dunas ou em solos arenosos, sendo grande parte endémica de Portugal ou da Península Ibérica. Para além disso, cerca de 20 destas espécies estão listadas nos Anexos II, IV e/ou V da Diretiva Habitats, 3 apresentam um estatuto de conservação “Em Perigo” (EN) e 11 um estatuto de conservação “Vulnerável” (VU).



Figura 10. Espécies RELAPE presentes na área de estudo. (A) *Anthirrinum cirrhigerum*, endemismo ibérico; (B) *Linaria bipunctata* subsp. *glutinosa*, endemismo lusitano e listada como espécie prioritária no Anexo IV da diretiva Habitats; (C) *Thymus capitellatus*, endemismo lusitano e listado no Anexo IV da diretiva Habitats; (D) *Ulex australis* subsp. *welwitschianus*, endemismo lusitano.

Quadro 1. Lista de espécies RELAPE presentes ao longo da área de estudo. * = Espécies Prioritárias. VU = Vulnerável; EN = Em Perigo.

Taxon	Endemismo	Anexos DL 49/2005	Estatuto de ameaça (LVFVPC)
<i>Agrostis juressi</i>			VU
<i>Allium pruinaum</i>	Península Ibérica		
<i>Anchusa calcarea</i> subsp. <i>calcarea</i>	Península Ibérica		
<i>Anchusa undulata</i> subsp. <i>undulata</i>	Península Ibérica		
<i>Antirrhinum cirrhigerum</i>	Península Ibérica		
<i>Armeria rouyana</i>	Portugal continental	Anexo IV*	
<i>Calendula suffruticosa</i> subsp. <i>algarbiensis</i>	Península Ibérica		
<i>Carduus meoanthus</i> subsp. <i>meoanthus</i>	Península Ibérica		
<i>Caropsis verticillato-inundata</i>		Anexo II, Anexo IV	VU
<i>Centaurea vicentina</i>	Portugal continental	Anexo II, Anexo IV	
<i>Cheirolophus uliginosus</i>	Península Ibérica		
<i>Cirsium welwitschii</i>	Península Ibérica		EN
<i>Cymodocea nodosa</i>			VU
<i>Cynara algarbiensis</i>	Península Ibérica		
<i>Cytisus grandiflorus</i> subsp. <i>cabezudo</i>	Península Ibérica		
<i>Deschampsia stricta</i>	Portugal continental		
<i>Dianthus broteri</i>	Península Ibérica		
<i>Dittrichia viscosa</i> subsp. <i>revoluta</i>	Portugal continental		
<i>Echium rosulatum</i> subsp. <i>rosulatum</i>	Península Ibérica		
<i>Euphorbia boetica</i>	Península Ibérica		
<i>Euphorbia transtagana</i>	Portugal continental	Anexo II, Anexo IV	
<i>Euphorbia uliginosa</i>	Península Ibérica		
<i>Fritillaria lusitanica</i> var. <i>stenophylla</i>	Península Ibérica		
<i>Herniaria maritima</i>	Portugal continental	Anexo II, Anexo IV	
<i>Hyacinthoides vicentina</i> subsp. <i>transtagana</i>	Portugal continental	Anexo II, Anexo IV	
<i>Iberis ciliata</i> subsp. <i>welwitschii</i>	Península Ibérica		
<i>Iberis procumbens</i> subsp. <i>procumbens</i>	Península Ibérica		
<i>Jonopsidium acaule</i>	Portugal continental	Anexo IV*	
<i>Juncus emmanuelis</i>	Península Ibérica		VU
<i>Juncus rugosus</i>	Península Ibérica		
<i>Juniperus navicularis</i>	Península Ibérica		
<i>Lepidophorum repandum</i>	Península Ibérica		
<i>Limonium lanceolatum</i>	Portugal continental	Anexo II, Anexo IV	
<i>Linaria bipunctata</i> subsp. <i>glutinosa</i>	Portugal continental	Anexo IV*	
<i>Linaria polygalifolia</i> subsp. <i>lamarckii</i>	Península Ibérica		
<i>Linaria viscosa</i> subsp. <i>viscosa</i>	Península Ibérica		
<i>Lithodora prostrata</i> subsp. <i>lusitanica</i>	Península Ibérica		
<i>Malcolmia triloba</i> subsp. <i>gracilima</i>	Portugal continental	Anexo V	
<i>Myosotis retusifolia</i> (= <i>Myosotis welwitschii</i>)	Portugal continental		VU
<i>Odontitella virgata</i>	Península Ibérica		
<i>Ononis cossoniana</i>			EN
<i>Ononis hackelii</i>	Portugal continental	Anexo IV*	VU
<i>Ononis pinnata</i>			VU
<i>Orchis laxiflora</i>			EN
<i>Pterocephalidium diandrum</i>	Península Ibérica		
<i>Pteraspertum tridentatum</i> subsp. <i>tridentatum</i>	Península Ibérica		
<i>Pycnocomon intermedium</i>	Península Ibérica		
<i>Rhynchospora modesti-lucennoi</i>			VU
<i>Romulea ramiflora</i> subsp. <i>gaditana</i>	Península Ibérica		
<i>Ruppia cirrhosa</i>			VU
<i>Ruscus aculeatus</i>		Anexo V	
<i>Salix salviifolia</i> subsp. <i>salviifolia</i>	Península Ibérica		
<i>Santolina impressa</i>	Portugal continental	Anexo II, Anexo IV	
<i>Scrophularia sublyrata</i>	Portugal continental	Anexo V	
<i>Serratula monardii</i> var. <i>abulensis</i>	Península Ibérica		
<i>Silene psammitis</i> subsp. <i>psammitis</i>	Península Ibérica		
<i>Stauracanthus genistoides</i>	Península Ibérica		
<i>Thapsia minor</i>	Península Ibérica		
<i>Thymus camphoratus</i>	Portugal continental	Anexo IV*	
<i>Thymus capitellatus</i>	Portugal continental	Anexo IV	
<i>Thymus carnosus</i>	Península Ibérica	Anexo II, Anexo IV	
<i>Ulex australis</i> subsp. <i>welwitschianus</i>	Portugal continental		
<i>Utricularia gibba</i>			VU
<i>Verbascum litigiosum</i>	Portugal continental	Anexo II, Anexo IV	
<i>Zostera marina</i>			VU

Neste território encontram-se várias zonas húmidas, como o estuário do Sado, ou as lagoas de Melides, Santo André e Sancha, muito importantes para a avifauna (Silveira *et al.*, 2009). Aqui ocorrem várias espécies aquáticas, ameaçadas e/ou com uma distribuição reduzida em Portugal. Destacam-se as nidificantes: garça-vermelha (*Ardea purpurea*) (avaliada como VU pela Lista Vermelha de Aves de Portugal Continental 2022), o pernilongo (*Himantopus himantopus*) ou a águia-sapeira (*Circus aeruginosus*) (Almeida *et al.*, 2022). Assim como, estes também são locais de passagem ou invernada para o alfaiate (*Recurvirostra avosetta*), o flamingo (*Phoenicopterus roseus*) ou o pato-de-bico-vermelho (*Netta rufina*) (Almeida *et al.*, 2022).

2.1.3. Traços físicos da paisagem

Em termos hipsométricos, esta é uma área caracterizada por um relevo suave (ALFA, 2006), constituída por formações derivadas de Rochas Sedimentares, compostas essencialmente por areias, cascalheiras, siltes e argilas, mas também por arenitos, conglomerados e siltitos (LNEG, 2023). Os solos aí presentes são formados numa forma geral por Podzóis Órticos e Podzóis Órticos associados a Regossolos Êutricos (CNA, 1982), dando origem a substratos de natureza ácida.

Estando esta área inserida na bacia Cenozoica do Tejo-Sado, mais especificamente na bacia do Sado, historicamente zona de bacia endorreica, a formação do solo aí presente encontra-se associada a vários períodos de enchimento com materiais grosseiros aluviais (Feio & Daveau, 2004; Neto & Capelo, 2021). Após vários ciclos de deposição aluvionar deu-se a formação de camadas de rocha arenítica, pelítica e conglomerática (Costa *et al.*, 1998; Neto & Capelo, 2021). Estas camadas encontram-se sobre as dunas plioplístocénicas ainda presentes hoje nesta área. Sobre estas dunas instalaram-se, entre outras, coníferas e ericáceas, espécies que levaram à acidificação do solo e assim contribuíram para a sua podzolização (Neto *et al.*, 2021). O processo de podzolização originou um horizonte plíntico (imperme, rico em argilas, ferro e alumínio, mas pobre em matéria orgânica), localmente designado de surraipa (Neto, 2002; Neto & Capelo, 2004). Deste modo, as características pedológicas desta área permitem a ocorrência de um freático pouco profundo e uma maior retenção de água neste, permitindo assim a ocorrência de espécies hidrologicamente mais exigentes, nomeadamente as urzes (*Erica scoparia* e *E. australis*) ou os tojos (*Ulex australis* subsp. *welwitschianus*) (Neto, 2002).

Esta área encontra-se localizada na bacia hidrográfica do rio Sado e na bacia das Ribeiras do Alentejo (Gutierrez, 2014).

2.1.4. Caracterização biogeográfica e bioclimatologia

Ambas as áreas estudadas, encontra-se inserida nas seguintes unidades biogeográficas (Rivas-Martínez *et al.*, 2017):

Reino HOLÁRTICO

Região MEDITERRÂNICA

Sub-região Mediterrânica Ocidental

Província costeira Lusitano-Andaluza Ocidental

Subprovíncia Gaditano-Sadense

Setor Ribatejano Sadense

Distrito Sadense

Assim, os territórios da área de estudo, encontram-se inseridos no Distrito Sadense (Província costeira Lusitano-Andaluza Ocidental). Este distrito, caracteriza-se por ser um território arenoso de relevos suaves, onde domina o termótipo termomediterrânico superior e o ombrótipo sub-húmido a seco (Rivas-Martínez *et al.*, 2017a). Destaca-se o endemismo deste distrito: o macetão-das-praias (*Santolina impressa*) (Figura 11), assim como várias espécies psamófilas endémicas de Portugal e da Península Ibérica, que aqui apresentam a sua maior área de distribuição, nomeadamente o *Juniperus navicularis*, *Thymus carnosus*, *Armeria rouyana*, *Herniaria maritima*, *Linaria bipunctata* subsp. *glutinosa*, *Ononis hackelii*, *Thymus capitellatus* e o *Ulex australis* subsp. *welwitschianus* (Costa *et al.*, 1998; Neto, 2002).



Figura 11. *Santolina impressa*, endemismo do distrito biogeográfico sadense.

Segundo os dados históricos, a temperatura média mensal oscila entre 11.5°C (janeiro) e 21.1°C (agosto) e a temperatura média anual é de 16.3°C. A precipitação média mensal varia entre cerca de 1 e 99 mm, nos meses de julho e dezembro respetivamente, e a média da precipitação total anual é de 578mm. A carência hídrica ocorre num período de quatro meses, desde junho a setembro (Figura 12) (IPMA, 2023).

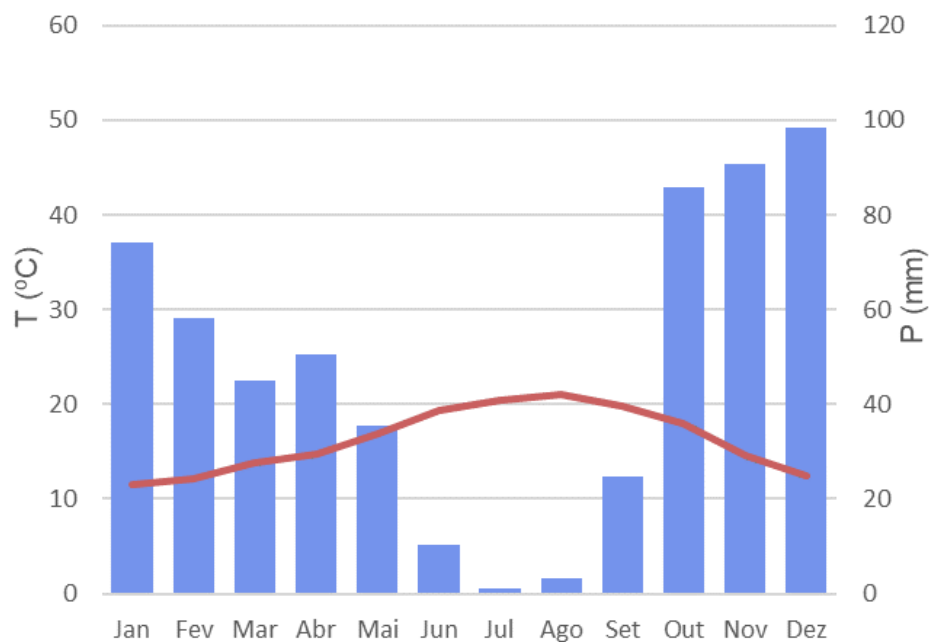


Figura 12. Diagrama Ombrotérmico da estação meteorológica de Sines (IPMA, 2023). Dados das normais climatológicas do período 1981-2010. Estação meteorológica número 541. Altitude 98m.

3. Metodologia

3.1. Esquema metodológico geral

Este estudo foi efetuado, no território conhecido como arco Troia-Sines, onde se estudaram dois núcleos populacionais: Troia e RNLADA. Numa fase inicial, em Troia, foram estudados 59 indivíduos de *Juniperus navicularis* (Figura 13). Os resultados obtidos nesta população, serviram de base para o restante trabalho, uma vez que permitiram selecionar as variáveis biométricas de maior interesse, isto é, aquelas com maior correlação com a idade dos indivíduos.

O estudo focou-se posteriormente na área da RNLSAS, por ser uma das zonas com zimbrais de *Juniperus navicularis* em melhor estado de conservação. Inicialmente, foram localizadas as áreas de zimbral em melhor estado de conservação, onde foram selecionados aleatoriamente 60 indivíduos, cujas variáveis de interesse, identificadas na amostra de Troia, foram registadas. Estes indivíduos foram posteriormente cortados para determinar a sua idade. O conjunto dos resultados obtidos foram usados para modelar a idade dos indivíduos com base nas variáveis biométricas de interesse, selecionando-se a melhor equação de crescimento obtida. Paralelamente, na mesma área, foram caracterizadas 30 parcelas, também escolhidas aleatoriamente, com o objetivo de estabelecer uma caracterização geral das comunidades de *Juniperus navicularis* em melhor estado de conservação. Nestas parcelas, em todos os indivíduos de *J. navicularis* foram analisadas as variáveis de interesse, sendo ainda registadas as principais características ambientais. Com base nos resultados e na aplicação do modelo dendrocronológico desenvolvido, foi possível caracterizar estas comunidades na RNLSAS.

Em seguida apresenta-se a metodologia com maior detalhe (Figura 13).

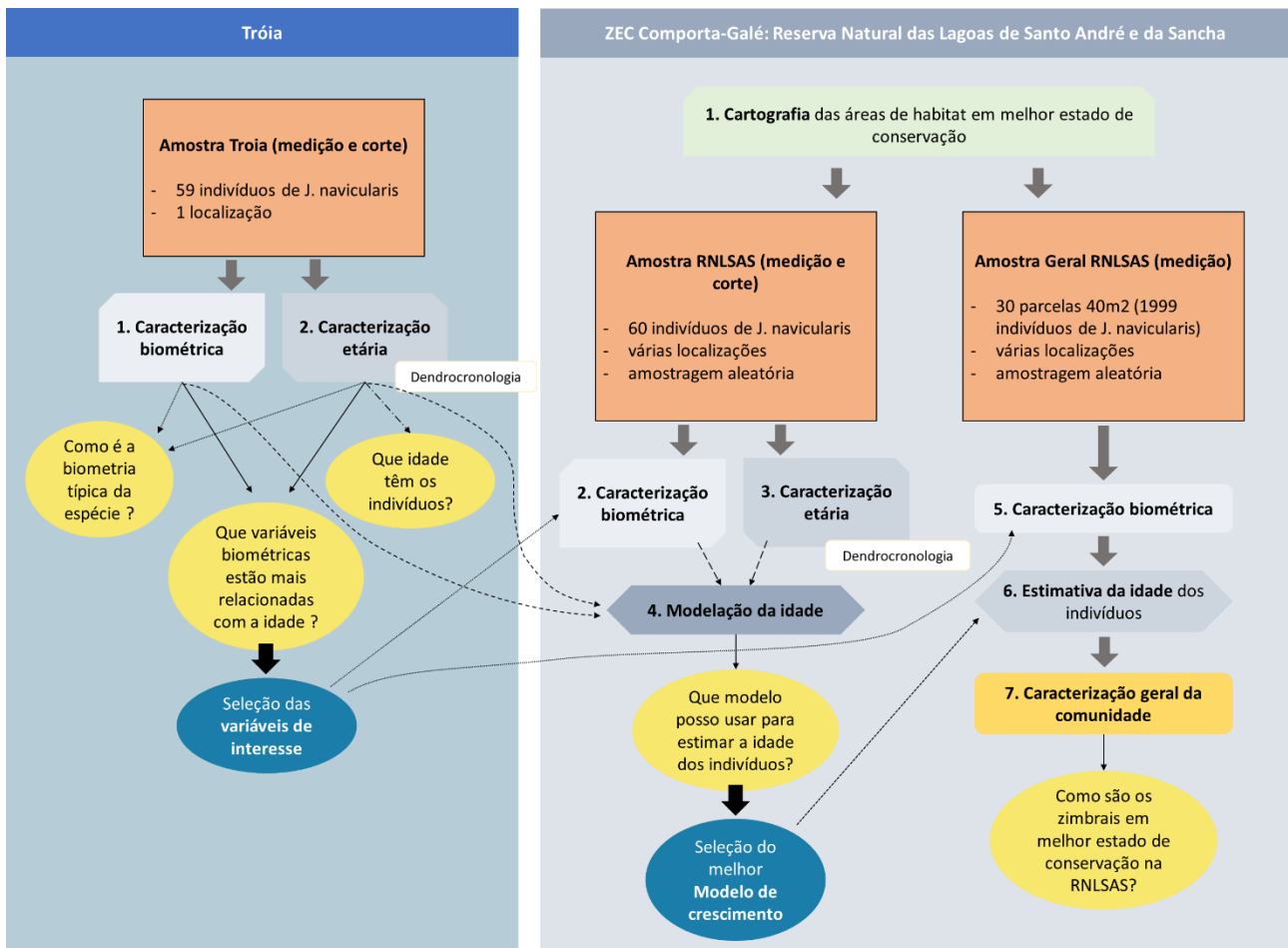


Figura 13. Esquema metodológico geral da dissertação, com os principais pontos, amostras e questões abordados ao longo desta dissertação.

3.2. Método de mapeamento dos zimbrais de *Juniperus navicularis* (Objetivo 1)

Na RNLAS foram cartografadas as manchas populacionais de *Juniperus navicularis* em melhor estado de conservação. Todas as manchas selecionadas neste estudo correspondem ao habitat 2250*pt2, do qual o *J. navicularis* é a espécie estruturante.

Através de trabalho de campo e com auxílio da aplicação *QField* (QGIS, 2024), foi feita uma prospeção de toda a área da RNLAS com habitat potencial de *J. navicularis* (Figura 14): duna terciária, numa posição relativamente afastada do mar, onde o efeito da salsugem e do vento são menos intensos (ALFA, 2004). Como tal, as áreas de duna embrionária, primária e secundária foram descartadas. As zonas correspondentes às principais lagoas, poços e linhas de água presentes ao longo da RNLAS também foram descartadas, assim como as áreas agrícolas. Este processo de definição do território potencial, foi realizado previamente com auxílio de ferramentas SIG e foi

complementado com a consulta da cartografia já elaborada para os habitats naturais e seminaturais da ZEC Comporta-Galé no âmbito de um projeto Poseur (Meireles *et al.*, 2022).

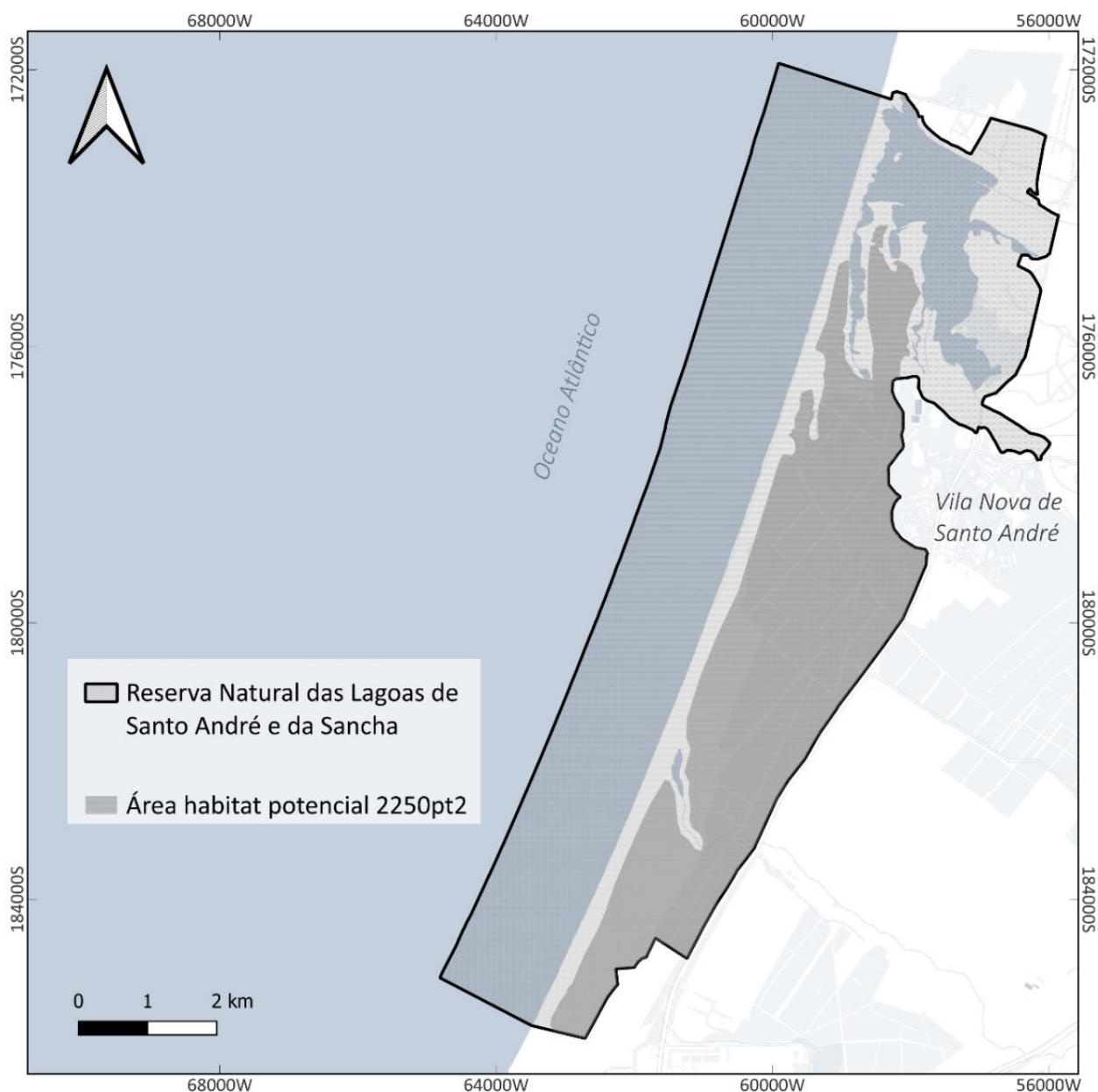


Figura 14. Mapa da área Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha com habitat potencial de 2250pt2.

A avaliação das manchas populacionais em melhor estado de conservação teve por base a comparação da estrutura observada no local, com a estrutura típica dos zimbrais de *Daphno gnidii-Juniperetum navicularis* (comunidade de referência), descritos por Rivas-Martínez *et al.* (1990) e Neto (2002). Neste sentido, sempre que a comunidade era dominada por *Juniperus navicularis*,

apresentava outras espécies características da comunidade e não se encontrava afetada por grandes pressões (ex. pisoteio ou presença de espécies exóticas), foi considerada como estando em bom estado de conservação. De referir que a seleção, foi sempre confirmada por *expert opinion* dos orientadores.

Quadro 2. Principais espécies características do habitat 2250* “Dunas litorais com *Juniperus spp.*”.

Principais espécies características do habitat 2250		
<i>Pistacia lentiscus</i>	<i>Rhamnus oleoides</i>	<i>Rhamnus alaternus</i>
<i>Osyris lanceolata</i>	<i>Asparagus aphyllus</i>	<i>Smilax aspera</i>
<i>Rubia longifolia</i>	<i>Antirrhinum cirrhigerum</i>	<i>Phillyrea latifolia</i>
<i>Phillyrea angustifolia</i>	<i>Daphne gnidium</i>	<i>Asparagus albus</i>
<i>Corema album</i>	<i>Quercus coccifera</i>	<i>Scilla monophyllos</i>

3.3. Definição da biometria típica da espécie e seleção de variáveis biométricas de interesse - Troia (Objetivo 2)

Para definir a biometria típica de *Juniperus navicularis* e selecionar as variáveis a integrar no modelo de crescimento, foi estudado um núcleo populacional localizado na península de Troia (Figura 15 e Figura 16). Este local foi indicado, numa fase inicial deste trabalho, pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), por estar prevista a sua destruição para a construção de um empreendimento turístico. Recorde-se que esta é uma espécie praticamente endémica de Portugal, pelo que se teve especial cuidado com os indivíduos utilizados neste estudo.

Salienta-se ainda que, devido à propagação vegetativa da espécie, neste trabalho adotou-se a definição de “indivíduo” enquanto ramo diferenciado proveniente do solo, apesar de não se conhecer a proximidade genética entre indivíduos espacialmente próximos.



Figura 15. Mapa da localização do núcleo populacional de *Juniperus navicularis* em Troia (ano de 2024), depois da destruição da vegetação para a construção de um empreendimento turístico (B).

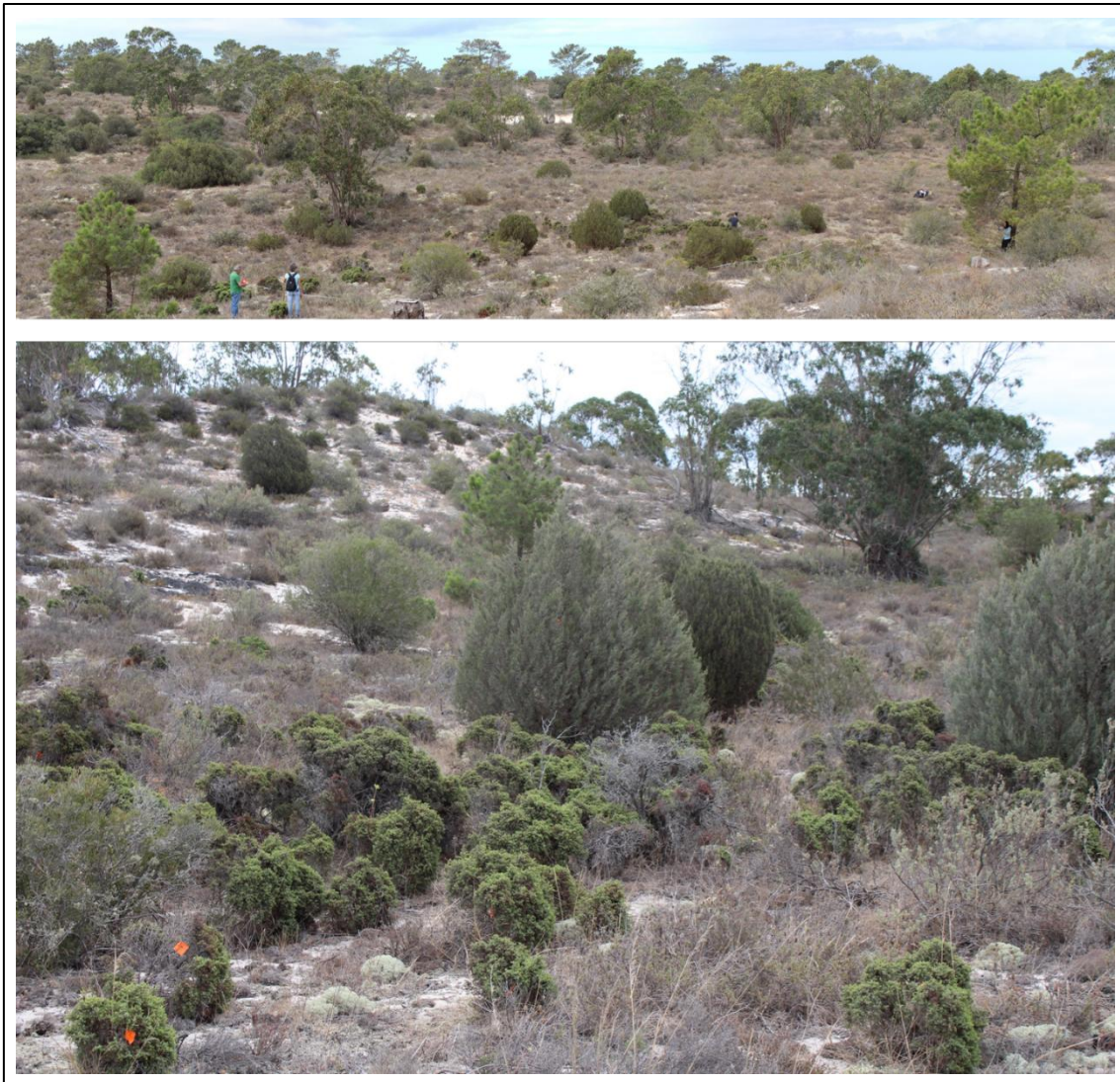


Figura 16. Núcleo populacional de *Juniperus navicularis* localizado em Troia.

3.3.1. Biometrias

In situ, foram marcados 60 indivíduos de *Juniperus navicularis* e realizada a respetiva caracterização biométrica. As medições biométricas efetuadas encontram-se representadas na Figura 17. Adicionalmente, foram contados o número de caules e rizomas por indivíduo.

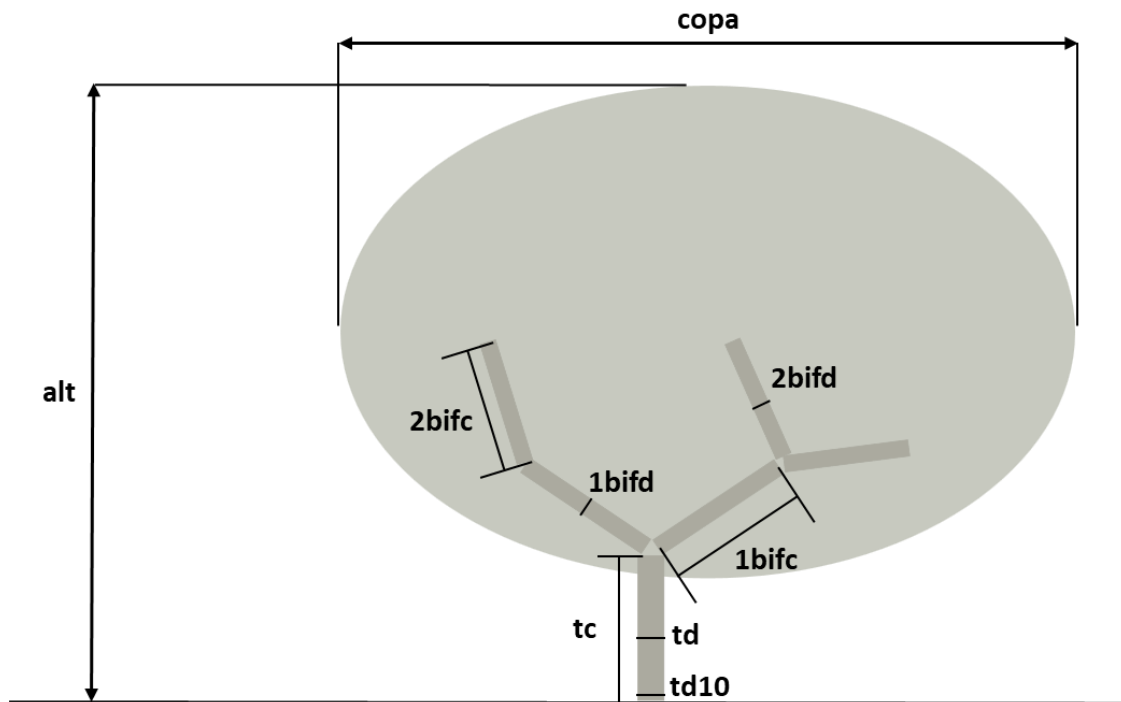


Figura 17. Medições biométricas efetuadas: alt = altura (cm); copa = largura da copa (cm); tc = comprimento do tronco (cm); td10 = diâmetro do tronco a 10 cm da base (mm); td = diâmetro do tronco (mm); 1bifc = comprimento da primeira bifurcação (cm); 1bifd = diâmetro da primeira bifurcação (mm); 2bifc = comprimento da segunda bifurcação (cm); 2bifd = diâmetro da segunda bifurcação (mm).

Em situações em que o zimbros tinha vários caules a bifurcar desde a base, procedeu-se à caracterização biométrica do caule de maior diâmetro.

Com base nos dados obtidos em Troia foi possível criar um desenho da estrutura biométrica típica do piorro para esta localização. Para este desenho foram usadas a maioria das biometrias registadas aquando da amostragem.

3.3.2. Dendrocronologia

Depois de efetuadas as medições, os indivíduos foram cortados e a parte basal do tronco levada para laboratório. Posteriormente, procedeu-se ao corte de secções da base do tronco (2-6 secções por indivíduo) com cerca de 1 a 2 cm cada, que foram de seguida lixadas para melhor visualização dos anéis de crescimento. Após esta preparação, todas as secções foram colocadas num scanner de forma a obter uma imagem digitalizada de alta resolução (Figura 18).

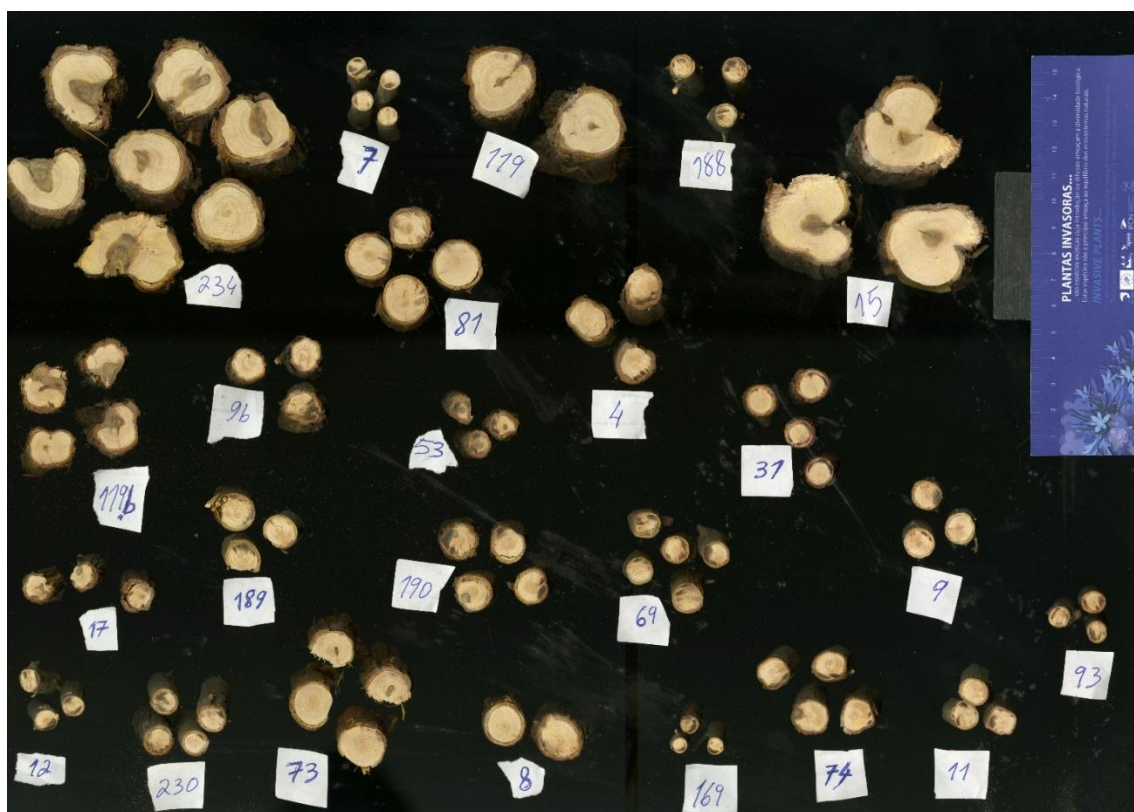


Figura 18. Imagem de alta resolução das secções dos troncos do *Juniperus navicularis*, com a respetiva etiqueta de identificação.

Com a imagem digitalizada, procedeu-se à contagem do número dos anéis de crescimento, presentes em cada secção e à medição da sua largura, através do programa *ImageJ* (Schindelin *et al.*, 2015). Neste sentido, das várias secções correspondentes a um indivíduo, foi escolhida a que apresentava uma resolução mais perceptível dos anéis. Cada secção escolhida foi dividida em 2 a 4 partes, onde foi desenhado um raio, de forma a obter um valor representativo da real medida de todo o tronco (Figura 19). Nesta etapa foram excluídas quaisquer partes danificadas do xilema. De seguida, ao longo de cada raio foram contados os anéis visíveis, procedimento efetuado no sentido da extremidade para o centro (sentido de crescimento) (Figura 19). O número de anéis final consistiu no maior número de anéis contados num dos raios.

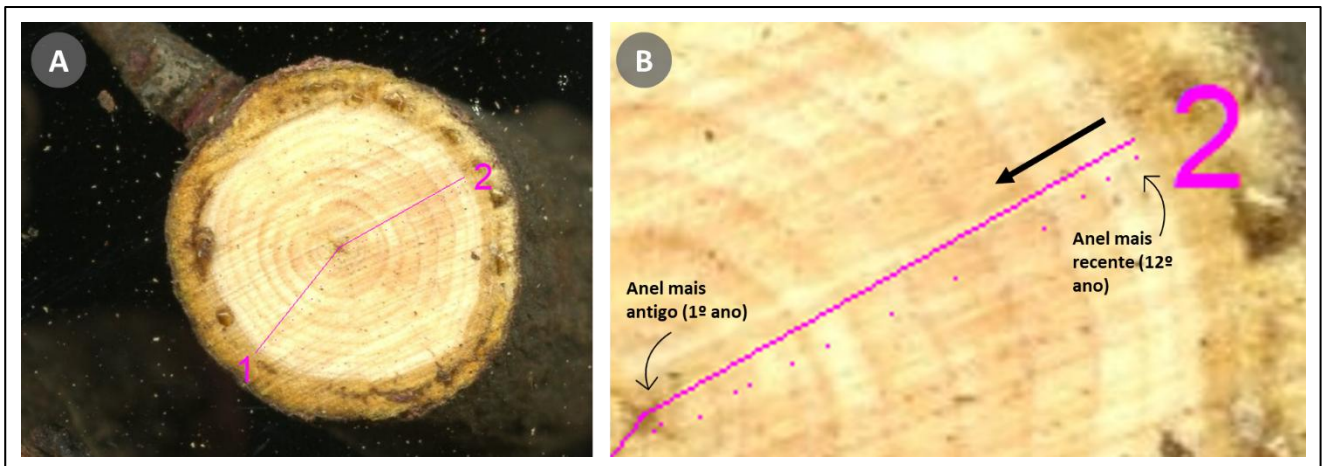


Figura 19. Procedimento efetuado para a contagem do número de anéis: raios desenhados (A) e identificação de cada anel, com o sentido de contagem (B). Indivíduo com 12 anos de idade.

Posteriormente, nos raios desenhados, procedeu-se à medição da largura de cada um dos anéis de crescimentos, sendo o valor final da largura de cada anel o correspondente à média dos valores obtidos em cada raio. O conjunto dos valores finais de cada anel de crescimento foi usado para obter uma nova biometria: o diâmetro da base do tronco medido com o *ImageJ* (Diametro_tronco_som). Assim, o $\text{Diametro_tronco_som} = 2 (r_som + casca)$, onde o *r_som* consiste no somatório dos valores obtidos para a largura dos anéis de crescimento, e *casca* consiste no valor médio da largura de todas as camadas externas aos anéis de crescimento (o xilema), medido em todos os indivíduos (Figura 20). Deste modo, foi possível obter, no mesmo indivíduo, vários valores do diâmetro da base do tronco, cada um correspondente a cada ano de crescimento (ex. num indivíduo com 60 anos é possível obter 60 diâmetros da base do tronco), aumentando assim o número da amostra (ainda que essa amostra provenha de um mesmo indivíduo).

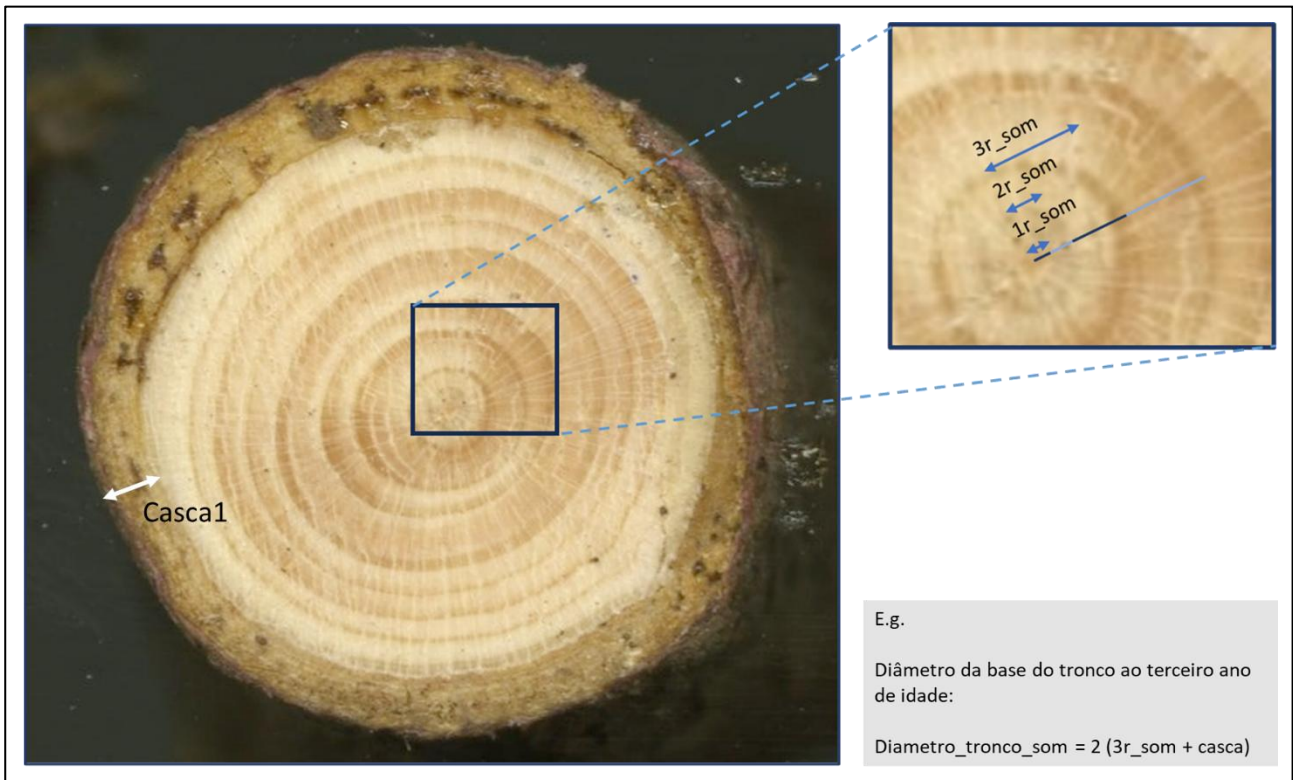


Figura 20. Esquema metodológico da medição do diâmetro da base do tronco ao longo de cada ano de crescimento, com recurso ao ImageJ (biometria *Diametro_tronco_som*) e exemplo do diâmetro da base do tronco obtido quando a planta tinha 3 anos. *1r_som* = valor do raio do tronco quando a planta tinha 1 ano; *2r_som* = valor do raio do tronco quando a planta tinha 2 anos; *3r_som* = valor do raio do tronco quando a planta tinha 3 anos; *Casca1* = largura de todas as camadas externas ao xilema, no indivíduo 1.

3.3.3. Relação biometrias – idade dos indivíduos: seleção das variáveis de interesse

Os resultados da avaliação biométrica foram posteriormente utilizados para avaliar o grau de correlação entre as variáveis biométricas medidas, bem como entre essas mesmas variáveis e a idade obtida com o método dendrocronológico. Esta análise permitiu pré-selecionar as variáveis com maior grau de correlação entre si e com a idade, possibilitando, posteriormente, expandir o mesmo estudo para outras localizações, focando apenas as variáveis de interesse.

A análise foi efetuada através do *software R*, recorrendo ao coeficiente de correlação de Pearson. No final, através da matriz de correlação obtida (Schloerke *et al.*, 2024) e da análise dos gráficos de dispersão, foram selecionadas as variáveis a medir na RNLAS e a integrar na análise de modelação: as que apresentaram o maior grau de correlação com a idade.

3.4. Modelação da idade de *Juniperus navicularis* (Objetivo 3)

3.4.1. Dados utilizados

A partir dos resultados obtidos no ponto anterior (ponto 3.3.) a amostra foi alargada de forma a obter um modelo de crescimento mais robusto. Para tal, foram recolhidos, de forma aleatória estratificada, mais 60 indivíduos provenientes dos núcleos cartografados inicialmente na RNLSAS. Foram selecionados indivíduos de diferentes tamanhos, pertencentes a diferentes classes etárias. A recolha foi feita em populações de boa estrutura, com um elevado número de indivíduos, assegurando que não houve qualquer impacte sobre a espécie. Antes da recolha foram efetuadas as medições das variáveis biométricas selecionadas anteriormente (variáveis de interesse): altura (cm); diâmetro da base do tronco (mm); e diâmetro da copa (cm).

Os procedimentos dendrocronológicos foram semelhantes aos descritos anteriormente (ponto 3.3.2.), tendo-se obtido a idade próxima, real, dos indivíduos estudados.

Por fim, os dados aqui obtidos foram adicionados à amostra de Troia, sendo esta a base de dados usada na modelação da idade de *Juniperus navicularis*.

3.4.1. Modelação

A modelação da idade de *Juniperus navicularis* baseou-se, sobretudo, no trabalho de Zeide (1993), no qual são analisados e selecionados os melhores modelos de crescimento para espécies lenhosas. Estas equações refletem o crescimento de um organismo vegetal ao longo do tempo (Zeide, 1993).

No programa *IBM SPSS Statistics* (IBM Corp, 2023), através do método de Levenberg-Marquardt (Moré, 2006), foi efetuada uma pré-análise com várias equações de crescimento, analisadas por Zeide (1993) e Burkhardt & Tomé (2012), entre cada variável de interesse e a idade. Foi analisado um conjunto vasto de equações presentes nestes estudos, nomeadamente: Schumacher, Monomolecular, Bertalanffy, Chapman-Richards, Weibull e Yoshida I (Quadro 3). Cada equação foi testada para cada uma das variáveis de interesse. Foram analisados o comportamento das curvas de crescimento e a adequabilidade destas aos dados utilizados. As equações que melhor

se adequaram aos dados (as que apresentaram uma curvatura melhor ajustada à dispersão dos dados) foram selecionadas para uma análise mais detalhada.

Quadro 3. Equações de crescimento testadas para a obtenção da idade dos indivíduos de Juniperus navicularis, onde t – tempo; e – número de Euler (aproximadamente 2,71828); a, b, c e d – parâmetros constantes usados nas equações, nomeadamente o valor da assíntota (a), o declive da curva de crescimento (b), as condições iniciais usadas (c) e o declive inicial da curva de crescimento (d).

Equação	Fórmula	Parâmetros
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	a b c
Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	a b
Schumacher	$y = ae^{-\frac{b}{t}}$	a b
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	a b c
Yoshida I	$y = \frac{at^d}{b + t^d} + c$	a b c d
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	a b c

As equações selecionadas foram testadas para os seguintes dados: apenas os dados de Troia, apenas os dados da RNLSAS e os dados conjuntos de Troia + RNLSAS. Uma vez que a amostra de Troia foi obtida numa única localização, foi feita uma análise de autocorrelação espacial (Índice de Moran; H0: Não há autocorrelação espacial) (Bivand & Wong, 2018) ao conjunto de todos os dados (Troia + RNLSAS). Como os resultados mostraram que a amostra total não é independente, devido aos indivíduos de Troia, a amostra de Troia foi reduzida a 18 indivíduos, de forma a não existir autocorrelação espacial na amostra total (esta amostra de 18 indivíduos abrange o número máximo de indivíduos por classe de idade de 10 anos, onde não se verifica autocorrelação espacial). Assim, adicionalmente foram ainda testadas estas equações numa amostra que continha os dados da RNLSAS + amostra de 18 indivíduos de Troia (denominada SELEÇÃO) (Quadro 4).

As variáveis biométricas usadas no desenvolvimento das equações de crescimento foram a altura (cm), largura da copa (cm), diâmetro da base do tronco (mm) e diâmetro da base do tronco obtido com as medições do *ImageJ* (mm) (Quadro 4).

Foram feitas iterações numéricas para determinar os melhores valores dos parâmetros em cada equação.

Devido à maior complexidade da equação Monomolecular (esta possui 3 parâmetros, enquanto a Schumacher e Bertalanffy apenas possuem 2) a sua aplicação apenas foi possível em amostras com um N elevado.

Quadro 4. Amostras usadas nas equações de crescimento, variando no tipo de biometria usada, e respetiva equação testada. SELEÇÃO = RNLSAS + amostra de Troia (N=18); Diâmetro = diâmetro da base do tronco; Diâmetro_som = diâmetro da base do tronco medido com o ImageJ.

Amostra	Biometria	Equação
RNLSAS	Altura (cm)	Schumacher; Bertalanffy
	Copa (cm)	Schumacher; Bertalanffy
	Diâmetro (mm)	Schumacher; Bertalanffy
	Diâmetro_som(mm)	Schumacher; Bertalanffy, Monomolecular
TROIA	Altura (cm)	Schumacher; Bertalanffy
	Copa (cm)	Schumacher; Bertalanffy
	Diâmetro (mm)	Schumacher; Bertalanffy
	Diâmetro_som(mm)	Schumacher; Bertalanffy, Monomolecular
SELEÇÃO	Altura (cm)	Schumacher; Bertalanffy
	Copa (cm)	Schumacher; Bertalanffy
	Diâmetro (mm)	Schumacher; Bertalanffy
	Diâmetro_som(mm)	Schumacher; Bertalanffy, Monomolecular

Durante a análise preliminar dos dados, observou-se que a assíntota, típica das curvas de crescimento, não foi alcançada com os dados obtidos, indicando que os indivíduos amostrados apresentavam uma idade relativamente baixa em comparação com a sua idade potencial (idade em que a curva de crescimento atinge a assíntota, isto é, idade a partir do qual se dá uma estabilização do crescimento). Para ultrapassar esta situação, através da equação alométrica ($y = a^{t^b}$), foram adicionados a cada amostra utilizada 4 novos indivíduos, mais velhos, estimados a partir desta equação. O objetivo deste procedimento consistiu na obtenção e visualização da assíntota das equações testadas, que com os indivíduos iniciais não era possível obter. Através da assíntota é possível perceber quando determinada variável biométrica deixa de ser influenciada pela idade, atingindo assim o valor máximo ao longo da curva de crescimento (Burkhart & Tomé, 2012). Para obter estes indivíduos, a equação alométrica foi inicialmente testada para cada uma das variáveis usadas, amostra e biometria. Tal como nas equações anteriores, foram feitas iterações numéricas para determinar os melhores valores dos parâmetros desta equação.

Posteriormente, foi escolhida a equação de crescimento que melhor se ajusta a cada variável, assim como a melhor equação final: a que permitirá, numa forma mais realista, estimar a idade dos indivíduos de *J. navicularis*. A melhor equação e a melhor variável foram selecionadas de acordo com os valores dos intervalos de confiança da ANOVA, com um nível de confiança de 95% para os valores do R^2 dos resíduos e dos quadrados médios dos resíduos, obtidos em cada equação, assim como através da visualização da curva obtida e da sua adequabilidade aos dados existentes.

Com a equação final escolhida, procedeu-se à sua inversão, em função da idade (t), permitindo assim estimar a idade dos indivíduos a partir da variável biométrica selecionada.

Seguindo a metodologia de Carmona-Velasco *et al.* (2022), de forma a reduzir o erro associado à estimativa de idades, os valores de idade obtidos foram agrupados em classes de 10 anos.

3.5. Caracterização geral das populações de *Juniperus navicularis* da RNLSAS (Objetivo 4)

Este ponto teve como objetivo caracterizar as comunidades de *Juniperus navicularis* em melhor estado de conservação, presentes na RNLSAS. Com base em trabalho de campo e no modelo de crescimento elaborado, procedeu-se à caracterização geral, incluindo caracterização etária e biométrica, das populações em melhor estado de conservação presentes na RNLSAS.

Durante os meses de abril e maio de 2024, em 30 parcelas de 40 m² (10 x 4 metros) (Figura 21) distribuídas ao longo da RNLSAS, foi efetuado o estudo da estrutura biométrica e etária dos núcleos populacionais de *Juniperus navicularis*. As parcelas foram instaladas nas áreas de zimbrais em melhor estado de conservação, previamente cartografadas. Estas foram instaladas aleatoriamente em zonas homogéneas, permitindo assim a extrapolação para as restantes áreas em bom estado, da Reserva.



Figura 21. Exemplo das parcelas usadas na caracterização biométrica (parcela 5 (esquerda) e 23 (direita)).

Em cada parcela foram registadas as seguintes variáveis:

Variáveis biométricas (variáveis de interesse):

- Altura (cm);
- Dois diâmetros perpendiculares da base do tronco (mm);
- Dois diâmetros perpendiculares da copa (cm);

Variáveis ambientais/estruturais

- % de coberto arbóreo;
- % de coberto total (herbáceo + arbustivo);
- % de cobertura de *Juniperus navicularis*;
- Número de pés de *Juniperus navicularis*;
- Distância ao mar (m).

Com base nos dados obtidos, foi efetuada a caracterização biométrica dos núcleos populacionais estudados. Através de histogramas, procedeu-se à visualização da distribuição de cada variável biométrica, analisando os dados como um todo. Adicionalmente, através de diagramas de caixa (Wickham, 2016), procedeu-se à visualização da distribuição de cada variável por parcela. Os dados aqui usados corresponderam às biometrias medidas: altura, diâmetro da copa e diâmetro da base do tronco.

Foram também medidas variáveis ambientais/estruturais, de forma a averiguar se estas possuíam algum grau de correlação com as biometrias, influenciando assim os resultados obtidos na caracterização biométrica. O grau de correlação entre as variáveis biométricas e ambientais foi obtido através da visualização da matriz de correlação, aplicando o coeficiente de correlação de Pearson (Patil, 2021).

A caracterização da estrutura etária foi feita com base na melhor equação obtida no ponto anterior (ponto 3.4) tendo sido feita uma estimativa da idade a partir dos dados da variável biométrica selecionada. Posteriormente, depois de aplicada a equação de crescimento selecionada e estimada a idade dos indivíduos amostrados, procedeu-se à análise da estrutura etária através de histogramas e diagramas de caixa (Wickham, 2016). Foram analisadas as médias de cada parcela, assim como a totalidade dos dados, sem distinção das parcelas.

4. Resultados e Discussão

4.1. Cartografia (objetivo 1)

Na RNLSAS foram estudados 3116,45 hectares, correspondentes à faixa terrestre da Reserva. Neste território foram identificados e cartografados 61 polígonos que abrigam as áreas de *Juniperus navicularis* em melhor estado de conservação (Figura 22). O total destas manchas corresponde a uma área de cerca de 195 hectares. Contudo, a área efetiva destes zimbrais é significativamente menor, uma vez que se encontram muito fragmentadas. De facto, a elaboração de uma cartografia detalhada foi dificultada pela fragmentação e pela estrutura em mosaico imbrincado da vegetação.

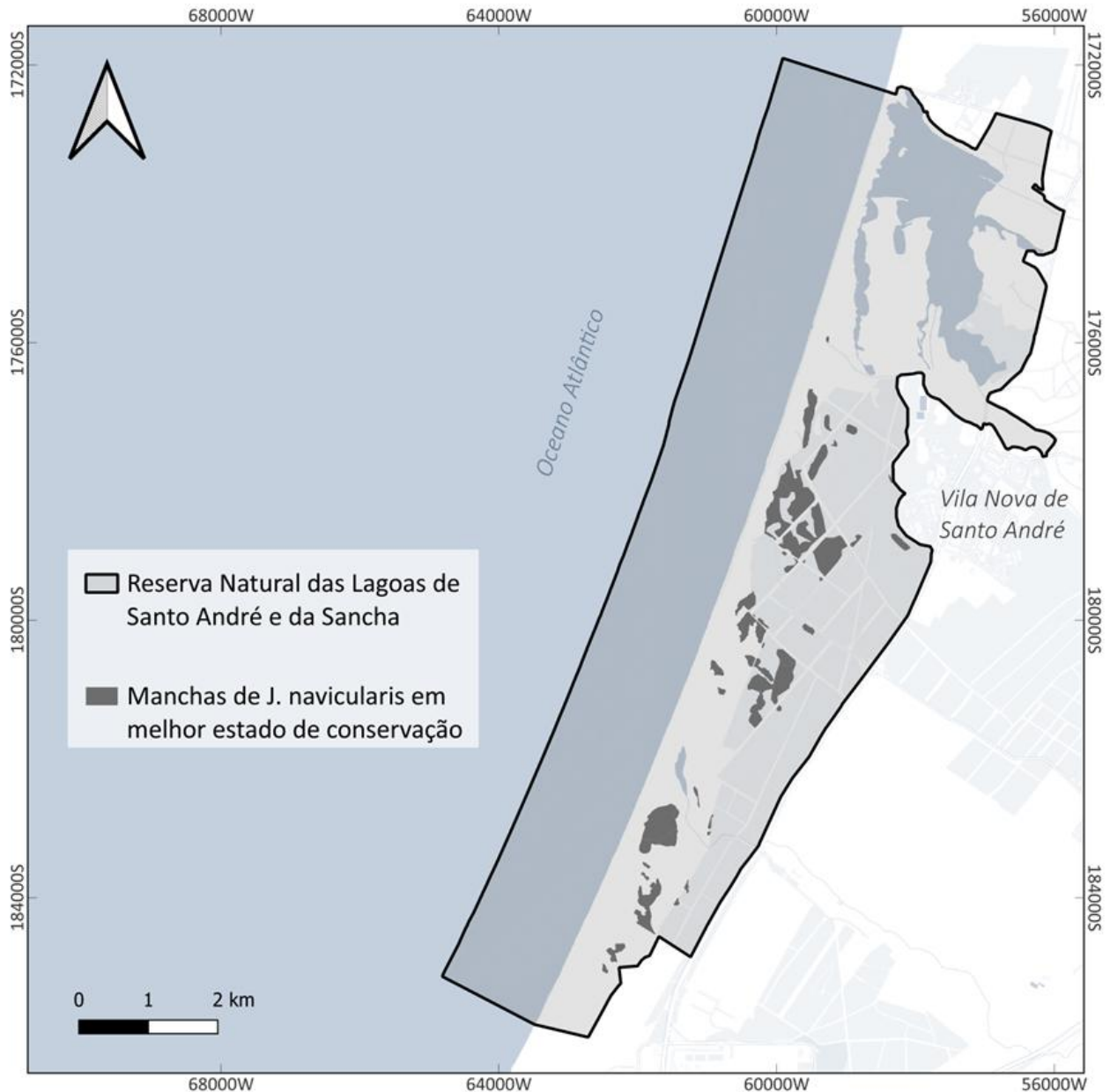


Figura 22. Localização dos núcleos de *Juniperus navicularis* em melhor estado de conservação, ao longo da Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha.

Em muitos locais onde os zimbrais são potenciais, estes foram substituídos por outras comunidades representativas das suas etapas regressivas (Neto, 2002), incluindo comunidades que integram outros habitats de interesse comunitário (nomeadamente e sobretudo os habitats 2150* (“Dunas fixas descalcificadas atlânticas (*Calluno-Ulicetea*)”) e 2260 (“Dunas com vegetação esclerofila da *Cisto-Lavanduletalia*”). Ao longo da RNLAS estes habitats ocorrem de forma

abundante, formando muitas vezes uma paisagem em mosaico com o habitat 2250 pt2, situação que também se verifica em muitas das manchas cartografadas.

Apesar destas comunidades aqui serem referidas como estando em melhor estado de conservação, verificou-se que na maioria dos casos a sua estrutura se encontra longe do seu ótimo: fragmentadas e com uma composição florística pobre.

4.2. Estudo biométrico e dendrocronológico de *Juniperus navicularis* (objetivo 2)

4.2.1. Biometrias - Estrutura biométrica típica

Os resultados obtidos a partir dos 59 indivíduos de Troia foram os seguintes (Tabela 1):

- A maioria dos indivíduos apresentou uma altura entre os 40 e 60 cm, com uma média de 54,37 cm de altura;
- A largura das copas oscilou entre os 22,5 cm e os 173 cm, sendo a média cerca de 50 cm;
- O diâmetro da base do tronco nunca ultrapassou os 52 mm, com uma média de 16 mm;
- As idades dos indivíduos oscilaram entre os 10 e os 63 anos, tendo a maioria entre os 18 e os 37 anos.

Tabela 1. Sumário dos dados obtidos com os indivíduos cortados em Troia. N = número de indivíduos; Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; SE = erro padrão; Stdev = desvio padrão; tronco_diam_som_mm = Diâmetro da base do tronco medido com o ImageJ; caule_n = número de caules; bif2_diam_mm = diâmetro da segunda bifurcação; bif2_comp_mm = comprimento da segunda bifurcação; bif1_diam_mm = diâmetro da primeira bifurcação; bif1_comp_mm = comprimento da primeira bifurcação; tronco_diam_mm = diâmetro do tronco; tronco_comp_cm = comprimento do tronco; tronco_diam_10_mm = diâmetro do tronco a 10 cm da base; copa_larg_cm = largura da copa; alt_cm = altura.

Variáveis	N	Média	Mediana	1.Quartil	3.Quartil	Mín	Máx	SE	Stdev
alt_cm	59	54,37	53,00	44,00	61,00	29,00	88,00	1,81	13,92
copa_larg_cm	59	50,86	43,00	35,50	61,25	22,50	173,00	3,73	28,65
tronco_diam_10_mm	59	16,79	14,17	11,58	20,43	5,78	51,91	1,20	9,22
tronco_comp_cm	59	15,51	13,00	10,00	20,50	4,00	50,00	1,20	9,25
tronco_diam_mm	59	15,96	13,45	10,49	18,76	4,80	51,91	1,23	9,45
bif1_comp_cm	52	9,06	8,00	5,00	12,00	1,00	25,00	0,75	5,38
bif1_diam_mm	52	11,42	9,94	6,78	15,35	4,50	29,89	0,83	5,96
bif2_comp_cm	52	8,29	6,50	4,00	10,00	1,00	34,00	0,84	6,06
bif2_diam_mm	52	11,78	10,89	7,52	14,32	3,92	29,96	0,82	5,88
caule_n	59	2,42	2,00	1,00	3,00	1,00	6,00	0,19	1,43
rizoma_n	54	2,37	2,00	2,00	3,00	1,00	5,00	0,10	0,73
idade	59	28,49	26	18	37	10	63	1,76	13,55

Com base na idade dos 60 indivíduos estudados em Troia, foram desenvolvidos três modelos da estrutura biométrica típica da espécie, ao longo do seu crescimento: 10-20, 21-50 e 51-70 anos. Dos resultados obtidos destaca-se o seguinte (Figura 23 e Tabela 2):

- Os valores da altura dos indivíduos apresentam diferenças significativas entre as classes analisadas ($F(2, 57)=13.58$, $p=1.56 \times 10^{-5}$), sugerindo que nos primeiros anos (11-20 anos) a planta cresce sobretudo em altura, desacelerando nas décadas seguintes;
- Não foram detetadas diferenças significativas no comprimento do tronco até à primeira bifurcação entre as três classes de idade analisadas ($H(2, 57)=2.644$, $p=0.266$), sugerindo, uma

vez mais, que o crescimento inicial do tronco é mais acentuado, elevando a planta antes do ocorrer a bifurcação;

- Os diâmetros da base do tronco ($H(2, 57)=32.634$, $p=8.193 \times 10^{-8}$), diâmetros da primeira e segunda bifurcações (respectivamente $H(2, 57)=17.509$, $p=0.000158$) e $H(2, 57)=19.051$, $p=0.0000729$), assim como o comprimento da primeira bifurcação ($H(2, 57)=7.409$, $p=0.0246$) e a largura da copa ($H(2, 57)=15.778$, $p=0.000375$), crescem de forma linear ao longo do tempo, não apresentando diferenças significativas entre classes de idade.

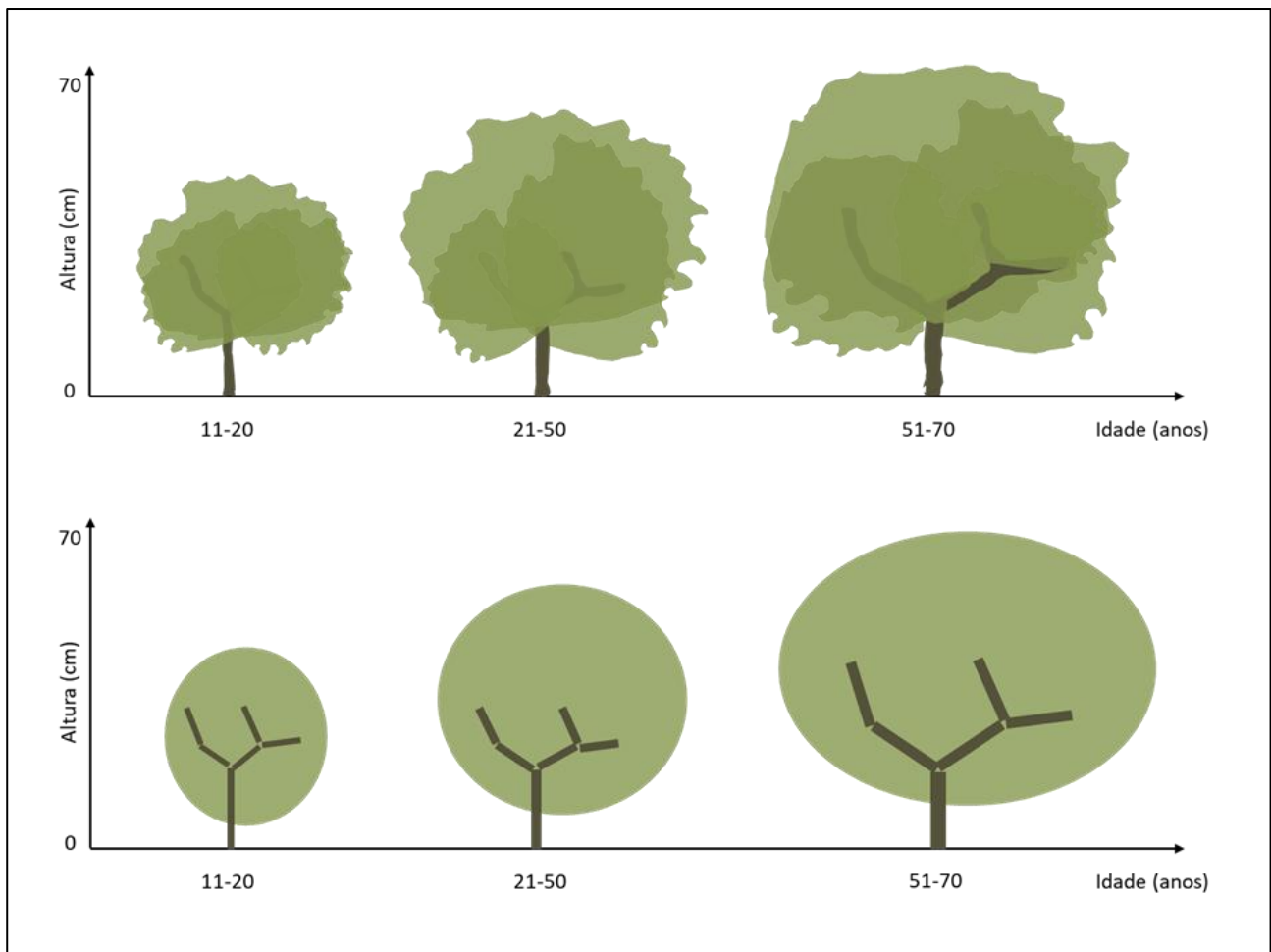


Figura 23. Estrutura biométrica típica do *Juniperus navicularis*, no núcleo populacional de Troia.

Tabela 2. Dados da amostra de Troia, usados no desenho da estrutura biométrica típica do *Juniperus navicularis*, valores médios obtidos por classe de idade.

Classe idade	Altura (cm)	Copa diâmetro (cm)	Tronco diâmetro (mm)	Tronco comprimento (cm)	1ª bifurcação comprimento (cm)	1ª bifurcação diâmetro (mm)	2ª bifurcação comprimento (cm)	2ª bifurcação diâmetro (mm)
11--20	43,471	34,588	10,156	17,176	6,500	7,290	8,000	7,523
21--50	59,440	54,076	18,627	16,794	8,759	12,494	8,122	12,747
51--70	71,900	82,725	28,750	16,250	16,250	19,491	14,167	18,188

4.2.2. Relação biometria – idade dos indivíduos: seleção das variáveis

Da análise de correlação feita com os indivíduos de Troia (Figura 24), destaca-se o seguinte:

- Cinco das treze variáveis usadas, não apresentam uma relação significativa com a idade, nomeadamente: comprimento do tronco ($r(59)=-0.184$, $p=0.0155$), o comprimento da primeira e da segunda bifurcações (respetivamente $(r(52)= 0.363$, $p=6.898 \times 10^{-3})$ e $(r(52)=0.365$, $p=6.612 \times 10^{-3})$) e o número de caules e de rizomas (respetivamente $(r(52)=0.222$, $p=9.054 \times 10^{-2})$ e $(r(52)= 0.396$, $p=2.973 \times 10^{-3})$);
- As restantes variáveis apresentam uma relação positiva, significativa, com a idade, com valores sempre acima dos 0,55 de correlação;
- A variável com maior grau de correlação com a idade (correlação forte e positiva) é o diâmetro da base do tronco, medido com o *ImageJ* ($r(59)=0.85$, $p=4.076 \times 10^{-18}$).

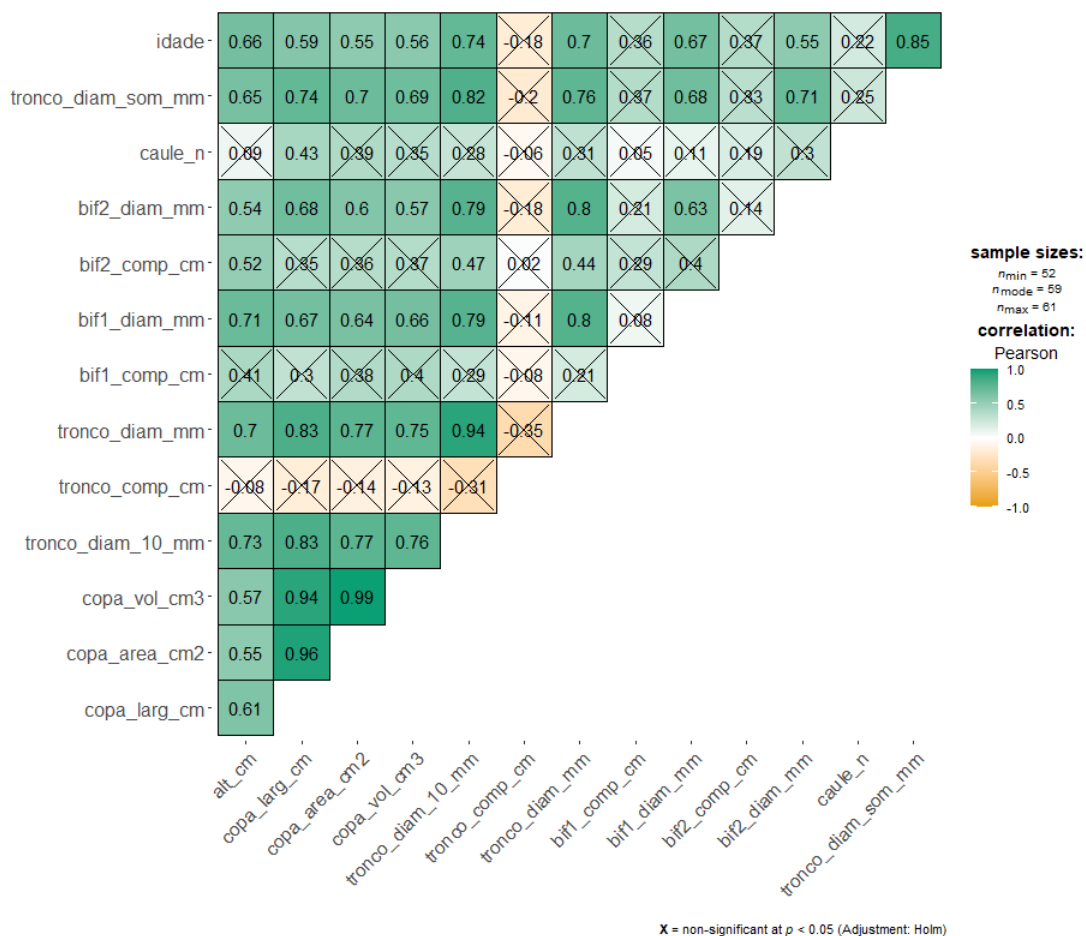


Figura 24. Matriz de correlação entre as biometrias medidas com os indivíduos de Troia, e a respetiva idade. Valores de correlação não significativos encontram-se assinalados com um X. tronco_diam_som_mm = Diâmetro da base do tronco medido com o ImageJ; caule_n = número de caules; bif2_diam_mm = diâmetro da segunda bifurcação; bif2_comp_cm = comprimento da segunda bifurcação; bif1_diam_mm = diâmetro da primeira bifurcação; bif1_comp_cm = comprimento da primeira bifurcação; tronco_diam_mm = diâmetro do tronco; tronco_comp_cm = comprimento do tronco; tronco_diam_10_mm = diâmetro do tronco a 10 cm da base; copa_vol_cm3 = volume da copa; copa_area_cm2 = área da copa; copa_larg_cm = largura da copa; alt_cm = altura.

Com base no grau de correlação com a idade foram selecionadas quatro variáveis de interesse para modelar a idade dos indivíduos: altura ($r(57) = 0.662$, $p = 1.140 \times 10^{-8}$), diâmetro do tronco a 10 cm da base ($r(59) = 0.735$, $p = 1.477 \times 10^{-11}$), largura da copa ($r(57) = 0.587$, $p = 1.022 \times 10^{-6}$) e diâmetro da base do tronco, medido com o ImageJ ($r(59) = 0.851$, $p = 4.076 \times 10^{-18}$).

4.3. Modelação da idade de *Juniperus navicularis* (objetivo 3)

Com base nos resultados anteriores (ponto 4.2.), selecionaram-se quatro variáveis de interesse, utilizadas na modelação do crescimento de *Juniperus navicularis*: altura, diâmetro da base do tronco, diâmetro da copa e diâmetro da base do tronco medido com o programa *ImageJ*. Recorde-se que as equações de crescimento foram aplicadas a cada uma destas variáveis. Também, foi usada cada uma das diferentes amostras recolhidas, com exceção da amostra RNLSAS+TROIA, que foi retirada devido à autocorrelação espacial existente no núcleo populacional de Troia (obtida pelo índice de Moran ($I(118)=0.085$, $p=2.2 \times 10^{-16}$), condição influenciada pela proximidade dos indivíduos amostrados em Troia).

Os resultados obtidos ao testar as equações de crescimento para cada uma destas variáveis de interesse, mostram (Tabela 3):

- Globalmente, as equações para as quais se obtiveram melhores resultados (para o geral das variáveis biométricas e para o geral das amostras utilizadas), foram a Monomolecular e a Schumacher. Estas apresentaram os valores de R^2 mais elevados, indicando um melhor ajuste aos dados;
- A amostra de Troia, que inclui 59 indivíduos, apresenta valores mais baixos para a altura, copa e diâmetro da base do tronco, quando comparada com a amostra da RNLSAS (todas as variáveis apresentam diferenças significativas entre os dois locais: altura ($H(117)=49.094$, $p=2.44 \times 10^{-12}$), copa ($H(117)=46.855$, $p=7.644 \times 10^{-12}$) e diâmetro da base do tronco ($H(117)=42.381$, $p=7.51 \times 10^{-10}$) (Figura 25, Figura 26 e Figura 27). Assim, nas equações elaboradas com a amostra de Troia as assíntotas obtidas são mais baixas, quando comparadas com as obtidas nas mesmas equações, desenvolvidas com a amostra da RNLSAS (ex. na equação Schumacher desenvolvida para a altura, o valor assintótico obtido com a amostra da RNLSAS é 192,123 cm, enquanto para a amostra de Troia a assíntota obtida é de 93,404 cm);
- O uso de uma amostra com menos indivíduos de Troia (onde não se verifica autocorrelação espacial ($I(78)=-0.021$, $p=0.7318$) revelou ser a melhor alternativa no desenvolvimento da equação de crescimento;
- O modelo com o valor R^2 mais elevado foi o obtido com a equação Monomolecular, utilizando apenas a amostra da RNLSAS e o diâmetro da base do tronco medido com o *ImageJ* (Diâmetro_som) ($R^2 = 0.863$). Duma forma geral, com a equação Monomolecular são obtidos os melhores resultados para todas as variáveis. Contudo esta equação, por apresentar um maior

número de parâmetros (3, enquanto a Schumacher e Bertalanffy tem 2) não é possível aplicá-la em amostras pequenas.

- A variável que obteve melhores resultados para o desenvolvimento duma equação de crescimento foi o diâmetro da base do tronco medido com o *ImageJ* (Diam_som_mm). Esta foi a variável que permitiu obter uma equação com valores de R^2 mais elevados, assim como uma curva mais próxima da realidade. Também, esta variável foi a que apresentou o maior grau de correlação com a idade (ponto 4.2.2.), e ao contrário de outras variáveis usadas (altura e largura da copa), não revelou ser influenciada pela distância ao mar nem pelo coberto arbóreo (ver ponto 4.4.). Uma vez que, para obter os dados desta variável é necessário cortar os indivíduos, esta poderia ser excluída logo à partida. Contudo, após uma análise estatística não foram detetadas diferenças significativas entre os valores obtidos com esta variável e os valores do diâmetro da base do tronco (medido em campo) ($H(1, 117)=0.187, p=0.666$). Deste modo, uma equação desenvolvida com esta variável (onde o número da amostra é mais elevado) pode depois ser usada para estimar a idade com base nos valores de outra variável medida em campo, o diâmetro da base do tronco.

Tabela 3. Valores obtidos com as equações de crescimento para cada tipo de biometria. Valores a vermelho representam as equações com melhores resultados (R^2 mais elevado). SELEÇÃO = dados RNLSAS + amostra de Troia (N=18); R^2 = Coeficiente de determinação; MSR = Quadrados médios dos resíduos; Limite inf = limite inferior; Limite sup = limite superior; SELEÇÃO = RNLSAS + amostra TROIA; Copa = largura da copa; Diâmetro = diâmetro da base do tronco; Diâmetro_som = diâmetro da base do tronco medido com o ImageJ.

Amostra	Biometria	Equação	R^2	MSR	Parâmetro a			Parâmetro b			Parâmetro c		
					Estimativa	Low limit	Up Limite	Estimativa	Low limit	Up Limite	Estimativa	Low limit	Up Limite
RNLSAS	Altura (cm)	Schumacher	0,431	992,543	192,923	157,748	228,098	25,163	17,397	32,93	-	-	-
		Bertalanffy	0,329	1169,671	151,259	129,329	175,189	0,053	0,042	0,065	-	-	-
	Copa (cm)	Schumacher	0,612	623,113	213,963	179,402	248,525	34,845	29,371	42,318	-	-	-
		Bertalanffy	0,544	732,818	162,257	139,008	185,507	0,042	0,035	0,049	-	-	-
	Diâmetro (mm)	Schumacher	0,757	68,528	100,373	86,06	114,686	47,459	40,213	54,705	-	-	-
		Bertalanffy	0,71	81,934	73,002	63,202	82,802	0,033	0,029	0,038	-	-	-
	Diâmetro_som (mm)	Schumacher	0,746	22,018	41,077	40,176	41,978	16,401	15,819	16,982	-	-	-
		Bertalanffy	0,706	25,403	31,487	30,892	32,082	0,084	0,082	0,087	-	-	-
	Monomolecular	0,863	11,86	84,703	74,402	95,005	0,008	0,007	0,01	0,952	0,947	0,957	
TROIA	Altura (cm)	Schumacher	0,578	126,683	93,404	83,014	103,795	13,939	10,832	17,047	-	-	-
		Bertalanffy	0,4	180,211	69,957	63,222	76,692	0,105	0,087	0,123	-	-	-
	Copa (cm)	Schumacher	0,553	385,675	146,946	119,691	174,202	30,739	24,148	37,33	-	-	-
		Bertalanffy	0,439	484,829	122,54	100,047	145,032	0,044	0,036	0,051	-	-	-
	Diâmetro (mm)	Schumacher	0,705	40,807	65,743	55,321	76,164	40,228	33,765	46,691	-	-	-
		Bertalanffy	0,661	46,857	52,185	44,377	59,994	0,036	0,031	0,041	-	-	-
	Diâmetro_som (mm)	Schumacher	0,673	7,788	20,017	19,55	20,484	8,397	8,004	8,79	-	-	-
		Bertalanffy	0,591	9,766	15,799	15,486	16,112	0,155	0,149	0,16	-	-	-
	Monomolecular	0,837	3,884	57,82	48,985	66,654	0,008	0,006	0,009	0,933	0,924	0,942	
SELEÇÃO	Altura (cm)	Schumacher	0,336	1162,547	163,623	135,809	191,438	22,144	14,856	29,433	-	-	-
		Bertalanffy	0,292	1295,119	128,01	110,601	145,419	0,06	0,047	0,073	-	-	-
	Copa (cm)	Schumacher	0,591	724,969	205,242	176,529	233,954	34,408	29,659	41,157	-	-	-
		Bertalanffy	0,529	839,096	152,061	133,542	170,58	0,044	0,037	0,05	-	-	-
	Diâmetro (mm)	Schumacher	0,722	78,853	90,056	78,671	101,44	44,845	38,203	51,487	-	-	-
		Bertalanffy	0,681	90,368	65,375	57,944	72,806	0,035	0,031	0,039	-	-	-
	Diâmetro_som (mm)	Schumacher	0,713	23,78	39,62	38,779	40,461	17,104	16,531	17,677	-	-	-
		Bertalanffy	0,676	26,835	30,219	29,668	30,77	0,082	0,079	0,084	-	-	-
	Monomolecular	0,829	14,12	86,506	75,624	97,387	0,008	0,006	0,009	0,957	0,953	0,962	

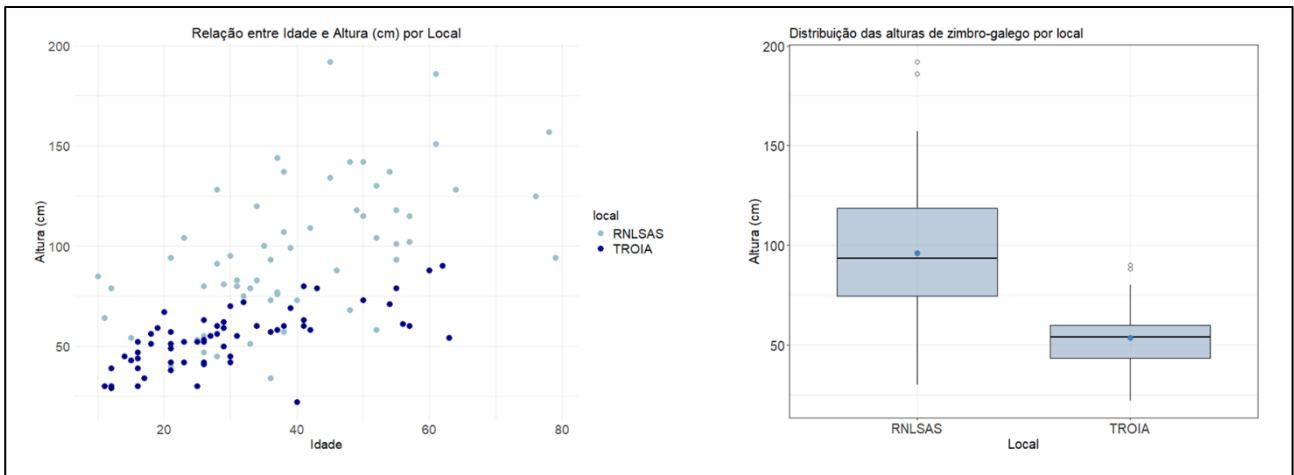


Figura 25. Relação entre idade e altura (esquerda), e distribuição da altura (direita), dos indivíduos de *Juniperus navicularis* recolhidos em Troia e na Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha (RNLAS).

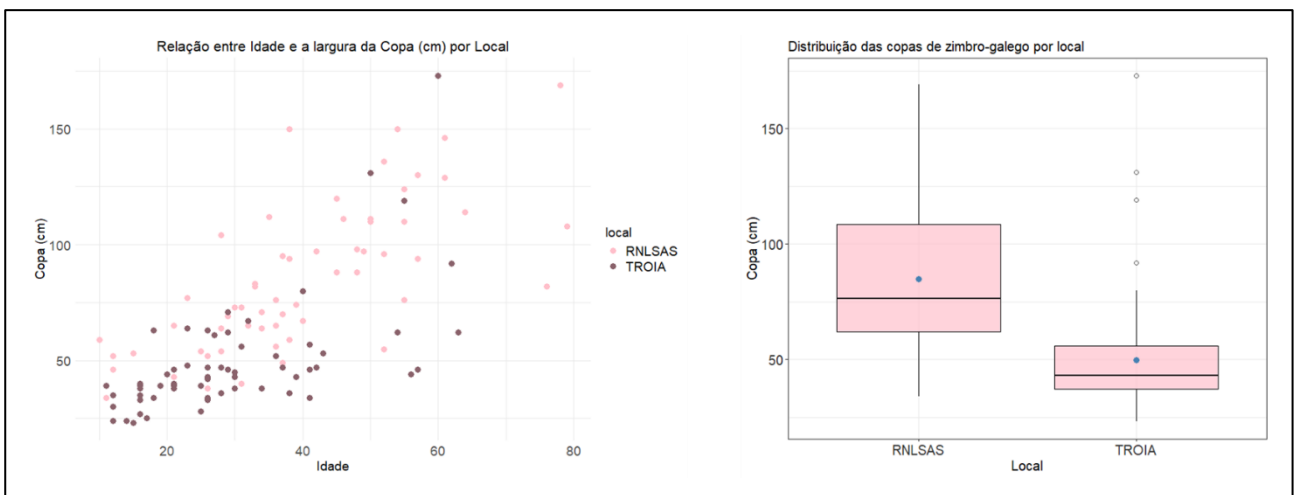


Figura 26. Relação entre idade e a largura da copa (esquerda), e distribuição da largura da copa (direita), dos indivíduos de *Juniperus navicularis* recolhidos em Troia e na Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha (RNLAS).

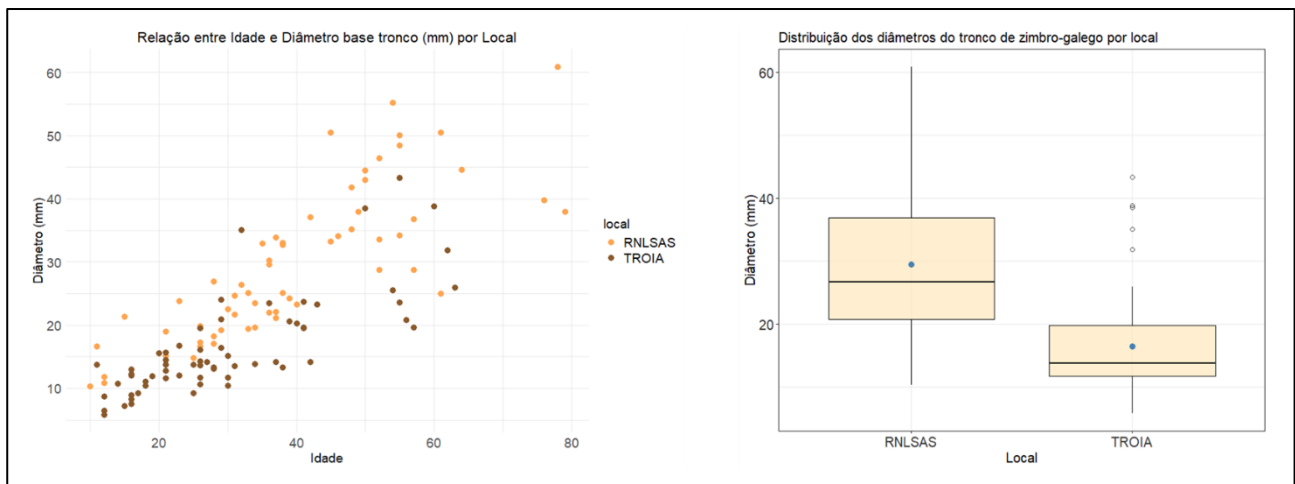


Figura 27. Relação entre idade e a largura do diâmetro da base do tronco (esquerda), e distribuição do diâmetro da base do tronco (direita), dos indivíduos de *Juniperus navicularis* recolhidos em Troia e na Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha (RNLSAS).

De forma mais detalhada:

- A) Em relação às equações obtidas com a altura como variável independente (Tabela 3 e Figura 28):
- As melhores equações obtidas para esta biometria foram a Schumacher e a Monomolecular, elaboradas com a amostra de TROIA, apresentando os valores mais elevados de Coeficiente de determinação ($R^2=0.578$);
 - A equação de Schumacher foi a que apresentou o valor mais elevado de Coeficiente de determinação ($R^2=0.578$). Contudo, a curva desta equação apresenta um valor de assíntota baixo (93,404 cm), compatível com a amostra de TROIA, onde os indivíduos apresentam uma altura mais baixa, mas não com a amostra total, onde os indivíduos apresentam alturas superiores de cerca de 2 metros (Figura 25);

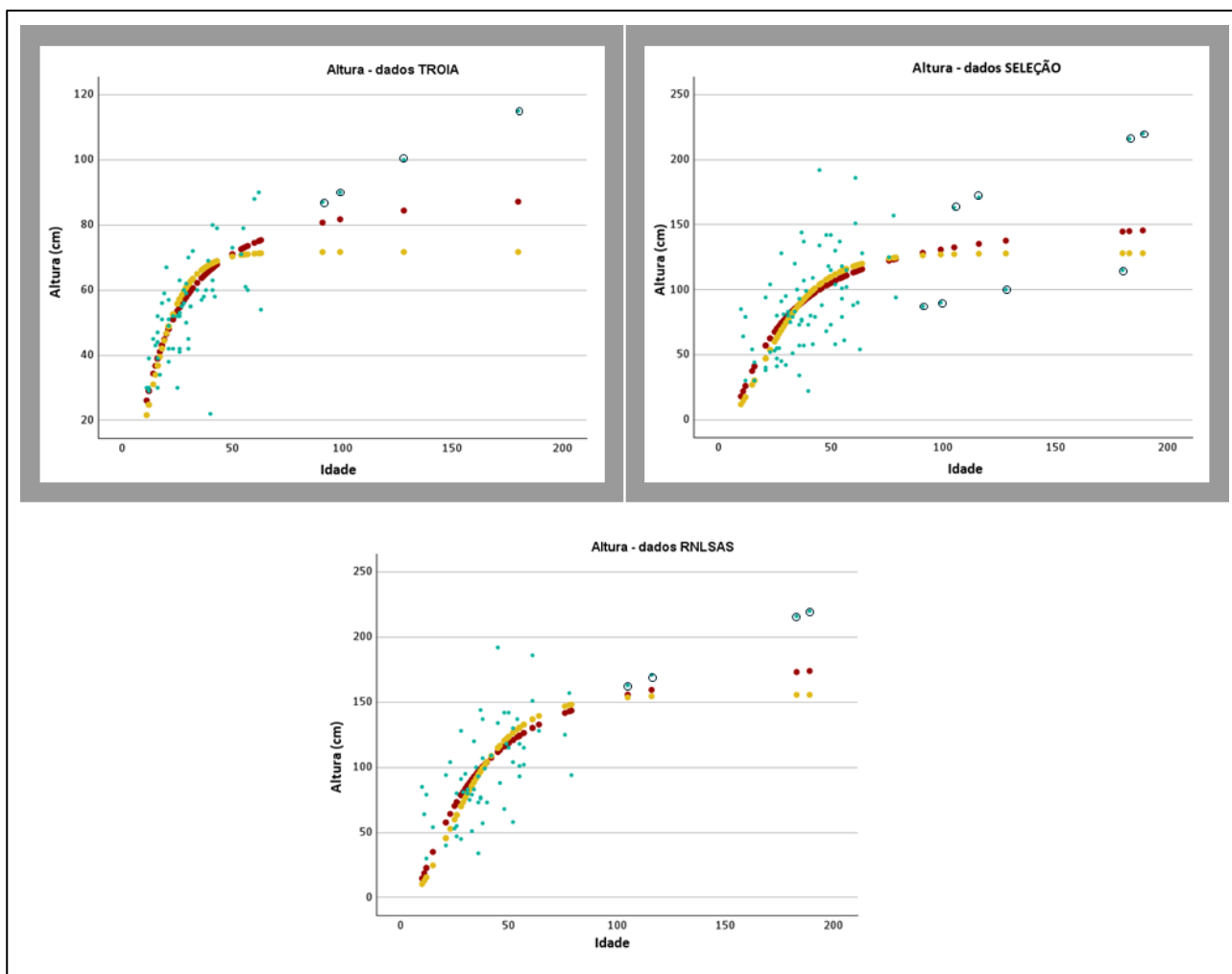


Figura 28. Equações de crescimento obtidas em função da altura, e respetiva amostra usada. As amostras com resultados mais elevados de R^2 encontram-se marcadas a cinza. Pontos circundados representam os indivíduos estimados. Pontos: azuis = dados usados; vermelhos = obtidos com a equação Schumacher; amarelos = obtidos com a equação Bertalanffy; verdes = obtidos com a equação Monomolecular.

B) Em relação às equações obtidas com a copa (Tabela 3 e Figura 29):

- A melhor equação obtida para esta biometria foi a Schumacher elaborada com a amostra da RNLSAS ($R^2=0.612$), com um valor assintótico de 213 cm.

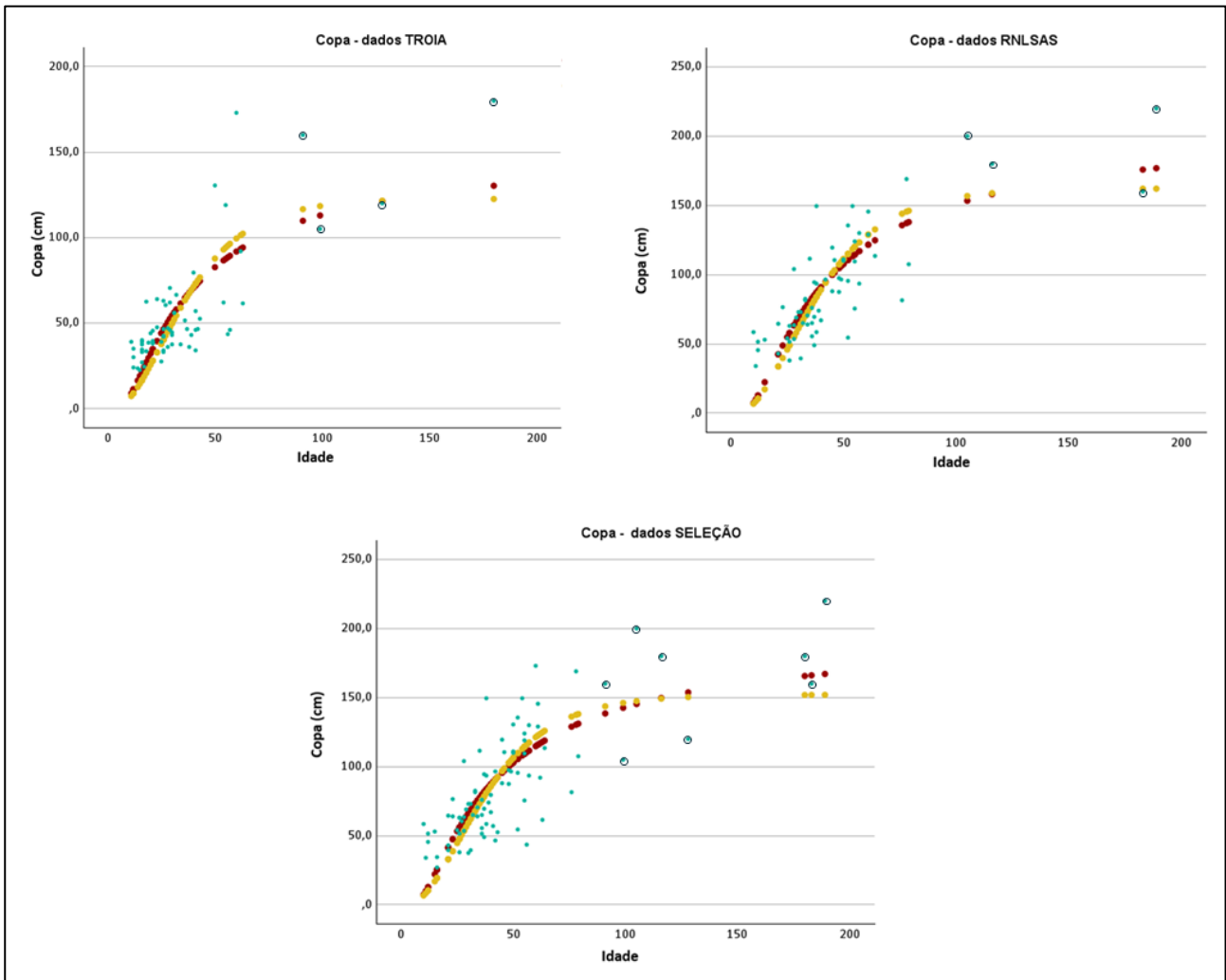


Figura 29. Equações de crescimento obtidas em função da copa, e respectiva base de dados usada. Pontos circundados representam os indivíduos estimados. Pontos: azuis = dados usados; vermelhos = obtidos com a equação Schumacher; amarelos = obtidos com a equação Bertalanffy; verdes = obtidos com a equação Monomolecular. A base de dados com resultados mais elevados de R^2 encontra-se marcada.

C) Em relação às equações obtidas com o diâmetro da base do tronco (Tabela 3 e Figura 30):

- As melhores equações obtidas para esta variável biométrica foram as de Schumacher, elaboradas com as amostras da RNLAS e SELEÇÃO;
- A equação de Schumacher elaborada com a amostra da RNLAS apresenta o valor de R^2 mais elevado (0.757), assim como o valor assintótico estimado também é maior (100 mm);

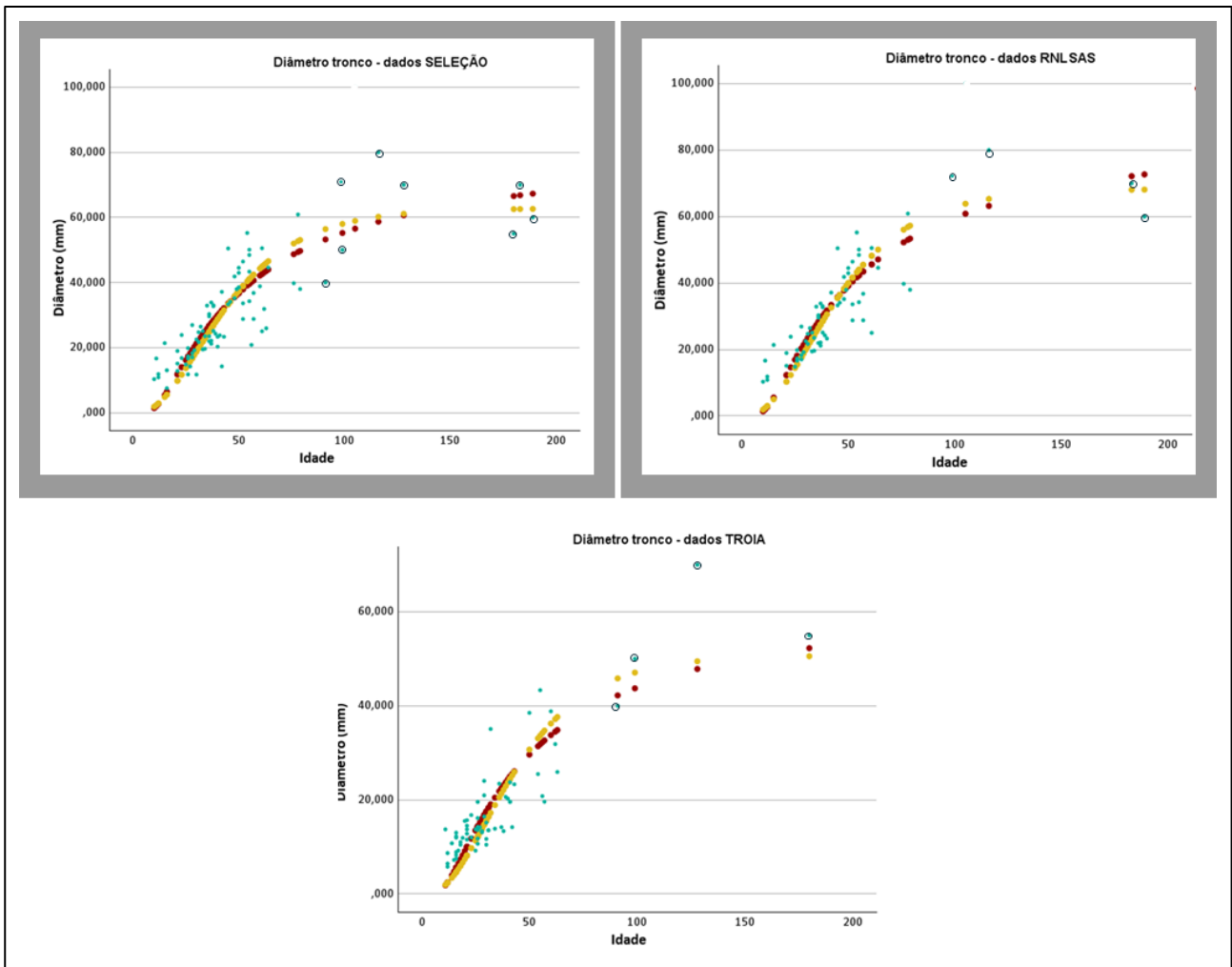


Figura 30. Equações de crescimento obtidas em função do diâmetro da base do tronco, e respectiva base de dados usada. As amostras com resultados mais elevados de R^2 encontram-se marcadas a cinza. Pontos circundados representam os indivíduos estimados. Pontos: azuis = dados usados; vermelhos = obtidos com a equação Schumacher; amarelos = obtidos com a equação Bertalanffy; verdes = obtidos com a equação Monomolecular.

D) Em relação às equações obtidas com o Diâmetro som (Tabela 3 e Figura 31):

- As melhores equações obtidas para esta biometria foram a Monomolecular, elaboradas com as três amostras, apresentando todas valores de R^2 elevados (≥ 0.8);
- A equação elaborada apenas com a amostra da RNLAS foi a que apresentou o valor mais elevado de R^2 (0.863);

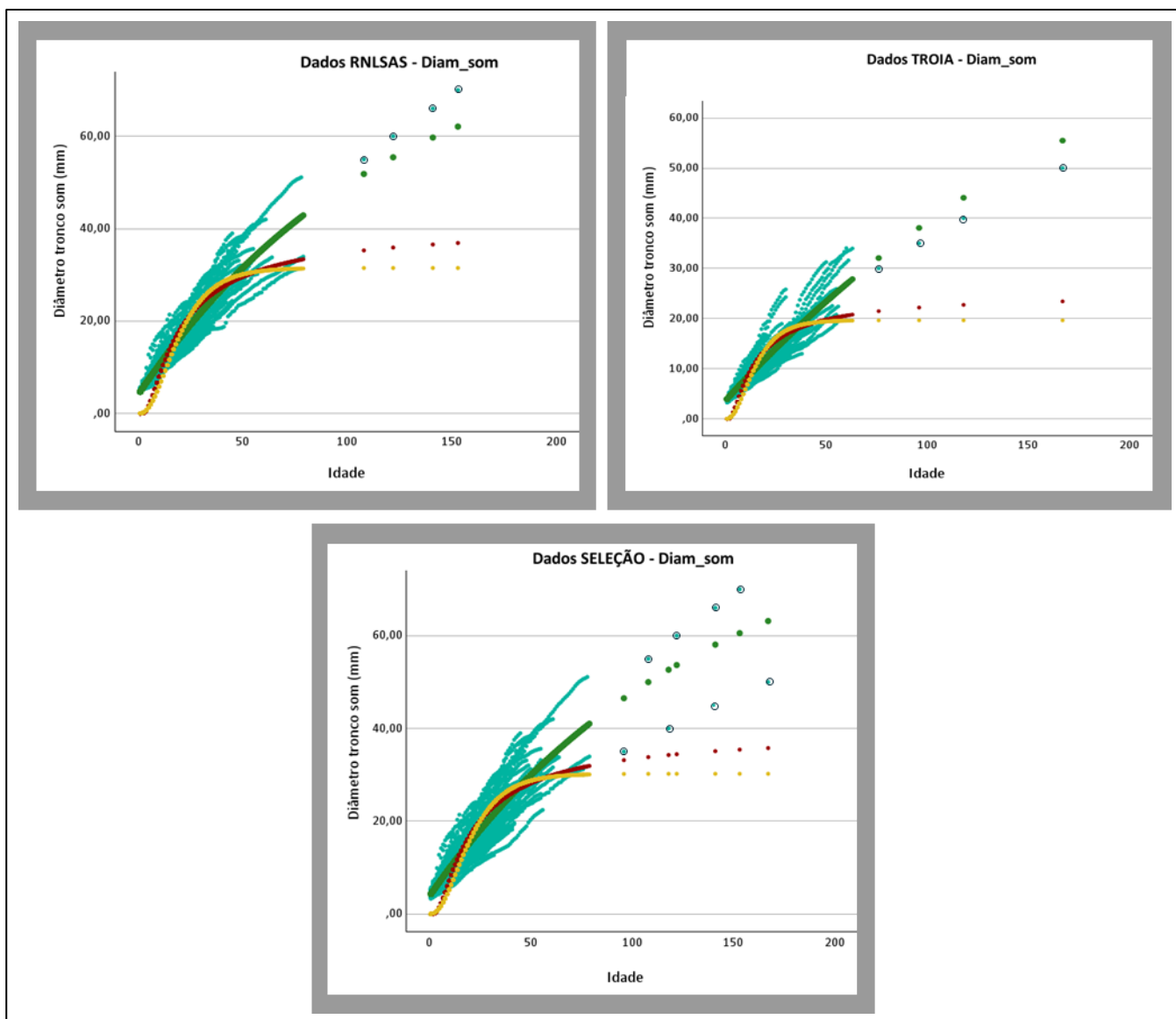


Figura 31. Equações de crescimento obtidas em função do diâmetro da base do tronco medido com o ImageJ, e respetiva base de dados usada. As amostras com resultados mais elevados de R^2 encontram-se marcadas a cinza. Pontos circundados representam os indivíduos estimados. Pontos: azuis = dados usados; vermelhos = obtidos com a equação Schumacher; amarelos = obtidos com a equação Bertalanffy; verdes = obtidos com a equação Monomolecular.

Assim, com base nos resultados, foi selecionada como equação final, a usar na estimativa de idade dos indivíduos de *J. navicularis* na RNLAS (não sendo aplicável noutros locais), a **equação Monomolecular desenvolvida com a amostra SELEÇÃO para a variável Diâmetro da base do tronco medido com o ImageJ**. Esta equação apresentou um dos valores de R^2 mais elevados ($R^2=0.829$) assim como um valor assintótico alto (86 mm), demonstrando ser a que melhor se adapta aos dados existentes. Após a inversão em função da idade e da aplicação dos valores de cada parâmetro, a equação obtida é a seguinte:

$$t = -125 \ln \left(\frac{1 - \frac{diam}{86,5}}{0,957} \right)$$

Relativamente ao tamanho da amostra usada na equação final, apesar de ter sido elevado para uma espécie pouco comum, não abrange todas as classes de idade. Efetivamente, não foram recolhidos indivíduos com idades acima dos 90 anos. Com esta falta de indivíduos mais velhos, não é possível confirmar se o valor assintótico das equações testadas é o mais correto. Por esta razão foram adicionados quatro indivíduos estimados a estas amostras. Estes indivíduos, apesar de terem cumprido a sua função, de forçar o modelo a alcançar um valor para a assíntota, representam extrapolações obtidas com a equação Alométrica, que nos tentam aproximar a uma possível realidade, mas com uma distorção que se desconhece. Esta situação só pode ser corrigida com trabalhos posteriores que incluam indivíduos mais velhos. Refira-se que durante este trabalho se evitou a todo o custo inferir danos nas populações estudadas, pelo que se evitou o corte dos indivíduos de maiores dimensões, pelo seu carácter patrimonial e de raridade.

Também, a equação Monomolecular não é sensível aos valores mínimos locais, negligenciando assim os valores mínimos da amostra e focando-se mais no valor assintótico (Edelstein-Keshet, 2005). Deste modo, o comportamento inicial da curva obtida com esta equação não reflete de forma adequada os dados existentes. Deste modo, o padrão de crescimento inicial do diâmetro da base do tronco obtido com esta equação não representa o crescimento inicial do *Juniperus navicularis*. Consequentemente, para valores de diâmetro abaixo dos 3,6 mm a idade obtida apresenta um valor negativo (estes valores foram incluídos na classe etária mais baixa (0-10 anos). Também aqui o modelo deve ser melhorado com a integração de indivíduos mais jovens.

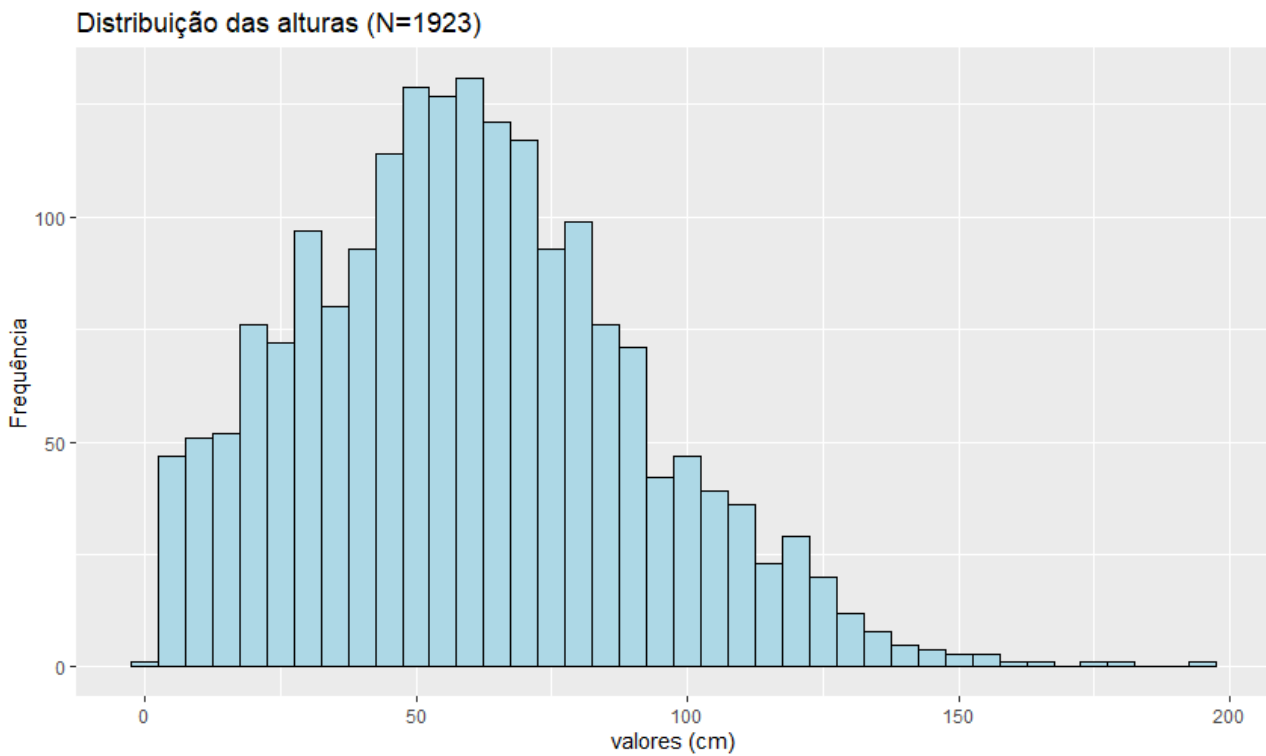
Apesar das limitações acima referidas, a equação adequa-se aos dados analisados, sendo deste modo aplicada nos indivíduos medidos durante a caracterização biométrica (ponto 4.4.), de forma a obter uma estimativa das suas idades nas parcelas seleccionadas.

4.4. Caracterização da estrutura biométrica e etária, e avaliação das características ambientais (objetivo 4)

Nas 30 parcelas onde foram caracterizados os núcleos populacionais de *Juniperus navicularis* presentes na RNLSAS, foram medidos 1923 indivíduos. Os resultados da análise biométrica dos 1923 indivíduos de zimbro-galego mostram o seguinte:

E) Em relação à altura dos indivíduos (Figura 32 e Figura 33):

- A distribuição das alturas parece ser assimétrica, com uma cauda mais longa à direita. Tal sugere que a maioria das alturas está concentrada em valores mais baixos, havendo, contudo, indivíduos bastante mais altos que ocorrem com menos frequência;
- A dispersão dos dados é relativamente ampla, variando entre indivíduos com alguns centímetros até cerca de 200 cm;
- O pico da distribuição da altura ocorre em torno dos 60 cm, sendo essa a altura mais comum na amostra. Estes resultados indicam que as populações são geralmente bastante mais baixas do que poderiam ser, considerando que o seu potencial de crescimento máximo pode ser bastante superior (foram observados em campo indivíduos com mais de 2 metros, podendo estes indivíduos alcançar mais de 4 metros (Neto, 2002)). Esta situação pode ser o reflexo do corte destes indivíduos durante a gestão florestal efetuada anteriormente no território (Neto, 2002), impedindo a existência de indivíduos mais altos;



- A altura do zimbro-galego varia significativamente entre parcelas (ex. entre as parcelas 1 e 11 ($Z=3.757$, $p=0.0373$));
- Algumas parcelas (ex. parcela 21 e 27) apresentam uma maior variação nas alturas, com uma amplitude mais elevada entre quartis. Outras parcelas (ex. parcela 6 e 14) mostram uma menor variabilidade;

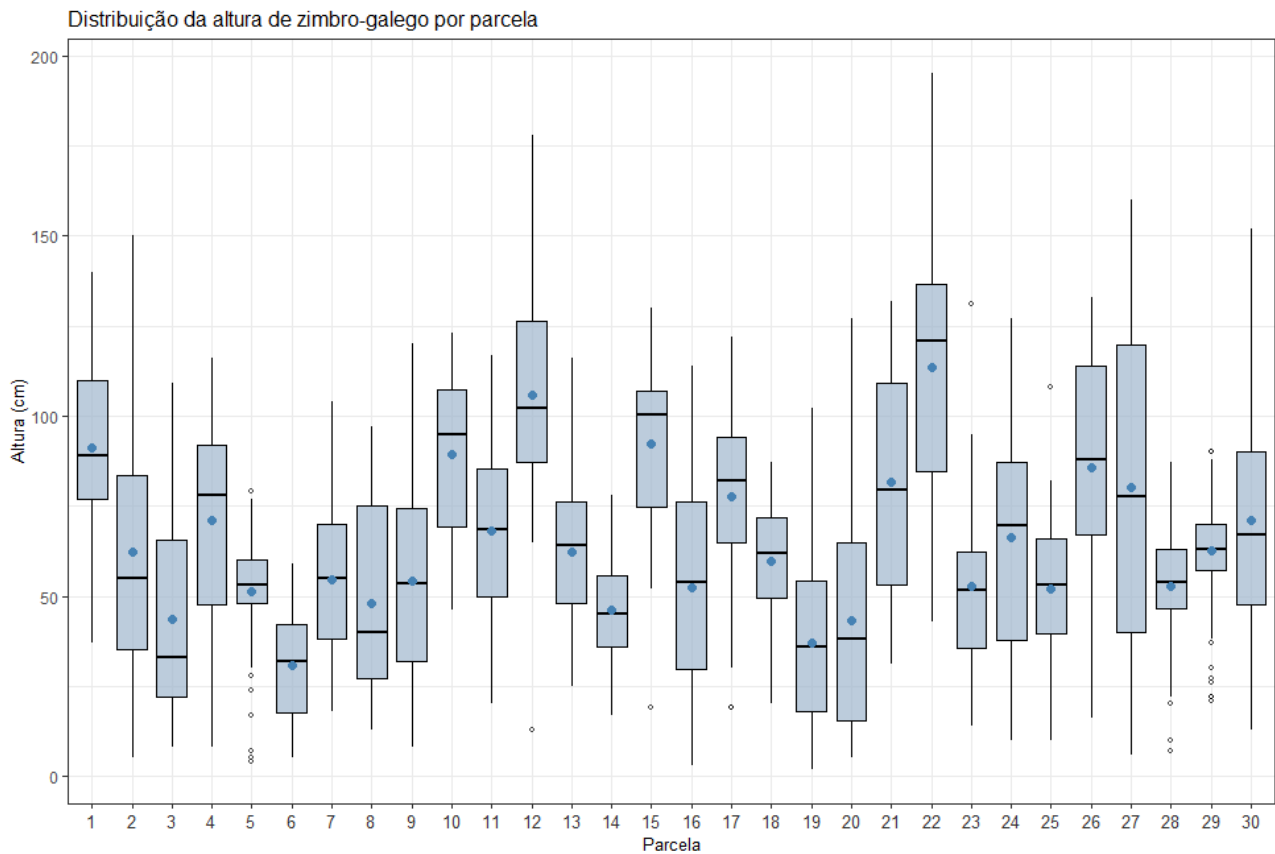


Figura 33. Distribuição das alturas (cm) dos 1923 indivíduos de *Juniperus navicularis* avaliados nas 30 parcelas.

F) Em relação ao diâmetro dos indivíduos (Figura 34 e Figura 35):

- A distribuição dos diâmetros da base também é enviesada para a direita, uma vez que a maioria dos zimbros medidos têm diâmetros de base mais baixos, sendo que à medida que o diâmetro aumenta, a frequência diminui. Poucos indivíduos têm um diâmetro maior que 50 mm;
- A dispersão dos dados é relativamente ampla, variando entre indivíduos com 0,8 mm e os 90,6 mm;
- A maior frequência está no intervalo de diâmetro entre 0 e 25 mm, com uma frequência máxima em torno de 300 indivíduos. O pico da distribuição do diâmetro ocorre em torno dos 18 mm.

Distribuição dos diâmetros (N=2068)

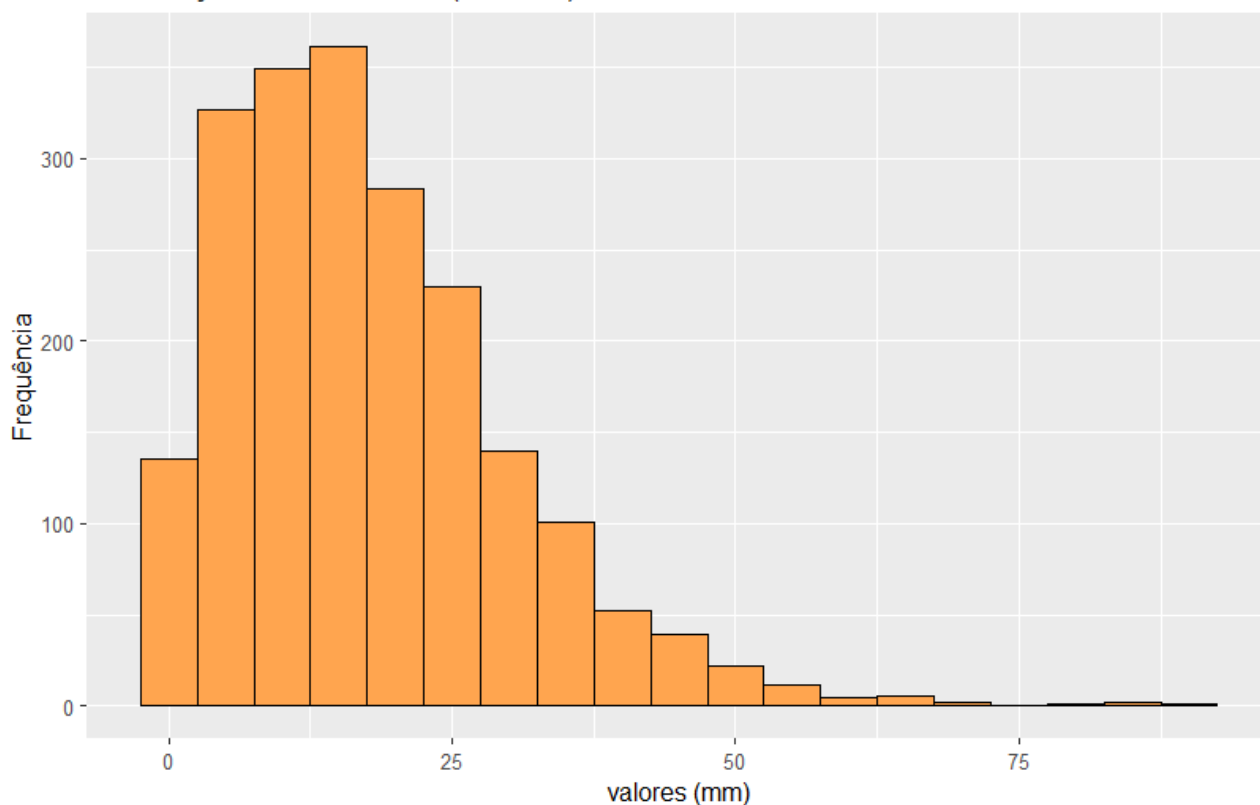


Figura 34. Histograma da distribuição dos diâmetros da base (mm) dos 1923 indivíduos de *Juniperus navicularis* avaliados.

- Da mesma forma que ocorreu com a altura, também os diâmetros registados variam significativamente entre parcelas (ex. entre as parcelas 12 e 14 ($Z=4.905$, $p=0.000203$));
- A parcela 22, tem uma mediana de diâmetro maior, comparativamente com outras, enquanto nas parcelas 8 e 20 a mediana é menor;
- Existem diversos *outliers*, indicando a presença de diâmetros muito diferentes dos valores mais comuns, como os que existem nas parcelas 12, 13 e 29.

Distribuição dos diâmetros do tronco de zimbro-galego por parcela

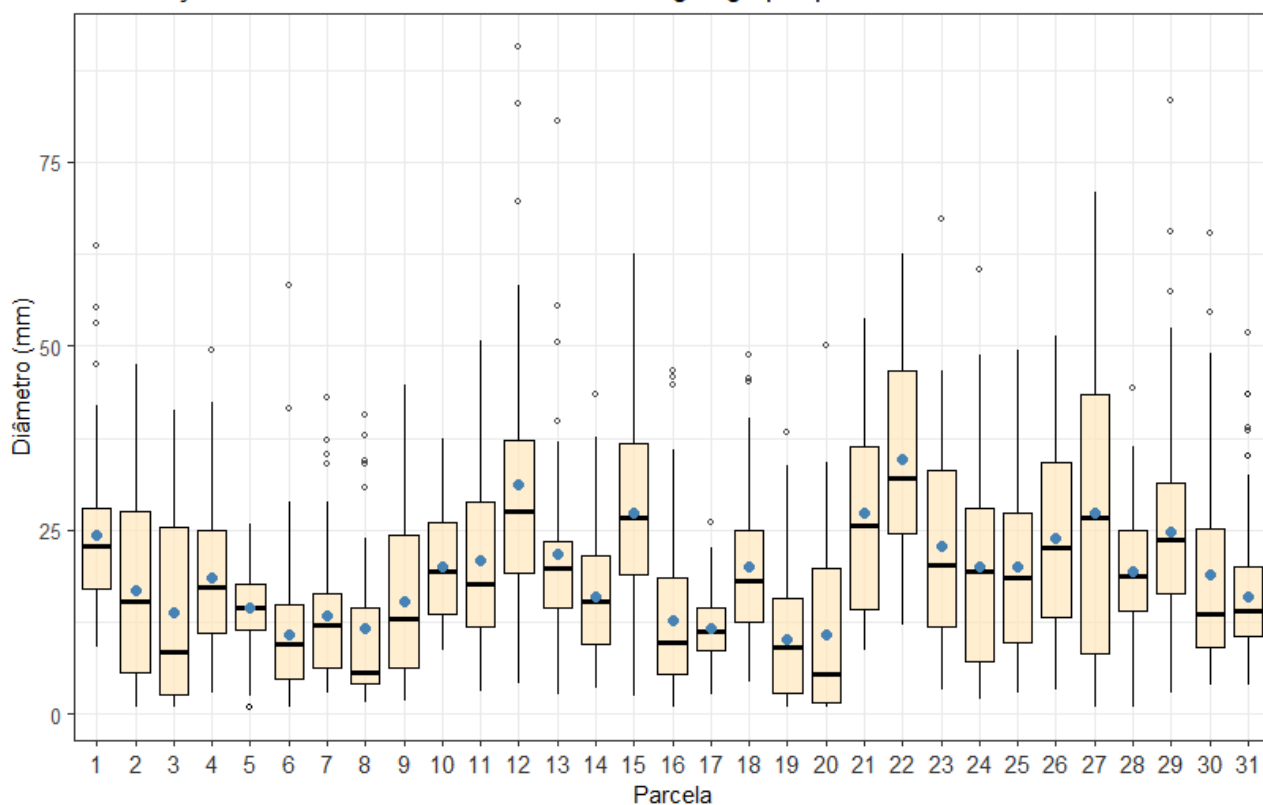


Figura 35. Distribuição dos diâmetros da base (cm) dos 1923 indivíduos de *Juniperus navicularis* avaliados nas 30 parcelas.

G) Em relação à copa dos indivíduos (Figura 36 e Figura 37):

- A distribuição da largura das copas apresenta, também, um enviesamento para a direita, uma vez que a maioria dos zimbros medidos tem larguras de copas mais baixas, sendo que à medida que a copa aumenta, a frequência diminui;
- A maioria dos indivíduos tem uma copa menor que 75 cm;
- A dispersão dos dados é relativamente ampla, variando entre indivíduos com 2 cm e os 192,5 cm de copa;
- A maior frequência está no intervalo de copa entre 25 e 50 cm. O pico da distribuição da copa ocorre em torno dos 35 cm.

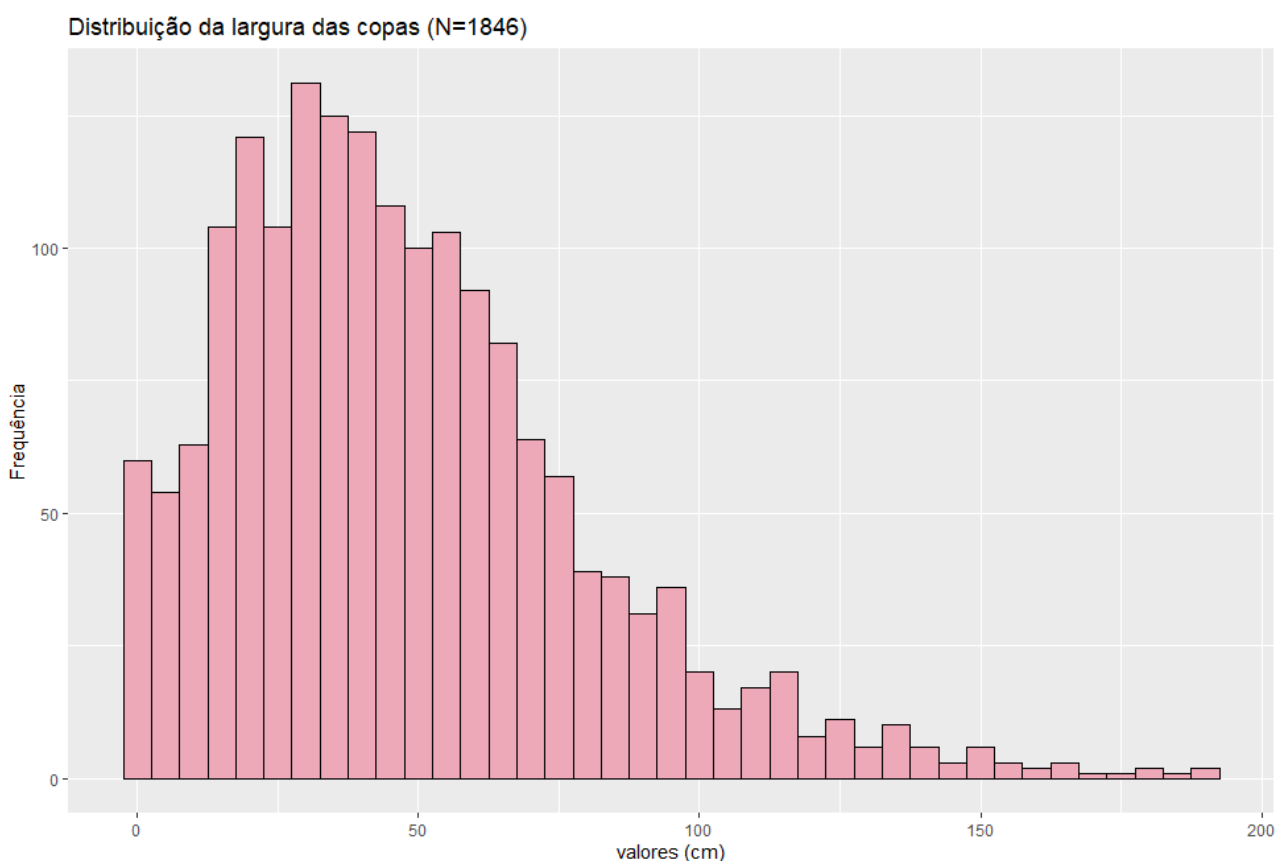


Figura 36. Histograma da distribuição da largura das copas (cm) dos 1846 indivíduos de *Juniperus navicularis* avaliados. Como na parcela 7 houve "missing values" a mesma foi retirada da amostra, pelo que nesta situação foram analisados menos 77 indivíduos.

- As copas registadas variam significativamente entre a média das parcelas (ex. entre as parcelas 1 e 14 ($Z=4.128$, $p=0.00795$));
- A parcela 22, tem uma mediana de copa maior, comparativamente com outras, enquanto nas parcelas 3, 19 e 20 a mediana é menor;
- Existem diversos *outliers*, indicando a presença de copas muito diferentes dos valores mais comuns de copa, como os que existem nas parcelas 16 e 30.

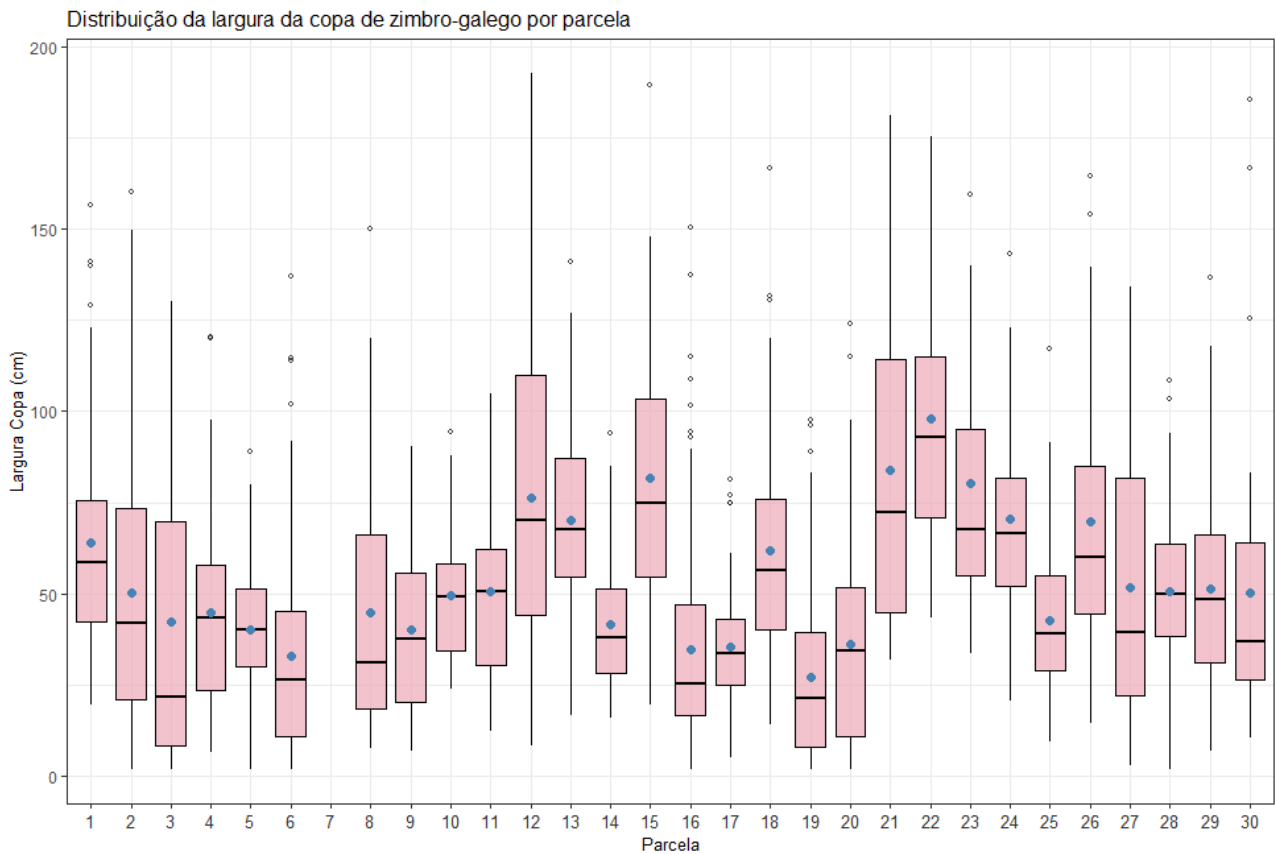


Figura 37. Distribuição da largura das copas base dos 1846 indivíduos de *Juniperus navicularis* avaliados nas 30 parcelas. Como na parcela 7 houve "missing values" a mesma foi retirada da amostra.

H) Em relação à idade estimada dos indivíduos (Figura 38 e Figura 39):

- A distribuição da classe de idades apresenta um enviesamento bastante pronunciado para a direita, revelando que a maioria dos zimbros amostrados apresentam idades mais baixas, sendo que à medida que a idade aumenta, a frequência diminui;
- A maioria dos indivíduos tem uma idade inferior a 40 anos;
- A dispersão dos dados é relativamente ampla, variando entre indivíduos com idade estimada inferior a 10 anos, a indivíduos com mais de 150 anos;
- A maior frequência encontra-se nos intervalos de menor idade, até aos 20 anos, onde se encontra cerca de metade da amostra total. O pico da distribuição da idade ocorre em torno das idades mais baixas, até aos 10 anos de idade.

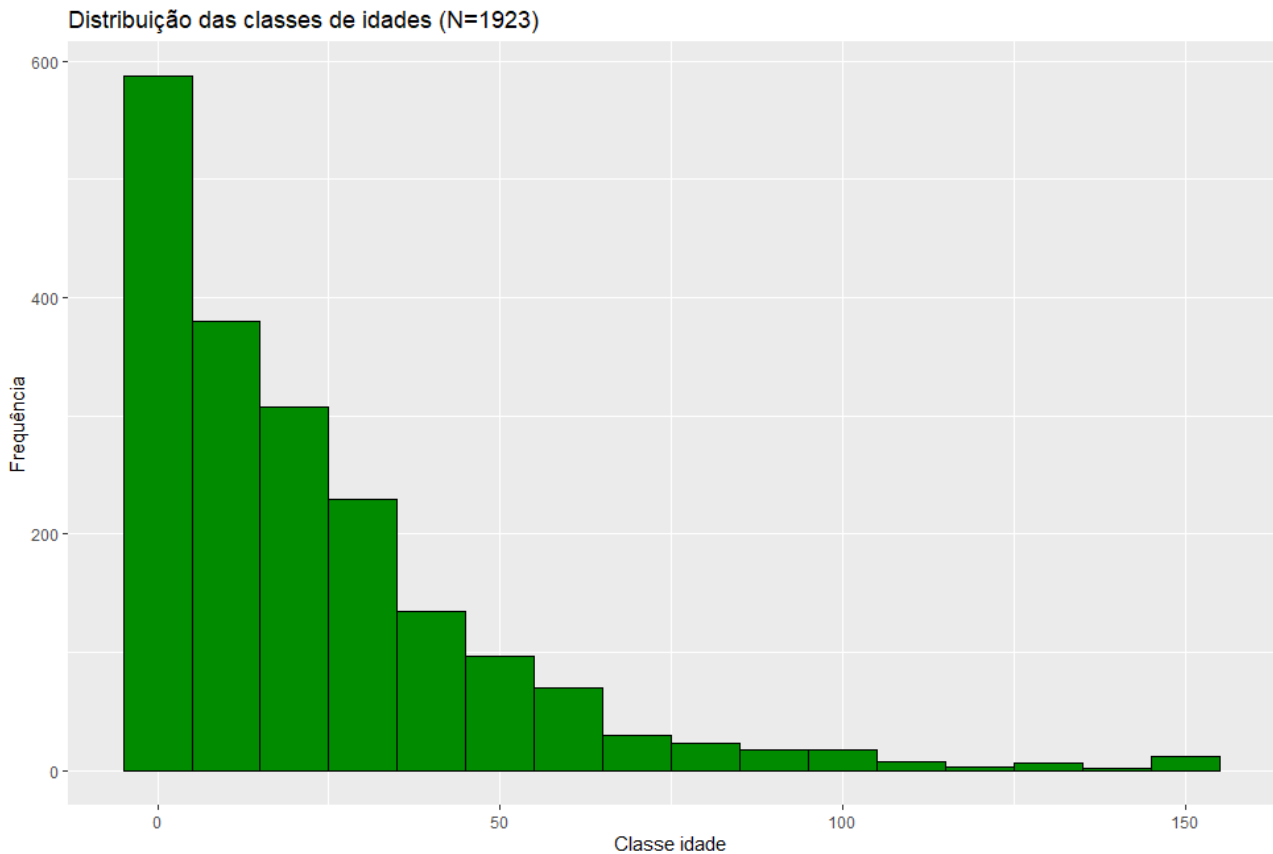


Figura 38. Histograma da distribuição das classes de idades estimadas, dos 1923 indivíduos de *Juniperus navicularis* avaliados.

- Apesar das idades registadas variarem entre a média das parcelas, a estrutura etária é semelhante. A maioria das parcelas é caracterizada por um grande número de indivíduos pertencentes às classes etárias mais baixas, sendo escassos indivíduos de maior idade. Estes resultados vão de encontro ao observado no terreno. A estes resultados associa-se a densidade de indivíduos relativamente alta ao longo destas parcelas (Figura 41). Uma provável limpeza generalizada e periódica do subcoberto do pinhal que ocorre ao longo de toda a Reserva, durante o século passado, poderá explicar a inexistência de indivíduos de maior idade. Ao efetuar a limpeza do subcoberto, os indivíduos desta espécie vão sendo progressivamente cortados (Neto, 2002), alguns dos quais regeneram a partir de toiça e propagação vegetativa a partir dos rizomas (Carmona-Velasco *et al.*, 2022). A existência de um número crescente de indivíduos nas classes etárias mais jovens pode estar relacionada com o facto da regeneração vegetativa depender também da quantidade de indivíduos presentes. Ou seja, quanto maior o número de indivíduos, maior é a probabilidade de ocorrerem novas regenerações vegetativas:

numa comunidade com poucos indivíduos, é espectável que haja menos indivíduos pequenos de origem vegetativa, do que numa comunidade de maior tamanho, porque haverá mais indivíduos capazes de produzir novos clones. No entanto, é espectável que esta tendência se mantenha apenas até ao ponto em que o espaço físico disponível na comunidade atinja um nível de saturação. Este resultado também confirma que estas comunidades não se encontram ainda no seu ótimo;

- Duma forma geral, a média por parcela nunca ultrapassa os 40 anos, sendo que na maioria das parcelas ronda os 30 anos de idade. A idade média estimada coincide com o período em que a atividade resineira em Portugal diminuiu drasticamente (após a década de 1980) (Lopes, 2011), com a posterior classificação da área em Sítio de Importância Comunitária (na década de 1990). Com a diminuição da atividade resineira, a gestão do subcoberto dos pinhais também diminuiu, permitindo assim a expansão das espécies constituintes do subcoberto, como o *J. navicularis*.
- A parcela 22, têm uma média maior (cerca de 60 anos), comparativamente com outras, enquanto nas parcelas 3, 6, 8, 16, 19 e 20 a média é menor (classe de idade inferior a 10 anos);
- Existem *outliers* na maioria das parcelas, indicando a presença de idades muito diferentes dos valores mais comuns de idade. Estes *outliers* representarão, provavelmente, indivíduos que sobreviveram às limpezas passadas do subcoberto.

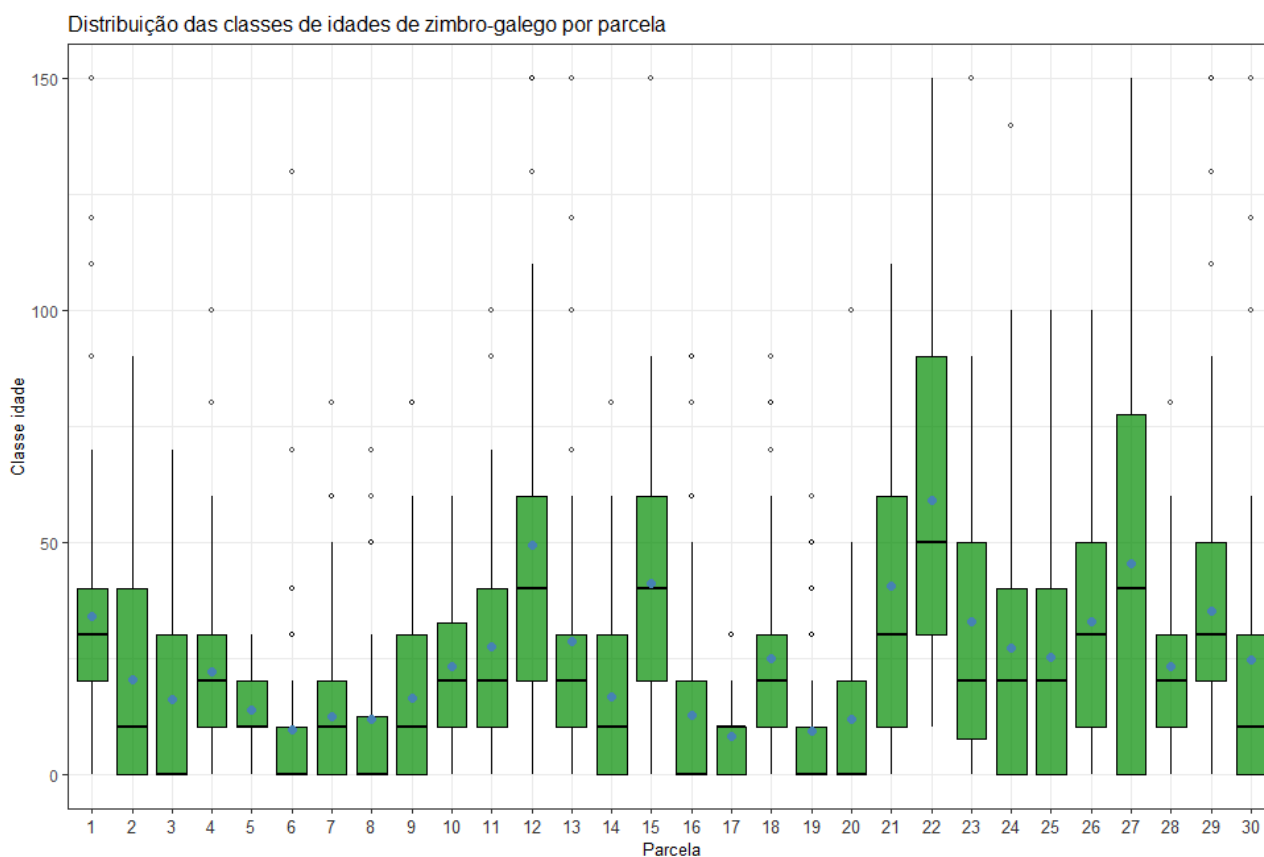


Figura 39. Distribuição da classe de idades 1923 indivíduos de *Juniperus navicularis* avaliados nas 30 parcelas.

Estes dados permitem concluir que as populações atuais de zimbro-galego da área de estudo apresentam valores de altura e diâmetro do tronco, bastante inferiores ao que se pensa poderem alcançar numa fase mais madura, confirmando o já referido em Neto (2002). Tal como as variáveis biométricas, a idade destas populações também é baixa. Assim, na sua grande maioria, as populações analisadas estão longe da sua potencialidade, ainda que tenham sido identificadas como das em melhor estado de conservação presentes na RNLAS.

Dos resultados obtidos com as restantes variáveis nas 30 parcelas amostradas destaca-se o seguinte (Figura 40, Figura 41, Figura 42, Figura 43, Figura 44 e Figura 45):

- Das 30 parcelas amostradas, em apenas 12 foi possível identificar pelo menos um dos géneros. Uma das razões deve-se ao facto de o período de amostragem ter sido tardio para o ano em questão, correspondendo ao final do período fenológico ótimo (fevereiro-abril) (Adams, 2014; Carmona-Velasco *et al.*, 2022). Refira-se também que muitos dos indivíduos são considerados como indiferenciados, por não apresentarem quaisquer estróbilos e/ou gálbulos. Muitos deles

provavelmente ainda não alcançaram a maturidade. O mesmo foi observado em populações espanholas por Carmona-Velasco *et al.* (2022);

- O género feminino foi o identificado num maior número de parcelas (10), em comparação com o género masculino que apenas foi identificado em 3 parcelas. Apenas foi possível identificar indivíduos femininos através da presença de gálbulos, não sendo visualizados estróbilos femininos ao longo de toda a amostragem. Quanto aos estróbilos masculinos, na maioria dos casos estes já se encontravam secos;
- Apenas foi possível identificar ambos os géneros na parcela 22. Tal como verificado por Carmona-Velasco *et al.* (2022), e ao contrário do observado por Castro *et al.* (2016), verificou-se uma agregação sexual (indivíduos do mesmo género tendem a formar conjuntos) ao longo das populações desta espécie. Devido à propagação vegetativa desta espécie, é muito provável que dentro de uma parcela muitos dos pés amostrados pertençam ao mesmo indivíduo, diminuindo assim a probabilidade de aí encontrar os dois géneros. Esta situação pode ser um inconveniente para a reprodução sexual da espécie, quando a distância que separa os dois géneros é demasiado elevada. Como se trata de uma espécie anemófila, também o efeito barreira à dispersão do pólen, proporcionado pelo pinhal (Muñoz-Reinoso *et al.*, 2013) pode acentuar ainda mais o efeito da distância entre os dois géneros. Também a competição com espécies não características dum zimbral, que se verificam nas formações que ocorrem sob pinhal (Neto, 2002; Muñoz-Reinoso, 2003), pode prejudicar a reprodução desta espécie.

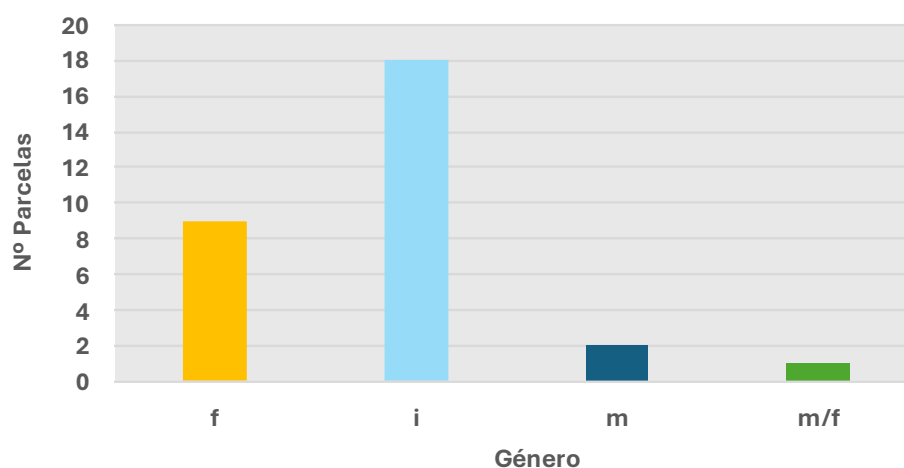


Figura 40. Distribuição dos géneros registados nas 30 parcelas. f = feminino; m = masculino; i = indefinido; m/f = masculino e feminino.

- A densidade de piorro ao longo das parcelas varia entre os 0,5 (parcelas 5, 22 e 26) e os 3,5 (parcela 19) indivíduos por m²;
- Na maioria das parcelas estudadas, a densidade não excede o valor de 2 indivíduos por m²;

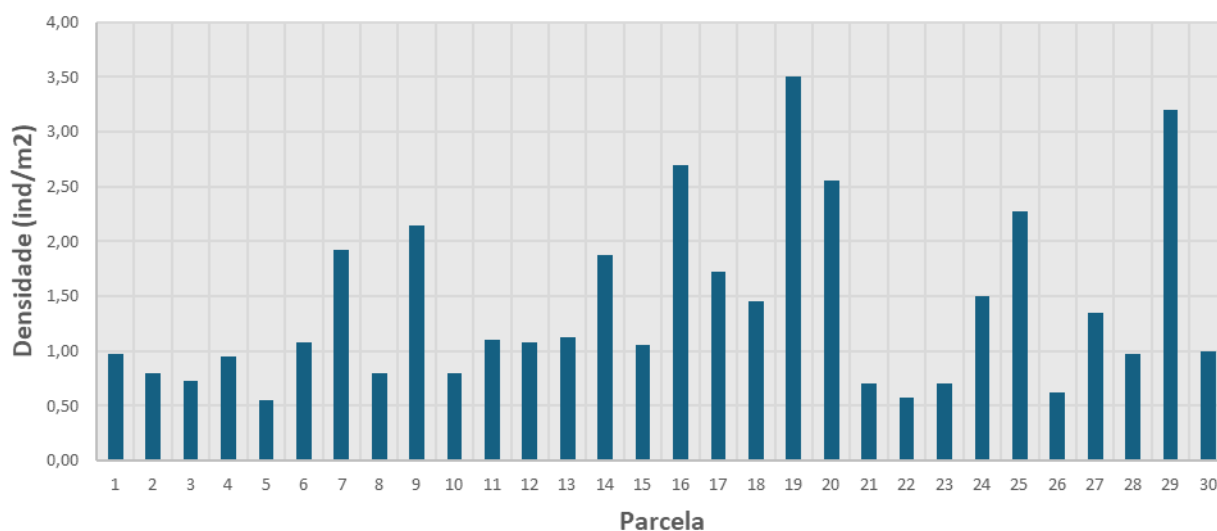


Figura 41. Distribuição da densidade de *Juniperus navicularis* registada nas 30 parcelas amostradas.

- Estas parcelas localizam-se a uma distância máxima de cerca de 1290 metros do mar (parcela 21) e a uma distância mínima de cerca de 230 metros do mar (parcela 29). Mais de metade destas parcelas localiza-se a uma distância ao mar entre os 400 e os 800 metros;

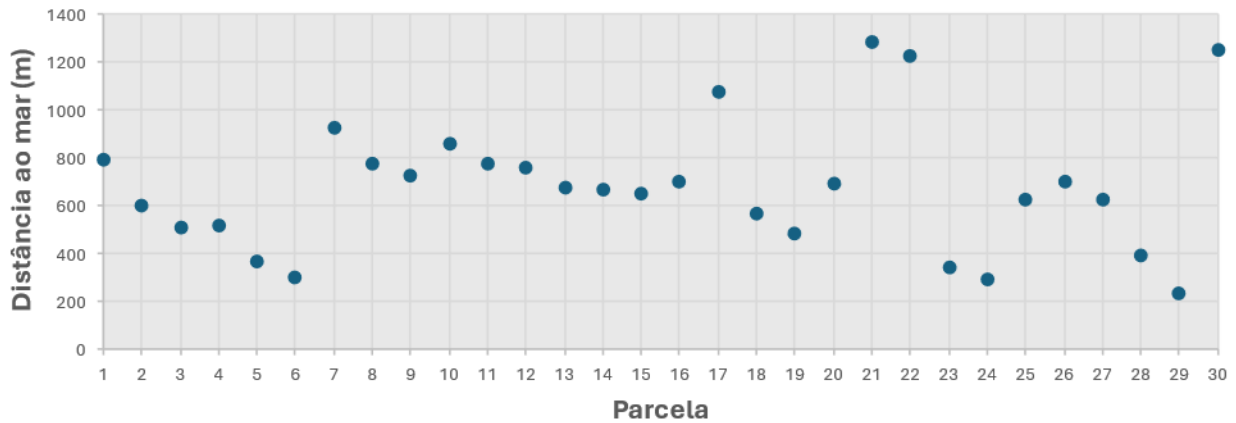


Figura 42. Distância ao mar das 30 parcelas amostradas.

- O coberto arbóreo em cada parcela é por norma baixo, não ultrapassando os 45% de cobertura arbórea, com exceção das parcelas 13 e 21 com 80% e 65% de coberto arbóreo, respetivamente;
- O coberto total da vegetação é elevado, nunca menor de 55%, com 4 parcelas em que este parâmetro alcança os 95%;
- O coberto de *J. navicularis* em cada parcela é elevado, com uma média de 46%, sendo que na parcela 1 este alcança os 90%.

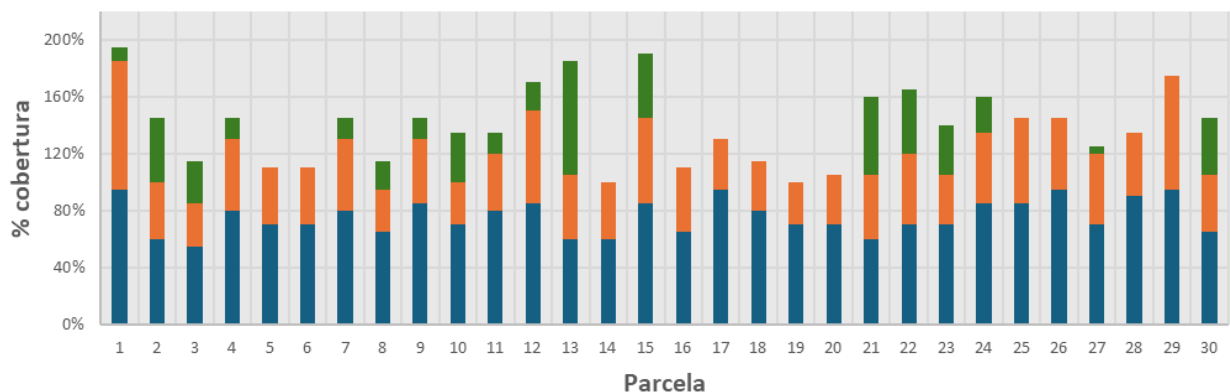


Figura 43. Percentagem de coberto arbóreo (verde), total (arbusivo) (azul) e de *Juniperus navicularis* (laranja) das 30 parcelas amostradas.

- Existe uma correlação moderada positiva ($r(29)=0.560$, $p=0.00128$) entre a altura destes indivíduos e a distância ao mar, sugerindo que os ventos marinhos e a salinidade podem afetar a altura do piorro (Neto & Capelo, 2004). O mesmo não se verifica em relação ao diâmetro do tronco ou à copa, em que a correlação é baixa ($r(29)=0.285$, $p=0.132$) e ($r(29)=0.365$, $p=0.0509$), respetivamente);
- A matriz de correlação indica também que existe uma correlação significativa, positiva, entre o coberto arbóreo e a copa dos indivíduos, nomeadamente a área e a largura da copa ($r(29)=0,561$, $p=0,00153$) e ($r(29)=0.544$, $p=1.858 \times 10^{-3}$), respetivamente. Este facto sugere a necessidade de ampliação da copa em situações de maior ensombramento. O mesmo não se verifica em relação ao diâmetro do tronco e altura (ao contrário dos resultados obtidos por Carmona-Velasco *et al.* (2022)) (verificou-se uma correlação baixa e não significativa (respetivamente $r(29)=0.379$, $p=3.877 \times 10^{-2}$) e ($r(29)=0.544$, $p=1.858 \times 10^{-3}$));
- Estes resultados vêm legitimar o uso generalizado do modelo de crescimento selecionado, que tem como base o diâmetro do tronco, uma vez que o mesmo não estará dependente da distância ao mar ou da cobertura de pinhal;
- A correlação entre a razão altura/diâmetro do tronco e a distância ao mar torna-se graficamente mais evidente, quando a distância ao mar é agrupada em três classes.

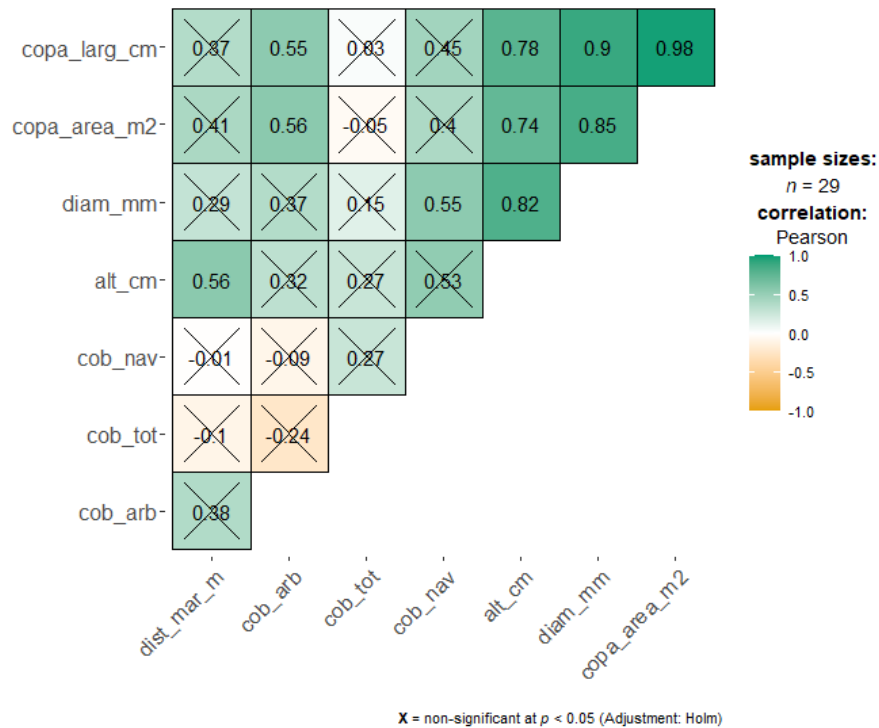


Figura 44. Matriz de correlação entre a média de todas as variáveis por parcela, na RNLAS. Como na parcela 7 houve “missing values” a mesma foi retirada da amostra, pelo que nesta situação foram analisadas apenas 29 parcelas. Valores de correlação não significativos encontram-se assinalados com um X. *copa_larg_cm* = largura da copa; *copa_area_m2* = área da copa; *diam_mm* = diâmetro da base do tronco; *alt_cm* = altura; *cob_nav* = cobertura de *J. navicularis*; *cob_tot* = cobertura arbustiva; *cob_arb* = coberto arbóreo; *dist_mar_m*=distância ao mar.

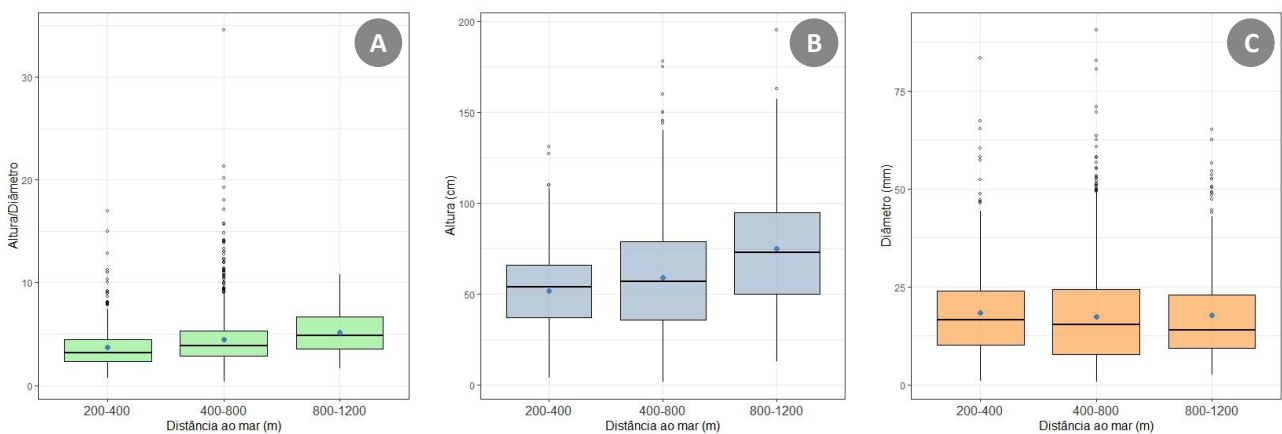


Figura 45. Distribuição da razão Altura/diâmetro da base do tronco (A), da Altura (B) e do Diâmetro da base do tronco (C), nas 30 parcelas amostradas, ao longo de três intervalos de distância ao mar.

5. Conclusão

Atualmente, encontramos-nos na denominada “Década do Restauro”, um período crucial no qual se pretende restaurar os ecossistemas europeus, com o objetivo de garantir a manutenção dos seus serviços no futuro. A importância e a amplitude territorial desta iniciativa requerem que a mesma seja acompanhada por uma base sólida de conhecimentos científicos que permitam apoiar as decisões de gestão. No entanto, em diversas situações, o conhecimento sobre as espécies que compõem os ecossistemas ainda é insuficiente, o que representa um risco acrescido na implementação eficaz das ações de restauro. Neste sentido, o presente estudo contribuiu para aprofundar os conhecimentos sobre uma espécie pouco frequente (*Juniperus navicularis*) que define um habitat de Interesse Comunitário (habitat 2250*), prioritário para a conservação e para a implementação de ações de restauro, uma vez que se encontra avaliado como estando em mau estado de conservação no seu território, com tendência decrescente.

O estudo efetuado na presente tese vem confirmar que *Juniperus navicularis*, espécie endémica e ameaçada, enfrenta várias pressões que comprometem a sua conservação. Entre inúmeros desafios demográficos e reprodutivos, os resultados obtidos com esta dissertação sugerem que as mesmo as melhores populações desta espécie são estruturalmente jovens, e que a maioria dos seus indivíduos apresenta uma idade muito inferior àquela que podem alcançar na natureza.

A cartografia das manchas populacionais, realizada na Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha, mostrou uma área considerável de comunidades de *Juniperus navicularis* aparentemente bem estruturadas, resultado do estatuto de proteção que o território beneficia há algumas décadas. Contudo, quer as observações de campo, quer os resultados obtidos durante a análise biométrica e etária das populações, indicam que as mesmas se encontram longe do seu potencial estrutural. Os valores de altura, diâmetro da copa e idade revelaram-se inferiores ao esperado para esta comunidade climática madura. De facto, o estudo biométrico das populações de *J. navicularis* evidenciou o crescimento muito lento da espécie, revelando que, com raríssimas exceções, os indivíduos apresentam uma altura inferior a 2m, contrastando com os 5 m já referidos por Neto (2002) e observados pontualmente em áreas da Rede Natura portuguesa. Esta conclusão é confirmada pela análise dendrocronológica e pela estimativa da idade dos indivíduos desta espécie na Reserva. Estas populações de zimbro apresentam, em média, cerca de 40 anos de idade,

valor inferior ao que seria de esperar numa população em bom estado de conservação, cujos indivíduos poderão alcançar mais de 100 anos. A explicação mais provável para esta situação reside nas plantações do pinhal efetuadas neste território, que terão levado ao corte generalizado dos indivíduos ao longo de toda a área, no decorrer da década de 80 (Neto, 2002; Castro *et al.*, 2016). Felizmente, graças à sua capacidade de propagação vegetativo, muitos destes indivíduos terão conseguido regenerar-se após a intervenção e expandir-se gradualmente.

O estudo dendrocronológico revelou um crescimento extremamente lento desta espécie, que pode levar várias décadas, ou até mais de um século, para que os indivíduos alcancem o porte dos exemplares de maiores dimensões conhecidos e para que as comunidades atinjam o seu ótimo estrutural. Esta informação é particularmente relevante para a gestão territorial, pois destaca a importância crucial de preservar os núcleos populacionais atualmente existentes, mesmo em detrimento da criação de novas áreas. Para além disso, estes dados têm implicações cruciais para as medidas de compensação geralmente exigidas em projetos de interesse público que envolvem a destruição deste habitat prioritário. Sublinha-se que a recuperação destas áreas é um processo longo, exigindo medidas de compensação cuidadosamente ajustadas a esta realidade temporal para garantir a sua eficácia e sustentabilidade a longo prazo.

Em relação à equação de crescimento obtida, a mesma permitiu proceder a uma primeira estimativa da idade das populações desta espécie ao longo da Reserva. Contudo, é necessário continuar este estudo e melhorar a amostragem de forma a conseguir obter um modelo mais robusto, ainda que para isso seja necessário o corte de indivíduos de maior idade. Apesar de terem sido registados indivíduos femininos e masculinos ao longo da Reserva, não foi detetado qualquer indivíduo com aparente origem seminal, situação já reportada noutros estudos (Castro *et al.*, 2016; Diez-Garretas *et al.*, 2017; Carmona-Velasco *et al.*, 2022). O facto de vários pés potencialmente pertencerem ao mesmo indivíduo gera uma preocupação acrescida sob esta espécie ameaçada, assim como impõe a necessidade urgente de averiguar a real diversidade genética do piorno. Se estas suposições se confirmarem, a real diversidade genética destas populações, poderá ser bem menor do que o estimado anteriormente. Este fator (depressão genética) pode também afetar a viabilidade das sementes e ser um fator explicativo para a diminuta presença de sementes viáveis (Muñoz-Reinoso & Graia, 2009).

Várias populações desta espécie ocorrem no subcoberto do pinhal, tendo já sido referidos os impactos negativos associados a estas condições, também discutidos em trabalhos feitos em

espanha (Carmona-Velasco *et al.*, 2022). Este estudo, revelou que, ao contrário do esperado, entre as variáveis biométricas analisadas, apenas a largura da copa apresenta uma correlação significativa com o coberto do pinhal, neste caso, uma correlação positiva. Porém, a influência do pinhal nestas comunidades deve ser aprofundada, de forma a perceber-se melhor o seu efeito em vários outros parâmetros, nomeadamente ao nível das comunidades bióticas do solo, presença de comunidades líquénicas e influência no esforço reprodutivo da espécie. A remoção do pinhal permitiria restabelecer as condições típicas de um zimbral dunar (Muñoz-Reinoso *et al.*, 2013), pelo que se espera que seja possível a melhoria das condições típicas e, conseqüentemente, do seu estado de conservação. Contudo, mais estudos são necessários a este respeito.

Com todos os resultados obtidos foi possível conhecer melhor uma espécie quase exclusiva do território português, perceber várias limitações à sua conservação, estabelecer alguns princípios referentes à gestão do seu habitat e, ainda, levantar novas questões que deverão ser abordadas em estudos futuros de forma a melhor preservarmos este património nacional.

Referências

- Acosta, A., Carranza, M. & Izzi, C. (2005). Combining land cover mapping of coastal dunes with vegetation analysis. *Applied Vegetation Science*, 8(2), 133-138.
- Acosta, A., Jucker, T., Prisco, I. & Santoro, R. (2013). Passive recovery of Mediterranean coastal dunes following limitations to human trampling. *Restoration of coastal dunes*, 187-198.
- Adams, R. (2000). Systematics of *Juniperus* section *Juniperus* based on leaf essential oils and random amplified polymorphic DNAs (RAPDs). *Biochemical Systematics and Ecology*, 28(6), 515-528.
- Adams, R. (2014). *Junipers of the world: the genus Juniperus*. Trafford Publishing.
- Adams, R. (2018). Evolution of dioecious/monecious taxa in *Juniperus*, contrasted with *Cupressus*, *Hesperocyparis*, *Callitropsis* and *Xanthocyparis* (Cupressaceae). *Phytologia*, 100(4), 248-255.
- Adams, R. & Thornburg, D. (2010). Seed dispersal in *Juniperus*: a review. *Phytologia*, 92(3), 424-434.
- Adams, R. & Schwarzbach, A. (2012). Taxonomy of *Juniperus* section *Juniperus*: Sequence analysis of nrDNA and five cpDNA regions. *Phytologia*, 94(2), 280-297.
- Aguiar, C. (2021). Superasterídeas: ordens basais. *Sistemática das Plantas Vasculares*. Edições Lisboa Capital Verde Europeia 2020, Botânica em Português 3, Imprensa nacional, Lisboa, pp 141-147.
- ALFA. (2004). Tipos de Habitats Naturais e Semi-Naturais do Anexo I da Directiva 92/43/CEE (Portugal Continental): Fichas de Caracterização Ecológica e de Gestão para o Plano Sectorial da Rede Natura 200. Relatório. Lisboa.
- ALFA. (2006). Fichas de Caracterização Ecológica e de Gestão (Habitats Naturais – Caracterização). Associação Lusitana de Fitossociologia. Plano Sectorial da Rede Natura 2000. Vol. II (Valores Naturais). Instituto da Conservação da Natureza.
- Almeida, J., Godinho, C., Leitão, D. & Lopes, R. (2022). Lista Vermelha das Aves de Portugal Continental. SPEA, ICNF, Labor/UÉ, CIBIO/BIOPOLIS, Portugal.
- Andrzejczyk, T. & Brzeziecki, B. (1995). The structure and dynamics of old-growth *Pinus sylvestris* (L.) stands in the Wigry National Park, north-eastern Poland. *Vegetatio*, 117, 81-94.
- Aouadj, S., Zouidi, M., Allam, A., Brahmi, M., Djebbouri, M., Nasrallah, Y., Hasnaoui, O., Nouar, B. & Khatir, H. (2022). Preliminary study of the pre-germinative treatments of *Juniperus oxycedrus* L. and *Pistacia lentiscus* L. in the Saida region (Western Algeria). *Biodiversity: Research and Conservation*, 67, 13-20.
- Asensi, A. & Diez-Garretas, B. (2017). Coastal vegetation. In L. Javier (Ed.), *The vegetation of the Iberian Peninsula: Volume 2* (397-432). Utrecht: Springer.
- Ballantyne, M. & Pickering, M. (2013). Tourism and recreation: a common threat to IUCN red-listed vascular plants in Europe. *Biodiversity and Conservation*, 22, 3027-3044.
- Bivand, R. & Wong, D. (2018). "Comparing implementations of global and local indicators of spatial association." *_TEST_*, 27(3), 716-748. doi:10.1007/s11749-018-0599-x. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11749-018-0599-x>>. [consultado em 12-08-2024].
- Boratyński, A., Wachowiak, W., Dering, M., Krystyna, B., Sekiewicz, K., Sobierajska, K., Boratynska, K., Sekiewicz, K., Jasinska, A., Klimko, M., Montserrat, J., Romo, A., Ok, T. & Didukh, Y. (2014). The biogeography and genetic relationships

of *Juniperus oxycedrus* and related taxa from the Mediterranean and Macaronesian regions. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 174(4), 637-653.

Broome, A. (2003). Growing juniper: propagation and establishment practices. Forestry Commission Information Note 50. Forestry Commission, Edinburgh, UK.

Burkhardt, H. & Tomé, M. (2012). Modeling forest trees and stands. Springer Science & Business Media.

Callaway, R. & Davis, F. (1998). Recruitment of *Quercus agrifolia* in central California: the importance of shrub-dominated patches. *Journal of Vegetation Science*, 9(5), 647-656.

Calvão, T., Pessoa, M. & Lidon, F. (2013). Impact of human activities on coastal vegetation-a review. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25(12), 926-944.

Carapeto A., Francisco A., Pereira P. & Porto, M. (eds.) (2020). Lista Vermelha Da Flora Vascular De Portugal Continental. Sociedade Portuguesa de Botânica, Associação Portuguesa de Ciência da Vegetação – PHYTOS e Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (coord.). Coleção «Botânica em Português», Volume 7. Lisboa: Imprensa Nacional, 374 pp.

Carapeto, A., Porto, M., Chozas, S., Caraça, R., Raposo, M., Clamote, F., Pereira, J. & Schwarzer, U. (2023). *Juniperus navicularis* Gand.: mapa de distribuição. Flora-On: Flora de Portugal Interativa, Sociedade Portuguesa de Botânica. <<https://flora-on.pt/#1Juniperus+navicularis>> [consultado em 10-03-2023].

Cardinale, B., Palmer, M. & Collins, S. (2002). Species diversity enhances ecosystem functioning through interspecific facilitation. *Nature*, 415(6870), 426-429.

Carmona-Velasco, J., García-Cervigón, A. & Casimiro-Soriguer, R. (2022). Population and reproductive structure of an endangered juniper from coastal pine forests. *Journal for Nature Conservation*, 67, 126178.

Castro, M., Belo, A., Afonso, A. & Zavattieri, M. (2011). Micropropagation of *Juniperus navicularis*, an endemic and rare species from Portugal SW coast. *Plant Growth Regulation*, 65, 223-230.

Castro, R., Belo, A., Afonso, A. & Zavattieri, M. (2016). *Juniperus navicularis*-a study of Portuguese population structure and fitness. *Lazaroa*, 37, 31-41.

Catalán, P. (1997). *Arceuthobium* M. Bieb. in Castroviejo, S., Aedo, C., Laínz, M., Muñoz Garmendia, F., Nieto Feliner, G., Paiva, J. & Benedí, C. (eds.). *Flora iberica* 8: 164-166. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid.

Cavaleiro, C., Salgueiro, L., da Cunha, A., Figueiredo, A., Barroso, J., Bighelli, A. & Casanova, J. (2003). Composition and variability of the essential oils of the leaves and berries from *Juniperus navicularis*. *Biochemical systematics and ecology*, 31(2), 193-201.

CNA. (1982). Atlas do ambiente. Carta Litológica – complexos litólicos. Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. Identificador dos Metadados: E6A5A317-AD66-4C7F-9311-1D4C8179FF37.

- Corre, J. (1991). The sand dunes and their vegetation along the Mediterranean coast of France. Their likely response to climatic change. *Landscape Ecology*, 6, 65-75.
- Costa, J., Aguiar, C., Capelo, J., Lousã, M. & Neto, C. (1998). Biogeografia de Portugal continental. Quercetea.
- Diez-Garretas, B., Pereña, J. & Asensi, A. (2017). Morphological analysis, chorology and ecology of *Juniperus navicularis* Gand. in the Iberian Peninsula. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 151(1), 168-173.
- Diez-Garretas, B., Soriano, P., Costa, M. & Asensi, A. (2022). Assessing coastal habitats with *Juniperus* sp. pl. in the Iberian Peninsula and on the Balearic Islands. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 156(2), 396-410.
- Edelstein-Keshet, L. (2005). Exponential growth and decay, logistic models, and other non-linear models (Cap. 2). In *Mathematical Models in Biology* (pp. 27-60). SIAM.
- EEA. European Environment Agency. (2020). State of nature in the EU Results from reporting under the nature directives 2013-2019. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020.
- EEA. European Environment Agency. (2020a). Habitats Directive Article 17 Web Tool WMS - Habitat assessments at EU biogeographical level - Version 2020. European Environment Agency (EEA). Disponível em: <<https://nature-art17.eionet.europa.eu/article17/habitat/summary/?period=5&group=>>. [consultado em 10-01-2024].
- European Commission. (1992). Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora, OJ L 206, 22.7.1992, pp. 7-50.
- Farjon, A. (2010). A handbook of the world's conifers, Vol. 1. The Netherlands: Koninklijke Brill. pp. 430–433.
- Feio, M. & Daveau, S. (2004). O Relevo de Portugal, Grandes Unidades Regionais. Associação Portuguesa de Geomorfólogos. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos II. Coimbra.
- Ferreira, C., Jiménez, C., Serrano, M., Vieira, C. & Vila-Viçosa, C. (2024). Typification of the Iberian endemic Juniper *Juniperus navicularis* Gand. (Cupressaceae). *Phytotaxa*, 660(2), 181-190.
- Fox, J. & Weisberg, S. (2019). *An R Companion to Applied Regression*, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA. Disponível em : <<https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>>. [consultado em: 14-09-2024].
- Franco, J. (1963). Taxonomic Notes on *Juniperus oxycedrus* L. and *J. macrocarpa* SM. *Repertorium novarum specierum regni vegetabilis*, 68(3), 163-167.
- Franco, A. (1986). *Juniperus* L. In: Castroviejo, S., Laínz, M., López González, G., Muñoz Garmendia, F., Montserrat, P., Paiva, J. & Villar, L. (eds.). *Flora iberica* 1: 180-188. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid.
- Fridley, J. (2001). The influence of species diversity on ecosystem productivity: how, where, and why?. *Oikos*, 93(3), 514-526.

- Fuller, T. & DeStefano, S. (2003). Relative importance of early-successional forests and shrubland habitats to mammals in the northeastern United States. *Forest Ecology and Management*, 185(1-2), 75-79.
- Gandoger, M. (1910). Notes sur la flore hispano-portugaise. Quatrième voyage en Portugal IX. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 57(1), 54-62.
- Gao, P., Kang, M., Wang, J., Ye, Q. & Huang, H. (2009). Neither biased sex ratio nor spatial segregation of the sexes in the subtropical dioecious tree *Eurycorymbus cavaleriei* (Sapindaceae). *Journal of Integrative Plant Biology*, 51(6), 604-613.
- García, D., Zamora, R., Hódar, A. & Gómez, M. (1999). Age structure of *Juniperus communis* L. in the Iberian peninsula: conservation of remnant populations in Mediterranean mountains. *Biological Conservation*, 87(2), 215-220.
- García, D., Zamora, R., Gómez, M., Jordano, P. & Hódar, A. (2000). Geographical variation in seed production, predation and abortion in *Juniperus communis* throughout its range in Europe. *Journal of Ecology*, 88(3), 435-446.
- García-Cervigón, A., Velázquez, E., Wiegand, T., Escudero, A. & Olano, J. (2017). Colonization in Mediterranean old-fields: the role of dispersal and plant–plant interactions. *Journal of Vegetation Science*, 28(3), 627-638.
- Goetz, S., Mack, M., Gurney, K., Randerson, J. & Houghton, R. (2007). Ecosystem responses to recent climate change and fire disturbance at northern high latitudes: observations and model results contrasting northern Eurasia and North America. *Environmental Research Letters*, 2(4), 045031.
- Götmark, F., Götmark, E. & Jensen, A. (2016). Why be a shrub? A basic model and hypotheses for the adaptive values of a common growth form. *Frontiers in Plant Science*, 7, 203229.
- Gutierrez, F. (2014). Estrutura e dinâmica dos habitats e da paisagem dos sítios estuário do sado e comporta/galé – um contributo para a gestão e restauro ecológico. Doctoral dissertation: Institute of Geography and Spatial Planning, Universidade de Lisboa.
- Gutiérrez-Larruscain, D., Vargas, P., Fernández-Mazuecos, M. & Pausas, J. (2024). Phylogenomic analysis reveals the evolutionary history of Palearctic needle-leaved junipers. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 108162.
- IBM Corp. (2023). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 29.0.2.0 Armonk, NY: IBM Corp.
- IPMA. (2023). Fichas Climatológicas 1981-2010. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I. P. Disponível em: <<https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/normalclimate8110.jsp>>. [consultado em 05-12-2023].
- Juan, R., Pastor, J., Fernández, I. & Diosdado, C. (2003). Relationships between mature cone traits and seed viability in *Juniperus oxycedrus* L. subsp. *macrocarpa* (Sm.) Ball (Cupressaceae). *Acta Biol Cracov Bot*, 45(2), 69-78.
- Juan, R., Pastor, J., Fernández, I. & Diosdado, C. (2006). Seedling emergence in the endangered *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* (Sm.) Ball in southwest Spain. *Acta Biol Cracov Bot*, 48(2), 49-58.

- LNEG. (2023). Carta Geológica de Portugal, na escala 1:1 000 000. GeoPortal da Energia e Geologia. Laboratório Nacional de I.P. Disponível em: <https://geoportal.lneg.pt/pt/dados_abertos/cartografiageologica/cgp1m/cgp1m/>. [consultado em 05-12-2023].
- Lopes, F. (2011). Resinagem: Em busca da actividade perdida, Revista da Associação Nacional de Empresas Florestais Agrícolas e do Ambiente, nº 14, 4 - 5.
- Lyons, R., Keith Owens, M. & Machen, R. (1998). Juniper biology and management in Texas. Texas Agricultural Extension Service, Texas A & M University System.
- Marchante, H., Morais, M., Freitas, H. & Marchante, E. (2014). Guia prático para a identificação de plantas invasoras em Portugal. Imprensa da Universidade de Coimbra/Coimbra University Press.
- Martínez, M., Intralawan, A., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O., Sutton, P. & Landgrave, R. (2007). The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological economics*, 63(2-3), 254-272.
- Martínez, M., Hesp, P. & Gallego-Fernández, J. (2013). Coastal dunes: human impact and need for restoration. *Restoration of coastal dunes*, 1-14.
- Martins, M. (2016). Ecosistemas Psamófilos das Praias e Dunas de Portugal Continental (Padrões Fitogeográficos, Dinâmicas e Prioridades de Conservação). Tese de Doutoramento em Geografia Física. IGOT-UL, Lisboa, 299p.
- MEA. Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Meireles, C., Baião, C., Martins M., Pinto-Gomes, C., Silva, M., Sousa, I., Espirito-Santo, D. & Silva, D. (2022). ZECPTCON0034 COMPORTA/GALÉ. Cartografia de habitats naturais e seminaturais e de espécies de flora de sítios classificados no âmbito da Diretiva Habitats (Operação Poseur-03-2215-FC-000005). Lisboa.
- Moré, J. (2006). "The Levenberg-Marquardt algorithm: implementation and theory." *Numerical analysis: proceedings of the biennial Conference held at Dundee, June 28–July 1, 1977*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Moreno, J. (coord.) (2008). Lista Roja 2008 de la flora vascular española. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, y Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas), Madrid, 86 pp.
- Mulder, C., Uliassi, D. & Doak, D. (2001). Physical stress and diversity-productivity relationships: the role of positive interactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(12), 6704-6708.
- Muñoz-Reinoso, J. (2003). *Juniperus oxycedrus* spp. macrocarpa in Spain: Ecology and conservation problems. *Journal of Coastal Conservation* 9; 113-122.
- Muñoz-Reinoso, J. & Graia, F. (2009). 2250 Dunas litorales con *Juniperus* spp. (*). En: VV., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 61 p.

- Muñoz-Reinoso, J., Saavedra Azqueta, C. & Redondo Morales, I. (2013). Restoration of Andalusian coastal juniper woodlands. *Restoration of coastal dunes*, Springer, 145-158.
- Neto, C. (2002). A Flora e a Vegetação do superdistrito Sadense (Portugal). *Guineana*.
- Neto, C. & Capelo, J. (2004). Comunidades vegetais dos solos arenosos podzolizados do Sado e Costa da Galé. Uma interpretação fitossociológica dos dados paleoecológicos e geomorfológicos. *Silva Lusit*, 12(2), 256-262.
- Neto, C., Geraldès, M. & Almeida, D. (2020). The Tróia Peninsula - An Aeolian Sedimentological Legacy. *Landscapes and landforms of Portugal*. Springer.
- Neto, C., Fonseca, J. & Costa, C. (2020a). Areias envolventes do estuário do Sado. Sítios de Interesse Botânico de Portugal Continental I. Edições Lisboa Capital Verde Europeia 2020, *Botânica em Português* 5, Imprensa nacional, Lisboa. 34-47.
- Neto, C. & Capelo, J. (2021). Vegetação do Sado e Ribatejo. A vegetação de Portugal. Edições Lisboa Capital Verde Europeia 2020, *Botânica em Português* 4, Imprensa nacional, Lisboa. 103-109.
- Neto, C., Costa, J. & Fonseca, J. (2021). Flora e vegetação das praias e dunas de Portugal. A vegetação de Portugal. Edições Lisboa Capital Verde Europeia 2020, *Botânica em Português* 4, Imprensa nacional, Lisboa, pp 277-293.
- Obeso, J. (2002). The costs of reproduction in plants. *New phytologist*, 155(3), 321-348.
- Ortiz, P., Arista, M. & Talavera, S. (1998). Low reproductive success in two subspecies of *Juniperus oxycedrus* L. *International Journal of Plant Sciences*, 159(5), 843-847.
- Ortiz, P., Arista, M. & Talavera, S. (2002). Sex ratio and reproductive effort in the dioecious *Juniperus communis* subsp. *alpina* (Suter) Čelak. (Cupressaceae) along an altitudinal gradient. *Annals of botany*, 89(2), 205-211.
- Otto, R., Barone, R., Delgado, J., Arévalo, J., Garzón-Machado, V., Cabrera-Rodríguez, F. & Fernández-Palacios, J. (2012). Diversity and distribution of the last remnants of endemic juniper woodlands on Tenerife, Canary Islands. *Biodiversity and Conservation*, 21, 1811-1834.
- Patil, I. (2021). Visualizations with statistical details: The 'ggstatsplot' approach. *Journal of Open Source Software*, 6(61), 3167, doi:10.21105/joss.03167.
- Pavão, D., Jevšenak, J., Petrillo, M., Camarinho, R., Rodrigues, A., Borges Silva, L., Rodrigues, A. & Silva, L. (2022). Dendrochronological potential of the Azorean endemic gymnosperm *Juniperus brevifolia* (Seub.) Antoine. *Dendrochronologia*, 71, 125901.
- Pérez-Latorre, A. & Cabezudo, B. (2009). *Juniperus* L. In: Blanca G, Cabezudo B, Cueto M, Salazar C, Morales Torres C, editors. *Flora vascular de Andalucía Oriental*. Sevilla [Vascular flora of Eastern Andalusia]: Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente. pp 84–87.
- Picchi, S. (2008). Management of Natura 2000 habitats. 2250* Coastal dunes with *Juniperus* spp. European Commission.
- Primack, R. (2008). Chapter 6 - Conserving Populations and Species. A primer of conservation biology. Sunderland: Sinauer Associates, 349, 157-200.

- QGIS. QGIS Development Team. (2024). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rai, S., Reeves, A., Peakall, R., Olmstead, G. & Graham, W. (2008). Inference of higher-order conifer relationships from a multi-locus plastid data set. *Botany*, 86(7), 658-669. [consultado em 12-04-2023].
- Rivas-Martínez, S., Lousã, M., González, T., González, F. & da Costa, J. (1990). La vegetación del sur de Portugal (Sado, Alentejo y Algarve). *Itinera geobotanica*, (3), 5-126.
- Rivas-Martínez, S., Penas, A., Díaz González, T., Cantó, P., del Río, S., Costa, J., Herrero, L. & Molero, J. (2017). Biogeographic Units of the Iberian Peninsula and Balearic Islands to District Level. A Concise Synopsis. *The Vegetation of the Iberian Peninsula, Plant and Vegetation 12*: 131-190.
- Rivas-Martínez, S., Penas, A., del Río, S., Díaz, González, T. & Rivas-Sáenz, S. (2017a). Bioclimatology of the Iberian Peninsula. A concise Synopsis. In: Loidi J (ed.) *The Vegetation of the Iberian Peninsula*. Vol. 1. Springer, Cham, CH, 29-80.
- Rozas, V. & Olano, J. (2013). Environmental heterogeneity and neighbourhood interference modulate the individual response of *Juniperus thurifera* tree-ring growth to climate. *Dendrochronologia*, 31(2), 105-113.
- Rumeu, B., Caujapé-Castells, J., Blanco-Pastor, J., Jaén-Molina, R., Nogales, M., Elias, R. & Vargas, P. (2011). The colonization history of *Juniperus brevifolia* (Cupressaceae) in the Azores Islands. *PLoS One*, 6(11), e27697.
- Sánchez-García, I., Skuhrová, M. & Skuhravy, V. (2012). Gall midges (Diptera: Cecidomyiidae) of Cádiz province (south-Gall midges (Diptera: Cecidomyiidae) of Cádiz province (south-western Spain). *Boletín de la SEA*, (51), 221-236.
- Sánchez-García, I., Gullón, S., Perea, L. & de Mera, G. (2014). Dos nuevas asociaciones con *Juniperus* del SO de la Península Ibérica. *Acta Botanica Malacitana*, (39), 263-269.
- Schloerke, B., Cook, D., Larmarange, J., Briatte, F., Marbach, M., Thoen, E., Elberg, A. & Crowley, J. (2024). *_GGally*: Extension to 'ggplot2'. R package version 2.2.1. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=GGally>>. [consultado em 10-08-2024].
- Sharma, P., Kothari, S., Rathore, M. & Gour, V. (2018). Properties, variations, roles, and potential applications of epicuticular wax: a review. *Turkish Journal of Botany*, 42(2), 135-149.
- Silba J. (1984). An international census of the Coniferae I. *Phytologia Mem* 7: 95.
- Silveira, M., Encarnação, P., Vidal, A. & da Fonseca, L. (2009). Aves aquáticas e gestão da Lagoa de Santo André. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 9(3), 55-70.
- Tavares, J. (1904). Sinopse das zoocecidias portuguesas. *Brotéria*, 4: 1-123.

- Thomas, P., El-Barghathi, M. & Polwart, A. (2007). Biological flora of the British Isles: *Juniperus communis* L. J. Ecol. 95(6): 1404-1440.
- Vaz, A., Macedo, J., Alves, P., Honrado, J. & Lomba, A. (2015). Plant species segregation in dune ecosystems emphasises competition and species sorting over facilitation. *Plant ecology & diversity*, 8(1), 113-125.
- Velasco-Negueruela, A., Pérez-Alonso, M., Palá-Paúl, J., Íñigo, A. & López, G. (2004). Chemical variations in the leaf volatile oils of two populations of *Juniperus navicularis* Gandoger from the Iberian Peninsula (SW Portugal). *Journal of Essential Oil Research*, 16(6), 608-611.
- Verheyen, K., Adriaenssens, S., Gruwez, R., Michalczyk, I., Ward, L., Rosseel, Y., Van den Broeck, A. & Garcia, D. (2009). *Juniperus communis*: victim of the combined action of climate warming and nitrogen deposition?. *Plant Biology*, 11, 49-59.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Wilson, M., Costanza, R., Boumans, R. & Liu, S. (2005). Integrated assessment and valuation of ecosystem goods and services provided by coastal systems. The intertidal ecosystem: the value of Ireland's shores, 1-24.
- Yavuz, Z. & Yilmaz, M. (2017). Seed dormancy and cone and seed morphology of syrian juniper (*Juniperus drupacea* Labill.) in the eastern Mediterranean region of Turkey. *Šumarski list*, 141(5-6), 262-262.
- Zeide, B. (1993). Analysis of growth equations. *Forest science*, 39(3), 594-616.

Anexos

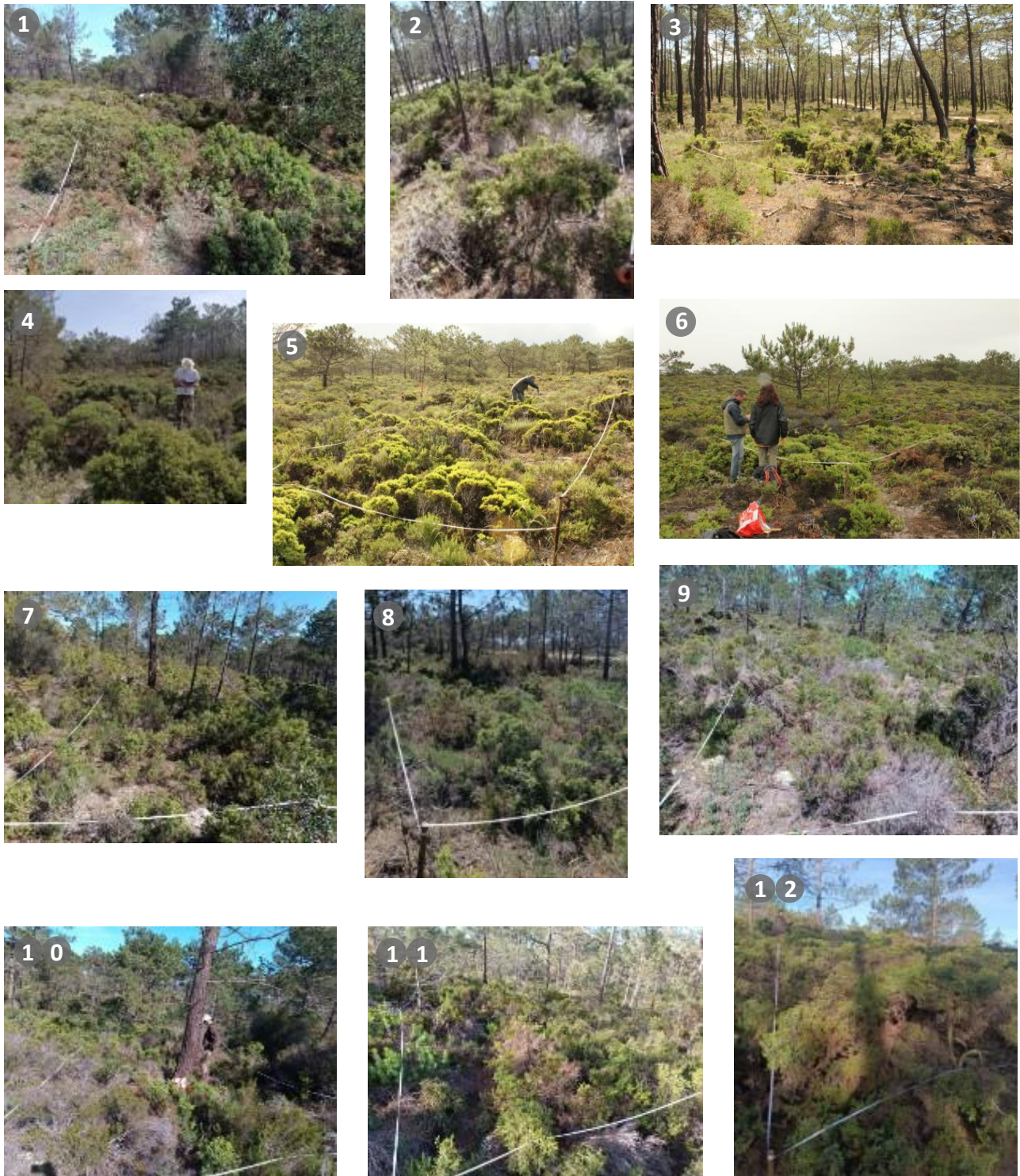


Figura I. 1. Fotografia de parcelas usadas na caracterização biométrica na RNLSAS. Parcelas 1 a 12.

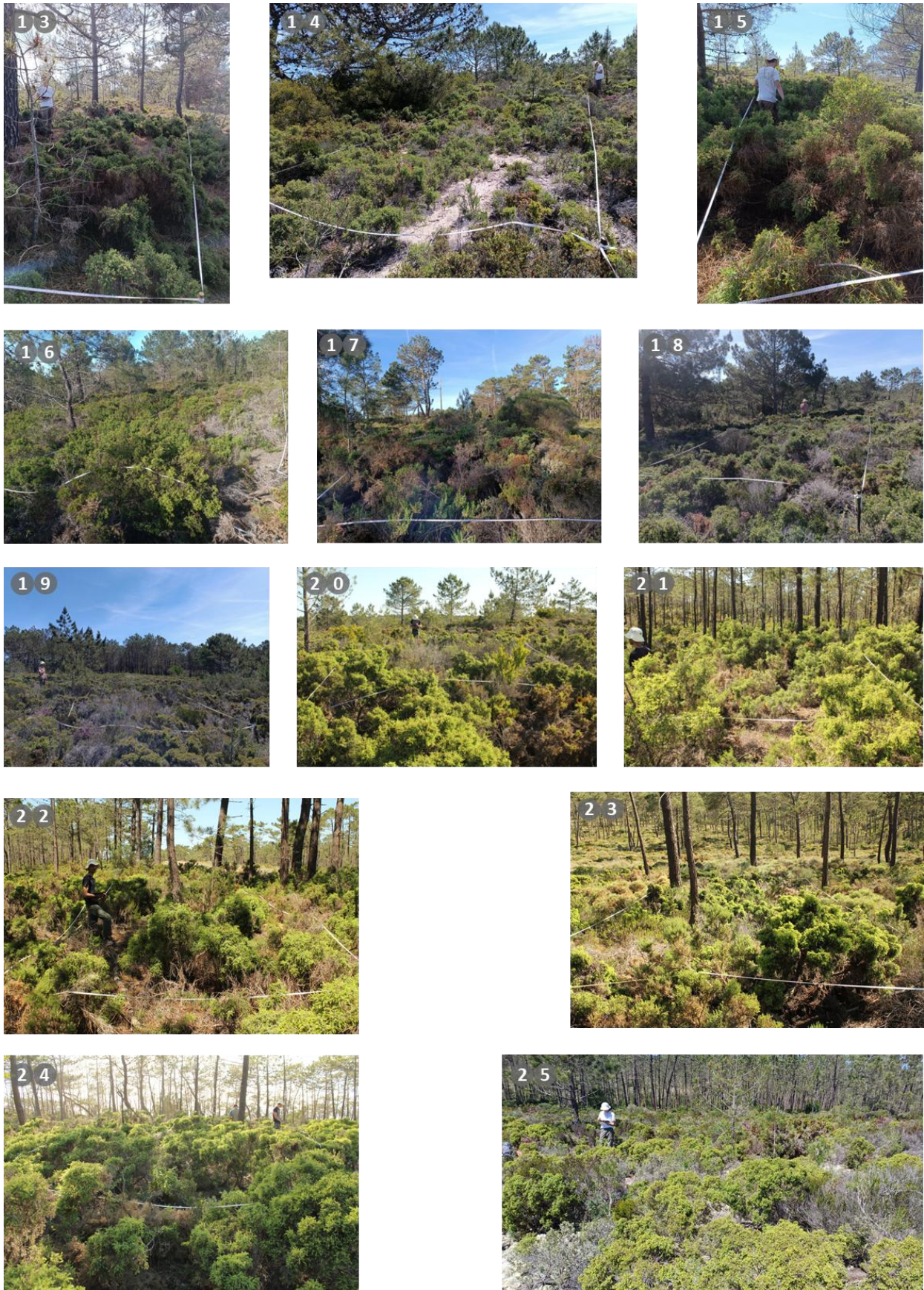


Figura I. 2. Fotografia de parcelas usadas na caracterização biométrica na RNLAS. Parcelas 13 a 25.



Figura I. 3. Fotografia de parcelas usadas na caracterização biométrica na RNLSAS. Parcelas 26 a 30.

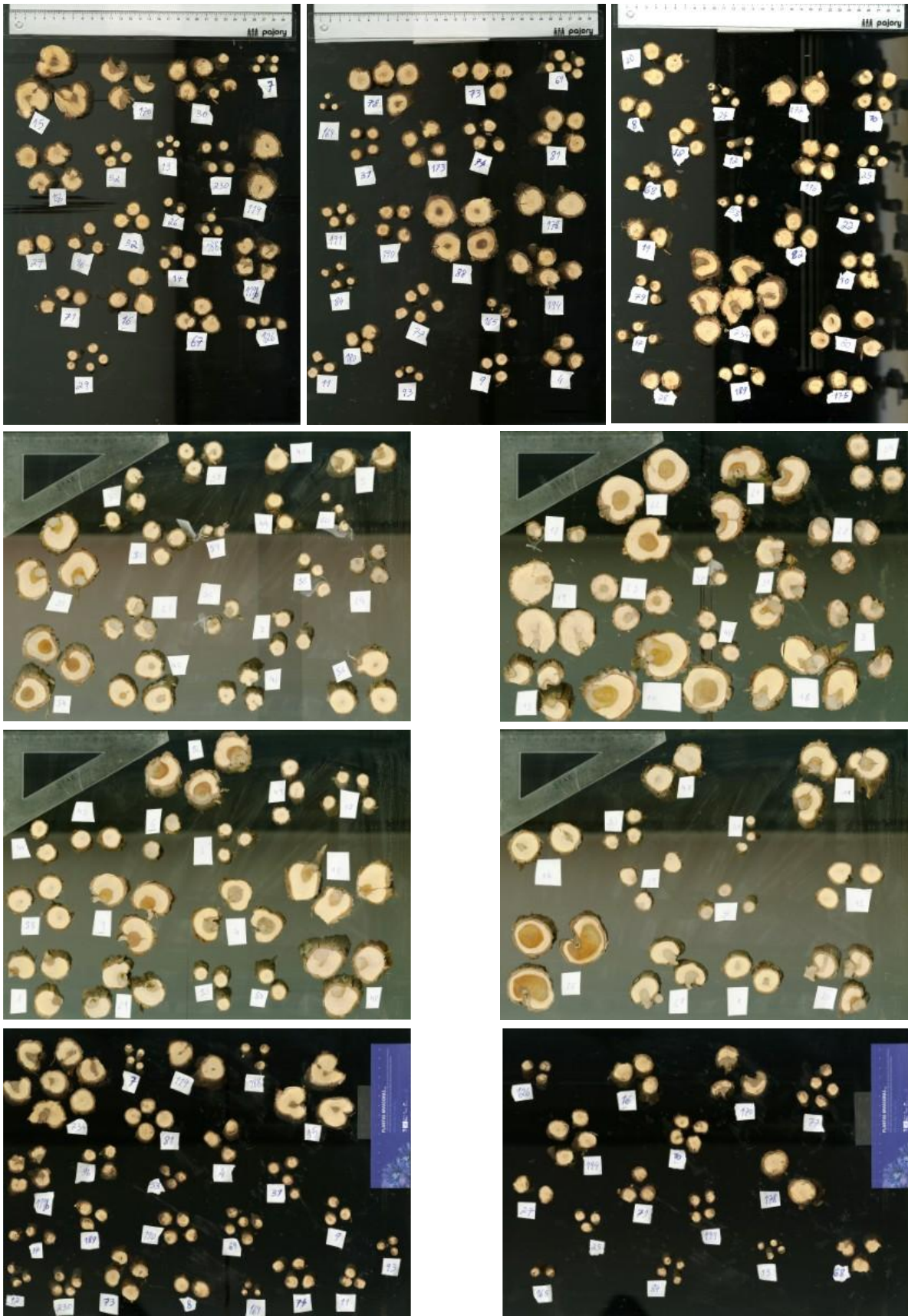


Figura 14. Imagens de alta resolução das secções da base do tronco dos indivíduos de *Juniperus navicularis* recolhidos.

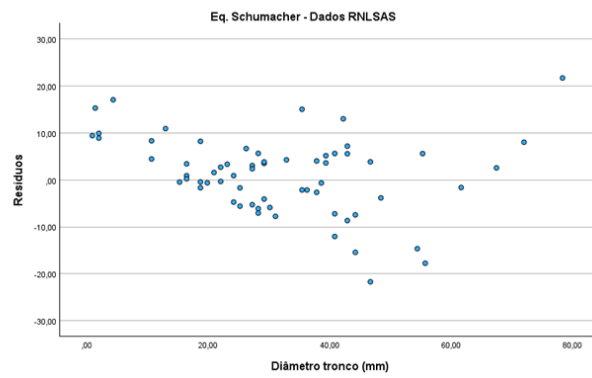
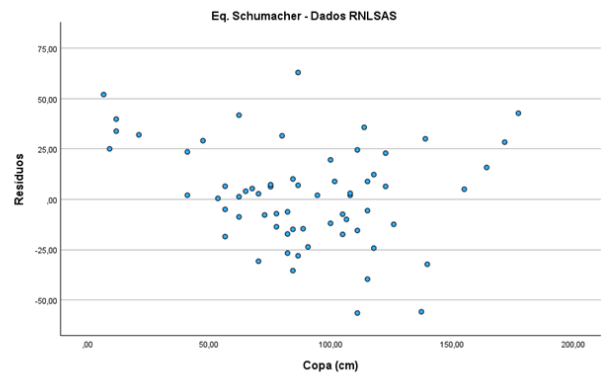
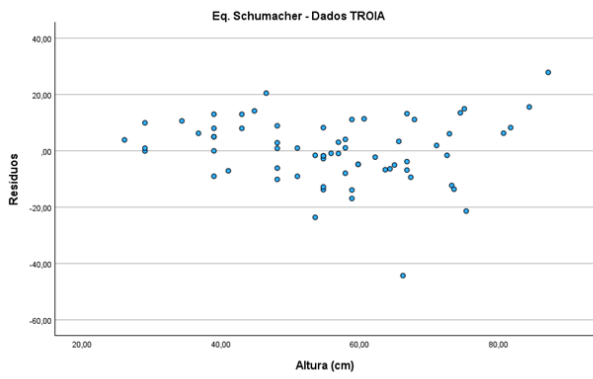


Figura I. 5. Distribuição dos resíduos das melhores equações (R^2 mais elevado) de crescimento obtidas para as biometrias: Altura (cm), Copa (cm) e Diâmetro da base do tronco (mm).

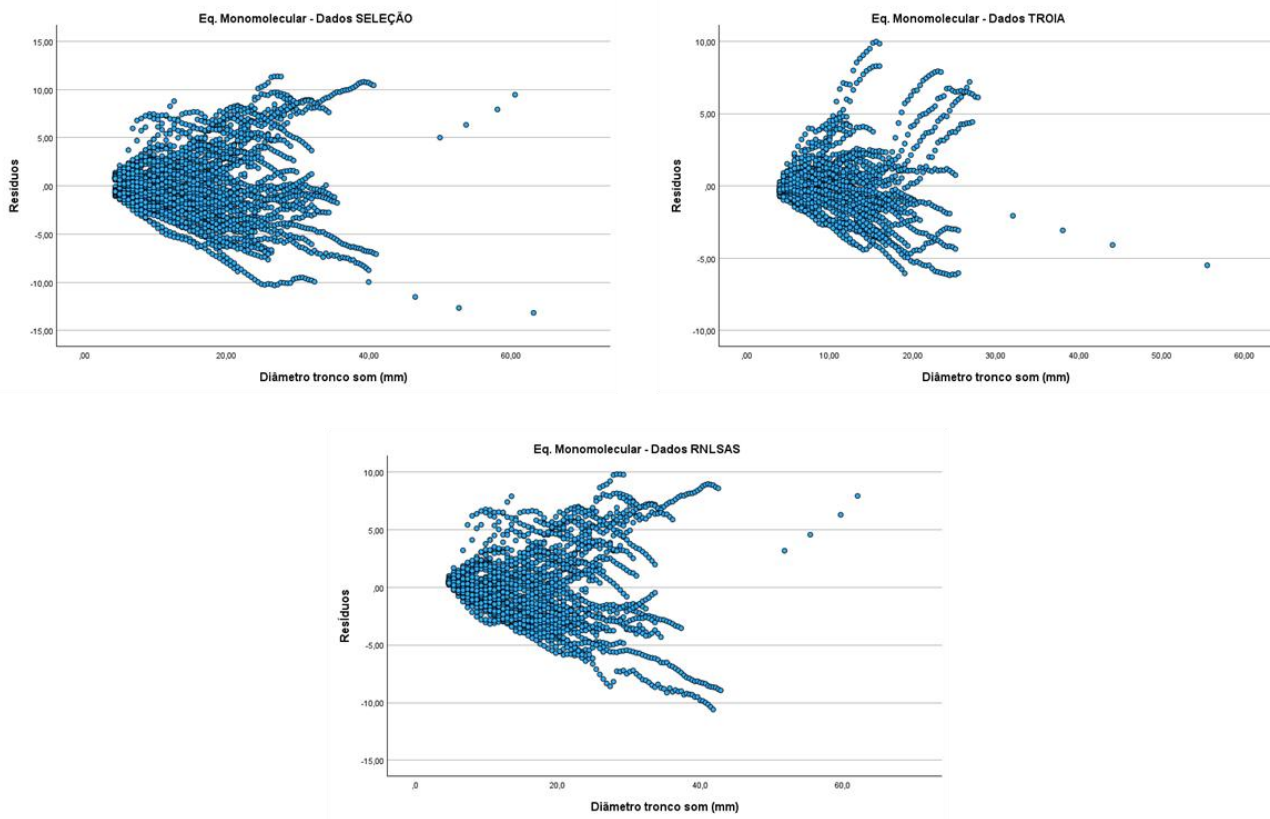


Figura 1. 6. Distribuição dos resíduos das melhores equações de crescimento (R^2 mais elevado) obtidas para o diâmetro da base do tronco medido com o ImageJ (Diâmetro tronco som).

Tabela 1. Autocorrelação espacial – Índice de Moran. Análise das bases de dados usadas. Valor a vermelho significa a existência de autocorrelação espacial. SELEÇÃO = RNLSAS + amostra TROIA; N = amostra; Stdev = desvio padrão; Moran I statistic = grau de correlação espacial.

Dados	N	Stdev	Valor p	Moran I statistic
RNLSAS + TROIA	119	8.8784	< 2.2e-16	0.084970330
SELEÇÃO	78	-0.61814	0.7318	-0.0217255906
RNLSAS	60	-0.046394	0.5185	-0.019346328
TROIA	59	0.63404	0.2578	0.034632830

Tabela 12. Análise de comparação entre as médias das biometrias obtidas por classe de idade (0-20 anos, 20-50 anos e 50-70 anos) durante o desenho da estrutura biométrica típica do *Juniperus navicularis*, em Troia.

Valores a vermelho significam a existência de diferenças significativas entre as classes de idades.

bif2_diam_mm = diâmetro da segunda bifurcação; *bif2_comp_mm* = comprimento da segunda bifurcação;
bif1_diam_mm = diâmetro da primeira bifurcação; *bif1_comp_mm* = comprimento da primeira bifurcação;
tronco_comp_cm = comprimento do tronco; *tronco_diam_10_mm* = diâmetro do tronco a 10 cm da base;
copa_larg_cm = largura da copa; *alt_cm* = altura.

Variável	Teste estatístico	Valor do teste estatístico	Graus de liberdade	P-Value
alt_cm	ANOVA	13,58	2	1.56E-05
copa_larg_cm	Kruskal-Wallis	15,778	2	0,0003748
tronco_diam_10_mm	Kruskal-Wallis	32,634	2	8,195E-08
tronco_comp_cm	Kruskal-Wallis	2,6444	2	0,2665
bif1_comp_cm	Kruskal-Wallis	7,409	2	0,02461
bif1_diam_mm	Kruskal-Wallis	17,509	2	0,0001578
bif2_comp_cm	Kruskal-Wallis	5,6075	2	0,06058
bif2_diam_mm	Kruskal-Wallis	19,051	2	0,00007296
idade	Kruskal-Wallis	47,245	2	5,506E-11

Tabela 13. Análise de correlação de Pearson entre as biometrias e a idade, analisados com os indivíduos de Troia. *r*-value = valor de significância; *p*-value = grau de correlação; *df* = graus de liberdade; *tronco_diam_som_mm* = Diâmetro da base do tronco medido com o ImageJ; *caule_n* = número de caules; *rizoma_n* = número de rizomas; *bif2_diam_mm* = diâmetro da segunda bifurcação; *bif2_comp_mm* = comprimento da segunda bifurcação; *bif1_diam_mm* = diâmetro da primeira bifurcação; *bif1_comp_mm* = comprimento da primeira bifurcação; *tronco_diam_mm* = diâmetro do tronco; *tronco_comp_cm* = comprimento do tronco; *tronco_diam_10_mm* = diâmetro do tronco a 10 cm da base; *copa_vol_cm3* = volume da copa; *copa_area_cm2* = área da copa; *copa_larg_cm* = largura da copa; *alt_cm* = altura.

r-value															
	alt_cm	copa_larg_cm	copa_area_cm2	copa_vol_cm3	tronco_diam_10_mm	tronco_comp_cm	tronco_diam_mm	bif1_comp_cm	bif1_diam_mm	bif2_comp_cm	bif2_diam_mm	caule_n	rizoma_n	Tronco_diam_som_mm	idade
alt_cm	NA	0.6140935	0.5500167	0.5701817	0.7264349	-0.0767219	0.6965416	0.41399322	0.70632346	0.51976782	0.5381173	0.08641125	0.23953021	0.6484098	0.6619091
copa_larg_cm	NA	NA	0.9624454	0.9350173	0.8311310	-0.1692174	0.8269045	0.30308910	0.67181668	0.35021504	0.6750213	0.43426734	0.48401446	0.7409909	0.5870833
copa_area_cm2	NA	NA	NA	0.9929368	0.7732400	-0.1369811	0.7682446	0.37591009	0.63926279	0.36094920	0.5978694	0.39094143	0.44180001	0.7036292	0.5494882
copa_vol_cm3	NA	NA	NA	NA	0.7615990	-0.1311005	0.7537824	0.40071890	0.65989132	0.36954163	0.5720960	0.35448680	0.41250652	0.6999960	0.5565235
tronco_diam_10_mm	NA	NA	NA	NA	NA	-0.3143962	0.8445315	0.28740635	0.78754249	0.47141741	0.7880889	0.27584189	0.52508345	0.8167464	0.7354384
tronco_comp_cm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-0.3528015	-0.08452565	-0.11145894	0.02192957	-0.1835308	-0.05830402	0.00763105	-0.2026635	-0.1842242
tronco_diam_mm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.20773904	0.80117330	0.44252165	0.7986234	0.30616251	0.54581569	0.7645464	0.6977733
bif1_comp_cm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.08200923	0.29412292	0.2098518	0.05449368	0.05184086	0.36521617	0.3634927
bif1_diam_mm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.39687563	0.6282165	0.11168669	0.36837323	0.6787972	0.6736307
bif2_comp_cm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.1404154	0.19443728	0.22984504	0.3283010	0.3652528
bif2_diam_mm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.30186912	0.37996091	0.7060640	0.5530616
caule_n	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.34076910	0.2487127	0.2223413
rizoma_n	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.4958872	0.3967722
tronco_diam_som_mm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.8506133
idade	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

p-value															
	alt_cm	copa_larg_cm	copa_area_cm2	copa_vol_cm3	tronco_diam_10_mm	tronco_comp_cm	tronco_diam_mm	bif1_comp_cm	bif1_diam_mm	bif2_comp_cm	bif2_diam_mm	caule_n	rizoma_n	Tronco_diam_som_mm	idade
alt_cm	NA	2.307493e-07	6.409104e-06	2.427285e-06	7.405424e-11	0.5635643	8.996376e-10	0.002281242	4.914884e-09	7.850918e-05	3.880337e-05	0.515204698	8.107391e-02	2.812049e-08	1.140436e-08
copa_larg_cm	NA	NA	5.764761e-32	2.429264e-27	3.731389e-16	0.2001109	7.101394e-16	0.028952227	4.966190e-08	1.092107e-02	4.058517e-08	0.000589254	2.087893e-04	1.943501e-11	1.022171e-06
copa_area_cm2	NA	NA	NA	1.807784e-54	7.120016e-13	0.3008810	1.230073e-12	0.006040718	3.382389e-07	8.567589e-03	2.867172e-06	0.002202523	8.243948e-04	5.117256e-10	6.568744e-06
copa_vol_cm3	NA	NA	NA	NA	2.493571e-12	0.3223032	5.563178e-12	0.003241774	1.030385e-07	7.013709e-03	9.390078e-06	0.005874954	1.937416e-03	1.097400e-09	4.717768e-06
tronco_diam_10_mm	NA	NA	NA	NA	NA	0.0136008	3.221137e-30	0.035094810	1.616289e-12	1.522685e-12	0.034458590	4.573160e-05	1.019364e-15	1.477017e-11	
tronco_comp_cm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5.291245e-03	0.543393521	4.223260e-01	8.749321e-01	1.840365e-01	0.660927407	9.563255e-01	1.175278e-01	1.552389e-01
tronco_diam_mm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.131723056	3.455640e-13	8.064370e-04	4.652967e-13	0.015358833	1.966323e-05	7.468367e-13	4.121110e-10	
bif1_comp_cm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5.555021e-01	3.086724e-02	1.277533e-01	0.701206475	7.292933e-01	6.610687e-03	6.898397e-03
bif1_diam_mm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2.965751e-03	3.666145e-07	0.430534748	1.084276e-02	1.687952e-08	2.375804e-08
bif2_comp_cm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3.111926e-01	0.167203234	1.201374e-01	1.536524e-02	6.612103e-03
bif2_diam_mm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.029636901	8.4259935e-03	2.464342e-09	1.444529e-05
caule_n	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.168537e-02	5.750020e-02	9.054055e-02
rizoma_n	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.474839e-04	2.973918e-03
tronco_diam_som_mm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	4.076356e-18
idade	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

df															
	alt_cm	copa_larg_cm	copa_area_cm2	copa_vol_cm3	tronco_diam_10_mm	tronco_comp_cm	tronco_diam_mm	bif1_comp_cm	bif1_diam_mm	bif2_comp_cm	bif2_diam_mm	caule_n	rizoma_n	Tronco_diam_som_mm	idade
alt_cm	NA	57	57	57	57	57	57	50	50	50	50	57	52	57	57
copa_larg_cm	NA	NA	57	57	57	57	57	50	50	50	50	57	52	57	57
copa_area_cm2	NA	NA	NA	57	57	57	57	50	50	50	50	57	52	57	57
copa_vol_cm3	NA	NA	NA	NA	57	57	57	50	50	50	50	57	52	57	57
tronco_diam_10_mm	NA	NA	NA	NA	NA	59	59	52	52	52	52	57	52	59	59
tronco_comp_cm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	59	52	52	52	52	57	52	59	59
tronco_diam_mm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	52	52	52	52	57	52	59	59
bif1_comp_cm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	52	52	52	50	45	52	52
bif1_diam_mm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	52	52	50	45	52	52
bif2_comp_cm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	52	50	45	52	52
bif2_diam_mm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	50	45	52	52
caule_n	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	52	57	57
rizoma_n	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	52	52
tronco_diam_som_mm	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	59
idade	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Tabela I 4. Sumário dos dados obtidos com os indivíduos cortados na Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha. Diâmetro = diâmetro da base do tronco; Copa = largura da copa; N = número de indivíduos; Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; SE = erro padrão; Stdev = desvio padrão.

Variáveis	N	Média	Mediana	Mín	Máx	1.Quartil	3.Quartil	SE	Stdev
Altura (cm)	60	96,2	93,5	30	192	74,5	118,5	4,597	35,605
Copa (cm)	60	84,7	76,5	34	169	62	108,5	4,058	31,437
Diâmetro (mm)	60	29,5	26,7	10,3	60,89	20,82	36,8575	1,523	11,800
Idade	60	39,6	37,0	10	79	28,75	50,5	2,059	15,950

Tabela 15. Análise de correlação de Pearson entre as biometrias e as variáveis ambientais, analisadas com as parcelas da RNLAS. *r-value* = grau de correlação; *p-value* = valor de significância; *df* = graus de liberdade. *copa_larg_cm* = largura da copa; *copa_area_m2* = área da copa; *diam_mm* = diâmetro da base do tronco; *alt_cm* = altura; *cob_nav* = cobertura de *J. navicularis*; *cob_total* = cobertura arbustiva; *cob_arb* = coberto arbóreo; *dist_mar_m* = distância ao mar.

r-value								
	alt_cm	copa_larg_cm	diam_mm	dist_mar_m	cob_arb	copa_area_m2	cob_nav	cob_tot
alt_cm	NA	0,775001856	0,821838607	0,5599694	0,322407569	0,737912935	0,525473731	0,29369899
copa_larg_cm	NA	NA	0,895589371	0,365921597	0,549029225	0,976987934	0,447816432	0,030817812
diam_mm	NA	NA	NA	0,285864943	0,369921916	0,849297892	0,54513573	0,151191315
dist_mar_m	NA	NA	NA	NA	0,382638793	0,409337217	-0,005607096	-0,098634297
cob_arb	NA	NA	NA	NA	NA	0,561201974	-0,087926326	-0,239232956
copa_area_m2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,404286743	-0,048217234
cob_nav	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,265348599
cob_tot	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
p-value								
	alt_cm	copa_larg_cm	diam_mm	dist_mar_m	cob_arb	copa_area_m2	cob_nav	cob_tot
alt_cm	NA	7,98101E-07	4,60659E-08	0,001584093	0,088057283	4,91863E-06	0,003419544	0,15080843
copa_larg_cm	NA	NA	5,35926E-11	0,050917037	0,002039954	1,18602E-19	0,014848781	0,873908142
diam_mm	NA	NA	NA	0,1329651	0,048249446	5,72121E-09	0,002229533	0,433690257
dist_mar_m	NA	NA	NA	NA	0,040497258	0,029452918	0,976970594	0,610723009
cob_arb	NA	NA	NA	NA	NA	0,001538757	0,650152902	0,211341539
copa_area_m2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,029614632	0,803840108
cob_nav	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,164171991
cob_tot	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
df								
	alt_cm	copa_larg_cm	diam_mm	dist_mar_m	cob_arb	copa_area_m2	cob_nav	cob_tot
alt_cm	NA	29	29	29	29	29	29	29
copa_larg_cm	NA	NA	29	29	29	29	29	29
diam_mm	NA	NA	NA	29	29	29	29	29
dist_mar_m	NA	NA	NA	NA	29	29	29	29
cob_arb	NA	NA	NA	NA	NA	29	29	29
copa_area_m2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	29	29
cob_nav	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	29
cob_tot	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Diogo Gonçalo Moreira S