

SILVA LUSITANA

Ano XXV Volume 25 nº 2 dezembro de 2017

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGAÇÃO AGRÁRIA E VETERINÁRIA

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGAÇÃO AGRÁRIA E VETERINÁRIA

Diretor

Miguel Pestana (INIAV)

Comissão Editorial

Alexandre M. Aguiar (INIAV)

Helena Almeida (ISA/ UL)

Helena Bragança (INIAV)

Inês Portugal e Castro (INIAV)

Isabel Videira Castro (INIAV)

Jorge Capelo (INIAV)

M^a Emília M. da Silva (UTAD)

Nuno Ribeiro (U. ÉVORA)

Raul Sardinha (PIAGET)

Teresa Soares David (INIAV)

Comissão Científica

António Correia Diogo (IST/ UL)

António Dinis Ferreira (ESAC/ IPC)

Carlos Silva Neto (IGOT/ UL)

Francisco C. Rego (ISA/ UL)

João Bordado (IST/ UL)

João Ferreira Amaral (ISEG/ UL)

José António Santos (INETI)

José Carlos Rodrigues (IICT)

José Guilherme Borges (ISA/ UL)

José Manuel L. Santos (U.MADEIRA) Estudantes: 15,00 €

José M. Cardoso Pereira (ISA/ UL)

José Saporiti Machado (LNEC)

Margarida Tomé (ISA/ UL)

Miguel Sequeira (U. MADEIRA)

Nuno Borralho (ISA/ UL)

Nº Depósito Legal: 12292/86

ISSN: 0870-6352

Consultores Internacionais

Alejandro Solla (Univ. de Extremadura, Espanha)

Coen Ritsema (Wageningen Univ., Netherlands)

Constantino M. Correia (PASA, Guiné-Bissau)

Frederic Bioret (U. Bretagne Occidentale, França)

João F. Cardoso (U. José Eduardos Santos, Angola)

Luís Constantino (World Bank Group, Nicarágua)

Natasha Ribeiro (U. Ed. Mondlane, Moçambique)

R. Kellison (North Carolina State Univ., USA)

Stephen Woodward (Univ. of Aberdeen, UK)

Witness Mojeremane (Col. of Agric., Botswana)

Assinaturas: A revista é publicada com uma periodicidade semestral.

Os pedidos de assinaturas devem ser enviados para: Comissão Editorial da **SILVA LUSITANA** - INIAV - Av. da República, Quinta do Marquês 2780-157 OEIRAS, Portugal.

E-mail: silva.lusitana@iniav.pt

Condições de assinatura, em 2017:

Portugal

Individuais: 20,00 €

Instituições: 25,00 €

Estudantes: 15,00 €

EU Countries

Individuals (27,50 €); Institutions (37,50 €)

Other Countries

Individuals (US\$42,5); Institutions (US\$57,5)

Número avulso: 20,00€

Proibida a reprodução sem a autorização expressa dos Autores.

Este número da **SILVA LUSITANA** teve o patrocínio de:



SOCIEDADE PORTUGUESA DE CIÊNCIAS FLORESTAIS



THE NAVIGATOR COMPANY

Composição: Helena Buco (INIAV)

SILVA LUSITANA

Índice

2017, Vol. 25(2) : 1 - 103

Efeito das Alterações Climáticas Recentes no Crescimento e Densidade Radial do Pinheiro bravo no Centro-Sul de Portugal C. Kurz-Besson, J.L. Lousada, M.J. Gaspar, I. Correia, T. Soares David, P.M.M. Soares, R.M. Cardoso, A. Russo, I. Marques, F. Varino, R.M.Trigo, C.M. Gouveia	1
Woody Biomass Torrefaction: Fundamentals and Potential for Portugal L.M.E.F. Loureiro, L.J.R. Nunes, A.M. Rodrigues	35
Uso Agrícola e Florestal do Solo em Portugal: um Panorama Económico-Estrutural J. Cabral Rolo, F. Cordovil	65
Árvores Monumentais: do Conhecimento à Promoção Educativa e Turística R. Lopes, C. Schreck Reis, P.R. Trincão	75
Recensão	103
Índice do Volume 25(1) (2017)	105

CITADO EM/CITÉ DANS/INDEXED IN:

ISI WEB Of Science, CAB International (forestry Abstracts), EBSCO, Ecological Abstracts, IPNI, LATINDEX, National Agricultural Library (USDA)

Efeito das alterações climáticas recentes no crescimento e densidade radial do Pinheiro bravo no centro-sul de Portugal

Cathy Kurz-Besson¹, José L. Lousada², Maria J. Gaspar^{3,4,5}, Isabel Correia^{4,6}, Teresa Soares David^{4,6}, Pedro M. M. Soares¹, Rita M. Cardoso¹, Ana Russo¹, Inês Marques¹, Filipa Varino^{1,7}, Ricardo M. Trigo¹ e Célia M. Gouveia¹

Sumário. O sul de Portugal tem testemunhado um agravamento recente das condições xéricas, o que pode vir a comprometer o crescimento das plantas. Para avaliar como o crescimento (LA) e a densidade (DMED) do lenho do pinheiro-bravo foram afetados pelas alterações climáticas recentes, cronologias de LA e DMED de árvores de *P. pinaster* do centro-sul de Portugal foram correlacionadas com variáveis climáticas. O efeito da seca foi avaliado através do índice de seca multi-escalar SPEI, com escala temporal de 1 a 24 meses, e as relações entre clima e LA/DMED foram avaliadas para o período 1958-2011.

Tanto a LA como a DMED responderam positivamente à diminuição dos dias frios e ao aumento da temperatura mínima. Todavia, as secas de longo prazo mitigaram os efeitos

¹ Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

² Centro de Investigação e de Tecnologias Agro-Ambientais e Biológicas, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal. Email: cathybesson@gmail.com

³ Biosystems & Integrative Sciences Institute, Universidade de Lisboa Faculdade de Ciências, Lisboa, Portugal.

⁴ Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda, Lisboa, Portugal.

⁵ Departamento de Genética e Biotecnologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

⁶ Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV), Av. da República, Quinta do Marquês, Oeiras, Portugal.

⁷ Centre National de Recherches Météorologiques, Météo-France/CNRS, Toulouse, France.

⁸ School of Physics & Astronomy, Monash University, PO Box 27, Clayton, Victoria 3800, Australia.

positivos do aumento de temperatura nos anéis de crescimento. Ambas as variáveis em análise neste estudo (LA e DMED) mostraram respostas opostas à intensificação da ocorrência de secas a longo prazo. Enquanto a LA da árvore manteve uma resposta positiva ao aumento da temperatura mínima, a DMED foi significativamente reduzida, prejudicando a qualidade do lenho para fins comerciais.

Os nossos resultados destacam também a dependência do pinheiro-bravo de fontes de águas profundas após o estágio juvenil em condições sub-húmidas. Neste trabalho discutimos o impacto das mudanças climáticas nas secas de longo prazo e na vulnerabilidade de *P. pinaster*.

Palavras-chave: Pinheiro bravo, alterações climáticas, anéis de crescimento, densidade radial, dendrocronologia, índice de seca SPEI

Effect of recent climate changes on wood radial width and density of maritime pine in south-centre of Portugal

Abstract. Western Iberia has recently shown an exacerbation of xeric conditions in Southern Portugal jeopardizing plant growth. To assess the impact of recent climate changes on maritime pine wood radial growth (LA) and density (DMED), dendrochronological series of *P. pinaster* from south-centre Portugal have been correlated to climate variables. Drought effect was assessed using the multiscalar SPEI index considering a temporal scale of 1 to 24 months. The relationships between climate variables and dendrochronological indexes LA and DMED were calculated for the period 1958-2011.

Both LA and DMED highly benefit from the decay of cold days and the increase of minimum temperature. Yet the benefits were hindered by long-term water deficit. While tree-ring width still benefit from the minimum temperature increase, tree-ring density was impaired by long term water deficit, thus undermining wood quality for commercial applications.

Our results further highlight the use of deep water sources by *P. pinaster* after the juvenile stage under sub humid conditions. The impact of climate changes on long-term droughts and their repercussion on *P. pinaster*'s vulnerability are also discussed.

Key words: maritime pine, climate change, wood radial density, wood radial growth, dendrochronology, SPEI drought index

Effet des altérations climatiques récentes sur la croissance et la densité des cernes de bois du pin maritime dans le centre-Sud de Portugal

Résumé. Un aggravement des conditions xériques compromettant la croissance des plantes a été observée dans la région Sud du Portugal au cours des 20 dernières. Pour évaluer de quelle façon la croissance (LA) et la densité moyenne (DMED) des cernes du bois de pin maritime ont été affectés par les altérations climatiques récentes, des séries dendrochronologiques de *P. pinaster* provenant du centre-Sud du Portugal ont été corrélées avec les variables climatiques. L'effet des sécheresses a par ailleurs été évaluée à

l'aide de l'indice multi-scalaire SPEI, considérant une échelle temporelle de 1 à 24 mois. Les relations entre les variables climatiques et les indices LA et DMED ont été évaluées pour la période 1958-2011.

Les deux indices LA et DMED ont répondu positivement à la diminution des jours froids et à l'augmentation de la température minimale. Toutefois, les sécheresses à long-terme ont atténué les effets positifs de l'augmentation de la température sur les cernes de croissance. Alors que LA a maintenu une réponse positive à l'augmentation de température minimale, DMED a été significativement réduite par les sécheresses, compromettant ainsi la qualité du bois pour des applications commerciales.

Nos résultats suggèrent aussi l'utilisation de sources d'eau profondes par le pin maritime après le stade juvénile en conditions climatiques subhumides. Dans cette étude nous discutons l'impact des altérations climatiques sur les sécheresses à long terme et sur la vulnérabilité de *P. pinaster*.

Mots-clés: Pin maritime, changements climatiques, anneaux de croissance, densité radiale, dendrochronologie, indice de sécheresse SPEI

Introdução

Os fatores climáticos e ambientais são bem conhecidos por afectar a formação do lenho a diferentes escalas, desde a célula até aos anéis de crescimento da árvore (FRITTS, 1976). Estes fatores afetam a quantidade e as características das células do xilema, bem como as propriedades dos anéis de crescimento (FRITTS 1976; VIEIRA, 2014). Para espécies autóctones de regiões temperadas, a combinação da temperatura e da disponibilidade de água mostra-se como um dos principais fatores que controlam o incremento radial do lenho (CARRER e URBINATI, 2006). No entanto, em regiões mais secas como o Mediterrâneo, é frequentemente assumido que o crescimento das árvores é essencialmente limitado pela disponibilidade de água (CHERUBINI *et al.*, 2003; GOUVEIA *et al.*, 2008). Por exemplo, LEBOURGEOIS *et al.* (2012) conseguiram associar árvores mais estreitas de coníferas aos anos com primavera mais seca. Foram também relatados efeitos positivos das mudanças de precipitação primaveril na atividade cambial para várias espécies lenhosas do Mediterrâneo, como o pinheiro-manso (*Pinus pinea* L.), o pinheiro de Alepo (*Pinus halepensis*) e o pinheiro-bravo (*Pinus pinaster* Ait.) (CAMPELO *et al.*, 2013 ; DE LUIS *et al.*, 2013; VIEIRA *et al.*, 2010).

A maioria dos estudos que avaliam a resposta das árvores às alterações climáticas focam-se apenas na largura dos anéis e no crescimento do lenho. Contudo, a densidade do lenho é uma propriedade altamente relevante dentro das características da qualidade do lenho pois representa um excelente indicador de resistência e de rendimento comercial. A densidade está também ligada à otimização de processos de conversão de madeira (corte, colagem, acabamento, secagem e produção de papel) (BARNETT, 2003). A variação da densidade do lenho está, em certa medida, ligada à sua taxa de crescimento, bem como às fibras e dimensões dos vasos. No caso dos lenhos macios de gimnospérmicas e dos pinheiros em particular, as densidades mais baixas são o resultado de uma maior proporção de traqueídeos com maiores extensões de cavidades onde a quantidade de material de parede celular é menor (TSOUMIS, 1991; HAYGREEN e BOWYER, 1996; HOADLEY, 2000). Por exemplo, foram encontradas numa espécie endémica de pinheiros da Austrália, correlações significativas entre a densidade do lenho, o diâmetro radial dos traqueídeos e variáveis climáticas, como a temperatura e o índice de seca SPEI (DREW *et al.*, 2013). No entanto, a resposta da anatomia do xilema ao clima parece mudar consideravelmente entre ambientes e espécies (FONTI e JANSEN, 2012), pelo

que novos estudos são necessários para avaliar o impacto das recentes alterações climáticas em diversas espécies e locais de amostragem.

Na Europa, o pinheiro-bravo está largamente distribuído pela bacia mediterrânica, particularmente em França, na Península Ibérica, em Itália e na África do Norte (CARRIÓN *et al.*, 2000), sendo que em Portugal a espécie cobre cerca de 23% da área florestal nacional (ICFN, 2013). A espécie contribui significativamente para a economia portuguesa, representando cerca de 11% do valor total das exportações de produtos florestais (CORREIA *et al.*, 2004, AGUIAR *et al.*, 2003), tendo como principais fins a carpintaria, construção, aglomerado, pasta e produção de papel, placas de chão e paletes e resina de alta qualidade (GASPAR *et al.*, 2009; ALÍA e MARTÍN, 2003; OPPEN e HONE, 1995). De acordo com a sua larga distribuição geográfica, considera-se que o pinheiro-bravo consegue lidar com um extenso espectro de condições climáticas, barométricas e edáficas. No entanto, as consequências das recentes alterações climáticas nas características do lenho desta espécie ainda não foram avaliadas integralmente.

Os modelos climáticos preveem de forma coerente aumentos de temperatura acentuados associados à diminuição de precipitação na bacia do Mediterrâneo (DIFFENBAUGH e GIORGI, 2012; LIONELLO *et al.*, 2012). O aumento das incidências e intensidades de seca, juntamente com uma maior variabilidade dos ciclos hidrológicos, vão reduzir a disponibilidade de água armazenada e influenciar os seus padrões de abastecimento. Tais alterações irão inevitavelmente afectar as florestas e os respectivos serviços ecológicos, económicos, socioculturais e paisagísticos (SCHRÖTER *et al.*, 2005), especialmente na bacia mediterrânica (SOUSA *et al.*, 2015).

Nas últimas três décadas verificou-se uma mudança significativa no padrão de precipitação da Península Ibérica, caracterizando-se por uma maior variabilidade intra e interanual (GARCÍA BARRÓN *et al.*, 2011; SANTO *et al.*, 2014a). De acordo com FRAGOSO e GOMES (2008), a região alentejana no centro-sul de Portugal tem vindo a sofrer cada vez mais de condições de seca severa durante o verão, com défices hídricos consideráveis observados na primavera (SANTO *et al.*, 2014a). Desde a década de 1940, SANTO *et al.* (2014b) observaram por sua vez um aumento substancial da frequência e duração das ondas de calor em Portugal continental, bem como um aumento na frequência dos dias quentes, especialmente na primavera e no verão. Estas recentes alterações levaram à aceleração do processo de aridificação da região do Alentejo (NUNES e SEIXAS, 2011), verificando-se condições climáticas cada vez mais secas nesta região (FIGUEIREDO, 2013; COSTA e SOARES, 2012).

Os objetivos deste estudo foram: (1) caracterizar as alterações climáticas recentes no centro-sul de Portugal, com foco em variáveis climáticas relevantes para o crescimento das plantas, nomeadamente a temperatura, a precipitação e o índice de seca SPEI; e (2) avaliar o efeito das alterações climáticas identificadas na largura e densidade dos anéis de crescimento de pinheiro-bravo no nordeste da região Alentejana. O impacto da recente variabilidade climática nos atributos dendrocronológicos de *P. pinaster* no centro-sul de Portugal entre 1958 e 2011 foi estudado a partir de uma abordagem inovadora, fundada nos trabalhos de DeSOTO *et al.* (2014) e KURZ-BESSON *et al.* (2016).

Material e métodos

Local de amostragem

Foram recolhidas verrumadas de pinheiro-bravo na zona Nordeste da região do Alentejo (Figura 1A). A área de amostragem foi localizada na Companhia das Lezírias (38° 47 '24,01 N; 8° 54' 11,10 W) a 10-20 m acima do nível do mar, num terreno com uma inclinação de 1,6%. A precipitação anual média a longo prazo no local de amostragem foi de 683 mm com uma temperatura média anual de 16,07°C. A evapotranspiração potencial média anual, calculada através da abordagem Thornthwaite, foi de 831 mm (E-Obs ECA & D, 1950-2012). A região do Alentejo é representativa do clima mediterrânico típico, caracterizado por verões quentes e secos e invernos húmidos e frios. A precipitação ocorre predominantemente de outubro a abril, enquanto que o défice hídrico do verão prevalece de junho a setembro. O local de amostragem é classificado como região semi-árida com um clima sub-húmido seco (NUNES e SEIXAS, 2011), em que a temperatura apresenta tipicamente valores mínimos em janeiro e máximos em agosto (SOARES *et al.*, 2012). A média máxima de precipitação diária mensal ocorre em dezembro e o mínimo verifica-se durante os meses de verão, com precipitação praticamente inexistente (SOARES *et al.*, 2012, CARDOSO *et al.*, 2013).

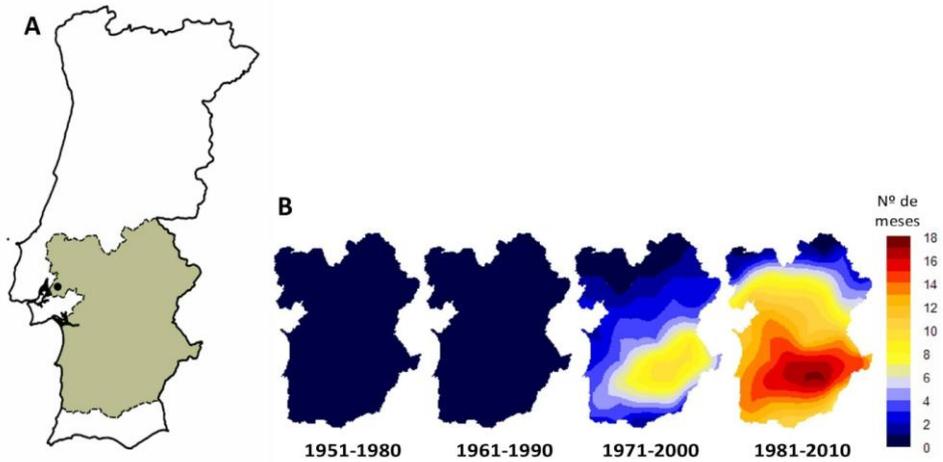


Figura 1A - Mapa de Portugal indicando o local de amostragem (ponto preto) na região Alentejana de acordo com a delimitação geográfica NUTSII (CAOP 2016). **1B**. Evolução do número de meses com seca extrema (valores de SPEI inferiores a -2) em períodos de 30 anos na região Alentejana de Portugal (NUTSII, CAOP 2016)

Dendrocronologia

As séries temporais dendrocronológicas consideradas neste estudo representam a média de dez pinheiros-bravos de cerca de 60 anos com um diâmetro médio à altura do peito de 36,9 cm e uma altura média de 21,3 m. Todas as árvores foram amostradas com uma verrumada recolhida à altura do peito (1,3m), da casca à medula. Todas as verrumadas foram posteriormente acondicionadas com 12% de conteúdo em água e polidas com papel abrasivo. Após este processo de tratamento foram radiografadas, digitalizadas e analisadas com um equipamento microdensitométrico (Joyce Loebel MK3) para calcular os componentes da densidade (GASPAR *et al.*, 2008).

Os limites do anel de crescimento foram identificados nos perfis de densidade radial discriminando as variações acentuadas na densidade. De forma a distinguir o lenho inicial do lenho tardio foi definido o valor limite de crescimento para cada anel a partir da média dos valores de densidade mínima e máxima dentro de cada anel de crescimento (GASPAR *et al.*, 2009). Assim, todas as medições de densidade dentro de cada anel com valores superiores ao valor limite definido para esse anel foram considerados como lenho tardio. As

medições foram ocasionalmente validadas por uma avaliação visual das características anatómicas macroscópicas da verrumada.

A sincronização e a datação das séries dendrocronológicas foram feitas a partir da referência de dois anos característicos, húmidos (1990 e 1998) e secos (1995, 2005). A standardização das séries temporais dendrocronológicas, correspondente à remoção de tendências relacionadas com a idade das árvores, foi obtida ajustando funções “*spline*” exponencial ou polinomial negativas, nas séries temporais da largura do anel ou ajustando funções lineares nas séries temporais de densidade média do anel (COOK e PETERS, 1981; COOK, 1987) para cada árvore. Os índices normalizados dos anéis das árvores foram obtidos dividindo os dados originais observados de largura ou densidade pela função exponencial ou linear que melhor se ajustou para cada verrumada. Os índices finais apresentados da largura anual (LA) e da densidade média (DMED) dos anéis que cobriram o período 1958-2011, foram calculados como a média dos índices normalizados das dez verrumadas recolhidas.

Meteorologia

Os conjuntos de dados meteorológicos que cobrem o período 1950-2012 foram extraídos da base de dados pública da estação Observacional do ECA&D European Climate Assessment & Dataset (KLEIN TANK *et al.*, 2002) e do conjunto de dados observados em malha regular do projeto EU-FP6 ENSEMBLES (E-OBS, HAYLOCK *et al.*, 2008). A temperatura diária e a precipitação foram extraídas do ponto da malha mais próximo, localizado a 9,7 km de distância do local de amostragem. As outras variáveis e índices climáticos foram calculados mensalmente a partir dos conjuntos de dados da E-OBS.

Este estudo centrou-se no efeito da média mensal do mínimo diário (Tmin) e da temperatura máxima (Tmax), no número de dias frios quando Tmin foi inferior a 5°C (DFrio), na precipitação acumulada (P), no máximo de precipitação diária (Pmax) e no máximo de dias secos consecutivos (Dseca)., O efeito da seca foi também avaliado, nomeadamente através do índice de seca multi-escalar SPEI, considerado como o mais apropriado para o clima mediterrânico (VICENTE-SERRANO *et al.*, 2010; SOUSA *et al.*, 2011). Este índice, que se baseia na diferença entre precipitação e evapotranspiração potencial, é comparável no tempo e no espaço (HAYES, 1999) e pode ser calculado a diferentes escalas temporais, de um mês a vários anos, para monitorizar secas. Por apresentar estas características, o índice SPEI foi calculado para analisar o efeito da severidade das secas e défices hídricos de curto a longo prazo anterior

ou co-ocorrendo à formação do anel de crescimento. Os valores normalizados de SPEI encontram-se tipicamente compreendidos entre -3 e 3, sendo que os períodos de seca podem ser classificados como extremos ($\text{SPEI} \leq -2$), severos ($-1.99 \leq \text{SPEI} \leq -1.5$), moderados ($-1.49 \leq \text{SPEI} \leq -1$) ou suaves ($\text{SPEI} \geq -0.99$) (MCKEE *et al.*, 1993). O índice SPEI tem ainda a vantagem de integrar o efeito do aumento de temperatura nas secas.

Processamento de dados e tratamento estatístico

De forma a destacar os padrões climáticos de longo prazo, as séries climáticas de precipitação e temperatura foram decompostas em componentes sazonais e tendências. Para tal, utilizou-se a função "STL" da linguagem de programação R, de acordo com o procedimento de decomposição Seasonal Trend de Loess (CLEVELAND *et al.*, 1990). Uma vez que a componente sazonal das variáveis climáticas se apresentou sempre estacionária, esta não foi removida do conjunto de dados climáticos antes do cálculo dos coeficientes de correlações de Pearson.

A evolução temporal da relação clima/crescimento foi analisada de acordo com DeSOTO *et al.* (2014), procedendo-se ao cálculo dos coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as séries temporais dendrocronológicas e as séries temporais climáticas mensais para o período comum de 54 anos de 1958-2011. Os coeficientes de Pearson foram calculados considerando uma janela móvel com intervalos de 15 anos. Cada coeficiente r previsto para um ano específico y_i no eixo y foi calculado como a correlação entre as variáveis dendrocronológicas observadas do ano y_i-7 a y_i+7 e a variável climática do período correspondente de 15 anos. Por exemplo, os valores de r representados para o ano 1970 correspondem à correlação de Pearson para o período 1963-1977. A escolha da utilização de uma janela móvel de 15 anos (em vez de 30 anos em DeSOTO *et al.*, 2014) baseou-se em dois motivos: 1) as correlações de Pearson com $n = 15$ permitiram a identificação de padrões claros de resposta climática recentes; 2) um intervalo de 30 anos não permitia uma identificação clara da transição do lenho juvenil para adulto, nem o efeito das alterações climáticas mais recente observadas desde o final da década de 1980.

O impacto das variáveis climáticas sobre os atributos dendrocronológicos foi classificado considerando o número total de correlações significativas ($P < 0,05$ com $|r| > 0,515$) dividido pelo número total de correlações calculado para cada figura. Os resultados foram expressos como a percentagem de correlações significativas obtidas.

Resultados

Séries temporais dendrocronológicas

A sincronização da datação das verrumadas de *P. pinaster* baseou-se na identificação dos anos característicos secos e húmidos (Figura 2 e Tabela 1). As séries temporais anuais das medidas padronizadas da largura (LA) e da densidade do anel (DMED) estão apresentadas na Figura 3. O crescimento radial anual associado à largura do anel (LA) mostrou valores particularmente altos em 1990, 1998 e 2010, e os valores mais baixos foram observados em 1995 e 2005. Essas observações correspondem, respectivamente, aos anos característicos húmidos e secos utilizados para a sincronização das verrumadas. A densidade radial média (DMED) apresentou uma maior variabilidade interanual com padrões climáticos menos óbvios.

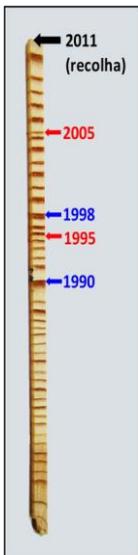


Figura 2 – Exemplo de verrumada recolhida na Companhia das Lezírias, com indicação dos anos de referência secos e húmidos utilizados para a sincronização da datação

Quadro 1 - Média (μ) e desvio padrão (σ) da largura anual (LA) e densidade média (DMED) dos anéis anos de referência considerados para a sincronização da datação entre verrumadas

	LA	DMED
	$\mu \pm \sigma$	$\mu \pm \sigma$
Anos húmidos		
1990	2.82 ± 1.26	0.64 ± 0.05
1998	2.77 ± 1.47	0.66 ± 0.03
Anos secos		
1995	1.46 ± 0.99	0.67 ± 0.06
2005	1.13 ± 0.52	0.65 ± 0.06

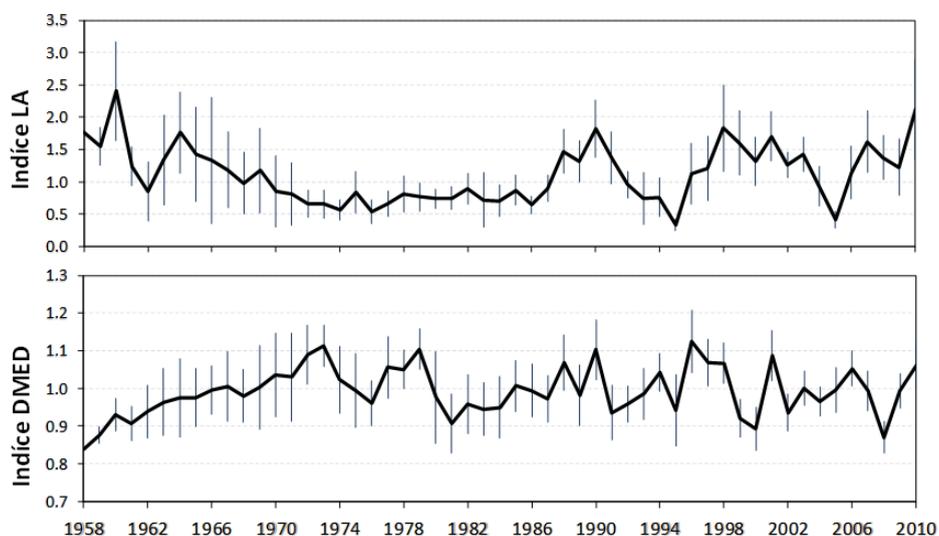


Figura 3 - Séries dendrocronológicas anuais dos índices normalizados da largura anual (LA) e densidade média (DMED) dos anéis, com os respetivos desvios padrões

Evolução recente do clima no centro-sul de Portugal

A evolução interanual das variáveis climáticas (T_{max} , T_{min} , D_{frio} , P , P_{max} e D_{seca}) é apresentada na Figura 4, de acordo com as tendências de Loess, para o período de 1950 a 2012. Os padrões mensais são indicados na Figura 5.

A temperatura diária mínima (T_{min}) foi a mais afetada pela recente evolução climática no local de amostragem (Figuras 4 e 5). Após uma queda significativa de T_{min} de 1950 a 1972, a tendência inverteu-se entre 1972 e 1975, seguida por um aumento de $\sim 3,5^{\circ}\text{C}$ até 2012 (Figura 4). As séries temporais mensais de T_{min} seguiram o mesmo comportamento para cada mês do ano, com amplitudes maiores no outono e no inverno (Figura 5). Estas tendências explicam o declínio progressivo do número de dias frios (D_{frio}) desde a década de 1980, até ao seu desaparecimento (Figuras 4 e 5). As mudanças na T_{max} foram mais suaves, salvo uma anomalia positiva na primavera, nos meses de Março e Abril, desde a década de 1990 (Figura 5). Registou-se apenas um ligeiro aumento de $+0,5^{\circ}\text{C}$ em relação à média do período estudado. Como consequência, a temperatura média mostrou um comportamento intermediário entre T_{min} e T_{max} , com um aumento de $\sim 1,5^{\circ}\text{C}$ em relação à média do período (não mostrado).

A precipitação não apresentou uma tendência significativa ao longo do período de estudo (Figura 4), variando apenas em torno de uma média anual de 683 mm. No entanto, um aumento recente da variabilidade das precipitações, expresso por uma amplitude crescente de flutuações em torno da tendência, pode ser apontado entre 1995 e 2010. Após a seca extrema de 2005, houve um grande aumento na precipitação, que também se refletiu no índice SPEI (Figuras 4 e 5).

Sazonalmente, registou-se um declínio acentuado da precipitação de primavera que se alastrou progressivamente desde a primavera até o final do inverno de 1950 a 2012 (Figura 5) e, tal como esperado, o número consecutivo de dias secos (D_{seca}) apresentou o comportamento oposto (Figuras 4 e 5). A perda de precipitação na primavera resultou no aumento de períodos secos principalmente em março desde a década de 1980 e tal refletiu-se no índice SPEI, que apresentou valores negativos mais frequentes e decrescentes (Figura 1B, 4F). A intensificação do défice hídrico também se deveu ao aumento acentuado da temperatura desde o final da década de 1970, que induziu uma maior taxa de evapotranspiração. Em contrapartida, a precipitação tendeu a intensificar-se no outono desde a década de 1980, especialmente em outubro-novembro, enquanto que a intensidade da precipitação se suavizou em fevereiro-março durante o mesmo período de tempo (Figura 5).

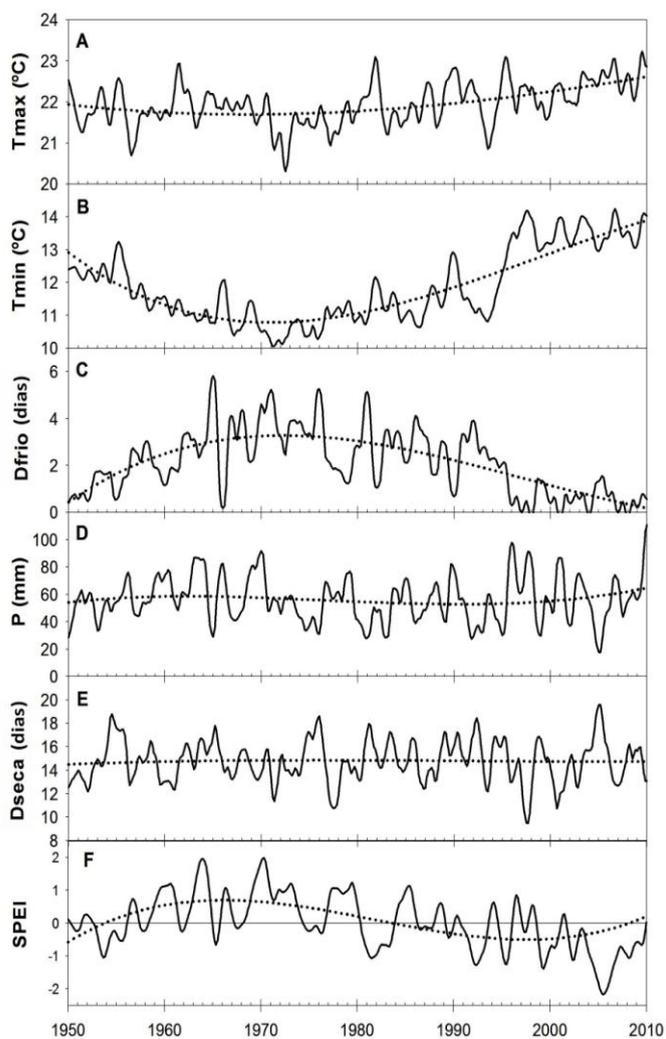


Figura 4 - Séries temporais diárias das tendências obtidas com a decomposição sazonal de Loess com as variáveis climáticas Tmin (°C), Tmax (°C), P (mm), Pmax (mm), Dfrio (número de dias por mês), Dseca (número de dias por mês) e índice SPEI entre 1958 e 2011

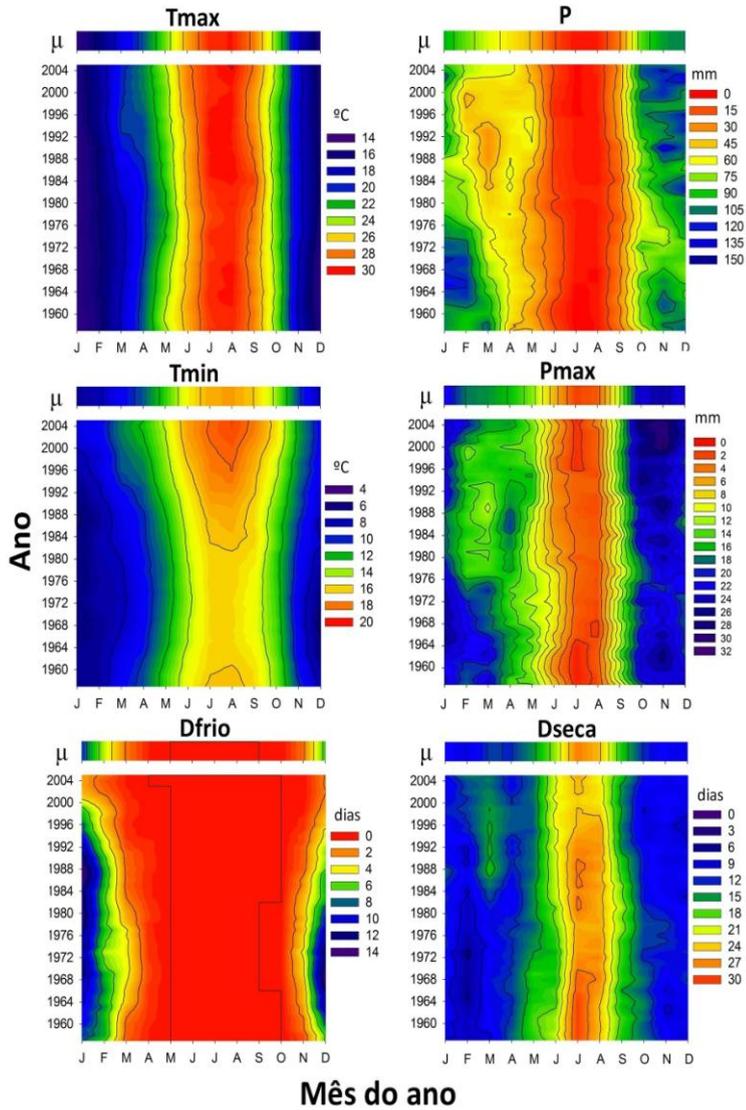


Figura 5 - Séries temporais mensais das variáveis *Tmin*, *Tmax*, *Dfrio*, *P*, *Pmax* e *Dseca* entre 1958 e 2011, atenuadas com média móvel de 15 anos. A barra acima de cada gráfico indica a média geral (μ) de 1958-2011

Efeito das recentes alterações climáticas no crescimento radial

As correlações entre a largura do anel (LA) ou a densidade média (DMED) *versus* as relações mensais das variáveis climáticas estão apresentadas na Figura 6. As correlações obtidas pelas variáveis LA ou DMED e o índice multi-escalar SPEI, assim como o efeito comparativo de cada variável climática estão apresentados nas Figuras 7 e 8, respectivamente.

Através da análise das Figuras 6 e 8 é possível concluir que o crescimento radial da árvore foi mais sensível à temperatura do que à precipitação. A variável LA foi essencialmente correlacionada de forma positiva com a temperatura e mais intensa e frequentemente com Tmin (Figuras 6 e 8). Além disso, as correlações significativas com Tmin mostraram ser mais fortes durante a maior parte do ano que precedeu a formação do anel. O sinal e nível de correlação entre LA e Tmin (Figura 6) seguiu a evolução das tendências da Tmin desde 1958, baixando de 1958 a 1982 e aumentando novamente depois (Figuras 5 e 6). A LA também respondeu positivamente e de forma muito significativa ao desaparecimento dos dias frios desde 1986 com uma significância crescente até 2012 (Figuras 5, 6 e 8).

Apesar de ocorrer uma resposta mais significativa à temperatura, o crescimento radial das árvores foi consistentemente e positivamente correlacionado com a precipitação do inverno e a sua intensidade (Figuras 5 e 6). As correlações positivas significativas com P, e negativas com Dseca, encontraram-se principalmente concentradas nos meses de novembro a janeiro, prévios à formação do anel de crescimento (Figura 6). A resposta positiva da LA à Pmax intensificou-se desde a década de 1990, passando depois de outubro para dezembro de acordo com as mudanças sazonais de Pmax (Figuras 5 e 6).

Através da resposta negativa do crescimento radial à redução dos dias chuvosos na primavera (Dseca) observados na década de 1990 (Figuras 4, 5 e 6) podemos concluir que o défice de precipitação primaveril afectou negativamente a LA (Figuras 5, 6, 7 e 8). Surpreendentemente, o LA não mostrou uma correlação forte com o SPEI, embora, os melhores coeficientes de correlação tenham sido obtidos com SPEI calculado numa escala temporal de 7-8 meses (Figuras 7 e 8). Essas relações mostraram-se mais significativas a partir do final da década de 1980 (Figura 7).

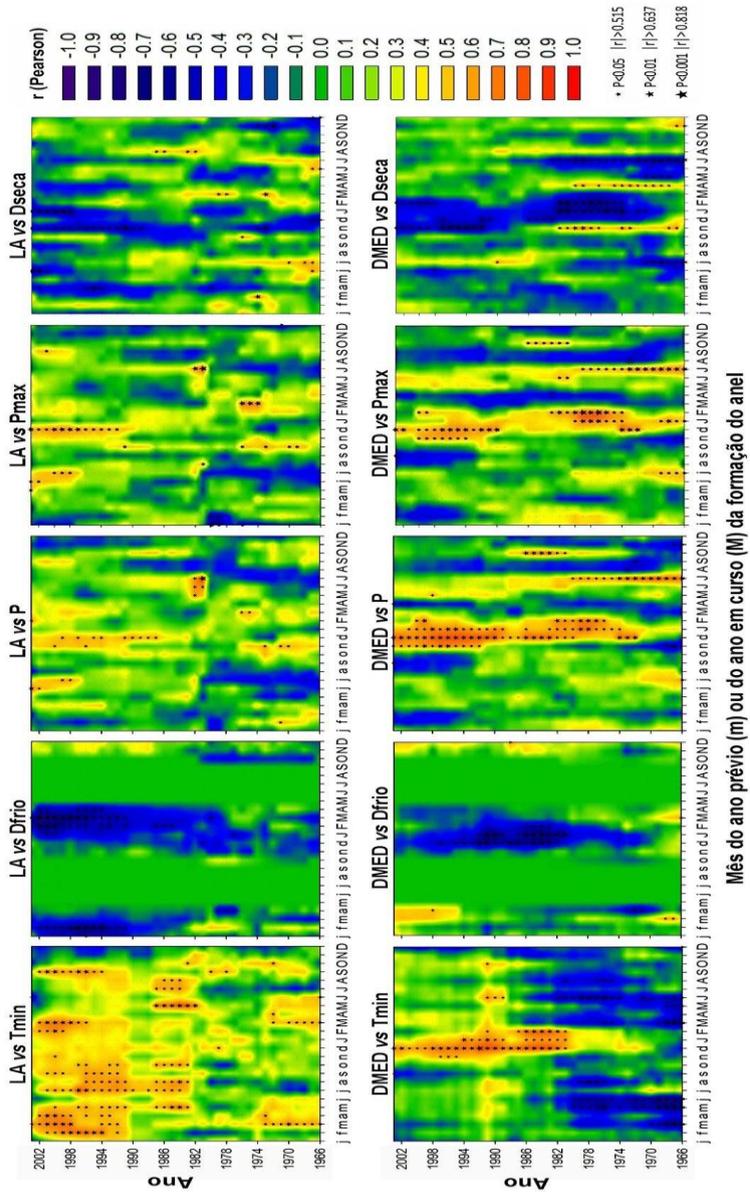


Figura 6 - Correlações entre LA (A) ou DMED (B) e as variáveis climáticas (Tmin, Tmax, Dfrio, P, Pmax, Dseca)

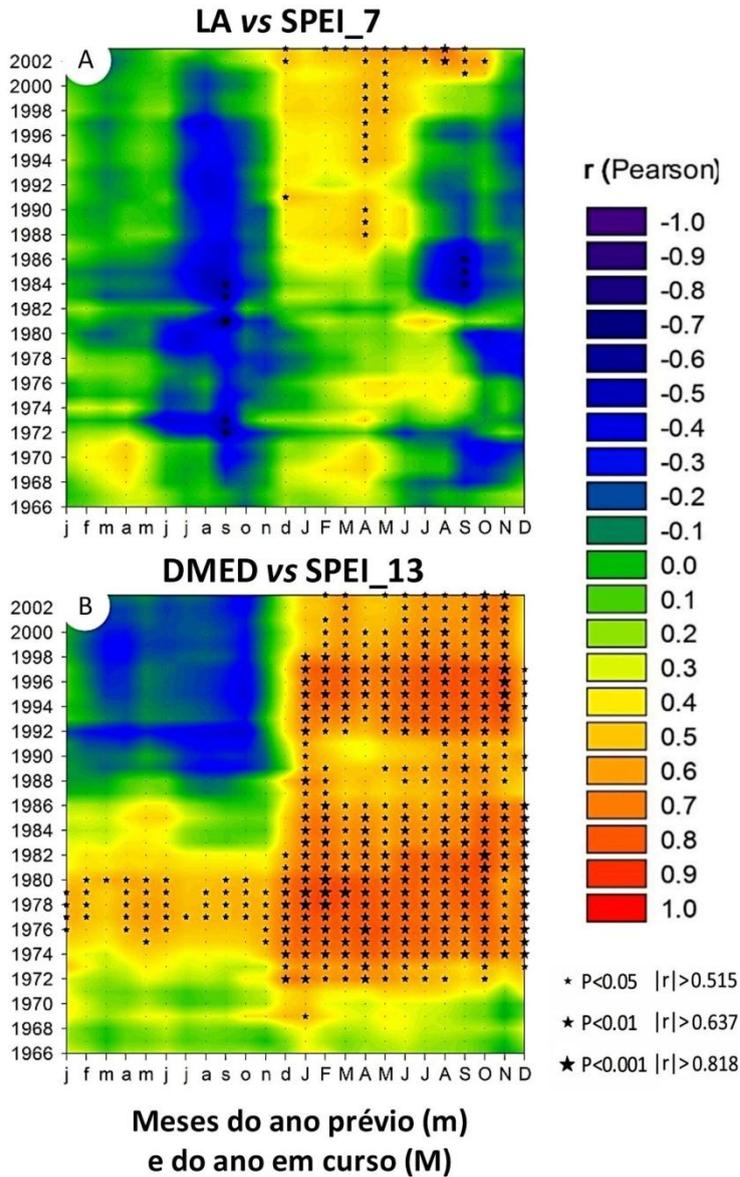


Figura 7 - Melhores correlações obtidas entre LA (A) ou DMED (B) e o SPEI com escala temporal de 7 e 13 meses, respectivamente

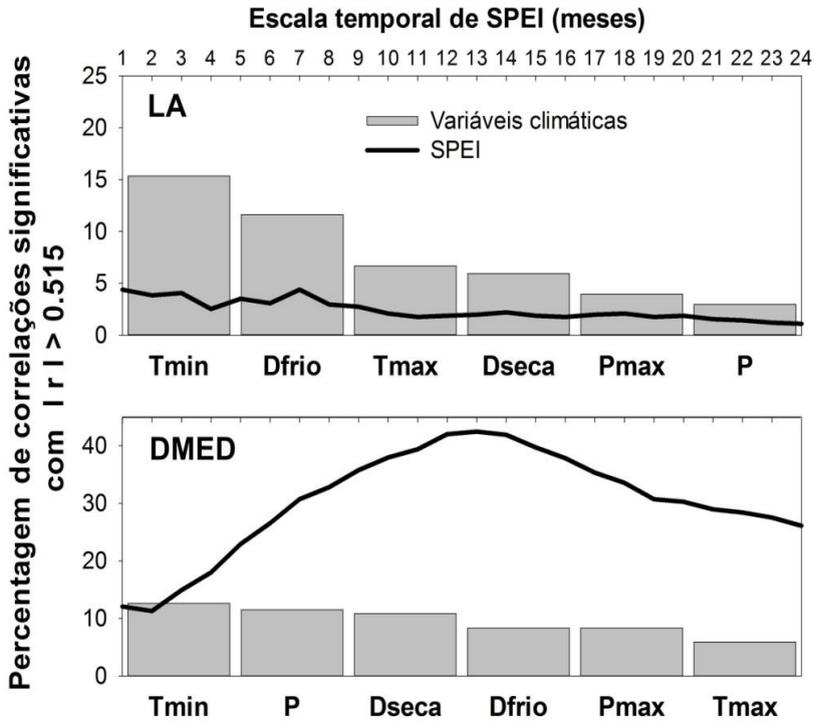


Figura 8 - Classificação da proporção de correlações significativas obtidas entre as variáveis dendrocronológicas LA (A) ou DMED (B) e das variáveis climáticas Tmin, Tmax, Dfrio, P, Pmax e Dseca

Efeito das recentes alterações climáticas na densidade radial média

A densidade dos anéis de pinheiro-bravo respondeu drasticamente à inflexão na tendência de temperatura mínima, quando a tendência da Tmin passou de decrescente para crescente nos anos 1970 (Figuras 5 e 6). Aliás, o número de correlações significativas e as suas magnitudes foram proporcionais à amplitude da mudança de temperatura (Figuras 5 e 6). A DMED foi mais sensível à Tmin do que à LA (Figuras 6 e 8), conforme a clivagem radical no padrão de correlação entre a DMED e às variáveis baseadas em temperatura a partir dos anos 1980 (Figura 6). Antes desta década, a densidade do lenho estava negativamente correlacionada com a temperatura (Tmin e Tmax) e essencialmente durante o período de primavera (Figura 6). Após a década de 1980 as relações positivas significativas tornaram-se dominantes no inverno,

precedendo a formação do anel (Figura 6), o que se adequa ao desaparecimento de dias frios (Figuras 4, 5 e 6).

Foram observadas correlações positivas entre DMED e as variáveis ligadas à precipitação em julho, tanto no ano de formação do anel como no ano anterior, mas apenas até 1975 (Figura 7). A partir de 1972 apareceram correlações positivas significativas durante o período de inverno anterior ao crescimento do anel (Figura 6) e depois de 1972, com árvores já num estado mais adulto, apareceram relações positivas fortes e consistentes entre DMED e a precipitação de inverno, e negativas entre DMED e Dseca de inverno (Figura 6). Em geral, a densidade média dos anéis mostrou mais resultados significativos quando confrontado com o índice SPEI de 13 meses (Figura 7).

Discussão

Evolução recente do clima no centro-sul de Portugal

A recente evolução da temperatura e desaparecimento dos dias frios no sul de Portugal estão de acordo com o recente Relatório de Avaliação do IPCC (2013). Apesar de um pequeno declínio anual de precipitação ter sido frequentemente reportado em Portugal continental entre 1951 e 2010 (SANTO *et al.*, 2014a; SOUSA *et al.*, 2011), os nossos resultados baseados no conjunto de dados climáticos ECAD ainda não apresentam uma evidência clara dessa tendência. No entanto, destacamos mudanças significativas nos padrões sazonais de precipitação, nomeadamente, uma descida de precipitação traduzida por um aumento de períodos secos (Dseca) na primavera e a intensificação da precipitação no outono desde a década de 1980. Estas mudanças foram também relatadas anteriormente por MIRANDA (2006), e mais recentemente por Santo *et al.* (2014a, b).

O declínio do índice SPEI, observado desde o final de 1980, está de acordo com os resultados de VICENTE-SERRANO *et al.* (2010) em Espanha. No nosso local de estudo, o mesmo resultado provavelmente ocorreu devido à crescente capacidade evaporativa da atmosfera resultante do aumento da temperatura, uma vez que a precipitação anual não foi significativamente alterada.

Resposta do crescimento radial de P. pinaster às alterações climáticas recentes

Existem padrões de correlações consistentes nos nossos resultados que mostram que o crescimento do anel lenhoso e a densidade no pinheiro-bravo

foram mais afetados por variáveis ligadas à temperatura em vez da precipitação, quando consideradas apenas variáveis climáticas mensais independentes (Figura 8). O incremento e a densidade radial do lenho de pinheiro-bravo mostraram uma forte resposta à temperatura mínima (Figuras 6 e 8), que seguiu nitidamente as alterações de tendências de T_{min} ao longo do período de estudo (Figuras 4, 5 e 6).

Além disso, a formação dos anéis respondeu muito positivamente ao recente desaparecimento de dias frios (Figuras 4, 5 e 6), possivelmente devido à extensão do período de crescimento radial. Isto prende-se com o facto de a actividade do câmbio se manter devido a um maior número de dias com T_{min} acima de 5°C (VIERA *et al.*, 2014). Em geral, os nossos resultados mostram os benefícios do aumento da temperatura mínima nas propriedades dendrocronológicas do lenho de *P. pinaster*, em particular desde a década de 1980, no centro-sul de Portugal.

A precipitação do inverno anterior à formação do anel apresentou correlações positivas consistentes com o crescimento radial do lenho (Figura 6), em concordância com os resultados de VIERA *et al.* (2009, 2010). De facto, os autores mostraram que um inverno mais seco antes do crescimento tem um impacto negativo na largura do anel do pinheiro-bravo. Aliás, o crescimento dos anéis de *P. pinaster* pareceu ser mais sensível às mudanças sazonais dos padrões de precipitação do que às flutuações de precipitação anuais desde 1958. Assim, a LA dos anéis foi prejudicada pelo recente défice de precipitação da primavera do ano anterior à formação do anel, principalmente desde a década de 1990 (Figuras 5 e 6). O declínio da precipitação na primavera, igualmente reportado por PAREDES *et al.* (2006), pode ser associado ao aumento da evaporação e ao esgotamento antecipado das reservas de água nos horizontes superficiais do solo pela vegetação. Por sua vez, a redução de armazenamento de água no solo atuando em sinergia com o aumento de temperatura e com a redução da infiltração da precipitação devido à intensificação das chuvas de outono que aumentam o escoamento (LORENZO-LACRUZ *et al.*, 2017). As resultantes alterações do ciclo hídrico podem explicar tanto o declínio pronunciado do SPEI desde a década de 1980 (Figuras 1B e 4F), como as relações encontradas entre as propriedades dos anéis e o índice de seca SPEI acumulado ao longo de 7 meses (Figuras 7 e 8), que identificam o crescente défice hídrico como factor chave da perda de produtividade do pinheiro-bravo no centro-sul de Portugal.

A resposta do crescimento radial do pinheiro-bravo às variáveis baseadas em precipitação enfatiza a importância do armazenamento de água da precipitação

desde o outono até o fim do inverno (e recentemente ainda incluindo a primavera), antes do período de crescimento dos anéis (Figuras 5, 6, 7 e 8).

Resposta da densidade radial de P. pinaster às alterações climáticas recentes

De acordo com CAMPELO *et al.* (2007), o clima pode explicar até 76% da variabilidade da densidade da madeira do pinheiro em Portugal. As mudanças na tendência de temperatura observadas no nosso trabalho pareceram afectar severamente a densidade média dos anéis, porém, os valores de correlação mostraram menor consistência e maior complexidade comparativamente aos obtidos com o crescimento radial. De um modo geral, a densidade foi mais afetada pela temperatura (T_{min} e T_{max}) antes da década de 1980, e sobretudo pela temperatura do inverno do ano precedente à formação do anel (Figura 6).

A resposta de DMED às variáveis baseadas em precipitação mudou fortemente do estado juvenil ao estado adulto das árvores. A fase juvenil tende a ser caracterizada por uma alta variação fenotípica (LOUZADA e FONSECA, 2002), dentro da qual o potencial genético se revela entre os 7 e 10 anos de idade cambial (GASPAR *et al.*, 2008). Isso poderá estar relacionado com uma maior sensibilidade das árvores jovens às flutuações climáticas e ao estabelecimento e desenvolvimento da árvore juvenil no solo.

Por outro lado, a densidade do lenho e principalmente o lenho final (KURZ-BESSON *et al.*, 2016) foram cada vez mais afetados pelo défice de água a longo prazo desde a década de 1980, sublinhado pela correlação positiva entre DMED e o SPEI_13 (Figura 7) e pelo declínio do índice SPEI (Figura 4). O défice de água afeta os processos fisiológicos envolvidos na alocação e utilização de hidratos de carbono armazenados no final ou mesmo após a estação de crescimento (KOZLOWSKI e PALLARDY, 1997). NABAIS *et al.* (2014) sugeriram que a redução da absorção de carbono devido a uma menor precipitação no inverno e na primavera poderia impedir o processo de acumulação de reservas na parede celular em traqueídeos de lenho tardio, reduzindo a densidade média das células. Ainda se demonstrou que o stress hídrico influencia as flutuações da densidade do anel por um efeito direto sobre o volume celular, que por sua vez afecta o diâmetro do lúmen assim como o compromisso entre a segurança e a eficiência hidráulica (WILKINSON *et al.*, 2015). Além de restringir a transpiração e a assimilação de carbono através da regulação da condutância estomática, o stress hídrico pode também desviar a alocação de carbono para as raízes, tornando-se então um sumidouro de carbono prioritário (KURZ-BESSON

et al., 2006). Essa alteração reduziria o espessamento da parede celular no tronco e a densidade do lenho.

Relevância da recarga freática para a produtividade e qualidade de P. pinaster em áreas xéricas

Foi referido por FRIES e ERICSSON (2009) que o lenho juvenil dá lugar a lenho adulto a partir de 15-20 anos desde a medula do tronco. Os nossos resultados concordam com esta informação, e mostram uma mudança de correlações significativas do estágio juvenil para mais adulto entre o clima e DMED, desde a primavera do ano atual até o inverno do ano prévio à formação do anel. No nosso estudo, a transição anatômica ocorreu por volta de 1972, quando as árvores tinham cerca de 20 anos de idade (tendo em conta que 14 anéis foram formados entre 1958 e 1972 e que as árvores necessitam de 6 anos para atingir a altura do peito onde a verrumada foi recolhida). Esta idade de transição está de acordo com o trabalho de MUTZ *et al.* (2004) que mediram e modelaram a densidade do lenho tardio de pinheiro silvestre.

A variação de densidade estrutural do lenho desde o núcleo até à periferia do tronco está associada à competição por luz e ao gasto dos recursos da própria árvore até esta alcançar o topo da copa onde a fotossíntese será maximizada (RAMANANANTOANDRO *et al.*, 2016). Os padrões de correlações obtidos entre DMED e P, P_{max} e D_{seca}, mostram que na idade da transição estrutural do lenho juvenil para adulto, a densidade média do anel passou de estar altamente correlacionada com a precipitação estival no estado juvenil, para o estar com a precipitação invernal no estado adulto. Presumimos que tal poderá ter acontecido devido a uma alteração da fonte de água da árvore, estando as árvores juvenis mais dependentes de fontes de água mais próximas no verão (precipitação recente armazenada em horizontes superficiais) e árvores adultas estarão mais dependentes de fontes de água mais antigas armazenadas desde o inverno (água de horizontes mais profundos, água subterrânea ou freática).

O estudo de DANJON *et al.* (2013) com pinheiro-bravo do Sudoeste da França apoia esta hipótese. Os autores comprovaram o desenvolvimento de raízes mergulhadoras (“sinker roots”) em árvores de 5 anos de idade e a expansão de raízes profundas após 12 anos, tornando-se mais abundantes, espessas e profundas após 19 anos de idade. Os autores mostraram também que as raízes profundas possuem uma alta taxa de absorção, especialmente durante os períodos de seca. Isto foi também comprovado anteriormente para espécies lenhosas co-ocorrentes, como o pinheiro de Alepo (*P. halepensis*) e o sobreiro

(*Quercus suber*) (KURZ-BESSON *et al.*, 2014; DAVID *et al.*, 2013; FILELLA e PENUELAS, 2003). A profundidade máxima de enraizamento referida para as três espécies florestais supracitadas ultrapassa os 7m de profundidade (CANADELL *et al.*, 1996; DAVID *et al.*, 2013). Igualmente, GÓMEZ e VIÑAS (2011) mostraram que a maior parte do volume de raiz do pinheiro-bravo permanece na zona insaturada do solo, e apenas as raízes profundas se encontram ligadas ao nível freático (durante a estação húmida) ou à franja capilar (durante a estação seca). A mesma mostra flutuações sazonais importantes seguindo as variações da profundidade do nível freático (RONEN *et al.*, 2000).

No local de amostragem verificámos que a precipitação no inverno costuma fornecer a maior quantidade de água na nossa localização. Uma vez que a disponibilidade de água nos horizontes do solo superficial não é um factor limitante durante o inverno e uma vez que a atividade fisiológica de *P. pinaster* é mínima nesta época do ano (VIERA *et al.*, 2014), os nossos resultados sugerem fortemente que o crescimento de *P. pinaster* é favorecido por uma maior recarga de fontes de águas profundas no fim da estação da chuva. Esta afirmação é ainda reforçada por vários estudos realizados em locais próximos do povoamento florestal de estudo, que mostraram que a recarga do aquífero geralmente ocorre 3 a 4 meses após o início das chuvas, a seguir ao período de seca estival (RIBEIRO e VEIGA da CUNHA, 2010; FRANCÉS, 2008).

A flutuação de recarga do aquífero também poderá ter sido responsável pelas relações mais fortes observadas entre o crescimento e a densidade do lenho e o SPEI desde a década de 1980 (Figura 8), uma vez que o aumento da temperatura e da evapotranspiração levaram a uma diminuição do armazenamento de água na região. Alguns estudos que prevêem um declínio significativo do processo de escoamento e dos caudais de rios no futuro próximo também prenunciam uma queda da recarga do aquífero na bacia do sul do Mediterrâneo (MOURATO *et al.* 2015; FISEHA *et al.*, 2014). Por exemplo, um declínio de 40 a 68% da recarga anual de águas subterrâneas previsto até 2050 no norte de Marrocos, está associado a uma queda de cerca de 5m do nível da água subterrânea (VAN DIJCK *et al.*, 2006). No sul de Portugal, prevê-se uma queda do escoamento de 13 a 90% até o final do século (MOURATO *et al.*, 2015).

Desde a década de 1960, o sul de Portugal enfrentou um aumento significativo da aridez, derivando de um clima seco sub-húmido para um clima semi-árido (COSTA e SOARES, 2012). Usando o conjunto de modelos climáticos ENSEMBLE com o melhor desempenho para a Península Ibérica, SOARES *et al.* (2015, 2017) preveem reduções consistentes de precipitação entre 20 e 30% nesta

área geográfica, de acordo com os cenários de emissão de gases de efeito estufa A1B e RCP8.5, até ao final do século XXI. Com os mesmos cenários, JACOB *et al.* (2014) apontam para um aumento da temperatura média anual do ar acima dos 3°C na área sul do Mediterrâneo até 2100. Essas previsões concordam com a queda prevista dos índices de seca multi-escalar e o conseqüente agravamento da secura no sul da Europa até ao final do século XXI (STAGGE *et al.*, 2015). Tais mudanças irão provavelmente agravar o estado de aridez, afetando severamente a recarga de águas subterrâneas e induzindo uma queda aguda da profundidade da zona não-saturada e dos níveis de água subterrânea.

De acordo com os nossos resultados, estas mudanças drásticas do equilíbrio hídrico do ecossistema deverão induzir severas conseqüências para a produtividade e qualidade do lenho de *P. pinaster* no centro-sul de Portugal no futuro próximo. Contudo, o presente caso de estudo deverá abranger amostras de novos locais edafoclimáticos representativos da região do Alentejo para melhor avaliar a pertinência comercial e sustentabilidade do pinheiro-bravo nas áreas sub-húmidas a semi-áridas de Portugal num futuro próximo.

Conclusão

Neste artigo, analisaram-se e sintetizaram-se perto de 13000 correlações resultantes do impacto da recente variabilidade climática sobre o crescimento e densidade dos anéis de pinheiro-bravo no centro-sul de Portugal entre 1958 e 2011.

Os nossos resultados sublinham que existe uma complexa e antagonista resposta da formação dos anéis aos efeitos combinados das recentes alterações da temperatura e da precipitação. Enquanto que o crescimento do lenho do pinheiro-bravo beneficiou do desaparecimento dos dias frios e do aumento da temperatura mínima, o mesmo sofreu de um défice prolongado de água, que se tornou mais frequente no centro-sul de Portugal após o início da revolução industrial. O impacto das alterações climáticas recentes foi mais pronunciado para a densidade média dos anéis, que diminuiu nitidamente com a intensificação das secas após 1980, prejudicando a qualidade do lenho para fins comerciais nesta área geográfica de Portugal.

Compreender como as propriedades dos anéis de *P. pinaster* são afetadas pelas alterações climáticas em condições climáticas contrastantes e, de acordo com a variabilidade genética das espécies, ainda está a ser avaliado em Portugal. Os resultados das investigações em curso permitirão caracterizar a produtividade esperada do pinheiro-bravo de acordo com os cenários de

alterações climáticas mais atualizados. Este conhecimento será crucial para o sector agroflorestal, para os decisores políticos e gestores de água da região do Alentejo, para se desenvolverem estratégias de adaptação de forma a garantir a produtividade e benefícios comerciais do pinheiro-bravo em Portugal num futuro próximo.

Financiamentos

Esta publicação foi apoiada pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através dos projetos UID/GEO/50019/2013-Instituto Dom Luiz e PIEZAGRO_PTDC/AAG-REC/7046/2014.

Agradecimentos

Os dados foram processados na instalação computacional desenvolvida no âmbito do projeto SHARE (RECI/GEO-MET/0380/2012) financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT). Os autores desejam também agradecer aos projetos financiados pela FCT PIEZAGRO (PTDC/AAG-REC/7046/2014), PINUS RAIN (PTDC/AGR-CFL/099614/2008) e SOLAR (PTDC/GEOMET/7078/2014), que compartilharam dados preliminares sem os quais este trabalho não teria sido possível. Os autores agradecem ainda à FCT pela bolsa à doutora Ana Russo (SFRH/BPD/99757/2014) que disponibilizou os dados dos índices SPEI e ao Eng. Rui Alves por todo o apoio logístico no campo da Companhia das Lezírias S.A.

Referências bibliográficas

- AGUIAR, A., ALMEIDA, M.H., BORRALHO, N., 2003. Genetic control of growth, wood density and stem characteristics of *Pinus pinaster* in Portugal. *Silva Lusitana* **11**: 131-139.
- ALÍA, R., MARTÍN, S., 2003. *EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for maritime pine* (*Pinus pinaster*). Rome: International Plant Genetic Resources Institute.
- BARNETT, J., 2003. *Wood quality and its biological basis*. Oxford: Blackwell Publ, 240pp.
- CAMPELO, F., VIEIRA, J., NABAIS, C., 2013. Tree-ring growth and intra-annual density fluctuations of *Pinus pinaster* responses to climate: does size matter?. *Trees* **27**: 763-772. doi: 10.1007/s00468-012-0831-3.

- CAMPELO, F., NABAIS, C., FREITAS, H., GUTIERREZ, E., 2007. Climatic significance of tree-ring width and intra-annual density fluctuations in *Pinus pinea* from a dry Mediterranean area in Portugal. *Ann. For. Sci.* **64** (2): 229-238. doi: 10.1051/forest:2006107.
- CANADELL, J., JACKSON, R.B., EHLERINGER, J.R., MOONEY, H.A., SALA, O.E., SCHULZE, E.D., 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecol.* **108**: 583-595. doi:10.1016/j.foreco.2015.09.014.
- CARDOSO, R.M., SOARES, P.M.M., MIRANDA, P.M.A., BELO-PEREIRA, M., 2013. WRF high resolution simulation of Iberian mean and extreme precipitation climate. *Int. J. Climatol.* **33**: 2591-2608, doi: 10.1002/joc.3616.
- CARRER, M., URBINATI, C., 2006. Long-term change in the sensitivity of tree-ring growth to climate forcing of *Larix decidua*. *New Phytol.* **170**: 861-872. doi: 10.1111/j.1469-8137.2006.01703.
- CARRIÓN, J.S., NAVARRO, C., NAVARRO, J., MUNUERA, M., 2000. The distribution of cluster pine (*Pinus pinaster*) in Spain as derived from palaeoecological data: relationships with phytosociological classification. *The Holocene* **10**: 243-252. doi: 10.1191/095968300676937462.
- CHERUBINI, P., GARTNER, B.L., TOGNETTI, R., BRÄKER, O.U., SCHOCH, W., INNES, J.L., 2003. Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from Mediterranean climates. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* **78**: 119-148. doi: 10.1017/S1464793102006000.
- CLEVELAND, R.B., CLEVELAND, W.S., MCRAE, J.E., TERPENNING, I., 1990. STL: a seasonal-trend decomposition procedure based on Loess. *J. Off. Stat.* **6**: 3-73.
- COOK, E.R., 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-ring Bull.* **47**: 37-59.
- COOK, E.R., PETERS, K., 1981. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-ring Bull.* **41**: 45-55.
- CORREIA, I., ALMEIDA, M.H., AGUIAR, A., 2004. Variabilidade do Crescimento e da Forma de Proveniências de *Pinus pinaster* Aiton aos 8 anos, na Mata Nacional do Escarpim. *Silva Lusitana* **12**: 151-182.
- COSTA, A.C., SOARES C., 2012. Local spatiotemporal dynamics of a simple aridity index in a region susceptible to desertification. *J. Arid Environ.* **87** : 8-18. doi: 10.1016/j.jaridenv.2012.05.005.
- DANJON, F., CAPLAN, J.S., FORTIN, M., MEREDIEU C., 2013. Descendant root volume varies as a function of root type: estimation of root biomass lost

- during uprooting in *Pinus pinaster*. *Front. Plant Sci.* **4**: 402. doi: 10.3389/fpls.2013.0040.
- DAVID, T.S., PINTO, C.A., NADEZHDINA, N., KURZ-BESSON, C., HENRIQUES, M.O., QUILHÓ, T., CERMAK, J., CHAVES, M.M., PEREIRA, J.S., DAVID, J.S., 2013. Root functioning, tree water use and hydraulic redistribution in *Quercus suber* trees: A modeling approach based on root sap flow. *For. Ecol. Manag.* **307**: 136–146. doi: 10.1016/j.foreco.2013.07.012.
- DE LUIS, M., CUFAR, K., DI FILIPPO, A., NOVAK, K., PAPAPOPOULOS, A., PIOVESAN, G., RATHGEBER, C.B.K., RAVENTÓS J., SAZ M.A., SMITH, K.A., 2013. Plasticity in dendroclimatic response across the distribution range of Aleppo pine (*Pinus halepensis*). *PLoS ONE* **8** (12): e83550. doi: 10.1371/journal.pone.0083550.
- DeSOTO, L., VARINO, F., ANDRADE, J.P., GOUVEIA, C.M., CAMPELO, F., TRIGO, R.M., NABAIS, C., 2014. Different growth sensitivity to climate of the conifer *Juniperus thurifera* on both sides of the Mediterranean Sea. *Int. J. Biometeorol.* **58**: 2095-2109. doi: 10.1007/s00484-014-0811-y.
- DIFFENBAUGH, N.S., GIORGI, F., 2012. Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble. *Clim. Chang.* **114**: 813-822. doi: 10.1007/s10584-012-0570-x.
- DREW, D.M., ALLEN, K., DOWNES, G.M., EVANS, R., BATTAGLIA, M., BAKER, P., 2013. Wood properties in a long-lived conifer reveal strong climate signals where ring-width series do not. *Tree Physiol.* **33**: 37-47. doi: 10.1093/treephys/tps111.
- FIGUEIREDO, T. de, 2013. "Case Study 7, Runoff erosion in Portugal: a broad overview" in *Runoff erosion*, eds. N. Evelpidou, S. Cordier, A. Merino, T. de Figueiredo, C. Centeri, University of Athens, pp. 345-363.
- FILELLA, I., PEÑUELAS, J., 2003. Indications of Hydraulic Lift by *Pinus halepensis* and Its Effects on the Water Relations of Neighbour Shrubs. *Biol. Plantarum* **47**: 209-214. doi: 10.1023/B:BIOP.0000022253.08474.f0.
- FONTI, P., JANSEN, S., 2012. Xylem plasticity in response to climate. *New Phytol.* **195**: 734–736. doi: 10.1111/j.1469-8137.2012.04252.x.
- FISEHA, B.M., SETEGN, S.G., MELESSE, A.M., VOLPI, E., FIORI, A., 2014. Impact of climate change on the hydrology of upper Tiber River basin using bias corrected regional climate model. *Water Resources Management* **28**: 1327-1343. doi: 10.1007/s11269-014-0546-x.
- FRAGOSO, M., TILDES GOMES, P., 2008. Classification of daily abundant rainfall patterns and associated large-scale atmospheric circulation types in Southern Portugal. *Int. J. Climatol.* **28**: 537-544. doi: 10.1002/joc.1564.

- FRANCÉS, A.P., 2008. *Spatio-temporal groundwater recharge assessment: a data - integration and modelling approach*. [dissertation/master's thesis]. [Enschede (ITC)]: International Institute for Geo-information Science and Earth Observation.
- FRIES, A., ERICSSON, T., 2009. Genetic parameters for earlywood and latewood densities and development with increasing age in Scots pine. *Ann. Forest Sci.* **66**: 404. doi: 10.1051/forest/2009019.
- FRITTS, H.C., 1976. *Tree Rings and Climate*. London: Academic Press, 567pp.
- GARCÍA-BARRÓN, L., AGUILAR, M., SOUSA, A., 2011. Evolution of annual rainfall irregularity in the southwest of the Iberian Peninsula. *Theor. App. Climatol.* **103**: 13-26. doi: 10.1007/s00704-010-0280-0.
- GASPAR, M., LOUZADA, J., SILVA, M., AGUIAR, A., ALMEIDA, H., 2008. Age trends in genetic parameters of wood density components in 46 half-sibling families of *Pinus pinaster* Ait. *Can. J. Forest Res.* **38**: 1470-1477. doi: 10.1139/X08-013.
- GASPAR, M., LOUZADA, J., RODRIGUES, J., AGUIAR, A., ALMEIDA, M., 2009. Does selecting for improved growth affect wood quality of *Pinus pinaster* in Portugal? *Forest Ecol. Manag.* **258**: 115-121. doi: 10.1016/j.foreco.2009.03.046.
- GÓMEZ SANZ, V., GARCIA VIÑAS, J.I., 2011. Soil moisture spatio-temporal behaviour of *Pinus pinaster* stands on sandy flatlands of central Spain. *For. Syst.* **20**: 293-302. doi: 10.5424/fs/2011202-11186.
- GOUVEIA C., TRIGO, R.M., DACAMARA, C.C., LIBONATI, R., PEREIRA, J.M.C., 2008. The North Atlantic Oscillation and European vegetation dynamics. *Int. J. Climatol.* **28**: 1835-1847. doi: 10.1002/joc.1682.
- HAYES, M.J., SVOBODA, M.D., WILHITE, D.A., VANYARKHO, O.V., 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *B. Am. Meteorol. Soc.* **80**: 429-438. doi: 10.1175/1520-0477(1999)080<0429:MTDUTS>2.0.CO;2.
- HAYGREEN, J., BOWYER, J., 1996. *Forest Products and Wood Science: An Introduction*, 3rd ed., Iowa State University Press, Ames, IA.
- HAYLOCK, M.R., HOFSTRA, N., KLEIN TANK, A.M.G., KLOK, E.J., JONES, P.D., NEW, M., 2008. A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.* **113**: D20119. doi: 10.1029/2008JD10201.
- HOADLEY, R.B., 2000. *Understanding Wood: A Craftsman's Guide to Wood Technology* (2nd. ed.). Newton: Taunton Press.

- ICNF, 2013. IFN6 – *Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares*. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, Lisboa, 34 pp.
- ILIC, J., BOLAND, D., MCDONALD, M., DOWNES, G., BLAKEMORE, P., 2000. *Woody Density Phase 1 – State of Knowledge*. Australian Greenhouse Office, Technical Report 18, 234 pp.
- IPCC, 2013. “*Climate Change 2013: The Physical Science Basis*”. *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 1535 pp.
- JACOB, D., PETERSEN, J., EGGERT, B., ALIAS, A., CHRISTENSEN, O. B., BOUWER, L. M., BRAUN, A., COLETTE, A., DÉQUÉ, M., GEORGIEVSKI, G., GEORGOPOULOU, E., GOBIET, A., MENUT, L., NIKULIN, G., HAENSLER, A., HEMPELMANN, N., JONES, C., KEULER, K., KOVATS, S., KRÖNER, N., KOTLARSKI, S., KRIEGSMANN, A., MARTIN, E., VAN MEIJGAARD, E., MOSELEY, C., PFEIFER, S., PREUSCHMANN, S., RADERMACHER, C., RADTKE, K., RECHID, D., ROUNSEVELL, M., SAMUELSSON, P., SOMOT, S., SOUSSANA, J.-F., TEICHMANN, C., VALENTINI, R., VAUTARD, R., WEBER, B., YIOU, P., 2014. EURO-CORDEX: new high resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Change* **14**: 563-578. doi: 10.1007/s10113-013-0499-2.
- KLEIN TANK, M.G., WIJNGAARD, J.B., KÖNNEN, G.P., BÖHM, R., DEMARÉE, G., GOCHEVA, A., MILETA, M., PASHIARDIS, S., HEJKRLIK, L., KERN-HANSEN, C., HEINO, R., BESSEMOULIN, P., MÜLLER-WESTERMEIER, G., TZANAKOU, M., SZALAI, S., PÁLSDÓTTIR, T., FITZGERALD, D., RUBIN, S., CAPALDO, M., MAUGERI, M., LEITASS, A., BUKANTIS, A., ABERFELD, R., VAN ENGELEN, A.F.V, FORLAND, E., MIETUS, M., COELHO, F., MARES, C., RAZUVAEV, V., NIEPLOVA, E., CEGNAR, T., ANTONIO LÓPEZ, J., DAHLSTRÖM, B., MOBERG, A., KIRCHHOFER, W., CEYLAN, A., PACHALIUK, O., ALEXANDER, L.V., PETROVIC, P., 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int. J. of Climatol.* **22**: 1441-1453. doi: 10.1002/joc.773.
- KOZLOWSKI, T.T., PALLARDY, S.G., 1997. Physiology of Woody Plants. *Biol. Plantarum* **40**: 168-168. doi: 10.1111/j.1095-8339.2006.00620.x.

- KURZ-BESSON, C., OTIENO, D., LOBO-DO-VALE, R., SIEGWOLF, R., SCHMIDT, M.W.T., DAVID, T.S., DAVID, J.S., TENHUNEN, J., PEREIRA, J.S., CHAVES, M., 2006. Hydraulic lift in cork oak trees in a savannah-type Mediterranean ecosystem and its contribution to the local water balance. *Plant Soil* **282**: 361-378. doi: 10.1007/s11104-006-0005-4.
- KURZ-BESSON, C., LOBO DO VALE, R., RODRIGUES, L., ALMEIDA, P., HERD, A., GRANT, O.M, DAVID, T.S., SCHMIDT, M., OTIENO, D., KEENAN, T.F., GOUVEIA, C., MÉRIAUX, C., CHAVES, M.M., PEREIRA, J.S., 2014. Cork oak physiological responses to manipulated water availability in a Mediterranean woodland. *J. Agr. Forest Meteorol.* **184**: 230-242. doi: 10.1016/j.agrformet.2013.10.004.
- KURZ-BESSON C., LOUSADA, J.L., GASPAR, M.J., CORREIA, I., SOARES, P.M.M., CARDOSO, R.M., RUSSO, A., VARINO, F., MÉRIAUX, C., TRIGO, R.M., GOUVEIA, C.M., 2016. Effects of Recent Minimum Temperature and Water Deficit Increases on *Pinus pinaster* Radial Growth and Wood Density in Southern Portugal (special issue “Tree responses to extreme events”). *Front Plant Sci.* **7**: 1170. doi: 10.3389/fpls.2016.01170.
- LEBOURGEOIS, F., MÉRIAN, P., COURDIÉ, F., LADIER, J., DREYFUS, P., 2012. Instability of climate signal in tree-ring width in Mediterranean mountains: a multi-species analysis. *Trees-Struct. Funct.* **26**: 715-729. doi: 10.1007/s00468-011-0638-7.
- LORENZO-LACRUZ, J., GARCÍA, C., MORÁN-TEJEDA, E., 2017. Groundwater level responses to precipitation variability in Mediterranean insular aquifers. *J. Hydrol.* **552**: 516-531.
- LOUZADA, J.L.P.C., FONSECA, F.M.A., 2002. The heritability of wood density components in *Pinus pinaster* Ait. and the implications for tree breeding. *Ann. For. Sci.* **59**: 867-873. doi: 10.1051/forest:2002085.
- LIONELLO, P., 2012. *The Climate of the Mediterranean Region, From the Past to the Future*. London: Elsevier, pp 502.
- MCKEE, T.B., DOESKEN, N.J., KLEIST, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *AMS 8th Conference on Applied Climatology*, pp. 179-184.
- MIRANDA, P.M.A., VALENTE, M.A., TOMÉ, A.R., TRIGO, R., COELHO, M.F., AGUIAR, A., AZEVEDO, E., 2006. O clima de Portugal nos séculos XX e XXI. In *Alterações climáticas em Portugal - cenários, impactes e medidas de adaptação*. Eds. F.D. Santos e P. Miranda, Lisboa, Gradiva, pp. 47-113.

- MOURATO, S., MOREIRA, M., CORTE-REAL, J., 2015. Water Resources Impact Assessment Under Climate Change Scenarios in Mediterranean Watersheds. *Water Res. Manag.* **29**: 2377-2391. doi: 10.1007/s11269-015-0947-5.
- MUTZ, R., GUILLEY, E., SAUTER, U., NEPVEU, G., 2004. Modelling juvenile-mature wood transition in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using nonlinear mixed-effects models. *Annals of Forest Science*, Springer Verlag/EDP Sciences **61**:831-841. doi: 10.1051/forest:2004084.
- NABAIS, C., CAMPELO, F., VIEIRA, J., CHERUBINI, P., 2014. Climatic signals of tree-ring width and intra-annual density fluctuations in *Pinus pinaster* and *Pinus pinea* along a latitudinal gradient in Portugal. *Forestry* **87**: 598-605. doi: 10.1093/forestry/cpu021.
- NUNES, J.P., SEIXAS, J., 2011. "Modelling the impacts of climate change on water balance and agricultural and forestry productivity in Southern Portugal using SWAT". In *Soil hydrology, land use and agriculture: measurement and modelling*, ed. M.K. Shukla (Oxfordshire, UK: CABI international). doi: 10.1079/9781845937973.0366.
- OPPEN, J.J.W., HONE, G.A., 1995. *Gum naval stores: turpentine and rosin from pine resin*. Rome: FAO, 62 pp.
- PAEDES, D., TRIGO, R.M., GARCIA-HERRERA, R., TRIGO, I.F., 2006. Understanding precipitation changes in Iberia in early spring: weather typing and storm-tracking approaches. *J. Hydrometeorol.* **7**: 101-113. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JHM472.1>.
- RAMANANANTOANDRO, T., RAMANAKOTO, M.F., RAJOELISON, G.L., RANDRIAMBOAVONJY, J.C., RAFIDIMANANTSOA, H.P., 2016. Influence of tree species, tree diameter and soil types on wood density and its radial variation in a mid-altitude rainforest in Madagascar. *Annals of Forest Science*, **73** (4): 1-12.
- RIBEIRO, L., VEIGA DA CUNHA, L., 2010. Groundwater in the southern member states of the European Union: an assessment of current knowledge and future prospects - Country report for Portugal. *EASAC policy report* **12**: 23-24.
- RONEN D., SCHER, H., BLUNT, M., 2000. Field observations of a capillary fringe before and after a rainy season. *J. Contam. Hydrol.* **44**: 103-118. doi: 10.1016/S0169-7722(00)00096-6.
- SANTO, F.E., RAMOS, A.M., DE LIMA, M.I.P., TRIGO, R.M., 2014a. Seasonal changes in daily precipitation extremes in mainland Portugal from 1941 to 2007. *Reg. Environ. Change* **14**: 1765-1788. doi: 10.1007/s10113-013-0515-6.

- SANTO, F.E., DE LIMA, M.I.P., RAMOS, A.M., TRIGO, R.M., 2014b. Trends in seasonal surface air temperature in mainland Portugal, since 1941. *Int. J. Climatol.* **34** : 1814-1837. doi: 10.1002/joc.3803.
- SCHRÖTER D., CRAMER W., LEEMANS R., PRENTICE I.C., ARAÚJO M.B., ARNELL N.W., BONDEAU A., BUGMANN H., CARTER T.R., GRACIA C.A., DE LA VEGA-LEINERT A.C., ERHARD M., EWERT F., GLENDINING M., HOUSE J.I., KANKAANPÄÄ S., KLEIN R.J.T., LAVOREL S., LINDNER M., METZGER M.J., MEYER J., MITCHELL T.D., REGINSTER I., ROUNSEVELL M., SABATÉ S., SITCH S., SMITH B., SMITH J., SMITH P., SYKES M.T., THONICKE K., THUILLER W., TUCK G., ZAEHLE S., ZIERL B., 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science* **310**: 1333-1337. doi: 10.1126/science.1115233.
- SOARES, P.M.M., CARDOSO, R.M., MEDEIROS, J., MIRANDA, P.M.A., BELO-PEREIRA, M., ESPIRITO-SANTO, F., 2012. WRF High Resolution Dynamical Downscaling of ERA-Interim for Portugal. *Clim. Dynam.* **39**: 2497-2522. doi: 10.1007/s00382-012-1315-2.
- SOARES, P.M.M., CARDOSO, R.M., FERREIRA, J.J., MIRANDA, P.M.A., 2015. Climate change impact on Portuguese precipitation: ENSEMBLES regional climate model results. *Clim. Dynam.* **45**: 1771-1787. doi 10.1007/s00382-014-2432-x.
- SOARES, P.M.M., CARDOSO, R.M., LIMA, D.C.A. MIRANDA, P.M.A. (2017). Future precipitation in Portugal: high-resolution projections using WRF model and EURO-CORDEX multi-model ensembles. *Climate Dynamics* **49**: 2503-2530. doi: 10.1007/s00382-016-3455-2.
- SOUSA, P., TRIGO, R.M., AIZPURUA, P., NIETO, R., GIMENO, L., GARCIA-HERRERA, R., 2011. Trends and extremes of drought indices throughout the 20th century in the Mediterranean. *Nat. Hazard Earth Sys.* **11**: 33-51. doi: 10.5194/nhess-11-33-2011.
- SOUSA, P.M., TRIGO, R.M., MÁRIO, G., PEREIRA, M.G., BEDIAC, J., GUTIÉRREZ, J.M., 2015. Different approaches to model future burnt area in the Iberian Peninsula. *Agricult. Forest Meterol.* **202**: 11-25. doi: 10.1016/j.agrformet.2014.11.018.
- STAGGE, J.H., RIZZI, J., TALLAKSEN, L.M., STAHL, K., 2015. *Future meteorological drought: projections of regional climate models for Europe*. DROUGHT R&SPI Technical Report No. 25. FP7 Cooperation Work Programme 2011, www.eu-drought.org/technicalreports/3.
- TSOUMIS, G., 1991. *Science and technology of wood: Structure, properties, utilization*. New York, USA, Van Nostrand Reinhold, pp. 82.

- VAN DIJCK, S.J.E., LAOUINA, A., CARVALHO, A.V., LOOS, S., SCHIPPER, A.M., VAN DER KWAST, H., NAFAA, R., ANTARI, M., ROCHA, A., BORREGO, C., RITSEMA, C.J., 2006. Desertification in northern Morocco due to effects of climate change on groundwater recharge. In Kepner W.G., Rubio J.L., Mouat D.A., Pedrazzini F. (eds), *Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue*, Netherlands: Springer, pp 549-577.
- VICENTE-SERRANO, S.M., BEGUERÍA, S., LÓPEZ-MORENO, J.I., 2010. A multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI. *J. Clim.* **23**: 1696-1718. doi: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- VIEIRA, J., CAMPELO, F., NABAIS, C., 2010. Intra-annual density fluctuations of *Pinus pinaster* are a record of climatic changes in the western Mediterranean region. *Can. J. Forest Res.* **40**, 1567-1575. doi: 10.1139/X10-096.
- VIEIRA, J., ROSSI, S., CAMPELO, F., FREITAS, H., NABAIS, C., 2014. Xylogenesis of *Pinus pinaster* under a Mediterranean climate. *Ann. For. Sci.* **71**: 71-80. doi: 10.1007/s13595-013-0341-5.
- WILKINSON S., OGÉE, J., DOMEQ, J.C., RAYMENT, M., WINGATE, L., 2015. Biophysical modelling of intra-ring variations in tracheid features and wood density of *Pinus pinaster* trees exposed to seasonal droughts. *Tree Physiol.* **35**: 305-318. doi: 10.1093/treephys/tpv010.

Entregue para publicação em dezembro de 2017

Aceite para publicação em abril de 2018

Woody biomass torrefaction: fundamentals and potential for Portugal

Liliana M. E. F. Loureiro¹, Leonel J. R. Nunes^{1,2} and Abel M. Rodrigues³*

Abstract. In this work, a review of the torrefaction pretreatment of biomass was conducted, aiming to focus the main topics of torrefaction mechanisms, technology, kinetics and industrial applicability. The relevance of torrefaction for the supply of biomass for bioenergy in Portugal was shown. A laboratorial case study of two torrefaction experiments with woody biomass from silver wattle (*Acacia dealbata*) was also presented. Torrefaction is a thermochemical conversion process wherein the main reaction is the hemicelluloses decomposition, simultaneously with some slight changes in lignin and cellulose. This process, occurring under temperatures in the range 250-320°C, delivers a torrefied biomass with lower O/C and H/C ratios, higher hydrophobicity, better grindability, higher heating values and overall characteristics similar to medium graded coals. The co-firing of torrefied biomass and coal in new or existing power units is thereby turned easier, due to the compatibility between the feedstocks. The results of the two torrefaction trials, under the case study with woody biomass, were representative of the overall torrefaction scenario for the set of the chosen parameters. These trials were performed for the range of temperatures from 180°C to 310°C, respectively, and 15minutes for the residence time. The results showed monotonic decreases of O/C and H/C ratios, with temperature increase, from 0.94 to 0.51 and from 0.11 to 0.07 (first trial) and from 0.71 to 0.30 and from 0.09 to 0.05 (second trial),

¹ YGE - Yser Green Energy SA, Área de Acolhimento Empresarial de Úl/Loureiro, 3720-075 Oliveira de Azeméis, Portugal; liliana.loureiro@ygenergia.com

² DEGEIT - Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal; leonelnunes@ua.pt

³ INIAV - Instituto Nacional de Investigação Agrícola e Veterinária, Unidade Estratégica de Investigação e Serviços de Sistemas Agrários e Florestais e Sanidade Vegetal, Av. da República, Quinta do Marquês, Edifício Florestal, 2780-159 Oeiras, Portugal; abel.rodrigues@iniav.pt

* Corresponding author

respectively. Also lower heating values increased from 18.3MJ to 29MJ/kg and from 21.5MJ/kg to 28.2MJ/kg, respectively.

Key words: torrefaction, woody biomass, heating value, temperature, hydrophobicity

Torrefacção de biomassa lenhosa: fundamentos e potencial para Portugal

Sumário: Neste trabalho foi feita uma revisão do processo de torrefacção de biomassa, visando a abordagem de tópicos fundamentais sobre os mecanismos de torrefacção, tecnologia, cinética e aplicação industrial. Foi também evidenciado o importante potencial da torrefacção para o abastecimento de biomassa para bioenergia em Portugal. Foi também apresentado um caso de estudo laboratorial com dois ensaios de torrefacção de biomassa lenhosa de mimosa (*Acacia dealbata*). A torrefacção é um processo de conversão termoquímica em que a principal reacção é decomposição da hemicelulose, em simultâneo com alterações ligeiras da lenhina e celulose. Este processo termoquímico ocorre numa gama de temperaturas entre 250°C e 320°C e providencia um produto com rácios O/C e H/C inferiores, com maior hidrofobicidade, mais facilmente triturável, com valores de poder calorífico mais elevado e características gerais similares ao carvão. A co-combustão da biomassa torrificada com o carvão em centrais térmicas existentes, ou a implementar, é assim facilitada pela compatibilidade entre a biomassa torrificada e o carvão. Os resultados dos dois ensaios de torrefacção do caso de estudo com biomassa lenhosa são representativos do panorama global da torrefacção da biomassa. Estes ensaios foram realizados no intervalo de temperaturas operativas de 180°C a 310°C, com tempos de residência de 15 minutos. Os resultados mostraram decréscimos das razões O/C e H/C com o acréscimo de temperatura de 0.94 para 0.51 e de 0.11 para 0.07 (1º ensaio) e de 0.71 para 0.30 e de 0.09 to 0.05 (2º ensaio), respetivamente. O poder calorífico inferior aumentou com a intensidade da torrefacção de 18.3MJ/kg para 29MJ/kg e de 21.5MJ/kg para 28.2MJ/kg, respectivamente.

Palavras-chave: torrefacção, biomassa lenhosa, poder calorífico, temperatura, hidrofobicidade

La torréfaction de la biomasse ligneuse: fondamentaux et potentiel pour le Portugal

Résumé: Un examen du prétraitement de torréfaction de la biomasse a été fait dans cet étude, visant approcher les principaux sujets concernant les mécanismes de torréfaction, technologie, cinétique et la possibilité d'application industrielle. La pertinence de la torréfaction pour l'approvisionnement en biomasse pour bioénergie au Portugal a également été démontrée. Un cas d'étude de laboratoire avec deux expériences de torréfaction avec la biomasse ligneuse de mimosa d'hiver (*Acacia dealbata*) est également présentée. Torréfaction est un processus de conversion thermochimique dans laquelle la réaction principale est la décomposition d'hémicelluloses, simultanément avec de légères modifications dans la lignine et de cellulose. Ce processus, se produisant sous des températures comprises entre 250-320°C, offre une biomasse torréfié avec rapports O/C

et H/C inférieurs, forte hydrophobicité, meilleure stabilité, valeurs calorifiques plus hautes et caractéristiques générales similaires à celles des charbons moyens gradués. La co-combustion de la biomasse torréfiée et du charbon, dans les centrales thermiques existantes ou nouvelles, est rendue ainsi plus facile en raison de la compatibilité des matières premières. Les résultats de deux essais de torréfaction, du cas d'étude, avec la biomasse ligneuse étaient représentatifs de la torréfaction en termes globaux. Ces essais ont été effectués dans un intervalle de températures de 180°C à 310°C, respectivement avec 15 minutes de temps de résidence. Les résultats ont montré une diminution monotone des ratios O/C et H/C, de 0,94 à 0,51 et de 0,11 à 0,07 (premier essai), et de 0,71 à 0,3 et de 0,09 à 0,05 (second essai) respectivement, avec l'augmentation de température. Également les faibles valeurs calorifiques ont augmenté de 18,3 MJ à 29 MJ/kg et de 21,5 MJ/kg à 28,2 MJ/kg, respectivement.

Mots-clés: torréfaction, biomasse ligneuse, valeur calorifique, température, hydrophobicité

Introduction

Torrefaction can be defined as a thermochemical conversion process, which takes place in a temperature range of about 220°C to 320°C in the absence of oxygen that produces a material with a reduced O/C ratio (*e.g.*, BROSTRÖM *et al.*, 2012). Biomass torrefaction, very similar to coffee torrefaction, is a process occurring in an inert (oxygen reduced) environment and with a low residence time ranging between a few minutes and two hours, depending on the control of biomass moisture and operative temperature. Among the pre-treatment technologies to improve biomass properties, torrefaction has attracted noticeable interest in the last 20 years, although it is not fully commercially proved on a larger scale.

Biomass is a set of biological or organic materials that can be used for production of bioenergy and biomaterials through thermal or biochemical conversion technologies. There are several ways for defining biomass. Indeed, biomass can be described as plant, vegetation or agricultural waste used as an energy source. Biomass can also be defined as a composite of carbohydrate and lignin polymers with a small amount of inorganic matter and extractable organic components (SCHUELER *et al.*, 2013). Biomass is a carbon-based material, composed of mixture of organic molecules including oxygen, hydrogen, nitrogen and small quantities of atoms such as alkali, alkaline, earth and heavy metals, as well. Woody biomass includes products and by-products derived from forest trees and woodland. Non-woody biomass includes raw materials such as agricultural crops, tertiary level residues, agro-forestry residues, herbaceous products and animal waste (AHMADI *et al.*, 2014). The advantages of biomass fuels, linked to reduced generation of SO₂ and NO_x and the neutrality in relation to CO₂ emissions, are accompanied by several drawbacks that restrict its utilization for energy production. These drawbacks include high oxygen content, resulting in low calorific value, low energy density and excess smoke during combustion, difficult handling and transportation, hygroscopic properties, high moisture content, which also reduce calorific value and give rising to degradation and self-heating during storage, high alkali contents and low combustion efficiency. These limitations hinder the combustion performances and the biomass to energy supply chain logistics due to costly handling and transportation of biomass (CHOJNACKY *et al.*, 2014). After torrefaction, higher energy density, improved feeding properties, improved hydrophobic character and generally high product quality resembling coal are attained. Also biological activity is terminated, reducing risk of

degradation, spontaneous combustion and spreading of invasive and-indigenous species. The final pulverized fuel more resembles coal powder in terms of the mentioned factors, and may therefore be beneficial for the general end use process behavior (LI *et al.*, 2013).

Torrefied biomass is an excellent environmental friendly solid fuel envisaged as an improvement to traditional pellets, being an intermediary product between raw biomass and charcoal (LARSSON *et al.* 2013, NUNES *et al.*, 2014). Several pointed advantages in terms of improvement of characteristics of raw biomass are: i) increasing of energy by mass unit, an advantage with a full potential if complemented with compression, due to mass loss during the thermochemical treatment, ii) reduction in oxygen content and O/C ratio, iii) increased hydrophobic properties and reduction in moisture content, iv) higher specific area per weight unit, vi) increase in homogeneity, vii) easiness of gasification and co-combustion. Torrefied biomass burns longer due to a larger content of fixed carbon and takes less time for ignition due to less moisture content. Torrefied biomass also produces less smoke during combustion since smoke-causing volatiles are driven off during torrefaction (BATIDZIRAI *et al.*, 2013). Torrefaction increases biomass energy density, water resistance, grindability and turns it more protected to biological degradation, which ultimately allows for an easier and more economical transportation and storage. With torrefaction the biological presence is eliminated, diminishing the risk of spontaneous combustion and biodegradation. Typical mass and energy balances (ACHARYA *et al.*, 2012) for willow biomass, considering a torrefaction cycle of 32 minutes and 260°C, using a feeding of woody particles with sizes in the range 10-30 mm, LHV of 14.8MJ/kg, moisture content of 14.4% and fixed carbon of 16.8%, renders a solid torrefied product with a mass yield of 75.3% with particles of the same size of the input biomass, moisture content of 1.9% and a LHV of 18.5 MJ/kg. The lost mass is in the form of condensate liquid from the gases (18.5% of the original mass) and in the form of permanent gases (1.2% of the original mass).

The first indications for torrefaction as a pretreatment for wood to be used on a gasifier are from 1930s in France (KIEL *et al.*, 2014). In the end of the 80s the research work in France, culminated in a demonstration unit in France for producing a reduction compound for metallurgic industry. Torrefied biomass, with heating values ranging from 20 to 25 GJ/ton, has properties similar to coal, a fossil raw material widely used for industrial energy production, with a betterment of the biomass characteristics as a fuel for combustion and gasification. The torrefied biomass has a hydrophobic behavior owing to the

destruction of O-H chemical bonds turning it unable of exchanging moisture with surrounding environment. Also this material can stop biological attacks like rot fungus. Torrefied biomass is less resistant to grinding, with higher production of fine particles. This product is more brittle, owing to its higher C/H and C/O ratios, with lower power consumption on pulverization and with a more efficient co-firing in coal power units (*e.g.*, NUNES, 2015; ACHARYA *et al.*, 2012). Density of torrefied products is dependent on wood species and thermal treatment. The final pulverized torrefied biomass fuel resembles coal powder, exhibiting more uniform and smaller particle sizes than the pulverized raw biomass. The reactivity of torrefied biomass is dependent on the size and dimensions of the particles and also as a general rule will increase with the intensity of the torrefied treatment. The improvement of water resistance of torrefied and pelletized biomass is another well-established fact, verified for example in trials of immersion during 5 minutes in water. Torrefied biomass is more able for transportation, utilization and storage because of increased stability and durability (*e.g.*, NUNES, 2015; ACHARYA *et al.*, 2012).

With torrefaction, about 70 % of the total initial mass of raw material is maintained as a solid, with retention of 90% of the initial energy content. Thereby about 30% of the initial mass, containing 10% of the chemical energy, is lost during torrefaction as flue gases whether condensable (75% of the total gases) or not. The main mass loss is due to water, volatiles and hemicelluloses decomposition to volatile products. The torrefied biomass can be compressed to pellets or briquettes containing significantly more energy than ordinary pellet products (*e.g.*, FELFLI *et al.*, 2005; GHIASI *et al.*, 2014; NUNES, 2015). Torrefied biomass can be used in large scale in thermal conversion units, which support pulverized fuels in co-firing with coal. Due to its similarities with coal, torrefied biomass allow the co-firing amounts with coal as high as 40%, significantly higher than the 10% amount usually considered.

The easiness to pulverize torrefied biomass can thereby reduce the overall dependence on coal. Indeed, nowadays both co-firing and gasification systems for coal are totally dominated by pulverized fuels systems, *i.e.* 98% of the coal-fired boilers are developed for coal powder and 95% of the gasifiers in the world are developed for pulverized fuels (BROSTRÖM *et al.*, 2012). Development of large-scale refinement and distribution systems for biomass dedicated to pulverized fuel systems are therefore needed for combating these negative global trends.

The problems related with ash production in combustion can be minimized through the chlorine separation during torrefaction or by combining biomass

mixtures (e.g., CHEW and DOSHI, 2011; NUNES, 2015). Biomass torrefaction can optimize the logistical and material handling in traditional woody biomass by reducing significantly the cost with grinding and storage, reducing the problems relating to ash emissions and maintaining the general biomass advantages related to carbon neutrality and contribution to mitigation of atmospheric emission of greenhouse gases. The negative factors that have limited the use of woody biomass for producing sustainable energy in industry sectors, can thereby be surpassed by a potential wider use of torrefied biomass (e.g., NUNES, 2015; BATIDZIRAI *et al.*, 2013).

Torrefaction mechanisms

Torrefaction is a mild endothermal process that implies the thermal decomposition of the hemicelluloses present in the biomass and requires about 0.6 to 1MJkg⁻¹ of energy (ACHARYA *et al.*, 2012). Torrefied biomass has higher carbon content, lower mass and higher calorific value than the raw biomass. The three main polymeric constituent of woody biomass are hemicelluloses, cellulose and lignin, with average amounts of 20% to 40%, 40% to 60% and 10% to 25%. All these components are affected by torrefaction on an extent dependent on the intensity of the process. The modifications occurring in the wood structure components during torrefaction consist on a reduction of polymerization degree, partial decomposition and re-crystallization. Besides water evaporation, hemicelluloses, lignin and cellulose are subjected to thermal decomposition at a higher or lower degree. The torrefaction products are essentially two: a solid phase of dark brown carbon rich char and a gas phase of permanent gases such as: CO₂, CH₄, CO, CO₂ and H₂. Torrefaction involves devolatilization, depolymerization and carbonization of lignocellulosic components and generates as main product a dark brown to black solid biomass with release of water, organic compounds, lipidic compounds, alkalis, carbon dioxide, carbon monoxide and methane.

The transformation/decomposition of the wood chemicals follow reactions such as: i) cleavage of the acetyl from the hemicelluloses, ii) dehydration with destruction of hydroxyl groups, iii) demethoxylation of lignin macromolecules with release of acetic acid, methanol and furfural, iv) changes in the aromatic chains and hydrogen bonds in lignin, and v) changes in the cellulose structure. The main changes of torrefaction are thereby the decomposition of hemicelluloses and partial depolymerization of lignin and cellulose. The typical temperature ranges for decomposition of the bulk of hemicelluloses, cellulose

and lignin are 150°C to 350°C, 275 to 350°C and 250 to 500°C. (e.g., ACHARYA *et al.*, 2012; NUNES, 2015) The residence time is the second most important parameter, following temperature, for the sequence of these biomass decomposition stages.

During the initial heating after 120°C, residual water linked to the chemical structure of holocellulose (cellulose plus hemicelluloses) requiring an input of energy for evaporation is released from biomass. The bulk of torrefaction reactions occur at temperatures in the range between 200°C to 280°C. In the range 200°C to 230°C the lightweight loss is due mainly to hemicelluloses degradation and at temperatures around 260°C a higher weight loss is due to an almost complete degradation of hemicelluloses and to slight lignin decomposition. In the range 210 to 230°C, about 20 kinds of released organic gases were already identified. The degradation of woody polymers is still very slight at this range of temperatures. The deacetylation of the hemicellulose was observed at 230°C in beech sawdust with the release of acetic acid and the total destruction of hemicelluloses occurring at about 245°C. The amorphous cellulose may crystallize at ranges of temperature over 200 to 245°C (MELKIOR *et al.*, 2012). The cellulose degradation occurs between 270°C to 300°C. Although lignin degradation is very slight at the ranges usually used in torrefaction, small changes in lignin (demethoxylation) may occur at temperatures as low as 200 to 270°C. The stability of cellulose and the degradation of hemicelluloses are well documented with recent data about the quantification of monosaccharides in torrefied materials, subjected to different torrefaction conditions. Monomeric glucose remains in the torrefaction reactor after moderate operating conditions, below 320°C. Oppositely, other monomers such as mannose, xylose, galactose or arabinose, which constitute the bulk of hemicellulose polymeric structure, are volatilized. The amount of extractable products from biomass decreases under temperatures higher than 260°C and residence times of 15 minutes. Since only slight devolatilization occurs in lignin and cellulose, the majority of biomass weight loss is due to the volatilization of hemicelluloses and the torrefied biomass maintains the bulk of energy content, which is due to lignin and cellulose.

The experimental evidence that the gas fraction formed, whether condensable or not, increases with the intensity of torrefaction treatment concerning both temperature as residence time. The permanent gases are e.g. the CO₂, CO, CH₄, H₂, N₂ or other organic gases. The main concentrations of the permanent gases (CO₂ and CO) depend on the kind of biomass, with CO amounts corresponding to 10-30% of CO₂ amounts. The amounts of methane,

even in low contents, and carbon monoxide increase with the torrefaction rate. The condensable fraction of torrefaction gases includes water, acetic acid, methanol, furfural, hydroxyacetone, and phenols. Methanol and furfural are originated from lignin. The water is derived from dehydration of hemicelluloses and the acid acetic results mainly from cleavage of acetyl groups of hemicelluloses. The release of carbon dioxide and water during torrefaction facilitates ulterior combustion and gasification.

Bellow temperatures of 260°C and short residence times, some of the condensable gases are volatilized through dehydration and hemicelluloses degradation. Between 270°C and 290°C the amounts of moisture and decomposition products from the three main woody components increase such as acetic acid, furfural butadiene or hydroxyacetone. Above 300°C the decomposition of lignin is significantly increased with the appearance of aromatic compounds such as eugenol, isoeugenol, etilguaiacol, guaiacol or methoxyphenols adding to the compounds resulting from the decomposition of holocellulose.

The torrefaction flue gas has also a considerable calorific power (5.3 to 16.2 MJ/Nm³) and should be also considered a combustible. Although the flue gases contain “green” chemical compounds its main application is the combustion for heat generation for drying and torrefaction. The thermal use of flue gas implies a high calorific power, a refractory environment as a guaranty for a high adiabatic flame temperature and enough residence time. A flue gas with high calorific power, able to assure a steady combustion, can be obtained with input biomass with maximum moisture amounts of about 10-15%. This critical moisture amount should be monitored according to biomass type and torrefaction conditions.

It is expected as well, and in order to give economic feasibility to the industrial process, that these gases may be burnt and the produced energy conducted to be used in drying and reactor heating steps. Nowadays, in all the technologies available globally for commercial applications, there is a recirculation system where these gases are used as fuels. By this way, the energy input to the global process is reduced, and some of the negative aspects, such as the mass losses, can be compensated.

It is expected in the same way that the utilization of these gases avoids its emission to the atmosphere. During the torrefaction process, as previously stated, occurs the formation of some very pollutant compounds that must be eliminated form human health and environmental good practices.

Technological topics

Brittleness and grindability of torrefied biomass, evaluated in terms of increased formation of fine particles, improve with the intensity of torrefaction, due *e.g.* to an increase of operative temperature, within the usual ranges of thermal treatment. So the average particle size of torrefied biomass also decreased with the increase of torrefaction temperature. The particles from torrefied biomass are more brittle than these of raw biomass, in similarity to these of coal, facilitating the processes of shredding, grinding and pulverization with lower energy consumption and higher emission of fine particles. These smaller particles have higher specific surface and thermal reactivity. Essays made at the Energy Research Centre (ECN) in Netherlands show unequivocally the savings in power consumption, ranging from 70% to 90% (BERGMAN and KIEL, 2005), for size reduction of torrefied biomass particles, comparatively to other woody biomasses. Concomitantly the operative capacity of milling equipment increased significantly by a factor between 7.5 and 15. The evidences available take the improved grindability and reduced energy compensation as a two-stage mechanism. At a first stage, the improved easiness to grind biomass is due to dehydration and physical transformation of lignin at lower temperature. The second stage is the thermal degradation of the cell walls, which contributes to the higher percentage of fine particle after torrefaction. The standart Hardgrove Grindability Index (HGI) modified to biomass showed similar grindability of torrefied biomass, comparatively to coal. This improved grindability also induces that particles from torrefied biomass are more uniform in size and smooth than these from untreated biomass.

Different kinds of biomass show different behaviors during torrefaction, and although the characteristics of torrefied material almost the same, the temperature regimes, the residence times and the cooling processes for the different species can vary significantly. For example, as ash content is a property of the raw material chosen, the initial ash content of feed will have impact on the resulting torrefied product. Indeed catalytic effect of inorganic matter in biomass has been linked to higher loss in volatile matter during torrefaction. Ash content increases generally from 0,1 to 12% after torrefaction, which is a minor change relatively to the fixed carbon content (0.9-29%), (CHEW and DOSHI, 2011).

As mentioned above, during torrefaction biomass is subjected to decomposition reactions that cause the release of gaseous products such as volatile organic compounds. The elemental analysis of biomass show and

increase of fixed carbon as long as torrefaction conditions intensify. Indeed the amounts of H and O lost in relative terms are higher than the correspondent C amounts resulting in a decrease on the H/C and O/C ratios. The dry biomass has ratios H/C and O/C of ranging in 1.4 to 1.6 and 0.55 to 0.75 respectively, depending on the raw materials, and after torrefaction at temperature ranges of 200°C to 250°C these ratios are on the ranges 0.8 to 1.2 and 0.3 to 0.5, respectively. The higher relative loss of oxygen and hydrogen is of course related to the increase of an energy value of the torrefied biomass. The diagram of van Krevelen illustrates these chemical alterations. At torrefaction temperatures above 250°C, the van Krevelen plot suggests shifts the elemental ratios of biomass to these typical of industrial coals. Overall lower element ratios of torrefied biomass turn the physical and chemical properties of these materials closer to coal making more feasible, as aforementioned, its use in co-firing in coal existing facilities.

Shredding of biomass feedstock to pieces of uniform dimensions, prior to torrefaction, may be required depending on the biomass type and conditions. Particle size has significant effect on the torrefaction reactions particularly when great amounts of raw material are being processed with evidence available pointing to sizes on the range of 0.7 to 2 mm in woody biomasses and lower than 5 mm in straw. The use of higher dimension particles is possible, but little is known about the influence of additional factors inherent to larger size dimensions.

Temperature is a variable with higher influence on the combustion properties of the fuel, comparatively to residence time. From the experimental data of biomass torrefaction, it can be concluded that mass yield decreases with increase both in temperature and residence time, although within a lower degree with the latter. The mass yield of torrefied biomass can range from 24% to 85% of its original weight. Increasing the torrefaction temperature and residence time will increase HHV of the biomass (*e.g.*, PHANPHANICH and MANI, 2011; WANNAPEERA *et al.*, 2011; ACHARYA *et al.*, 2012). HHV of torrefied biomass will be 1 to 58% higher, for a large set of 20 woody and agriculture residual biomasses. The increase of HHV with torrefaction temperature and residence time is due to the above changes is elementary ratio and also to lower equilibrium moisture content. Conversion rate of agricultural residues is comparatively lower than woody biomass due to higher hemicelluloses content, resulting thereby in lower mass yield. The polymeric structure of feedstock will affect the reactivity of biomass components to undergo torrefaction. For example this is the case with xylan content in

hemicelluloses. The high calorific values of woody and non-woody biomasses are in the ranges 18 to 26MJ/Kg and 12 to 25MJ/Kg, respectively.

Energy yield based on the biomass yield and the calorific value is an indicator of the energy loss during torrefaction with mass loss. At torrefaction temperatures below 250°C the energy yield of woody biomasses is higher than 90%, and this yield decreases to ranges between 55% to 98%, when torrefaction temperatures increases to above 250°C. The correspondent ranges to non-woody biomasses are wider (29% to 98%) due to the higher variation in volatile matter and hemicelluloses. The effect of torrefaction time length is less significant comparatively to the temperature and an ideal regime should be that of a higher temperature coupled to shorter times to minimize mass and energy losses.

As mentioned above the hydrophobic characteristics of torrefied biomass are one relevant property that improves its utilization conditions comparatively to non-treated biomass. Indeed the torrefaction implies the loss of H and O atoms in higher proportional amounts than C atoms. These chemical changes are associated with depolymerization of long polysaccharide chains and with devolatilization and carbonization of cellulose and lignin. An irreversible cleavage of hydroxyl groups in cellulose micro fibrils follows with the impossibility of making hydrogen bonds with water molecules, canceling the tendency to water adsorption and thereby lowering the equilibrium moisture of torrefied biomass. An equilibrium content model allowed to conclude that moisture adsorption capacity of torrefied biomass is reduced with increased torrefaction temperature. This reduction of hygroscopicity with the increase of torrefaction temperature, of course within the acceptable ranges, is due to the acceleration of the mentioned chemical processes.

Hydrophobic properties of torrefied products are evaluated through immersion tests or equilibrium moisture content tests. The latter prescribes the use of a lab desiccators using saturated salt solution to achieve the required humidity. An environment with constant humidity and temperature coupled to a water bath can be achieved. Tested sample attains equilibrium state when measured weight is constant. Moisture absorption of torrefied wood is lower for biomasses that were torrefied at higher temperature. This effect of torrefaction on moisture equilibrium was analyzed in the range of 11.3 to 97% relative humidity range. Under moisture conditions representative of transport and storage, say under cycling immersions of 15 hours in environments with 7 to 20% relative humidity, the results available indicate that the behavior of pelletized torrefied biomass, although adequate when compared with traditional pellets, is not as favorable as that of torrefied biomass. The properties

of pelletized torrefied biomass under these cyclic moisture conditions are dependent on conditions of pelletizing and torrefaction, and additional efforts of research at lab and pilot scales are needed to optimize these properties by varying the torrefaction conditions. The hydrophobic properties turn the storage easier, inasmuch as the material can be placed on a moist environment without water adsorption and biological degradation, without impairing the thermal conversion processes. The hydrophobic characteristics of torrefied material turn possible the consideration of washing of the torrefied material, in order to leach elements or components, which are prone for ash formation. The evidences available on this washing process are still scarce and further work is needed in order to obtain technical information about the industrial feasibility of this operation.

Kinetic analysis of torrefaction

The reaction kinetics studies the rate of chemical reaction and the variables affecting the speed of reactions, and kinetic modeling of torrefaction derives mainly from biomass pyrolysis studies. Broadly speaking biomass pyrolysis can be sub-divided into four main regimes, in agreement with the aforementioned torrefaction mechanisms. Moisture evolution is the main reaction mechanism at temperatures below 220°C. Hemicelluloses degradation follows at temperature above 200°C and lignin decomposes in the range from 160 °C to 900 °C, with the decomposition reactions beginning slowly and accelerating with temperature increase. Cellulose decomposition occurs in the range 200°C - 400°C. Nowadays the published kinetic studies from torrefaction are mainly focused on model fitting, and work on the effects on the mineral components in the kinetics of torrefaction is limited.

A full spectrum of alternative modeling approaches to biomass pyrolysis ranging from the one step approach, wherein the whole biomass thermal degradation is considered as occurring under a single step, till more complex ones. Among the latter figure the two consecutive step mechanism (the Di Blasi - Lanzetta model) for the weight loss kinetics of woody biomass. The single step model proved to be more accurate for biomass of both hardwood and softwoods. Based on the kinetic parameters obtained from willow wood, the rate of the first reaction is higher than the rate of the second reaction. An intermediate reaction product accounting for secondary devolatilization reactions is introduced in the model. For the temperature range of 230°C to 300°C the kinetics of torrefaction reactions can be described by two consecutive

first order reactions relative to hemicelluloses reaction followed by cellulose decomposition. The decomposition of cellulose and lignin can be catalyzed by the inorganic components, or by the liquid and gaseous by-products. Another alternative approach considered thermal degradation of lignocelluloses as an overlapping of three independent decomposition reactions of hemicelluloses, cellulose and lignin. Lignin decomposition adopts a single step mechanism. Cellulose decomposition follows the modified Broido - Shafizadeh model represented by two competitive parallel reactions. The introduction of pseudo-components in this modeling was proposed to incorporate interactions between degradation reactions of the several wood components and improve thereby the models performance (XIONG and KONG, 2014).

For the torrefaction of large biomass particles such as logs and briquettes a three parallel reaction model was proposed (Shafizadeh and Chin model). The model integrates the pathways parallel competing in the primary pyrolysis for wood to be converted in char, tar and volatiles. The model and experimental data fits reasonably well for temperature ranges of 230 to 260°C. After 260°C the model underperforms, probably because of the outset of carbonization reactions, not forecast in the model. Anyway, the Shafizadeh and Chin model had practical application on a pilot scale pyrolysis reactor (TORSYPD) (CHEW and DOSHI, 2011). Another complementary issue is the analysis of the pyrolysis and combustion behavior of the torrefied biomass has received little attention, comparatively to the study of the torrefaction conditions on the product physico-chemical properties. The design of thermochemical conversion systems can be optimized with knowledge obtained from kinetic multistep models able to describe weight loss measurements at different heating rates. Kinetic models, which take into account the devolatilization dynamics of hemicelluloses, cellulose and lignin already developed for biomass has not yet been applied for torrefied material.

Lignocellulosic fuel devolatilization and combustion have been throughout modeled assuming that volatiles are released in a set of parallel reactions for grouped components and the overall mass loss rate has been considered as a linear combination of the single component rates. In air, weight loss curves show two main reaction zones attributed to decomposition of wood and heterogeneous oxidation of the char produced. The stage of char oxidation is of course absent from the curves obtained in inert atmosphere. A case study for illustrating the influence of torrefaction, with spruce biomass chips, showed the applicability of common modeling kinetic mechanism consisting in characterizing three parallel reactions for devolatilization or decomposition of

pseudo-components hemicelluloses, cellulose and lignin in a nitrogen atmosphere added with two additional reaction groups for char devolatilization and oxidation under an air oxidative atmosphere (BROSTRÖM *et al.*, 2012). The chips were torrefied at different process temperatures and residence times were subjected to thermogravimetric analysis in an inert and oxidative environment at different heating rates. The torrefaction conditions were residence times between 8 and 25 minutes, temperatures between 260°C to 310°C, a range considered adequate to provide materials lightly to strongly torrefied.

A general kinetic mechanism proposed includes decomposition, described by three reactions for the pseudo-components hemicelluloses, cellulose and lignin (only these steps are being used for the analysis of the curves obtained under a nitrogen flow) and additional sequential oxidation reactions for char devolatilization and oxidation (BROSTRÖM *et al.*, 2012). The concept of pseudo-component arises because in kinetic analysis it is impossible to avoid overlap between different components in the measured weight loss curves.

The reaction rates present the usual Arrhenius dependence (A_i are pre-exponential factors and E_i the activation energies) on the temperature and a linear (decomposition and char devolatilization, $n_1 = n_4 = 1$) and a power law with exponent n_5 (char oxidation) dependence on the mass fractions of lumped volatile species released. The latter treatment takes into account the evolution of the pore surface area during conversion (BRANCA and DI BLASI, 2016). Five equations like the following:

$$\frac{\partial Y_i}{\partial t} = -A_i \exp\left(\frac{-E_i}{RT}\right) Y_i^{n_i}, Y_i(0) = v_i \quad \text{Equation 1}$$

can be used for kinetic characterization of torrefied biomass heating. Y_i is the mass fraction in any of the i steps ($i = 1, \dots, 5$), T is the sample temperature considered a linear function of the heating rate, ($T = T_0 + ht$), t is time and v_i is the stoichiometric coefficients relative to the initial mass fractions of the volatiles freed from each polymeric pseudo-component. The parameters to be estimated for the decomposition and oxidation steps are the activation energies (E_1, \dots, E_5), pre-exponential factors ($A_1 \dots A_5$) and the reaction order (n_5).

The general shape of the thermogravimetric weight loss curves for untreated or slightly torrefied woody biomass show a shoulder at about 260°C related whether in nitrogen or oxygen atmospheres show a shoulder related to biomass decomposition, followed by a peak at 320°C mainly due to cellulose decomposition a fast decay and a long tail spreading to temperatures higher

than 600°C. Differences between curves of untreated and mild torrefied wood are very small. The degradation characteristics of the biomass samples can be parameterized with variables such as T_{ini} the initial degradation temperature, T_{peak1} , which is the temperature corresponding to the maximum devolatilization rate, linked mainly to the cellulose decomposition with ordinate Y_{peak1} , and the beginning of the final tailing region identified by T_{offset} . For air oxidative environment an additional temperature peak T_{peak2} correspond to another maximum of maximum weight loss Y_{peak2} . Char yields (Y_c) for inert and oxidative environments are also defined as a solid mass fraction remaining after 500°C. It was established that the torrefaction conditions affect the thermogravimetric analysis (TGA) characteristics. This assumption could be validated by the experimental results. Indeed, a sample of spruce biomass chips under a heating rate of 5°C, and temperatures ranging from 260°C °C to 310 °C, the temperatures T_{peak1} and T_{offset} are not affected by torrefaction intensity either in inert as in oxidative atmospheres, although the values of both temperatures are lower in air atmosphere (for example, 260 °C to 310 °C for T_{peak1} in air vs. 334 °C to 352 °C in nitrogen). Only T_{ini} , reflecting an original decomposition of extractives and hemicelluloses, and the derivative of mass weight loss at T_{peak1} in inert atmosphere increased with the torrification intensity. Also T_{ini} and Y_c were higher with untreated wood comparatively to torrefied wood in both atmospheres. The solid mass remaining at the several steps of decomposition including the char yield increased with the intensity of torrefaction. The influence of the heating rates (ranging from 2.5 to 10°C/minute) in both inert as oxidative atmospheres is qualitatively similar to the influence of torrefaction temperature so that: i) T_{ini} and Y_c were lower in untreated wood comparatively to torrefied wood for all heating rates, ii) T_{ini} , T_{peak1} and T_{offset} increased with the heating rates, iii) Y_{peak1} was not affected by heating rates in both atmospheres (CHEN *et al.*, 2016).

Considering now the kinetic parameters defined in Equation 1, no changes were noticed for five torrefaction conditions (260°C and 8 minutes residence time (rt), 260 °C and 25 minutes rt, 285 °C and 16.5 minutes rt, 310 °C and 8 minutes rt, 310°C and 25 minutes rt) for activation energies atmosphere, E_i , and for pre-exponential factors, A_i , even considering untreated wood. Only stoichiometric coefficients v_i changed.

The kinetic parameters defined in Equation 1 which are, activation energies, E_i , and pre-exponential factors, A_i , were shown to be of the same magnitude for untreated wood and for five torrefaction conditions, at inert atmosphere (260°C and 8 minutes residence time (rt), 260 °C and 25 minutes rt, 285 °C and 16.5

minutes rt, 310 °C and 8 minutes rt, 310°C and 25 minutes rt). Indeed the coefficients E_1 , E_2 , and E_3 , were of 100.6 kJ, 213.1 kJ, and 38.6 kJ. Oppositely, the stoichiometric coefficients ν_i for the same five torrefaction conditions decreased from 0.34 to 0.06 for volatiles of hemicelluloses ν_1 (0.37 for untreated wood) and increased for volatiles of cellulose and lignin, respectively ν_2 and ν_3 increased from 0.34 to 0.44, although not monotonically, and from 0.16 to 0.24, respectively. Stoichiometric coefficients for volatiles of pseudo-components for untreated wood were also higher (0.33 and 0.17 for cellulose and lignin, respectively). Pre-exponential factors in a inert atmosphere were also the same for untreated wood and for torrefied biomass under the five torrefaction conditions: A_1 , A_2 and A_3 were respectively $3.6 \times 10^6 \cdot s^{-1}$, $4.17 \times 10^{15} \cdot s^{-1}$ and $1 \cdot s^{-1}$. These results are compatible with the considerations aforementioned that overall woody biomass torrefaction is characterized by a loss of hemicelluloses with an enrichment of lignin and cellulose. Also these results showed that the torrefaction did not change the thermal reactivity of the modified components but only the amounts of volatiles produced with heating.

In an oxidative atmosphere the results, for combustion in this case, are similar. Indeed the values of E_1 and E_2 are the same, E_3 was 121.2 kJ, E_4 was 106.2 kJ and E_5 was 174 kJmol⁻¹ and 198 kJmol⁻¹ for untreated and torrefied wood spruce, respectively. It must be referred that the values for activation energies for biomass chars, range between 144 and 230 kJmol⁻¹. The pre exponential factors were also constants for untreated and torrefied wood for the first four stages, changing only in the fifth stage, corresponding to char oxidation. The coefficients ν_i showed a similar behavior under an oxidative atmosphere, comparatively to an inert atmosphere. So only the fifth stage, corresponding to char oxidation, shows changes in the kinetic parameters reflecting a change in reactivity in the polymeric components. The activation energy and pre-exponential values of char oxidation changed thereby with the torrefaction. The reaction order n_5 also changed from 0.64 with untreated biomass, to 0.6 for torrefied biomasses. For mass conversions of torrefaction higher than 0.3, the chars from torrefied wood are slightly more reactive than these of untreated wood. The content/composition of ashes is also influenced by torrefaction conditions. The results also showed a good fitness of the five stage model for quantifying the heating of the torrefied biomass whether by pyrolysis or by combustion.

Industrial applicability topics

The fundamental stages of an industrial torrefaction system are the shredding, drying, torrefaction, cooling, grinding, densification and second cooling (Figure 1). These stages are implemented under several alternative layouts (e.g. WILÉN *et al.*, 2014; SUN *et al.* 2012). Usually the drying is prior to heating for preserving the calorific power of gases from torrefaction, by avoiding their mixing and escape with water vapor. The heat needed for the grinding and torrefaction is usually provided from the cooling by heat exchange with the flue gases. A higher torrefaction temperature avoids condensations and large depositions. After a complete loss of water and volatiles from woody biomass the remaining solid product is the torrefied biomass. The torrefaction should be homogeneous with an output material dark brown (not black typical of over-torrefaction) to allow for a good mass yield and to optimize densification.

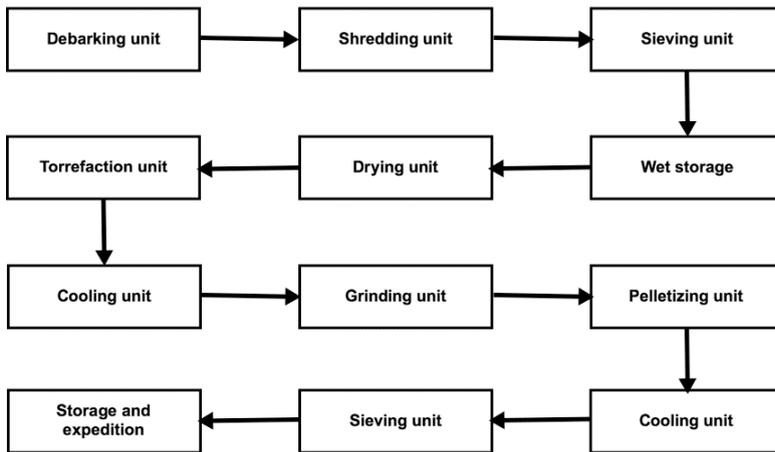


Figure 1 – Typical diagram of a torrefaction unit

Although torrefaction is a promising biomass thermal pretreatment with potential to increase the possibility of biomass commodification, the scientific knowledge on the application of biomass on a commercial scale is still limited. In the last fifteen years a wide range of industrial technologies arose as a consequence of increased efforts of R&D and interaction between equipment

manufacturers and research institutions. The technologies to implement on a commercial scale should be previously examined, robust, with good energy yield, expedite and reliable with known and manageable operational costs, adaptable to different biomasses. Short term production costs for Torrefaction and Pelletization, the so-called TOP process, range from 3.3 to 4.8 US\$GJ⁻¹ (LHV) or 2.1-5.1 US\$GJ⁻¹ (LHV) in the long term (BATIDZIRAI *et al.* 2013). The investment required for a demonstration plant are of about 3M€ corresponding to production costs of about 100 € ton⁻¹ (about 7€GJ⁻¹) of torrefied biomass (BERGMAN and KIEL, 2005).

A large variety of torrefaction and drying reactors was developed, adapted from existing equipment for drying or other ways of thermal conversion. The flue gases have a significant amount of volatiles, and high temperature and energy content and should thereby be recycled for heating during biomass drying and torrefaction. A small fraction of the feedstock can be also used for heating.

One technological option for the implementation of drying and torrefaction stages is the combination of a rotary drum drying reactor with a screw conveyor for biomass torrefaction. The latter exhibits the sections of biomass feeding, torrefaction reactor, torrefaction products cooling and combustion section where the thermal energy generated by burning gases with excess oxygen is used to heat the whole process (SUN *et al.*, 2011). Rotary drum reactors are specially designed to dry the woody biomass, combining the functions of drying and cooling with an energy saving of about 30-35%. The drying of biomass in this process is made by indirect heating, whereby the running biomass inside the drum contacts and heats with countercurrent hot flue gases by heat exchange. The flue gases are generated in the torrefaction reactor, along with the solid torrefied material. The torrefaction products are highly flammable, and thereby a cooling system is needed. All available technologies have advantages and drawbacks and the global efficiency of the systems is dependent on the design of the direct or indirect heat system. Regardless of the system chosen, the process variables such as residence time, temperatures in drying and torrefaction reactors, biomass moisture should be monitored to achieve a better process yield.

At global level from the 15 industrial units with production scheduled to begin in 2011, very few were built and none reached a steady commercial scale and status (NUNES, 2015). Problem related to a lack in know-how on biomass and to underestimation of practical difficulties led to a postponing of programmed projects. The main questions about the production systems

reflected from knowledge gaps requiring research efforts and technical expertise are associated to items such as: temperature and residence time, processing and atmospheric control, inert gas production, heat transfer, control and monitoring of exothermic reactions, cooling, production and recycling of flue gases and improving of biomass chain supply. The product should present as a homogenous condition as much as possible a dark brown color (not black) reflecting a sufficient yield to facilitate densification.

In Europe, references in internet can be found concerning three demonstrative operational units: In Amel, Belgium the company 4EnergyInvest produced about 1000 tons in 2011 delivered to a thermoelectric unit to make tests of co-combustion. The aimed production is of 40000 tons year⁻¹, using starch as binder for torrefied product densification as pellets; In Dielsen-Stokken, Belgium, the Dutch company Torrcoal Group has an operating unit for biomass torrefaction since 2010. The main product is torrefied powder although successful essays for pellet production have been reported; In Oliveira de Azemeis, Portugal a demonstration unit is working since May, 2014 and pellet production without binding agent is actually achieved. An industrial unit of 90ktons.year⁻¹ is scheduled to early 2018. In Europe and US eight additional torrefaction units are programmed in the near future. The rare information available on literature about the use of torrefied material (raw and pelletized) at a commercial scale in co-combustion shows the high potential of this pretreatment, with higher energetic efficiency and lower ash emissions.

The aforementioned logistical and technological advantages of biomass torrefaction cannot be fully achieved without an additional densification of the torrefied materials. Pelletizing has been considered the best option for torrefied material densification. The energetic density for pellets of torrefied biomass has been quoted of an order of magnitude of about 15-18.5GJm⁻³. These values are almost of a twofold order of magnitude comparatively to normal pellets. In the Dutch ECN the development of the TOP process is scheduled to produce marketable, lower competitive cost (4.5€GJ⁻¹) TOP pellets in the near future (BERGMAN and KIEL, 2005). The investment forecast for this upgraded technology is of the order of 5.5 to 7.5 M€ for a unit with a capacity of 60ktonsyear⁻¹. The main bottlenecks associated to pellet compaction of torrefied biomass have been the following: the friction occurring between the compaction equipment and torrefied biomass is increased with torrefaction, and thereby the preferential use goes to equipment of lower compression rates (smaller lengths of extrusion axis) for compensating the increase of frictional energy. Monitoring of moisture and temperature can also optimize the pelletizing process. On the

other hand, it is also assumed a higher difficulty in pelletizing the materials with a higher intensity of torrefaction due the exothermic character and irreversible changes in lignin structure reflected in lower reactivity and inadequacy for compaction. Equilibrium between the intensity of torrefaction, providing a higher quality of the material as a fuel, and its adequacy for pelletizing is thereby needed (*e.g.*, NUNES, 2015).

Case study

For illustrating same points concerning the torrefaction process a lab essay was conducted with sawdust biomass from silver wattle (*Acacia dealbata*) in the YGE - Yser Green Energy SA company facilities. Two trials with different torrefaction temperatures in dry samples of 100g for a torrefaction residence time of 15mins in a total 1h45m heating period and at a N atmosphere were performed (Figure 2). The laboratorial torrefaction rotary reactor was a Nabertherm operative till temperatures of 1000°C (Figure 3). The equipment and norms used for proximate analysis, ultimate analysis, HHV and LHV were, respectively:

Proximate Analysis: Proximate analysis (TGA), including the determination of charcoal moisture, volatile matter and ash content, was carried out using an ELTRA Thermostep, following ASTM D7582-12.

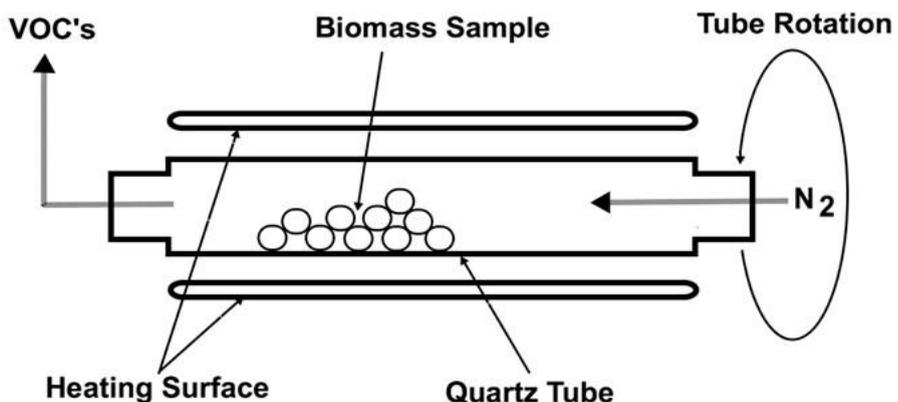


Figure 2. Diagram scheme of the lab rotary reactor for torrefaction (VOCs is the acronym for volatile organic compounds)

Ultimate analysis: Charcoal carbon, hydrogen and nitrogen contents were evaluated using a LECO CHN628, following standard operating instructions.



Figure 3. Laboratorial rotary reactor for torrefaction

High heat value (HHV) and low heat value (LHV): A Parr 6400 calorimeter was used to determine the high and low heating values, based on the standards EN 14918 (2009) and EN 15296 (2011) and the equipment's standard operating instructions.

The torrefaction temperatures the two trials were 180°C, 200°C, 220°C, 230°C, 245°C, 255°C, 265°C and 250°C, 265°C, 280°C, 295°C and 310°C, respectively. The O/C and H/C ratios in the two trials decreased monotonically from 0.94 to 0.51 and from 0.11 to 0.07 (first trial) and from 0.71 to 0.30 and from 0.09 to 0.05 (second trial), respectively (Figure 4). The LVH on a dry basis increased also with the intensity of torrefaction from 18.3MJ/kg to 29MJ/kg (first trial) and to 21.5MJ/kg to 28.2MJ/kg (second trial), respectively (Figure 5). Ash amounts in % increased with the torrefaction temperature from 0.79% to 1.68% and 1.25 to 2.14%, respectively (Figure 6). The amount of volatiles by proximate analysis in the two trials decreased, with the increase in temperature, from 77.8% to 52.8% and from 67.9% to 53.8%, respectively (Figure 6).

The results showed monotonic decreases of O/C and H/C ratios, with temperature increase, from 0.94 to 0.51 and from 0.11 to 0.07(first trial) and from 0.71 to 0.30 and from 0.09 to 0.05(second trial), respectively. Also lower heating values increased from 18.3MJ to 29MJ/kg and from 21.5MJ/kg to 28.2MJ/kg, respectively. Oppositely the amounts of fixed carbon in the two trials increased from 21.4% to 44.5 % and from 30.9% to 60.4%, respectively (Figure 6).

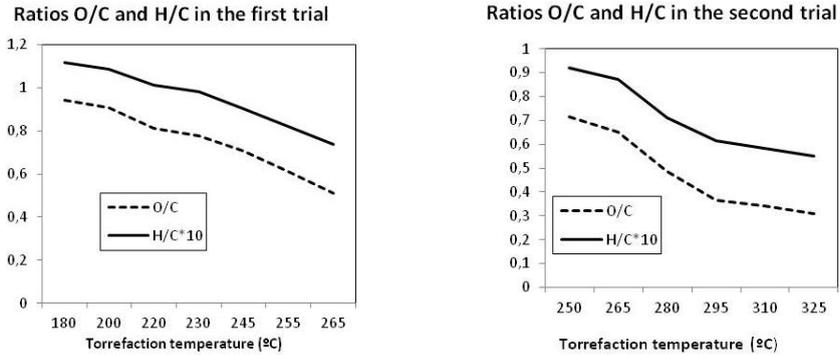


Figure 4 - Variability of ratios O/C and H/C with torrefaction temperature in both trials

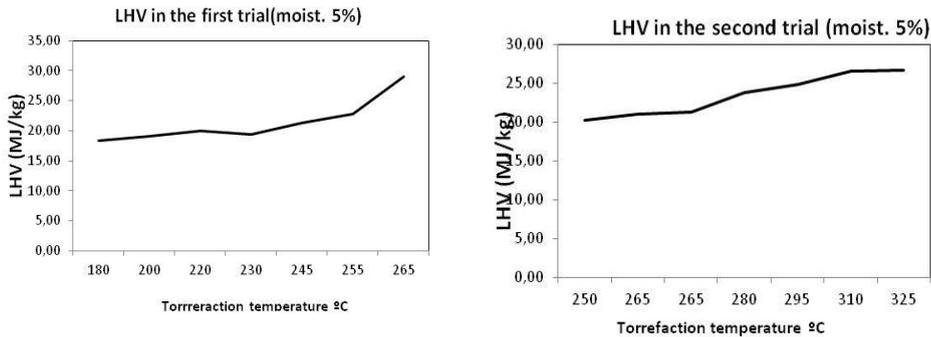


Figure 5 - Variability of low heating values with torrefaction temperature in both trials

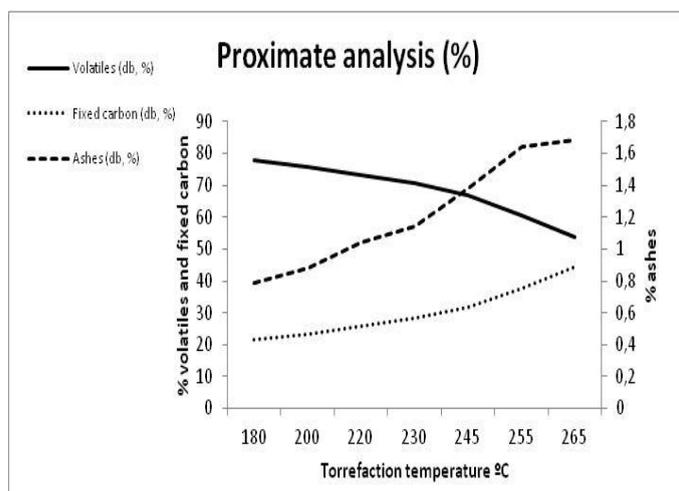


Figure 6. Percentage of volatiles variability and fixed carbon with torrefaction temperature in both trials

Potential availability of forest biomass resources in Portugal

In Portugal the biomass resources available for torrefaction should come from forest, given the potential for forestry in Portugal. Following the EU strategy concerning renewable energy, in 2012 about 50% of the electrical energy in Portugal derived from RE and about 25% of the total energy consumed in that year was generated from endogenous sources. In 2010 about 500M€ were saved on imports from fossil energies and Portugal rank as the fourth European country in Europe, surpassed by Sweden, Finland and Austria, in fulfilling the goals established by EU for the integration of renewable energies in final energy consumption. (NUNES *et al.*, 2016)

The main objective of public tenders would be to achieve additional production of 250 MW of electric energy from forest biomass with the installation of 22 new power plants. Nowadays, the installed power of biomass production units is of about 474 MW corresponding to about 2460 GWh in 2015 (*e.g.*, VIANA *et al.*, 2010; NUNES *et al.*, 2017). For comparative terms in the same year the total consumption of energy in Portugal was of the order of 256.754 kGWh (or 256.8 TWh) from which about 58.03 kGWh (58.02 TWh) came from renewable energies and to energy consumption from households was about 11.9

TWh (NUNES *et al.*, 2016). The percentage of electric energy obtained from renewable energy in 2015 was 61.4%, In 2015 biomass provided 2.9% of the total energy consumption in Portugal. Forest area in Portugal is of about 3.2million hectare or 35% of country area. The three dominant species covering 72% of the forest area are eucalypt (*Eucalyptus globulus*) with 812 thousand hectare or 26% of the total forest area, cork oak (*Quercus suber*) with 737 thousand hectare or 23% of the total forest area, maritime pine (*Pinus Pinaster*) with 714 thousand hectare or 22% of the total forest area and holm oak (*Quercus ilex*) with 331200 hectares or 10.5% of the total forest area (*e.g.*, VIANA, 2016). Average data about of tops and branches can be estimated through biometric equations which give estimations yearly of about 2.3kg per eucalypt tree coppiced every ten years for tops and branches, corresponding to 1.1kg on a dry basis. The correspondent values for maritime pine are 1.4kg and 0.6kg and for cork oak and olm oak are similar of about 3.3kg and 1.4kg. Considering average number of trees per hectare of 545, 412, 83 and 41 for eucalypt, pine, cork oak and olm oak respectively and the total portuguese areas per specie above mentioned yearly estimative of moist biomass for these species in ktons are 1018, 412, 202 and 45, respectively. The correspondent dry values estimations are 486.8ktons, 176.5ktons, 85.6ktons and 19 ktons for eucalypt, pine, cork oak and holm oak, respectively (MATEUS, 2007). The total yearly amount of forest biomass made up by tops and branches could be estimated as 1676360 tons and 767948 tons in moist and dry conditions, respectively. These are conservative estimates comparatively for example with estimated yearly totals of 1097000dry tons for maritime pine and eucalypt only. The districts of Castelo Branco, Santarém, Aveiro, Leiria, Viseu are responsible by about 50% of that total forest biomass residues. The installed units in Portugal for heat and power consume about 1.2Mton dry biomass year and the licensed projects are schedule to consume about 1Mton dry matter. As these amounts clearly overwhelm the estimated woody biomass from tops and branches above mentioned and thereby an additional source of biomass could be use of bulk wood. Indeed, an estimation obtained for total woody biomass per year is of about 5.7M ton (FNI5, 2005-2006) corresponding to a potential of about 25TWh. Other industries such as pellets or MDF are also biomass consumers not accounted here. Energetic cultivations such as short rotation coppices of poplar or eucalypt could potentially be implemented on non-cultivated area actually occupied by shrubs and grassland corresponding to 32 % of the total country area. This kind of cultivation could make up a good contribution to woody biomass supply in the country. Indeed, as an order of magnitude it can be mentioned that 0.1Mhec. of

SRC gives about 1Mton. of dry biomass, considering a conservative yield of 10 tons y⁻¹hectare⁻¹ dry biomass. This woody biomass should be graded as good quality feedstock, comparatively to biomass from shrubs with a cellular structure under a primary growth. Biomass torrefaction by increasing the LHV by 25% and improving the biomass properties so that the torrefied material is similar to coal and thereby with potential use in facilities such as existing co-firing in actual thermal units.

Conclusions

In this work a review of the impact of woody torrefaction on biomass properties and on the torrefaction mechanisms was made. The evidence presented clearly showed the advantages of torrefied material in items like: increase of heating value, improvement of hydrophobic properties, grindability and brittleness or homogeneity. Torrefaction is essentially a thermochemical conversion process wherein the bulk of cellulose and lignin components are maintained in the final product. The torrefied biomass achieves properties similar to coal, thus optimizing the conditions for industrial conversion pathways such as co-firing. An analysis of some kinetical topics on heating of torrefied biomass in inert and oxidative atmospheres also provided a picture of the behavior of torrefied biomass on heating conversion. Although the torrefaction mechanisms at lab scale are reasonably known, more work must be done about the optimization of the operative conditions at pilot and commercial scales. A lab case study was performed on the torrefaction of acacia biomass (*Acacia dealbata*) showing the favorable evolution of the main chemical and physical properties such as the decreasing of O/C and H/C ratios and a simultaneous HHV increase. The O/C and H/C ratios in the two trials decreased monotonically from 0.94 to 0.51 and from 0.11 to 0.07 (first trial) and from 0.71 to 0.30 and from 0.09 to 0.05, respectively. The LVH on a dry basis increased also with the intensity of torrefaction from 18.3MJ/kg to 29MJ/kg and to 21.5MJ/kg to 28.2MJ/kg, respectively. This review also showed that biomass torrefaction can be also vital for providing bioenergy for Portugal given the lack of woody biomass supply for industrial demand.

References

- ACHARYA, B., IDRIS, S., ANIMESH, D., 2012. "A review on advances of torrefaction technologies for biomass processing". *Biomass Conversion and Biorefinery* **2** (4): 349-369.
- AHMADI, P., DINCER, I., ROSEN M. A., 2014. "Thermoeconomic multi-objective optimization of a novel biomass-based integrated energy system". *Energy* **68**: 958-970.
- BATIDZIRAI, B., MIGNOT, A., SCHAKEL, W., JINGINGER, H., FAAIJ, A., 2013. "Biomass torrefaction technology: Techno-economic status and future prospects". *Energy* **62**: 196-214.
- BERGMAN, P., KIEL, H., 2005. "Torrefaction for biomass upgrading". In *Proc. 14th European Biomass Conference*, Paris, France, pp. 3-8.
- BRANCA, C., DI BLASI, C., 2016. "A summative model for the pyrolysis reaction heats of beech wood". *Thermochimica Acta* **638**: 10-16.
- BROSTRÖM, M., NORDIN, A., POMMER, L., BRANCA, C., DI BLASI, C., 2012. "Influence of torrefaction on the devolatilization and oxidation kinetics of wood". *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* **96**: 100-109.
- CHEN, W.-H., ZHUANG, Y.-Q., SHIH-H. L., JUANG, T.-T., TSAI, C.-M., 2016. "Product characteristics from the torrefaction of oil palm fiber pellets in inert and oxidative atmospheres". *Bioresource Technology* **199**: 367-374.
- CHEW, J.J., DOSHI, V., 2011. "Recent advances in biomass pre-treatment-Torrefaction fundamentals and technology". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **15**: 4212-4222.
- CHOJNACKY, D. C., HEATH, L. S., JENNIFFER, C., JENKINS, J.C., 2014. "Updated generalized biomass equations for North American tree species". *Forestry: An International Journal of Forest Research* **87** (1): 129-151.
- FELFLI, F., LUENGO, C., SUÁREZ, J., BAETÓN, P., 2005. "Wood briquette torrefaction". *Energy for Sustainable Development* **9** (3): 19-22.
- FNI5 (2005-2006), 2010. *Portuguese Forest Inventory*, DGRF, Lisboa.
- GHIASI, B., KUMAR, L., FURUBAYASHI, T., LIM, C. XIAOTAO, B., 2014. "Densified biocoal from woodchips: Is it better to do torrefaction before or after densification?". *Applied Energy* **134**: 133-142.
- KIEL, J., ARNO, J., JOSHI, Y., 2014. "Thermochemical conversion: torrefaction". In *Biomass as a Sustainable Energy Source for the Future: Fundamentals of Conversion Processes*. Wiebren de Jong and J. Ruud van Ommen, Eds., John Wiley, pp. 389-392.

- LARSSON, S., RUDFOLSSON, M., NORDWAEGER, M., OLOFSSON, I., SAMUELSSON, R., 2013. "Effects of moisture content, torrefaction temperature, and die temperature in pilot scale pelletizing of torrefied Norway spruce". *Applied Energy* **102**: 827-832.
- LI, J., BIAGINI, E., YANG, W., TOGNOTTI, L. BLASIAK, W., 2013. "Flame characteristics of pulverized torrefied-biomass combusted with high-temperature air". *Combustion and Flame* **160** (11): 2585-2594.
- MATEUS, T., 2007: "O potencial energético da floresta portuguesa: análise do potencial energético disponível para as centrais termoeléctricas a biomassa florestal lançadas a concurso" - "The energy potential of portuguese forest: analysis of the potential available for the termal units in tender". MsC Thesis, (in Portuguese), Universidade do Porto, 15 pp.
- MELKIOR, T., JACOB, S., GRBAUD, G., HEDIGER, S., LE PAPE, L., BONNEFOIS, L., BARDET, M., 2012. "NMR analysis of the transformation of wood constituents by torrefaction". *Fuel* **92** (1): 271-280.
- NUNES, L.J.R., 2015. "A utilização de biomassa como alternativa energética para a sustentabilidade e competitividade da Indústria Portuguesa - The utilization of biomass as an energetic alternative for the sustainability and competitiveness of portuguese industry". PhD Thesis on Engineering and Industrial Management (in Portuguese), Beira Interior University, Portugal, 240 pp.
- NUNES, L.J.R., MATIAS, J.C.O., CATALÃO, J.P. S., 2014. "A review on torrefied biomass pellets as a sustainable alternative to coal in power generation". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **40**: 153-160.
- NUNES, L.J.R., MATIAS, J.C.O., CATALÃO, J.P.S., 2017. "Biomass in the generation of electricity in Portugal: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **71**: 373-378.
- PHANPHANICH, M., SUDHAGAR M., 2011. "Impact of torrefaction on the grindability and fuel characteristics of forest biomass". *Bioresource technology* **102** (2): 1246-1253.
- SCHUELER, V., WEDDIGE, U., BERINGER, T., GAMBA, L., LAMERS, P., 2013. "Global biomass potentials under sustainability restrictions defined by the European Renewable Energy Directive 2009/28/EC". *GCB Bioenergy* **5**: 652-663.
- SUN, Y., JIANG, J., ZHAO, S., HU, Y., ZHENG, Z., 2012. "Review of torrefaction reactor technology". *Advanced Materials Research* **347**: 1149-1155.
- VIANA, H., COHEN, W., LOPES, D., ARANHA, J., 2010. "Assessment of forest biomass for use as energy. GIS-based analysis of geographical availability

- and locations of wood-fired power plants in Portugal". *Applied Energy* **87**: 2551-2560.
- VIANA, H., ESTEVES, B., FERREIRA, J. RODRIGUES, A.M., 2016. "Coppice forests as an alternative to shrubland areas in Portugal". Poster communication presented in conference: Coppice Forests in Europe: Ecosystem Services, Protection and Nature Conservation. COST Action FP1301 EuroCoppice. University of Antwerp, Belgium, 15-17 June.
- WANNAPEERA, J., BUNDIT F., NAKORN W., 2011. "Effects of temperature and holding time during torrefaction on the pyrolysis behaviors of woody biomass". *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* **92** (1): 99-105.
- WILÉN, C., SIPILÄ, K., TUOMI, S., HILTUNEN, I., LINFORS, C., 2014. "Wood torrefaction-market prospects and integration with the forest and energy industry". VTT Technology 163. VTT Technical Research Center of Finland, 60pp.
- XIONG, Q., KONG, S.C., 2014. "Modeling effects of interphase transport coefficients on biomass pyrolysis in fluidized beds". *Powder Technology* **262**: 96-105.

Entregue para publicação em maio de 2017

Aceite para publicação em outubro de 2017

Uso agrícola e florestal do solo em Portugal: um panorama económico-estrutural

Joaquim Cabral Rolo¹ e Francisco Cordovil²

Sumário. Descreve-se a diversidade regional do *espaço agroflorestal* português, do ambiente biofísico à ótica económico-estrutural, e acentua-se que o uso do solo não pode ser observado à margem dos agentes que o operam e moldam; sobreleva-se, assim, a intervenção de produtores/proprietários florestais e dos responsáveis por explorações agrícolas (os agricultores). Foca-se a reflexão nestes últimos.

Revelam-se, depois, os principais traços do mosaico de especializações agrícolas e silvícolas - «uma miscelânea de padrões produtivos» - no final da década de 2000. O que se sustenta numa zonagem de padrões de especialização para 32 «zonas agrícolas» e que se fundamenta numa qualificação dos tipos de especialização produtiva agrícola e silvícola de cada um dos 278 concelhos do Continente português; qualificação alicerçada numa análise da repartição por atividades dos valores de produção das atividades agrícolas e silvícolas.

Palavras-chave: usos do solo, explorações agrícolas, diversidade regional, padrões produtivos agrícolas

Agricultural and forestry use of soil in Portugal: an economic-structural overview

Abstract. We describe the regional diversity of the Portuguese agro forestry space, from the biophysical environment to the economic-structural perspective, and emphasize that land use cannot be observed without taking into account the role played by the agents that operate and shape it; the intervention of producers/forest owners and those

¹ Investigador, Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, INIAV, I.P., Av. da República - Quinta do Marquês, 2780-157 Oeiras, Portugal. joaquim.rolo@iniav.pt

² Investigador, Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, INIAV, I.P., Av. da República - Quinta do Marquês, 2780-157 Oeiras, Portugal. francisco.cordovil@iniav.pt

responsible for agricultural holdings is therefore enhanced, being our reflections are focused on the latter.

The main features in the late 2000s of the mosaic of agricultural and forestry specializations - "a miscellaneous of productive patterns" - are disclosed. This is supported by zoning the specialization patterns of 32 "agricultural zones" and is based on a qualification of the types of agricultural and forestry productive specialization of each of the 278 municipalities of the Portuguese mainland; this qualification is based on an analysis of the breakdown by activity of the production values of agricultural and forestry activities.

Key words: use of soil, farms, regional diversity, agricultural production patterns

L'utilisation agricole et forestière du sol au Portugal: un panorama économique et structurel

Résumé. On décrit la diversité régionale du *tissu agroforestier* portugais, de l'environnement biophysique et selon la perspective économique et structurelle, et on souligne que l'utilisation du sol ne peut pas être observée à l'écart des agents qui l'exploitent et la façonnent; l'intervention des producteurs/propriétaires forestiers et des responsables des exploitations agricoles (agriculteurs) est donc impliquée. Les réflexions sont centrées sur ces derniers.

On met en évidence les principales caractéristiques de la mosaïque des spécialisations agricoles et sylvicoles - «un mélange de modèles productifs» - à la fin des années 2000. Cela s'appuie sur un zonage des modèles de spécialisation pour 32 «zones agricoles» et se base sur une qualification des types de spécialisation agricole et forestière productive de chacun des 278 municipalités du Portugal continental; cette qualification se fonde sur une analyse de la ventilation par activité des valeurs de production des activités agricoles et forestières.

Mots-clés: utilisations du sol, exploitations agricoles, diversité régionale, modèles productifs agricoles

Traços do conjunto

1. Portugal, apesar da sua diminuta superfície terrestre (cerca de 92.000 km², 2% da UE28), apresenta uma notável diversidade regional. Diversidade que deriva de condicionalismos orográficos, climáticos, pedológicos e histórico-económicos. Na sua componente continental, ao Norte, *mais acidentado e elevado*, contrapõe-se o Sul *dominantemente peneplano* e, do ponto de vista climático, o Centro e Norte litoral, de matiz mais atlântico, contrasta com o *cariz mediterrâneo mais marcado no interior e no Sul*. Esta diversidade do ambiente biofísico plasma-se, na rede hidrográfica, nos índices de precipitação, nas acessibilidades, na distribuição da população pelo espaço - ou seja, no povoamento e nas relações, nos diferentes territórios, entre o rural e o urbano - e, claro, nos usos do solo classificados como agrícolas e ou florestais (*o espaço agroflorestal*).

2. Aqueles usos do solo, *o conjunto da área agrícola, dos espaços florestais e das áreas com matos e pastagens naturais pobres*, consubstanciam uma parcela de enorme expressão no território português: cerca de 90% no Continente. É nesta parcela que se incrusta a regulação do regime hidrológico e a qualidade do recurso mais precioso - a água; é nela que se encontra um campo vasto para o sequestro do carbono. Sobreleve-se, entretanto, que cerca de 80% do território nacional se insere, de acordo com a classificação da União Europeia (UE), em *zonas agrícolas desfavorecidas (ZAD)*, com um pouco mais de 40% em *zonas desfavorecidas de montanha*. E acrescente-se que apenas 15% da superfície agrícola utilizada é irrigável (no Continente: 15,1% em 2009; 15,6% em 2013). O que é uma quota reduzida, considerando a importância do regadio, nomeadamente, no aumento *sustentável* do valor económico da produção agroalimentar, na mitigação da desertificação e na adaptação às alterações climáticas (o previsível aumento da temperatura e diminuição da precipitação, com degradação do coberto vegetal, maiores riscos de incêndios rurais e de erosão hídrica).

3. De refletir também na quão modesta é ainda a adoção de *modos de produção com um desempenho ambiental mais elevado*, como sejam a *produção integrada* e a *biológica*: respetivamente, 13% e perto de 6% da superfície agrícola utilizada (1,6% de produtores agrícolas em modo de produção biológico). Há, também, de colocar em primeiro plano a temática da biodiversidade e com ela o rico património nacional de recursos genéticos vegetais e de raças animais autóctones e de outros recursos endógenos. Menção, a propósito, às *áreas classificadas para proteção da biodiversidade no âmbito da rede ecológica* da UE, a *Rede Natura 2000*; a qual integra cerca de 20% dos povoamentos florestais e quase outro tanto da superfície agrícola utilizada (SAU) do Continente.

4. Na produção de bens agrícolas e silvícolas (excluindo o cômputo dos serviços e das atividades secundárias; avaliação em valores a preços base, preços correntes) pontificam, na atualidade, os valores económicos: na produção vegetal – hortícolas frescos e flores, fruticultura (com destaque para os frutos frescos), vinha – a importância do olival (azeite) tem aumentado, em detrimento dos cereais (onde, no entanto, sobressai o peso do milho-grão) e das plantas industriais; na produção animal - leite de vaca, animais de capoeira, carnes de suíno e de bovino; na produção de bens silvícolas - madeiras para fins industriais (em primeiro lugar do eucalipto; depois, do pinheiro bravo – que tem estado em declínio) e da cortiça.

5. Mas o uso do solo, refletido no caso na produção de bens agrícolas e silvícolas e nas paisagens agrárias, não é decifrável ignorando os agentes que o operam e moldam. Neste âmbito, há que focar, entre outros, o envolvimento e intervenção dos produtores/proprietários florestais e dos agentes responsáveis de explorações agrícolas (os agricultores). Retêm-se apenas estes últimos que circunscrevem, conformando o respetivo uso do solo, 50% da superfície territorial nacional: contam-se em cerca de 264.400 os agricultores portugueses (em 2013; que compara com perto de 305.300 em 2009); os quais, no início da década atual, se tipificavam em dois grandes grupos, cuja diferenciada presença regional espelha a diversidade a que acima se aludiu. Por um lado, os detentores de explorações de *grande* dimensão económica (mais de 100.000 € de valor da produção) – 3% das explorações, fruía 40% da superfície agrícola, empregavam 12% das unidades de trabalho agrícola e eram responsáveis por quase 60% do valor económico gerado na agricultura. Por outro lado, o grupo que congregava uma pluralidade de agentes, em boa medida de natureza familiar (estes fruía 56% da superfície agrícola e florestal apurada em explorações agrícolas em 2009): uns com relacionamento com o mercado pelas vias dos bens produzidos nas explorações e do emprego noutras atividades, outros detendo como fonte decisiva de rendimentos as pensões e reformas.

6. Na superfície total das explorações, a SAU constitui a parcela preponderante (cerca de 80%), bem acima do peso das terras com matas e florestas estremes. Por sua vez, na SAU a supremacia é da extensão dos prados e pastagens permanentes, onde sobressai o enorme relevo das pastagens não cultivadas (as classificadas como espontâneas *pobres*). Observa-se que nos anos 2009-2013, a quebra, já assinalada, de agricultores (-13%) foi acompanhada por uma diminuição da superfície total das explorações agrícolas (quase 2% no todo nacional) e pela recomposição das respetiva componentes: -0,7% na SAU; -4% na área de matas e florestas sem culturas sob coberto; -11% em outras ocupações

(-21% na SAU que não está em uso; +6% nas áreas sociais, caminhos, albufeiras/charcas ...).

7. Por fim, na vista de conjunto, é ainda de fixar: na área florestal (em 2010, cerca de 35% da superfície do Continente), o eucalipto, o sobreiro e o pinheiro bravo cobriam um pouco mais de 70%; seguiam-se-lhes a azinheira, o pinheiro manso, o castanheiro e o carvalho – estas três últimas espécies em alargamento de área, ao contrário do que tem ocorrido com a alfarrobeira; por sua vez, no efetivo animal, a trajetória evolutiva tem sido marcada pelo crescimento dos bovinos de vocação carne e o decréscimo do armentio de bovinos leiteiros e de ovinos e caprinos – evolução esta num contexto de retração da superfície dedicada a prados temporários e culturas forrageiras anuais (-17%, a nível nacional, nos anos de 2009-13) e de alargamento da ocupação com prados e pastagens permanentes (+2%, adveniente sobretudo do aumento da extensão de prados cultivados, já que a das pastagens *pobres*, persistindo com enorme expressão, esteve em declínio ligeiro).

Diversidade regional: uma miscelânea de padrões produtivos

8. Como se escreveu no início, Portugal apresenta uma diversidade regional expressiva cujos contornos, na ótica da utilização do solo circunscrito sobretudo por explorações agrícolas, agora se explicita. Num primeiro apontamento em referência às grandes unidades territoriais (NUT, Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos, versão 2013). Atentem-se aos contrastes:

Quadro 10 – Contrastes regionais no uso do solo das explorações agrícolas portuguesas em 2013

Unidades Territoriais (NUT II, 2013)	Sup. Total das expl. agric./Sup. Territorial das NUT (%)	Grandes ocupações da superfície total das explorações agrícolas em 2013 (%)													Partição regional (%)	
		Superfície agrícola utilizada (SAU)											Matas e florestas estremes ⁽³⁾	Outras ⁽⁴⁾	SAU	Sup. Irrigável
		Sup. Irrigável	Total	Terras aráveis			Culturas permanentes			Pastagens permanentes						
				Total ^(a)	Culturas temporárias	Pousio	Total	Frutícolas	Olival	Vinha	Total	Pobres ^(b)				
Portugal	50,2	11,9	78,7	23,8	16,6	7,2	15,3	4,5	7,4	3,5	39,3	28,5	17,5	3,8	100	100
Continente	50,4	12,2	78,3	24,1	16,7	7,4	15,7	4,5	7,6	3,6	38,2	29,1	17,8	3,9	96,6	99,2
Norte	44,0	16,4	69,1	20,1	15,1	5,0	23,9	7,0	8,3	8,6	24,5	17,4	25,6	5,3	17,8	27,8
Centro	29,1	14,4	67,9	23,5	18,6	4,9	18,1	4,5	8,8	4,8	25,7	16,2	27,2	4,9	15,3	21,4
AM Lisboa	30,0	29,8	82,1	38,5	34,0	4,5	14,3	4,4	0,6	9,4	29,1	15,1	13,2	4,6	2,0	4,9
Alentejo	78,5	9,3	86,5	25,8	16,6	9,2	11,0	2,5	7,3	1,2	49,6	39,5	11,3	2,2	58,9	42,0
Algarve	32,5	10,6	56,9	15,4	7,3	8,1	28,8	22,7	5,3	0,8	12,4	11,2	27,6	15,6	2,5	3,1

Superfície total = SAU + Matas e florestas estremes + Outras ocupações. (a) Inclui a parcela de hora familiar; (b) Pastagens permanentes de crescimento espontâneo utilizadas, periódica ou permanentemente, para alimentação de gado que não são melhoradas por adubações, cultivos, sementeiras ou drenagens; situam-se frequentemente em zonas acidentadas; (c) Não ocorrem culturas (ou pousio) no sob coberto; (d) Correspondem a áreas sociais (edificado, caminhos) e superfície agrícola não utilizada (a parcela que por razões económicas, sociais ou outras deixou de ter uma utilização agrícola e de entrar no afolhamento ou rotação cultural).

pouco mais de 40% da superfície irrigável, o peso relativo da componente da superfície total das explorações com possibilidade de rega não chega a 10% - diferença bem funda com, por ex., a A. M. Lisboa. Diferenciação importante do Norte e do Algarve, face às outras unidades, no tocante à importância das culturas permanentes e, mais ainda, no referente à extensão relativa das pastagens permanentes que acentuam a individualidade regional do Alentejo no contexto nacional.

9. Para se compreender a diversidade territorial de padrões produtivos agrícolas no Continente, importa analisá-los a um nível mais detalhado. A zonagem dos padrões de especialização apresentada nos mapas da Figura 1 serve esse propósito. Fundamenta-se numa qualificação dos tipos de especialização produtiva agrícola e silvícola de cada um dos 278 concelhos do Continente, que se baseou na análise da repartição por atividades dos valores quer da produção padrão agrícola, apurados pelo *RA2009*, quer da produção das atividades silvícolas (biénio 2008-2010), esta obtida por ventilação por concelhos dos totais dados pelas Contas Nacionais (INE), usando como chave a repartição das áreas dos povoamentos florestais correspondentes a cada atividade, fornecidas pelos Inventários Florestais e outras fontes do ICNF. A observação do mapa *Especialização Produtiva...* revela a forte afinidade de padrões de especialização de concelhos contíguos, o que permitiria agregar os 278 concelhos em 56 unidades homogéneas. Todavia, a demarcação das Zonas Agrícolas, cujo desenho se inscreve também no mapa relativo à *Especialização Produtiva*, assinala apenas 32 unidades, mas os padrões de especialização dos concelhos que compõem cada uma delas preservam, regra geral, uma forte similaridade. Não obstante, o mosaico que sobressai destas figuras revela bem a miscelânea de padrões produtivos agrícolas do território de Portugal continental.

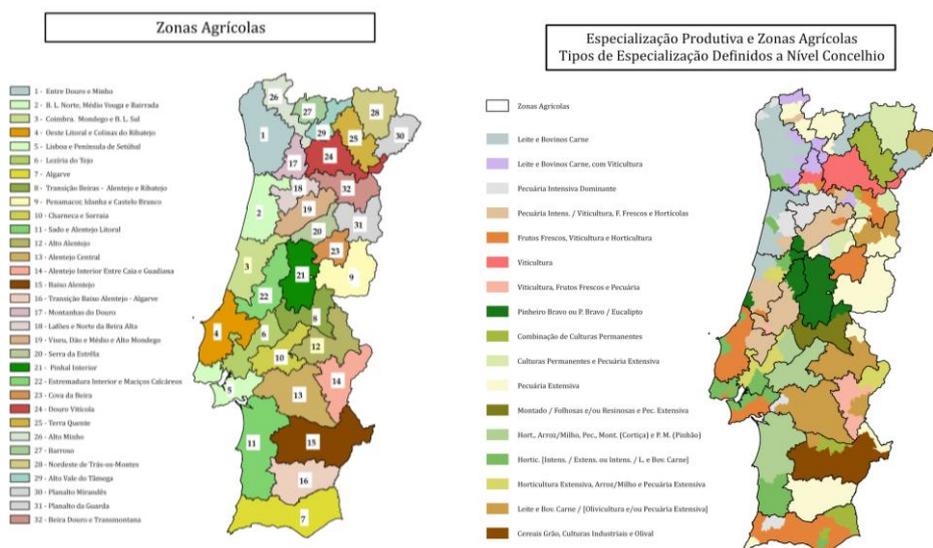


Figura 1 – Delimitação de “zonas agrícolas” no Continente português e especializações produtivas em ‘2009’

10. Os fatores explicativos das especializações agrícolas dos territórios são diversos e evoluem. Os mais estáveis são de ordem geofísica (localização e posição geográfica, orografia, litologia, hidrografia). Outros mudam a ritmo lento, como o clima e as estruturas fundiárias. Os restantes são mais suscetíveis de mudança: desde fatores biofísicos, como o solo vivo, o manto vegetal e as reservas hídricas, aos humanos, como a demografia, a estrutura social e a cultura. Além destes fatores, os condicionalismos externos mais influentes na evolução do perfil da produção agrícola e silvícola repartem-se por uma ampla gama: saber e tecnologias de produção e comercialização; mercados de fatores e produtos e integração vertical da produção primária; sistema financeiro; políticas públicas de regulação dos mercados, de apoio ao rendimento, de infraestruturas ou de inovação e incentivo ao investimento, etc. As mudanças na envolvente ‘externa’ da esfera de produção agrícola conjugam-se com transformações ‘internas’ que abarcam, por exemplo: a dimensão, natureza social-jurídica das unidades de produção; a composição demográfica e qualificação dos recursos humanos; as estratégias e racionalidade dos diversos tipos de produtores agrícolas e de outros agentes das fileiras agroindustriais e a sua organização e capacidade de ação coletiva.

11. Com o enquadramento dos pontos antecedentes destacam-se em seguida, num breve esboço, alguns dos principais traços do mosaico de especializações

agrícolas e silvícolas no final da década de 2000 retratados nos mapas apresentados.

12. A configuração das especializações agrícolas no Noroeste evidencia o matiz mais atlântico do seu clima e a transição operada quando se progride da plataforma litoral, onde convergem os troços mais amplos e planos dos vales desenhados pela densas redes hidrográficas desta região, para o interior mais acidentado e elevado, culminando a leste nas montanhas do Minho, do Douro e do Vouga, que delimitam este espaço e determinam o seu marcado contraste com o interior duriense e transmontano. De facto, enquanto nas zonas litorais do *Entre Douro e Minho* e da *Beira Litoral Norte, Médio Vouga e Bairrada* prevalecem as especializações leite e bovinos carne, combinadas por vezes com horticultura ou pecuária intensiva (granívoros), no *Alto Minho* e nas *Montanhas do Douro* estas atividades vão-se entrosando com a viticultura (vinhos verdes) ou são substituídas por esta e/ou pela pecuária extensiva.

13. A influência atlântica é ainda forte na zona do *Pinhal Interior*, mas aqui o potencial de produção agrícola surge drasticamente reduzido pela altitude e acidentado do relevo e a natureza dos solos, sobressaindo como a maior mancha de especialização silvícola, onde predomina o pinhal bravo (em perda face à expansão do eucalipto), mas também como uma das zonas mais debilitada pelo despovoamento e pelos incêndios florestais.

14. O *Douro Vitícola*, demarcado pelos vigorosos entalhes dos troços médio e superior do rio Douro e seus afluentes, apresenta um clima tipicamente mediterrânico e uma paisagem única, modelada pela intervenção humana, sendo a zona com uma especialização mais polarizada numa única atividade (a produção de vinho do Porto, generoso, e de outros vinhos maduros). Com uma dimensão inferior, a *Cova da Beira*, localizada na depressão entre as Serras da Estrela e da Gardunha, constitui um outro exemplo de vincada especialização, neste caso frutícola, devedora de condições edafoclimáticas associadas à sua natureza de enclave orográfico.

15. As manchas mais representativas de especialização frutícola, polarizada ou combinada com a horticultura, situam-se mais a sul e no litoral, com destaque para o *Oeste Litoral e as Colinas do Ribatejo e Lisboa e Península de Setúbal*, cujo clima mediterrânico é suavizado pela influência moderadora do atlântico, e que beneficiam de outros fatores, entre os quais a proximidade à AM Lisboa e, assim, ao maior centro de consumo interno de produtos agroalimentares. Esta última vantagem é hoje menos determinante do que no passado na localização das produções de bens para consumo em fresco ou mais perecíveis, devido aos grandes progressos na conservação em frio e nas redes de distribuição e

transporte e, também, à maior liberdade de comércio à escala global. A recente internacionalização de alguns dos segmentos das fileiras hortícola e frutícola do nosso país atestam esta mudança, que se enraizou em zonas tradicionais de produção, caso da pera rocha (*Oeste Litoral*) e constitui o símbolo cimeiro da reorientação para o exterior da produção frutícola nacional, mas também se projetou para zonas mais afastadas dos principais centros de consumo interno, como mostra o desenvolvimento da produção hortícola no sul do litoral alentejano destinada principalmente a mercados externos.

16. Nos vastos campos do Alentejo e do Ribatejo ocorreram as maiores alterações de uso do solo e de especialização produtiva das últimas décadas, devido a diversos fatores: maior repercussão nestes territórios das mudanças de orientação da Política Agrícola Comum (PAC) e das opções nacionais na sua concretização; concentração dos investimentos em infraestruturas coletivas de regadio (o Alqueva); condições naturais e estruturais propiciadoras da expansão do olival regado intensivo e superintensivo; etc. A face mais visível desta mudança foi o drástico recuo dos sistemas cerealíferos, quer nas “terras mais fracas”, onde cederam lugar às pastagens *pobres* e à pecuária ‘extensiva’, quer nas “terras mais fortes” do Alentejo beneficiadas pela expansão do regadio, onde foram substituídos pelo olival e outras culturas regadas. Na primeira vertente a mudança operou-se rapidamente após o desligamento das ajudas diretas da PAC aos cereais, no início da década de 2000, pelo que em 2009 estava consumada, quer a sul do Tejo quer em todo o interior norte e centro do Continente. Pelo contrário, na segunda vertente as transformações desencadeadas estavam ainda em pleno desenvolvimento, em particular na área de influência do Alqueva, aquando da realização do RA2009.

17. Apesar das profundas mudanças verificadas nos campos do Sul, subsistem muitos dos traços de identidade e diversidade dos territórios que os compõem, como se pode verificar, por exemplo, pela caracterização dos perfis de especialização produtiva agrícola e agro-florestal das Zonas Agrícolas da *Lezíria do Tejo*, da *Charneca e Sorraia* (forte afinidade com o vale do Sado) e do *Alentejo Interior Entre Caia e Guadiana*. São também territórios em transformação, mas alguns dos aspetos que os diferenciam são subsidiários do ambiente biofísico, de estruturas agrárias duradouras e de uma história longa, como a dos montados de sobro nas terras de charneca do Tejo e do Sado, um potencial acumulado em muitas décadas e que, além da valia ambiental, constitui o pilar da fileira da cortiça, uma das mais importantes da economia portuguesa, em termos de valor acrescentado nacional incorporado nas exportações.

Referências bibliográficas

- GPP, 2013. *Programa de Desenvolvimento Rural do Continente 2014-2020. Diagnóstico. Versão preliminar (Draft - outubro 2013)*.
- GPP, 2016. *Agricultura, Silvicultura e Pesca – Indicadores 2016*. Lisboa, GPP – Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral.
- INE, *Inquérito à estrutura das explorações agrícolas 2013 e Recenseamento agrícola 2009*, ext. “base de dados”. In <http://www.ine.pt>.
- INE, *Contas Económicas da Agricultura e da Silvicultura*, ext. de “Contas Satélite”/“Contas Nacionais”. In <http://www.ine.pt>. [média trienal centrada em 2013].
- MAOTDR, 2007. *Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território, PNPO, 1.ª ed.*
- RIBEIRO, J.M. FÉLIX, 2016. “Portugal: o Megacluster Alimentação e Bebidas – um Mosaico à Conquista dos Mercados Internacionais”. In *Agricultura, Floresta e Desenvolvimento Rural* (coord. A. Oliveira das Neves), Lisboa, IESE – Instituto de Estudos Sociais e Económicos.
- ROLO, J.C., CORDOVIL, F., 2014. *Rural, Agriculturas e Políticas, Animar – Associação Portuguesa para o Desenvolvimento Local*.
www.animar-dl.pt/index/documentacao/documentos/desenvolvimento/rural_a.

Entregue para publicação em abril de 2017

Aceite para publicação em junho de 2017

Árvores Monumentais: do conhecimento à promoção educativa e turística

Raquel Lopes¹, Catarina Schreck Reis² e Paulo Renato Trincão³

Sumário. As árvores monumentais e os bosques maduros encontram-se em declínio na Europa, em resultado de décadas de pressão, com consequências manifestamente comprovadas para a biodiversidade, mas também para a sociedade e para o próprio território. Em Portugal, a instituição em 1938, da figura de Arvoredo de Interesse Público, permitiu o desenvolvimento de legislação específica e de âmbito nacional, para a proteção das árvores monumentais (*i.e.*, porte, desenho, idade, raridade, representatividade ou significativo valor natural, histórico, cultural ou paisagístico). Contudo, cerca de metade dos municípios do território continental não apresentam processos de classificação. Neste sentido, é importante compreender como poderá este recurso servir à promoção da cultura científica, para uma efetiva compreensão pública. Para o cumprimento deste objetivo, foi encetado um inquérito, por questionário, que incidiu sobre uma amostra, os 100 municípios que integram a área regional de Turismo do Centro, para se estudar o universo do território nacional. A sua análise comprova que o arvoredo monumental se encontra subvalorizado, enquanto elemento de diferenciação endógena das regiões, e com potencial de desenvolvimento local. Atendendo, não só ao seu valor enquanto recurso natural, histórico, cultural, paisagístico, turístico e educativo, como ainda pelo seu reconhecido papel na promoção da saúde e do bem-estar.

Palavras-chave: Arvoredo de Interesse Público, questionário, desenvolvimento local, promoção da cultura científica, turismo

¹ Estudante de Doutoramento em Biologia no Centro de Investigação Didática e Tecnologia na Formação de Formadores, Universidade de Aveiro, Campus Universitário, 3810-193 Aveiro, Portugal; raquelopes@ua.pt

² Centro de Ecologia Funcional da Universidade de Coimbra, Calçada Martins de Freitas, 3000-456 Coimbra, Portugal; catarina.reis@exploratorio.pt

³ Centro de Ecologia Funcional da Universidade de Coimbra, Calçada Martins de Freitas, 3000-456 Coimbra, Portugal; paulo.trincao@exploratorio.pt

Monumental trees: from knowledge to educational and tourist promotion

Abstract. Monumental trees and mature forests are in decline in Europe, because of decades of pressure, with obvious consequences for biodiversity, but also for society and the territory itself. In Portugal, the figure of trees listed as Public Interest was established in 1938. This allowed the development of specific legislation with national scope, for the protection of monumental trees (*i.e.*, size, shape, age, rarity, representativeness, or high natural, historical, cultural or landscape value). However, about half of the municipalities in the mainland of our country do not have classification processes. So, it is important to understand how this resource can be used for the promotion of scientific culture, for an effective public understanding. To fulfill this objective, a survey was conducted to the 100 municipalities of the regional tourism central area of Portugal, to study the all universe, the national territory. The results suggest that monumental trees are underestimated, as an endogenous differentiation of the region, with potential for local development. Considering not only its value as a natural, historical, cultural, touristic, educational resource and its distinctive landscape, but also for its recognized role in promoting health and well-being.

Key words: Trees listed as National Interest, survey, local development, promotion of scientific culture, tourism

Arbres monumentaux : de la connaissance a la promotion educative et touristique

Résumé. Les arbres remarquables et les forêts mûres sont en déclin en Europe à cause de décennies de pression, avec des conséquences clairement prouvées sur la biodiversité, mais aussi sur la société et le territoire lui-même. Au Portugal, l'institution en 1938, de la figure des arbres remarquables d'intérêt public, a permis le développement d'une législation spécifique et au niveau national, pour la protection des arbres remarquables (taille, design particulière, l'âge, rareté, représentativité, ou grande valeur naturelle, historique, culturelle ou du paysage). Cependant, moitié de communes de la partie continentale, ne présentent pas de processus de classification. Dans ce sens, il est important de comprendre comment cette ressource pourrait servir à promouvoir la culture scientifique, dans le but d'une compréhension efficace du public. Pour atteindre cet objectif, une enquête par questionnaire a été présentée à 100 mairies de la région touristique du centre pour étudier l'univers du territoire national. Leur analyse montre que les arbres remarquables sont sous-exploités, en tant qu'éléments de différenciation endogène des régions, ayant un potentiel de développement local, de part leur valeur en tant que ressources naturelles, historiques, culturelles, paysagères, touristiques et éducatives, mais aussi de part leur reconnu rôle dans la promotion de la santé et du bien-être.

Mots-clés: Arbres d'Intérêt Public, questionnaire, développement local, promotion de la culture scientifique, tourisme

Introdução

Presentes na paisagem urbana, rural ou natural, as árvores monumentais têm assumido múltiplas funções. Este património está relacionado com aspetos de fruição pessoal e espiritual, encontrando-se igualmente, associado à promoção da saúde e do bem-estar (TSUNETSUGU *et al.*, 2007). Atendendo à dimensão estética que assume, valoriza os espaços onde se encontra (PEDERSON, 2010). Tem ainda assumido a base do desenvolvimento económico das áreas rurais (*e.g.*, árvores agrícolas), criando inúmeros benefícios sociais (MOYA, 2015). Representa, por isso, a identidade histórica e cultural de uma determinada comunidade (DAFNI, 2006). Também a nível ecológico, as árvores monumentais assumem funções cruciais. São as que mais intervêm para a mitigação do aquecimento global (STEPHENSON *et al.*, 2014), para além de fomentarem a vida, ao representarem *hotspots* de biodiversidade (CORNEY e BUTLER, 2007), ou por funcionarem na paisagem como corredores para a vida selvagem (LINDENMAYER *et al.*, 2013).

Mas quais são as características que permitem distinguir as árvores monumentais das demais árvores? Em Portugal, pelas suas características singulares, como o porte, o desenho, a idade, a raridade, a representatividade, ou pelo seu significado natural, histórico, cultural ou paisagístico, as árvores (isoladas ou em conjuntos arbóreos), podem ser consideradas de relevante interesse público e, como tal, recomendada a sua cuidada conservação. São, por isso, passíveis de classificação de Arvoredo de Interesse Público (AIP), ao abrigo de legislação específica (Lei n.º 53/2012, de 5 de setembro¹, regulamentada pela Portaria n.º 124/2014, de 24 de junho², que aprova o regime jurídico da classificação do AIP e atualiza e revoga o Decreto-lei n.º 28468/38, de 15 de fevereiro³). Ao ser classificado de interesse público, o arvoredo torna-se num monumento vivo, e como tal sujeito a determinados condicionalismos e benefícios (VARELA e BARROS, 1998). A introdução da figura de AIP, em 1938,

¹ Lei n.º 53/2012. D.R. n.º 172, Série I de 2012-09-05. Aprova o regime jurídico da classificação de arvoredo de interesse público (revoga o Decreto-Lei n.º 28 468, de 15 de fevereiro de 1938). Retirado de <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2012/09/17200/0512405126.pdf>. Consultado em maio, 2017.

² Portaria n.º 124/2014. D.R. n.º 119/2014, Série I de 2014-06-24. Estabelece os critérios de classificação e desclassificação de Arvoredo de Interesse Público (AIP), os procedimentos de instrução e de comunicação e define o modelo de funcionamento do Registo Nacional do Arvoredo de Interesse Público (RNAIP). Retirado de <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2014/06/11900/0334603352.pdf>. Consultado em maio, 2007.

³ Decreto-Lei n.º 28 468, de 15 de fevereiro de 1938. Regula o arranjo, incluindo o corte em derrama, das árvores em jardins, parques, matas ou manchas de arvoredo existentes nas Zonas de Proteção de Monumentos Nacionais, edifícios de interesse público e edifícios do Estado de reconhecido valor arquitetónico. Retirado de <https://dre.pt/application/dir/pdfgratis/1938/02/03700.pdf>. Consultado em maio, 2017.

terá afirmado Portugal como um dos países com a mais antiga legislação de proteção de árvores da Europa. De acordo com o Registo Nacional do Arvoredo de Interesse Público (RNAIP), relativo aos processos de classificação encetados entre 1939 e 2012, no território de Portugal Continental, pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, Instituto Público (ICNF), encontram-se classificadas 470 árvores isoladas e 81 conjuntos arbóreos. Em 2015, o ICNF iniciou a revisão e a atualização dos processos de classificação (LOPES *et al.*, 2016), sendo apresentadas novas contribuições a partir do ano de 2016.

Porém, apesar da reconhecida e comprovada importância que as árvores monumentais e bosques maduros assumem, tem-se assistido, ao seu declínio. Não só na Europa, onde nos últimos 100 anos, desapareceram 80% das árvores monumentais, bosques maduros e árvores agrícolas seculares (MOYA, 2015), mas também em Portugal.

A própria idade avançada destas árvores torna-as mais suscetíveis a pestes, doenças e à ação de agentes atmosféricos (MARTINS e TRAVASSOS, 2012). Contudo, outros fatores de natureza antrópica têm contribuído para o seu desaparecimento. Assistimos ao contínuo isolamento e à compactação do solo (ANTROP, 2004), em resultado de mudanças da prática de gestão do território, assim como à sobre-exploração dos recursos naturais e ao impacte das alterações climáticas (MOYA, 2015). Também a ocorrência de incêndios, a dificuldade de autorregeneração e o desconhecimento sobre a origem e desenvolvimento natural destas árvores (BUTLER *et al.*, 2002) tem originado conflitos levando à sua substituição e/ou abate. Ora, estas práticas irão afetar não só árvores jovens e saudáveis, como ainda prejudicar o desenvolvimento de uma nova geração de árvores monumentais.

Apesar de vulnerável e à mercê de vários fatores de constrangimento muito se encontra, ainda, por fazer, nomeadamente no que diz respeito à identificação, divulgação e efetiva proteção do arvoredo com características monumentais. Na realidade, 47% dos municípios do território continental não apresentam processos de classificação de AIP (LOPES *et al.*, 2016), apesar da legislação nacional existente, se afigurar bastante completa.

O facto do arvoredo monumental não se encontrar inventariado facilita o seu espólio, proporciona o seu desaparecimento e ignora todo o seu potencial, nomeadamente enquanto recurso natural, científico, histórico, cultural, paisagístico, económico, mas também turístico, educativo e de promoção da saúde e do bem-estar (LOPES *et al.*, 2016).

Neste âmbito, o reconhecimento do valor associado ao património arbóreo monumental (classificado ou não de AIP), constitui um objetivo a cumprir com

vista à sua conservação. Assim, ao se assumir como um elemento diferenciador e identitário de uma determinada região, o arvoredado monumental pode constituir uma oportunidade de desenvolvimento local.

É sobretudo nos municípios de baixa densidade e do mundo rural, que o impacto do êxodo rural do país é mais visível (MARQUES, 2004). Com efeito, é nesses territórios que o turismo de natureza tem sido uma aposta, enquanto atividade de revitalização sustentável do tecido económico e social (LUÍS, 2002; MILHEIRO *et al.*, 2014). Contudo, paralelamente a este setor torna-se, igualmente, importante procurar diversificar outras atividades económicas (SILVA, 2006; CARVALHO e CORREIA, 2009; EUSÉBIO *et al.*, 2014; NICELY e SYDNOR, 2015), onde o património arbóreo monumental pode ser implicado. Na verdade, a diversidade de espécies arbóreas, multiseculares ou mesmo milenares que ocorrem nas zonas rurais pode constituir uma oportunidade para a revitalização dos saberes populares (práticas agrícolas, pastoreio, silvicultura ou gastronomia), como também para a valorização das curiosidades culturais locais (lendas, factos históricos ou motivos religiosos).

Esta questão ganha relevância quando, no nosso país, têm surgido projetos, embora ainda pontuais, assentes na promoção do arvoredado monumental. Estes projetos focam-se sobretudo no desenvolvimento educativo e ambiental. Contudo, ao estimularem o contacto com o meio natural, estão, igualmente, associados à promoção da saúde e do bem-estar físico e mental (KARJALAINEN *et al.*, 2010; ANNERSTEDT *et al.*, 2012; THOMPSON *et al.*, 2012). Apresentam-se ainda como foco de atração turística local. É disso exemplo, o “Centro de Interpretação do Carvalho de Calvos”, criado com o objetivo de divulgar, junto de diferentes públicos-alvo, o carvalho-alvarinho mais antigo da Península Ibérica e o segundo mais antigo da Europa. Também os roteiros botânicos constituem bons exemplos de como o AIP e outras árvores, de valor igualmente significativo, podem ser valorizados: a “Rota das Árvores Monumentais de Monchique”, a “Rota das Árvores Monumentais do Geopark Naturtejo”, ou o “Caminho das Oliveiras de Monsaraz”. Em fase de desenvolvimento encontram-se a “Zona de Contemplanção e Interpretação do Sobreiro de Águas de Moura” e a “Rota das Oliveiras Milenares de Mouriscas” (LOPES *et al.*, 2016). Estes roteiros permitem que as árvores sejam preservadas enquanto monumentos vivos, contribuindo, simultaneamente para o desenvolvimento turístico, económico, histórico e patrimonial das regiões onde se encontram (COSTA *et al.*, 2005).

Estes projetos contribuem, assim, para a promoção da cultura científica e sobretudo, para a disseminação da Botânica, ao influenciarem positivamente as

atitudes e conhecimento do público em geral, sobre as plantas, e em particular sobre as árvores monumentais.

Neste enquadramento, pode o arvoredado monumental enquanto produto turístico de natureza constituir uma oportunidade para a diferenciação estratégica dos municípios, tal como outros setores constituíram aposta no Plano Estratégico Nacional do Turismo horizonte 2013-2015 (TURISMO DE PORTUGAL, 2013, p. 38-66): “passeios a pé, de bicicleta ou a cavalo”, “observação de aves”, “áreas protegidas”, “paisagens”, “espécies de fauna e flora”, e “formações fósseis e vulcânicas”.

O presente trabalho insere-se num estudo experimental mais alargado para avaliar o impacto do desenvolvimento de projetos de comunicação de ciência no aumento da consciência pública sobre as árvores monumentais. Pretende contribuir com novos entendimentos sobre a realidade do AIP e de outras árvores com características monumentais nos municípios do território de Portugal Continental, tendo como base a área regional de Turismo do Centro, bem como formular recomendações para o seu conhecimento, divulgação e proteção. Tem como objetivos específicos: i) diagnosticar a importância que as árvores monumentais assumem a nível municipal; ii) aferir o grau de atuação autárquico face à atual legislação que confere proteção ao arvoredado monumental; iii) identificar as suas principais ameaças; iv) diagnosticar as principais estratégias de comunicação desenvolvidas para a promoção do conhecimento do arvoredado monumental junto do público; e v) identificar os principais entraves a um não investimento nesta matéria.

Só com o conhecimento da realidade do arvoredado monumental se pode compreender como este poderá servir como elemento catalisador da promoção da cultura científica, para uma efetiva compreensão pública, e assim, se atingir o reconhecimento do seu valor e salvaguarda presente e futura.

Metodologia

Amostra: área regional de Turismo do Centro

Dos 278 municípios existentes no território de Portugal Continental, os 100 municípios que integram a área regional de Turismo do Centro constituem a amostra do campo de investigação. Correspondente a uma área de 28.199 km², a região faz parte de uma das cinco áreas regionais de Turismo de Portugal

Continental: Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo, Alentejo e Algarve⁴. A área regional de Turismo do Centro inclui as seguintes regiões: Castelo Branco, Coimbra, Leiria/Fátima/Tomar, Oeste, Ria de Aveiro, Serra da Estrela e Viseu/Dão/Lafões. Concentra 22% da população portuguesa (2,3 milhões de habitantes) e apresenta: uma fronteira terrestre internacional de 270 km com Espanha, que a separa das regiões espanholas de Castela e Leão e da Extremadura; e uma linha de costa atlântica com 279 Km de extensão. Em termos hidrográficos, o território reparte-se pelas bacias do: Douro (Côa), Tejo (Zêzere), Mondego, Vouga, Lis e por ribeiras costeiras (PORTUGAL INOVAÇÃO SOCIAL - PORTUGAL 2020, 2014).

A escolha da amostra posiciona-se nas amostras não probabilísticas ou empíricas, sendo classificada de intencional por ser escolhida a juízo do investigador. Esta amostra pode sofrer limitações, entre as quais avultada subjetividade, não podendo, por isso mesmo, constituir uma base sólida de representatividade do universo, a totalidade dos municípios do território continental. Contudo, se feita criteriosamente, pode fornecer interessantes indícios a respeito do fenómeno em estudo (PARDAL e CORREIA, 1995). O facto de se tratar de um estudo piloto, a escolha de uma amostra por conveniência, numa fase inicial do projeto, acrescenta informações pertinentes e tendências de resultados. Assim, apesar da representação parcial do universo da população (os 278 municípios do território de Portugal Continental), possibilita linhas orientadoras de pesquisas, considerando a sua maior facilidade operacional e adequação em termos do tipo e tamanho.

A escolha da amostra, a área regional de Turismo do Centro, deveu-se aos seguintes critérios: i) é a que apresenta o maior número de municípios (100 municípios); ii) no Registo Nacional do Arvoredo de Interesse Público é a que apresenta o maior número de árvores classificadas (163 árvores isoladas e 21 conjuntos arbóreos), distribuídas por 57% dos municípios (Quadro 1); iii) é representativa do eixo litoral - centro - interior, atendendo à heterogeneidade de aspetos dos setores económicos, socioculturais, históricos e naturais; e iv) consigna as regiões de ligação profissional (instituições de investigação) dos investigadores e de ligação afetiva (naturalidade, relações familiares), apesar de não existir qualquer ligação aos sujeitos da investigação.

⁴ LEI n.º 33/2013, de 16 de maio, Estabelece o regime jurídico das áreas regionais de turismo de Portugal Continental, a sua delimitação e características, bem como o regime jurídico da organização e funcionamento das entidades regionais de turismo. Retirado de <https://dre.pt/application/file/261001>. Consultado em maio, 2017.

Quadro 1 - Distribuição e gestão do Arvoredo de Interesse Público (árvores isoladas e conjuntos arbóreos), que consta no Registo Nacional do Arvoredo de Interesse Público do ICNF, nas cinco áreas regionais de Turismo de Portugal Continental (processos de 1939 a 2012)

Área regional de turismo de Turismo	Regiões	Número de Municípios	Municípios com classificações	Municípios sem classificações	Árvores Isoladas *	Conjuntos Arbóreos *
Porto	Minho	25	11	14	38	5
	Trás-os-Montes	15	7	8	17	1
	Douro	19	9	10	16	5
	Porto	27	16	11	46	14
Sub-total		86	43	43	117	25
Centro	Castelo Branco	8	3	5	11	0
	Coimbra	24	15	9	39	5
	Leiria/Fátima/Tomar	16	8	8	54	3
	Oeste	12	7	5	13	3
	Ria de Aveiro	11	8	3	10	0
	Serra da Estrela	15	8	7	17	7
	Viseu/Dão Lafões	14	8	6	19	3
Sub-total		100	57	43	163	21
Lisboa e Vale do Tejo	Lisboa	9	9	0	102	29
	Setúbal	9	7	2	29	1
Sub-total		18	16	2	131	30
Alentejo	Setúbal	4	2	2	1	1
	Santarém	10	5	5	8	1
	Lisboa	1	1	0	3	0
	Portalegre	15	5	10	9	1
	Évora	14	4	10	9	1
	Beja	14	5	9	12	0
Sub-total		58	22	36	42	4
Algarve	Algarve	16	10	6	17	1
Sub-total		16	10	6	17	1
Total		278	148	130	470	81

* Fonte: Registo Nacional do Arvoredo Interesse Público do ICNF, <http://www.icnf.pt/portal/florestas/ArvoresPesquisa?Distrito=&Concelho=6&Freguesia=&Processo>. Acedido em 20 de maio de 2015.

(adaptado de LOPES *et al.*, 2016)

Desenho do estudo

A conceção, desenvolvimento e validação do estudo contemplou a utilização de uma metodologia mista. Como instrumentos de recolha de dados foi usada a análise quantitativa - inquérito por questionário - complementada com

métodos de análise qualitativa. Esta última, para além da análise de conteúdos, baseou-se em pesquisas bibliográficas, assentes numa análise crítica de artigos científicos, e publicações nacionais e estrangeiras; e ainda numa análise documental, realizada com base em diferentes centros de documentação de universidades, instituições e organismos, com competência nos setores em causa, nomeadamente, o Turismo de Portugal e o ICNF.

Os dados foram recolhidos entre junho de 2015 e junho de 2016, com recurso a um inquérito eletrónico autoadministrado desenvolvido propositadamente para o efeito, na aplicação *LimeSurvey* versão 2.00, da plataforma “Questionários da Universidade de Aveiro”. O questionário *online* traduziu-se numa vantagem rápida, económica e de simplificação do processo de registo dos dados, com diminuição do erro, bem como de eficácia na submissão total dos municípios da amostra, ao permitir inquirir várias questões da mesma forma a diferentes participantes, tal como é apontado noutros estudos (GHIGLIONE e MATALON, 1995; SOLOMON, 2001; JANSEN *et al.*, 2007).

Para respeitar a credibilidade do questionário, para além do tempo de preenchimento, estimado entre 10 a 15 minutos, obedeceu-se aos seguintes critérios: i) ser claro no seu conjunto; ii) cobrir todos os tópicos a serem incluídos; iii) apresentar as perguntas mais apropriadas; iv) colocar questões para obter o tipo de informação necessária para responder ao problema da pesquisa; e v) solicitar dados empíricos. Quanto às modalidades das perguntas, incidiram, maioritariamente, em questões de resposta fechada, que respeitaram a escala de medição intervalar de 5 itens de tipo *Likert*, onde 1 = nada importante, 2 = pouco importante, 3 = importante, 4 = muito importante e 5 = sem opinião (LIKERT, 1967). Noutros estudos, a utilização deste instrumento de validação de dados mostrou-se fiável (BOGNER e WISEMAN, 2004).

Também se aplicaram questões de resposta aberta e múltipla (perguntas em leque fechado e aberto). A análise das questões abertas obedeceu a um processo de codificação das respostas, pelo método de análise de conteúdo (PARDAL e CORREIA, 1995), metodologia que se mostrou útil na análise de outros estudos científicos (HANEY *et al.*, 2004; YILMAZ *et al.*, 2013).

O questionário foi validado por uma equipa heterogénea de peritos da área das Ciências da Educação, Biologia, Engenharia Florestal e Comunicação de Ciência, que ajudaram a definir o tamanho e o alcance das perguntas a realizar. Um estudo piloto foi preconizado, durante o mês de maio de 2015, a uma amostra de 2 municípios aleatórios, para testar a fiabilidade do instrumento de pesquisa preliminar. Estes procedimentos permitiram aferir a objetividade das questões, bem como eliminar questões confusas ou redundantes, estimar o

tempo de duração, permitindo obter a versão final do questionário. Outros estudos mostraram a eficácia desta metodologia (COUTINHO, 2011).

Quanto ao inquérito a abordagem dos aspetos mais específicos foi crescente sendo realizada nas secções mais avançadas (THAYER-HART *et al.*, 2010). Não se obedeceu, contudo, a uma ordem estanque e sequencial das questões por cada uma das secções. Assim, a primeira secção do questionário (questão 1 a 4 e 6) para além apresentar a explicação da terminologia específica usada, atendendo à importância de se contextualizar e explicar os conceitos chave, tal como indicado por THAYER-HART *et al.* (2010), avaliou os níveis de conhecimento sobre o arvoredado monumental, a importância que assume e a legislação em vigor. A segunda secção do questionário (questão 5, 5.1, 5.1.1 e 5.3) recolheu informações sobre o inventário municipal do arvoredado com características monumentais, classificado ou não de AIP. Na terceira secção os respondentes são auscultados sobre a comunicação entre o município, a tutela (ICNF), e a população, relativamente ao interesse e gestão deste património (questão 5.1.2 e 5.1.3). Na quarta secção (questão 7 e 9) são aferidas as atividades desenvolvidas pelo município para a promoção do arvoredado monumental ou AIP questionando-se as principais razões que justificam o entrave ao investimento no conhecimento e divulgação desse património, assim como, as suas principais ameaças, o que constitui a quinta secção (questão 5.2, 8 e 11). Na sexta secção são auscultadas as atividades futuras, que a nível municipal poderão ser desenvolvidas para a valorização e divulgação do património arbóreo monumental (questão 10). A última secção foi reservada à recolha de dados geográficos (questão 12). Optou-se por não se proceder à caracterização do perfil dos inquiridos (*e.g.*, dados biográficos, habilitações académicas situação profissional), uma vez que, para os objetivos da investigação só interessou a indicação do nome do município.

Para a recolha do questionário foi enviado um *e-mail* a solicitar a colaboração no estudo e do envio do contacto do responsável do gabinete municipal com responsabilidade na gestão do arvoredado. Seguiu-se o envio de um novo *e-mail* ao contacto fornecido com o *link* de acesso ao questionário. Não foi dado a conhecer qualquer informação prévia sobre a temática da investigação. Apenas se fez uma nota introdutória, onde se apresentou o pedido de colaboração no preenchimento do questionário, os seus objetivos, a instituição de acolhimento do projeto e a declaração de confidencialidade e de anonimato (HILL e HILL, 2009).

Atendendo ao atraso verificado na submissão do inquérito, por parte da maioria dos municípios, procedeu-se ao envio de vários lembretes. Esta situação

constituiu a principal desvantagem para a investigação desenvolvida (PARDAL e CORREIA, 1995). Contudo, esta ação combinada com o alargamento do prazo para o término da fase de recolha de dados, revelou-se eficaz na auscultação de toda a amostra.

A análise dos resultados do questionário foi realizada com recurso ao *software* de análise estatística SPSS – versão 20 (*Statistical Package for the Social Sciences*). Em cada questão apresenta-se a análise estatística descritiva realizada à amostra (os 100 municípios da área regional do Turismo do Centro), seguida da análise estatística inferencial para a população (os 278 municípios do território continental). Os testes de hipóteses usados na análise inferencial têm um nível de significância de $\alpha = 5\%$. Para avaliar a significância das respostas, de acordo com cada questão, efetuaram-se testes binomiais para a proporção 50%, testes à mediana e testes de associação de variáveis. Na questão 9, realizaram-se testes de comparação de medianas, usando como valor de referência o 4, correspondente à resposta “concordo”. Para os itens cuja distribuição das diferenças é simétrica, ou seja, onde o quociente entre o coeficiente de simetria e o erro padrão está entre -1,96 e 1,96 (PESTANA e GAGEIRO, 2008), realizou-se o teste de Wilcoxon. Para os restantes casos, realizou-se o teste dos sinais. Para as atividades onde o nível mediano não correspondeu a “concordo” efetuou-se um teste unilateral. Nas questões de resposta livre (opção “Outras”) realizou-se a análise de conteúdo.

Resultados

Quanto à importância que é conferida às árvores monumentais (questão 1), formulando as hipóteses do teste binomial, a partir da análise de frequências (Quadro 2), 85% dos municípios consideram que é muito importante ($p\text{-value}=0,543$; $N=100$). O mesmo se verifica quanto ao valor que as árvores monumentais conferem à paisagem (questão 2) ($p\text{-value}=0,328$; $N=100$).

Relativamente ao grau de informação sobre a legislação que classifica o Arvoredo de Interesse Público (questão 3), a maioria dos respondentes considera-se informado (69%), muito embora 26% admitam estar pouco informados (Quadro 2). O teste binomial concluiu que há evidências estatísticas de que 70% dos municípios se considera informado ou muito informado ($p\text{-value}=0,264$; $N=100$).

Quanto à legislação específica em vigor para a proteção das árvores monumentais (questão 4), 52% dos municípios considera-a importante, sendo para 29% dos municípios muito importante (Quadro 2). O teste binomial

concluiu que há evidências estatísticas de que 80% dos municípios portugueses considera a legislação importante ou muito importante ($p\text{-value}=0,460$; $N=100$).

Sobre a existência de um inventário das árvores com características monumentais isoladas ou em arboretos (questão 5), 50% da amostra respondeu sim (Quadro 2). Testou-se a hipótese de que 50% dos municípios possuem inventário, sendo validada com um $p\text{-value}$ próximo de 1. Considerando apenas os municípios que de facto possuem inventário (questão 5.1), 66% afirmam ter árvores classificadas de interesse público (Quadro 2). Contudo, 38% indicam um valor contrário (questão 5.1.1.) ao que consta no Registo Nacional do Arvoredo de Interesse Público. O teste binomial concluiu que 70% dos municípios têm árvores classificadas de interesse público ($p\text{-value}=0,316$; $N=100$).

Quase metade das autarquias refere que a comunicação com o ICNF relativamente à gestão de arvoredo de interesse público (questão 5.1.2) ocorre apenas ocasionalmente (48,8%), ou até mesmo raramente (39,4%) (Quadro 2). O teste binomial concluiu que 90% considera que esta ocorre ocasionalmente, raramente ou não apresentam opinião formada sobre o assunto ($p\text{-value}=0,346$; $N=100$).

Quanto ao grau de interesse que essas árvores despertam na população local (questão 5.1.3), 42,4% dos respondentes considera ser importante, embora 30,3% seja da opinião de que é pouco importante (Quadro 2). O teste binomial concluiu que há evidências estatísticas de que em 50% dos municípios ($p\text{-value}=1$; $N=100$), a população considera o arvoredo monumental importante e muito importante.

Para os 50% dos municípios que responderam não ou não sei sobre a existência de um inventário de árvores com características monumentais (questão 5), a análise de conteúdo realizada aponta, como principais motivos (questão 5.2): a falta de exemplares ou o desconhecimento da sua existência; a indisponibilidade dos técnicos por falta tempo, recursos humanos e financeiros; existirem outras prioridades para o município, falta de interesse, ou por não ser relevante e obrigatório; a localização das árvores ser em propriedade privada; a burocracia associada à classificação; bem como a falta de informação.

Quanto ao número estimado de árvores isoladas ou existentes em arboretos, com possibilidade de virem a ser classificadas, atendendo às suas características monumentais (questão 5.3), é inferior a 5 exemplares, em 46,9% dos municípios, 6 a 10 exemplares, em 32,7% dos municípios e 21 a 25 exemplares, em 10,2% dos municípios (Quadro 2). O teste binomial conclui que o número estimado de árvores isoladas ou existentes em arboretos é inferior ou igual a 15, em 90% dos municípios ($p\text{-value}=0,365$; $N=100$).

Avaliando o papel das autarquias quanto ao seu grau de interesse pelo património arbóreo classificado de interesse público ou com possibilidade de classificação (questão 6) é, para 59% dos municípios importante e para 21% muito importante (Quadro 2). O teste binomial concluiu que em 80% dos casos, o considera importante ou muito importante (p-value=0,559; N=100).

Quanto à frequência das atividades desenvolvidas pela autarquia, para a divulgação do património arbóreo classificado de interesse público ou com possibilidade de classificação (questão 7) é, para 45% dos municípios rara, e para 31% pontual (Quadro 2). O teste binomial concluiu que as atividades desenvolvidas são frequentes ou muito frequentes em apenas 10% dos municípios (p-value=0,124; N=100).

Quadro 2: Análise descritiva das questões de 1 a 7 relativas ao inquérito “Estudo sobre o Arvoredo Classificado de Interesse Público na área regional de Turismo do Centro, de Portugal Continental”

Questão	Escala	Frequência	Percentagem
1. Qual a importância que confere às árvores monumentais?	Importante	15	15,0
	Muito importante	85	85,0
	Total	100	100,0
2. Como avalia o valor que as árvores monumentais conferem à paisagem?	Importante	17	17,0
	Muito importante	83	83,0
	Total	100	100,0
3. No âmbito da sua atividade profissional, como avalia o seu grau de informação sobre a Portaria n.º 124/2014. D.R. n.º 119, Série I, de 24 de junho de 2014, que regulamenta a Lei n.º 53/2012. D.R. n.º 172, Série I, de 5 de setembro de 2012, que estabelece o regime de classificação e desclassificação do Arvoredo de Interesse Público?	Nada informado	0	0,0
	Pouco informado	25	25,5
	Informado	67	68,4
	Muito informado	5	5,1
	Sem opinião	1	1,0
	Total	98	100,0
4. Como avalia a legislação específica, em vigor para a proteção das árvores monumentais?	Nada importante	0	0,0
	Pouco importante	7	7,0
	Importante	52	52,0
	Muito importante	29	29,0
	Sem opinião	12	12,0
Total	100	100,0	
5. No seu município, existe um inventário das árvores com características monumentais isoladas ou em arboretos?	Não sei	6	6,0
	Não	44	44,0
	Sim	50	50,0
	Total	100	100,0
5.1 Se respondeu SIM, essas árvores encontram-se classificadas de interesse público, ao abrigo da Portaria n.º 124/2014. D.R. n.º 119, Série I de 2014-06-24?	Não sei	4	8,0
	Não	13	26,0
	Sim	33	66,0
	Total	50	100,0
5.1.2. Como avalia a comunicação entre a autarquia e o ICNF, IP., relativamente à gestão das árvores isoladas ou existentes em arboretos classificados de interesse público, no seu município.	Rara	13	39,4
	Às vezes	16	48,5
	Frequente	2	6,1
	Muito frequente	0	0,0
	Sem opinião	2	6,1
	Total	33	100,0

	Nada importante	4	12,1
	Pouco importante	10	30,3
5.1.3. Como avalia o grau de interesse que essas árvores despertam na população local?	Importante	14	42,4
	Muito importante	3	9,1
	Sem opinião	2	6,1
	Total	100	100,0
	Menos de 5	23	46,9
5.3 Qual o número estimado de árvores isoladas ou existentes em arboretos, com características monumentais, com possibilidade de classificação de interesse público, no seu município?	6-10	16	32,7
	11-15	4	8,2
	16-20	1	2,0
	21-25	5	10,2
	Total	49	100,0
6. Como avalia o grau de interesse das autarquias pelo património arbóreo classificado de interesse público ou com características monumentais, com possibilidade de classificação?	Nada importante	3	3,0
	Pouco importante	11	11,0
	Importante	59	59,0
	Muito importante	21	21,0
	Sem opinião	6	6,0
	Total	100	100,0
7. Como avalia a frequência das atividades desenvolvidas pela autarquia, para a divulgação do património arbóreo classificado de interesse público ou com características monumentais, com possibilidade de classificação?	Rara	45	45,0
	Às vezes	31	31,0
	Frequente	13	13,0
	Muito frequente	1	1,0
	Sem opinião	10	10,0
	Total	100	100,0

Quanto às 3 principais razões que justificam o entrave ao investimento na divulgação do património arbóreo monumental (questão 8), formulando as hipóteses do teste binomial, a partir da análise de frequências (Quadro 3), verificou-se que a razão mais referida, com 60% é a falta de recursos financeiros (p-value=0,543; N=100), seguida com 50% da falta de recursos humanos (p-value=0,368; N=100) e da falta de apoio por parte dos serviços centrais (p-value=0,920; N=100), e com 40% do desinteresse pela temática (p-value=0,462; N=100). Para além destas, também foram registadas por 30% dos municípios, o desconhecimento da lei (p-value=0,114; N=100), a inexistência de arvoredo monumental (p-value=0,163; N=100) e o facto de não ser uma estratégia municipal (p-value=0,451; N=100).

Quadro 3: *Análise descritiva e inferencial da questão 8, “Assinale as 3 principais razões que considera justificarem o entrave ao investimento na divulgação do património arbóreo classificado de interesse público ou com características monumentais, com possibilidade de classificação?” (N=100)*

Opções	%		p-value
	Sim	Não	
Falta de recursos financeiros	40	60	0,543*
Falta de apoio por parte dos serviços centrais	49	51	0,920*
Falta de recursos humanos	45	55	0,368*
Desinteresse pela temática	39	61	0,462*
Não ser uma estratégia política do município	31	69	0,451*
Inexistência de arvoredo monumental	25	75	0,163*
Desconhecimento da lei	24	76	0,114*

*p-value>0,05

Salientam-se outras razões, apontadas por 9% dos municípios em questão aberta, como a localização do arvoredo em terrenos privados, a falta de interesse dos proprietários, o facto de não ser uma prioridade do município, a falta de coordenação, ou desconhecimento existente.

Na questão 9, apenas foram consideradas as respostas com o valor de referência 4 “concordo”, para se aferirem as atividades desenvolvidas a nível municipal para a divulgação do património arbóreo classificado ou com possibilidade de classificação. Os testes inferenciais concluíram que as atividades mais realizadas são: o contacto da população com especialistas nesta temática; a presença de estruturas de apoio; as ações de esclarecimento junto da comunidade sobre o processo de classificação e desclassificação do AIP; a vedação da árvore; a realização de exposições; a implementação de um Centro Interpretativo; e a realização de feiras gastronómicas relacionadas com árvores (p-value>0,05). Para as restantes ações não houve concordância por parte dos municípios (p-value<0,05) (Quadro 4).

Quadro 4: Resultados dos testes de Wilcoxon e Sinais realizados para a questão 9, “No seu município, que atividades são desenvolvidas na divulgação do património arbóreo classificado de Interesse Público, ou com características monumentais, com possibilidade de classificação?”

Níveis	Atividades	p-value	Z**
I – Meio Envolvente	Vedação da árvore	0,324*	-0,986
	Presença de estruturas de apoio	0,519*	-0,645
	Requalificação do espaço	0,018	-2,375
	Sinalética regional, com informação sobre a localização da árvore/arvoredo num percurso com possibilidade de ser visitado pelo público	0,000	-3,604
	Sinalização da árvore/arvoredo por sinalética (placa informativa)	0,000	-5,543
	Edição de materiais de divulgação	0,001	-3,176
	Realização de exposições	0,287*	-1,066
	Desenvolvimento de projetos escolares	0,000	-4,157
	Implementação de um Centro Interpretativo	0,261*	-1,125
	Comemoração de efemérides	0,000	-5,292
	Recolha de sementes	0,003	-2,946
	Plantação de árvores	0,000	-4,575
	Feiras gastronómicas relacionadas com árvores/arvoredo	0,247*	-1,157
	II – Informação, sensibilização e divulgação	Desenvolvimento de percursos turísticos	0,000
Divulgação das árvores/arvoredo presentes no município em folhetos de promoção turística		0,006	-2,749
Divulgação das árvores/arvoredo presentes no município nas redes sociais e <i>media</i>		0,028	-2,199
Levantamento/inventário das árvores/arvoredo para novas propostas de classificação de árvores com características monumentais		0,000	-4,682
Ações de esclarecimento, junto da comunidade, sobre o processo de classificação e desclassificação de arvoredo de interesse público		0,459*	-0,741
Contacto da população com especialistas nesta temática		0,668*	-0,429
Desenvolvimento de atividades de sensibilização/promoção das árvores/arvoredo junto da população		0,002	-3,125
Gestão do conflito entre arvoredo e moradores, infraestruturas urbanas		0,005	-2,789

*p-value>0,05

** z: Estatística de teste Z da Binomial com aproximação à normal

Outras atividades foram referidas em questão aberta por 63% da amostra, nomeadamente: a realização de estudos dendrocronológicos, avaliação e tratamento fitossanitário; a sensibilização, acompanhamento e aconselhamento técnico aos proprietários; a coordenação com as juntas de freguesia; e a elaboração de uma publicação sobre as árvores monumentais de Portugal. Contudo, foram igualmente anotados entraves à realização de atividades como: o desconhecimento de arvoredo monumental, a falta de recursos financeiros, a inexistência de divulgação, o desinteresse de proprietários e dos organismos centrais, bem como o corte para lenha.

Quanto às 5 atividades de divulgação a implementar pelos municípios (questão 10), formulando as hipóteses do teste binomial, a partir da análise de frequências (Quadro 5), as mais referidas, para 70% dos municípios, foram a colocação de uma placa informativa (p-value=0,367; N= 100) e a divulgação das árvores do município em folhetos de promoção turística (p-value=0,224; N=100). Para 50% dos municípios, o desenvolvimento de projetos escolares (p-value=0,764; N=100), a comemoração de efemérides (p-value=0,484; N=100) e a plantação de árvores (p-value=0,368; N=100).

Quadro 5: *Análise descritiva e inferencial da questão 10, “Da listagem das atividades de divulgação mencionadas na questão anterior, indique 5 que pensa vir a desenvolver no seu município, para a divulgação do património arbóreo classificado de Interesse Público, ou com características monumentais, com possibilidade de classificação?”*

	%		p-value
	Sim	Não	
Sinalização da árvore/arvoredo por sinalética (placa informativa)	68	32	0,367*
Desenvolvimento de projetos escolares	52	48	0,764*
Levantamento/Inventário das árvores/arvoredo para novas propostas de classificações de árvores com características monumentais	50	50	1,000*
Comemoração de efemérides (e.g., Dia da Arvore)	46	54	0,484*
Plantação de árvores	45	55	0,368*
Sinalética regional, com informação sobre a localização da árvore/arvoredo num percurso com possibilidade de ser visitado pelo público	35	65	0,163*
Desenvolvimento de atividades de sensibilização/promoção das árvores/arvoredo junto da população	30	70	0,538*
Edição de materiais de divulgação (e.g., folhetos livros, vídeos, roteiros)	31	69	0,451*
Desenvolvimento de percursos turísticos	28	72	0,377*
Divulgação das árvores/arvoredo presentes no município em folhetos de promoção turística	26	74	0,224*
Divulgação das árvores/arvoredo presentes no município nas redes sociais e média	18	82	0,362*
Gestão do conflito entre o arvoredo e moradores, infraestruturas urbanas (e.g., posto de eletricidade, saneamento, pavimento)	18	82	0,362*
Recolha de sementes	17	83	0,271*
Ações de esclarecimento, junto da comunidade, sobre o processo de classificação e desclassificação do arvoredo de interesse público	8	92	0,321*
Realização de exposições	6	94	0,117*
Implementação de um Centro Interpretativo	6	94	0,117*
Contato da população com especialistas nesta temática	5	95	-
Feiras gastronómicas relacionadas com a árvore/arvoredo	1	99	-

*p-value>0,05

Outras razões referidas em questão aberta por 20% da amostra, anotam o facto de as atividades realizadas não focarem o arvoredo com características monumentais, por este não existir e/ou ser desconhecido.

Relativamente às 5 principais ameaças ao património arbóreo classificado de interesse público, ou com possibilidade de classificação (questão 11), o teste binomial concluiu, a partir da análise de frequências (Quadro 6), que 70% dos

municípios indicam a falta de apoio pelo ICNF (p-value=0,367; N=100), as obras de requalificação urbana (p-value=0,451; N=100), a incompatibilidade com moradores (p-value=0,367; N=100), a falta de fiscalização e vistorias regulares ao arvoredo (p-value=0,221; N=100) e a poda excessiva, sem supervisão técnica especializada em arvoredo monumental (p-value=0,462; N=100). Para além destas cinco, outras razões foram anotadas. Para 50%, dos municípios, o desinteresse pela temática (p-value=0,617; N=100) e para 40% os incêndios (p-value=0,377; N=100), a falta de investimento público na divulgação do património (p-value=0,382; N=100), a falta de apoio aos proprietários/autarquias (p-value=0,462; N=100) e a incompatibilidade com infraestruturas urbanas (p-value=0,382; N=100).

Quadro 6: *Análise descritiva e inferencial da questão 11, “Quais considera serem as 5 principais ameaças ao património arbóreo classificado de interesse público, ou com características monumentais, com possibilidade de classificação no seu município?”*

	%		p-value
	Sim	Não	
Desinteresse pela temática	47	53	0,617*
Vandalismo e negligência	45	55	0,368*
Incêndios	42	58	0,377*
Falta de apoio aos proprietários/autarquias detentoras de património arbóreo	39	61	0,462*
Falta de investimento público na divulgação do património	38	62	0,382*
Incompatibilidade com infraestruturas urbanas (e.g., pavimentação, saneamento, estacionamento)	38	62	0,382*
Falta de fiscalização e vistorias regulares ao arvoredo	34	66	0,221*
Falta de apoio pelo ICNF	32	68	0,367*
Incompatibilidade com moradores	32	68	0,367*
Obras de requalificação urbana	31	69	0,451*
Poda excessiva sem supervisão técnica especializada em arvoredo monumental	29	71	0,462*
Compactação do solo (e.g., excesso de visitas, estacionamento, pavimentação)	18	82	0,362*
Decadência natural	0	100	-

Outras razões mencionadas em questão aberta por 6% dos municípios, anotam a inexistência e/ou desconhecimento de arvoredo com características monumentais, a ação de agentes atmosféricos, o estado fitossanitário, o abate das árvores pelos proprietários, assim como a burocracia associada ao processo de classificação.

Discussão

Esta investigação de carácter inovador contribui para colmatar uma falha no panorama português, quanto a estudos científicos sobre as árvores

monumentais. Recorrendo à metodologia por inquérito, conseguiu abranger toda a amostra por conveniência, os 100 municípios que integram a área regional de Turismo do Centro. Os dados obtidos permitiram, de uma forma clara e abrangente, a partir da análise inferencial, dar cumprimento aos objetivos inicialmente definidos. Estes, no seu cômputo geral pretendem contribuir com novos entendimentos sobre a realidade do património arbóreo monumental nacional, classificado ou não de AIP, com vista ao desenvolvimento de recomendações para o seu reconhecimento social e efetiva proteção.

Assim, relativamente à importância que o arvoredado monumental assume ao nível do território continental, apesar de 80% dos municípios demonstrarem interesse por este património e afirmarem estar informados ou muito informados sobre a legislação em vigor (70%) considerando-a importante ou muito importante (80%), também reconhecem que este património carece de atenção, sendo subvalorizado e, muitas vezes, esquecido e preterido por outras temáticas. Os resultados permitem corroborar este panorama, quando, em metade do território, as árvores com características monumentais não se encontram identificadas e catalogadas em inventário. Estes dados são concordantes com o estudo de LOPES *et al.* (2016), segundo o qual, de acordo com o Registo Nacional do Arvoredado de Interesse Público, 47% dos municípios não apresenta AIP. Contudo, 90% da população do estudo afirma possuir arvoredado com características monumentais (entre 1 a 15 exemplares), segundo as duas tipologias consagradas na legislação: árvores isoladas ou conjuntos arbóreos.

As razões identificadas para a inexistência de um inventário permitem perceber como a figura da árvore monumental é encarada na atual estratégia municipal. Para os 50% dos municípios que afirmam não apresentar inventário, os principais entraves ao investimento no conhecimento do arvoredado baseiam-se na falta de informação e de recursos, no desconhecimento da existência de árvores com essas características, no facto de estarem localizados em propriedades privadas, associando-se um processo de classificação burocrático, e ainda, por este assunto não ser relevante nem obrigatório, existindo outras prioridades de intervenção a nível autárquico.

Outro dado aferido, prende-se com o desconhecimento efetivo do número de exemplares de AIP, para os 50% dos municípios que afirmam apresentá-lo em inventário. Assim, quando inquiridos sobre o número de AIP existente no município, verifica-se que o mesmo difere do catálogo nacional do ICNF (Registo Nacional do Arvoredado de Interesse Público).

Verifica-se, portanto, a necessidade em se apostar na identificação e catalogação em inventário do património arbóreo monumental, para se aumentar o número de municípios com árvores classificadas. Para o efeito, deverão ser simplificados os mecanismos legais em vigor para a classificação, bem como encetar novas propostas de classificação, tal como também refere COSTA *et al.* (2005). O AIP deverá ser identificado por meio de uma placa, com a referência das suas características e estatuto, conforme a indicação legal. Isto porque, a ausência da identificação é, muitas vezes, promotora de atos vandalismo e de negligência, descurando-se ainda a visibilidade pública deste património (CARMO, 2013). Considera-se ainda importante monitorizar o arvoredo monumental, desenvolvendo para o efeito inspeções periódicas, por técnicos especializados, para a avaliação do estado vegetativo e do espaço envolvente, tal como indicado por SILVA (2015).

Assim, atendendo às razões identificadas deverá ainda a política municipal suportar-se na legislação nacional, para se envolver na gestão do património arbóreo monumental. Para o cumprimento deste objetivo, será importante estabelecer formas de diálogo e de coordenação entre os *stakeholders* que direta ou indiretamente estejam implicados na gestão das árvores classificadas, ou de outras, que apesar de não auferirem desse estatuto são igualmente notáveis. A população local constitui um desses parceiros e, quando devidamente informada, poderá ter um papel mais ativo na identificação, valorização e proteção desse património. Esta questão ganha relevo quando segundo o estudo, metade dos municípios consideram que a população é interessada por este património, considerando-o importante e muito importante. Contudo, para a restante metade, este património é irrelevante. Estes dados são concordantes com COSTA *et al.* (2005), quando refere que o AIP é desconhecido pela maioria da população portuguesa devendo-se apostar na sua sensibilização. Para além disso, outro fenómeno poderá justificar este desvinculo social relativamente ao património arbóreo, o *plant blindness*. Descrito por WANDERSEE e SCHUSSLER (2001), justifica a dificuldade da sociedade em identificar as plantas no seu próprio ambiente e a incapacidade em reconhecer a sua importância.

Para além dos dados anteriormente referidos a questão da gestão do arvoredo monumental assume especial relevância quando, os resultados permitiram diagnosticar vários graus de ameaças aos quais o arvoredo classificado ou com possibilidade de classificação, se encontra sujeito. Essas ameaças podem ser agrupadas em três categorias interdependentes. Na primeira, incluem-se os fatores de pressão de ordem natural e/ou urbana como: os incêndios (40%), os conflitos com moradores e com obras de requalificação

(70%), as incompatibilidades com infraestruturas (40%) e a compactação do solo (20%). Estes dados são corroborados por COSTA *et al.* (2005), quando refere a existência de falta de sensibilização para com as árvores, sobretudo nos meios urbanos, pelo conflito gerado com as infraestruturas. Na segunda categoria incluem-se as intervenções não especializadas como as podas excessivas e sem supervisão técnica e especializada (70%), em virtude de um parco investimento técnico-científico, aliado a um desconhecimento da origem e do desenvolvimento natural dos exemplares arbóreos. A terceira categoria identifica o desinvestimento no arvoredo monumental, associado: à falta de apoio pelo ICNF e à falta de fiscalização e vistorias regulares (70%), ao desinteresse pela temática (50%), à falta de apoio aos proprietários/autarquias (40%), e à falta de investimento público na divulgação do património (40%). Para além das razões identificadas, também se verifica que em 90% dos municípios, a comunicação entre a autarquia e o ICNF relativa à gestão do arvoredo monumental, classificado ou não de AIP, se realizada muito pontualmente. Verificando-se, mais uma vez, dificuldade ao nível da comunicação entre os interlocutores.

De acordo com uma reduzida percentagem de municípios inquiridos, constituem ameaças ao arvoredo, o facto de este não existir e/ou desconhecerem a sua existência, bem como a burocracia do processo de classificação. Também o facto de se tratar de árvores antigas encontram-se mais vulneráveis à ação de agentes atmosféricos, assim como o seu estado fitossanitário poderá não ser o mais saudável. O abate das árvores com características monumentais por parte dos proprietários é igualmente mencionado como um fator de constrangimento associado a este património.

Outra fase para uma gestão integrada do arvoredo passa pela sua divulgação junto da comunidade. Neste sentido, foram aferidas as estratégias de comunicação desenvolvidas para a promoção do conhecimento das árvores monumentais, classificadas ou não de AIP, junto do público. Assim, ao nível da intervenção no espaço envolvente ao arvoredo é referido a colocação de estruturas de apoio, como a vedação da árvore. Ao nível da informação, sensibilização e divulgação, concordam os municípios desenvolver atividades dirigidas para o público em geral, como a realização de exposições, feiras gastronómicas, ações de esclarecimento sobre o processo de classificação e desclassificação do AIP, bem como a promoção do contacto da população com especialistas nesta temática. Também foi mencionada a implementação de um Centro Interpretativo.

Porém, não mereceram concordância a realização de um conjunto de atividades por parte dos municípios. Estas atividades referem-se tanto a intervenções no espaço envolvente ao arvoredado (*e.g.*, sinalética), como ao desenvolvimento de atividades (*e.g.*, projetos educativos, comemoração de efemérides, recolha de sementes, folhetos de promoção turística, redes sociais e *media*). Verifica-se, igualmente, um desinteresse pela realização de um inventário ao arvoredado, assim como, pela mediação de situações de conflitos entre o arvoredado e moradores e/ou infraestruturas.

As iniciativas identificadas são, contudo, realizadas pontualmente, não representando a totalidade da população estudada. Segundo os resultados obtidos, elas são frequentes e muito frequentes para um número pouco expressivo de municípios (10%). Para contrariar esta tendência, deverá o arvoredado monumental, ser otimizado para o desenvolvimento de atividades, em contexto de educação formal, não informal e informal, que tal como STOCKLMAYER *et al.* (2010) refere, conduzem a uma educação científica mais efetiva. Ao permitirem o desenvolvimento de estímulos, valores e comportamentos do público pró-ambientais, estas ações, que privilegiam o ar livre, influenciam positivamente o seu interesse e o conhecimento sobre a valor da Botânica, em geral (BOGNER e WISEMAN, 2004; BALLANTYNE *et al.*, 2008; FANČOVIČOVÁ e PROKOP, 2011; SCHRECK REIS *et al.*, 2014), e sobre as árvores monumentais, em particular.

Salienta-se assim, a necessidade de se imprimir este dinamismo numa estratégia futura de promoção do arvoredado monumental, classificado ou não AIP. A gestão deste património deve, por isso, passar pela implementação de programas de promoção da cultura científica dirigida a diferentes públicos. Neste âmbito, quando confrontados com as atividades de divulgação do arvoredado que pensam vir a desenvolver, as ações mais referidas pelos municípios prendem-se com a colocação de placas informativas junto ao arvoredado e a sua divulgação em folhetos de promoção turística (70%). Também como estratégia futura consideram os municípios desenvolver projetos escolares, comemorar efemérides e plantar árvores (50%). Contudo, estas últimas ações, já constituem atividades relativamente comuns na calendarização anual das autarquias.

O facto de não se verificar um compromisso efetivo entre os municípios e a sua população com o arvoredado monumental local, tende a ser explicado com os diversos entraves a um maior investimento na divulgação do património arbóreo. Neste contexto, foram identificados os três principais obstáculos à preconização deste investimento: i) a falta de recursos (financeiros, 60%; humanos, 50%); ii) o desinteresse (falta de apoio por parte dos serviços centrais,

50%; desinteresse pela temática, 40%; não ser uma estratégia política do município, 30%); iii) e o desconhecimento (da legislação, do arvoredo monumental, 30%).

Conclusão

Atendendo aos resultados obtidos, a sua globalidade apoia, claramente, a pouca consciência municipal sobre a importância do valor patrimonial das árvores monumentais, que apesar de ser protegido ao abrigo de legislação própria, se encontra sujeito a pressões de vária ordem. Neste sentido, deve-se contribuir para um maior envolvimento e articulação entre todos os interlocutores, implicando-os no conhecimento, divulgação e proteção das árvores monumentais, quer estas sejam ornamentais, quer silvestres. Desta forma, poderá reverter-se a sua contínua decadência e perda. Esta articulação permitirá, não só aumentar a consciência social sobre a importância que estas plantas assumem na vida diária, como também efetivar o conhecimento e a difusão do seu valor. Atua-se, assim, para promover o incremento do número de processos de classificação, bem como da diversidade de espécies classificadas. Garante-se, ainda, a viabilidade sustentável da população de árvores monumentais, assegurando o seu envelhecimento natural até que sejam renovadas.

Para além do registo de um conjunto de obstáculos, aos quais o arvoredo monumental se encontra sujeito, o estudo fornece um suficiente suporte para a hipótese de que este património natural se encontra votado ao desconhecimento e ao desinteresse, assistindo-se ainda a um desinvestimento por parte das entidades com implicação na sua gestão. É possível identificar um conjunto de respostas comuns às diferentes temáticas aferidas no inquérito (*e.g.*, inventário, fragilidades, atividades de divulgação) que justificam as nossas reflexões. Assim, assumem um carácter transversal, os seguintes aspetos: i) o desconhecimento da existência de arvoredo ii) os escassos recursos (humanos e financeiros); iii) a falta de apoio; iv) o desinteresse (pela temática, outras prioridades, não ser obrigatório); e v) a burocracia (processo da classificação, agravada quando pertencem a privados).

Os dados obtidos constituem uma base sólida sobre o conhecimento do arvoredo monumental nacional. Permitiram identificar as suas principais fragilidades a partir das quais se podem constituir oportunidades. Assim, face à subvalorização do seu valor importa refletir e desenvolver formas de atuação para reverter a lacuna de conhecimento não só ambiental como social. Neste

sentido, com o objetivo de se produzirem dinâmicas numa visão estratégica de desenvolvimento local, pode o património arbóreo monumental contribuir para a diferenciação endógena dos municípios onde se localiza.

Com efeito, a autenticidade deste recurso natural, aliado ao potencial do nosso território, caracterizado por tradições e paisagens naturais, históricas e culturais, pode despoletar focos de atração de novos públicos e setores, ao mesmo tempo que se atua pelo seu reconhecimento social e se efetiva a sua proteção. Ainda, por constituir uma oportunidade de promoção de atividades de recreio, lazer e saúde, pode ser capitalizado pela realização de roteiros turísticos. Pode, igualmente, constituir um foco de promoção da literacia científica ao contribuir para elevar o grau de consciência da sociedade e fomentar o seu envolvimento em processos de participação pública, com vista à sua preservação e salvaguarda.

Agradecimentos

Raquel Pires Lopes e Catarina Schreck Reis beneficiam de uma bolsa de doutoramento e pós-doutoramento da “Fundação para a Ciência e Tecnologia” (SFRH/BD/91905/2012 e SFRH/BPD/101370/2014), fundada pelo POPH – QREN – tipo 4.1 – Formação Avançada, comparticipada pelo Fundo Social Europeu e por fundos nacionais do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior – MCTES. Os autores agradecem aos 100 municípios da área regional de Turismo do Centro de Portugal Continental pela colaboração neste estudo.

Referências Bibliográficas

- ANNERSTEDT, M., OSTERGREN, P.-O., BJORK, J., GRAHN, P., 2012. Green qualities in the neighbourhood and mental health - results from a longitudinal cohort study in Southern Sweden. *BMC Public Health* **12** (1): 337. doi: 10.1186/1471-2458-12-337.
- ANTROP, M., 2004. Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landscape and urban planning* **67** (1): 9-26.

- BALLANTYNE, R., PACKER, J., HUGHES, K., 2008. Environmental awareness, interests and motives of botanic gardens visitors: Implications for interpretive practice. *Tourism management* **29** (3): 439-444.
- BOGNER, F.X., WISEMAN, M., 2004. Outdoor ecology education and pupils' environmental perception in preservation and utilization. *Science Education International* **15** (1): 27-48.
- BUTLER, J., ALEXANDER, K., GREEN, T., 2002. Decaying Wood: An Overview of Its Status and Ecology in the United Kingdom and Continental Europe. In *Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-181*, Newtown Square, PA. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, pp. 11-19.
- CARMO, J., 2013. *Avaliação do estado atual das árvores classificadas de interesse público da cidade de Lisboa e recomendações para a sua manutenção*. ISA, Lisboa, 84 pp.
- CARVALHO, P., CORREIA, J., 2009. Turismo, património (s) e desenvolvimento rural: a percepção local da mudança. In L. Moreno, M.M. Sánchez & O. Simões (Eds.), *Cultura, Inovação e Território: o Agroalimentar e o Rural*, SPER (Sociedade Portuguesa de Estudos Rurais), pp 187-196.
- CORNEY, P., BUTLER, J., 2007. *Biodiversity Action Plan (BAP) for ancient and veteran trees*. The Caravan Club, Just Ecology, 21pp.
- COSTA, A., SOBRAL, R., VIANA, H., FERNANDES, M., BARRACOSA, P., 2005. Valorização do Património Arbóreo da Região Dão-Lafões. [CD-ROM]. In *5º Congresso Florestal Nacional - A Floresta e as Gentes*, 16 a 19 de maio de 2005. Instituto Politécnico de Viseu, 7pp.
- COUTINHO, C.P., 2011. *Metodologia de Investigação em Ciências Sociais e Humanas*. Coimbra, Edições Almedina, 412 pp.
- DAFNI, A., 2006. On the typology and the worship status of sacred trees with a special reference to the Middle East. *J. Ethnobiol. Ethnomed* **2** (26). doi: 10.1186/1746-4269-2-26.
- EUSÉBIO, C., KASTENHOLZ, E., BREDA, Z., 2014. Tourism and sustainable development of rural destinations: A stakeholders' view. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais* **36** (2): 13-22.
- FANČOVIČOVÁ, J., PROKOP, P., 2011. Plants have a chance: outdoor educational programmes alter students' knowledge and attitudes towards plants. *Environmental Education Research* **17** (4): 537-551.
- GHIGLIONE, R., MATALON, B., 1995. *O Inquérito - Teoria e Prática*. Oeiras, Celta Editor, 336 pp.
- HANEY, W., RUSSELL, M., BEBELL, D., 2004. Drawing on education: using drawings to document schooling and support change. *Harvard*

- Educational Review* **74** (3): 241-272.
doi: <http://dx.doi.org/10.17763/haer.74.3.w0817u84w7452011>.
- HILL, M.M., HILL, A., 2009. *Investigação por questionário*. Lisboa, Edições SÍLABO, 377 pp.
- JANSEN, K.J., CORLEY, K.G., JANSEN, B.J., 2007. E-Survey Methodology. In *Handbook of Research on Electronic Surveys and Measurements*. R.A. Reynolds, R. Woods and J.D. Baker. Eds., IGI Global, pp. 1-8.
- KARJALAINEN, E., SARJALA, T., RAITIO, H., 2010. Promoting human health through forests: overview and major challenges. *Environmental Health and Preventive Medicine* **15** (1): 1-8. doi: 10.1007/s12199-008-0069-2.
- LIKERT, R., 1967. The method of constructing an attitude scale. In: Fishbein (Ed.), *Readings in attitude theory and measurement*, Wiley, New York, pp.90-95.
- LINDENMAYER D., LAURANCE, W., FRANKLIN J., LIKENS G., BANKS, S., BLANCHARD, W., GIBBONS, P., IKIN, K., BLAIR, D., McBURNEY, L., MANNING, A., STEIN, J., 2013. New policies for old trees: averting a global crisis in a keystone ecological structure. *Conservation Letters* **7** (1): 61-69. doi: 10.1111/conl.12013.
- LOPES, R.P., SCHRECK REIS, C., RENATO TRINCÃO, P., 2016. Arvoredo de interesse público: potencial de desenvolvimento educativo e turístico de uma região. In Madureira, L., Silva, P.G, Sacramento, O., Marta-Costa, A. & Koehnen T. Eds., *Smart and Inclusive Development in Rural Areas - Book of proceedings of the 11th Iberian Conference on Rural Studies*, Vila Real, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), pp.548-553. ISBN: 978-989-704-222-5. Retirado de:
http://xicier2016.utad.pt/sites/all/themes/professional_responsive_theme/images/files/Book_proceedings.pdf
- LUÍS, E., 2002. Turismo no espaço rural em Portugal. *GeoINova* nº 5, pp. 139-152.
- MARQUES, T.S., 2004. Portugal na transição do século. In *Retratos e Dinâmicas Territoriais*, Porto, Edições Afrontamento.
- MARTINS, L., TRAVASSOS, P., 2012. *Fitossanidade e segurança das árvores da Escola Francesa - Porto*. Universidade de Trás-os-Montes, Departamento de Ciências Florestais e Arquitetura Paisagista, Vila Real.
- MILHEIRO, E., MARTINS, A., ALVES, J., 2014. O rural como espaço de empreendedorismo em turismo. In *O Futuro do Mundo Rural em Questão: Atas do I Congresso de Estudos Rurais do Norte Alentejano*, pp. 53-78.
- MOYA, B., 2015. *Horizonte 2020, la estrategia para la conservación de la Biodiversidade en la Unión Europea: Retos y oportunidades para los árboles monumentales y bosques maduros*. Oral communication, Congreso

- Internacional en Arbolar: Grandes árboles para la Vida (BIGTREE4LIFE) - El valor de los árboles y bosques maduros en la salvaguardia de la biodiversidad. Valência, 24 e 25 de março.
- NICELY, A., SYDNOR, S., 2015. Rural tourism development. *Journal of Travel Research* **54** (6): pp. 717-729.
- PARDAL, L., CORREIA, E., 1995. *Métodos e Técnicas de Investigação Social*. Formação Contínua, Areal Editores, Porto, 1ª ed, 192 pp.
- PEDERSON, N., 2010. External Characteristics of Old Trees in the Eastern Deciduous Forest. *Natural Areas Journal* **30** (4): 396-407.
- PESTANA, M.H., GAGEIRO, J.N., 2008. *Análise de dados para ciências sociais: a complementaridade do SPSS*. 5ª ed, Lisboa, Sílabo, 692 pp. ISBN 9789726184980.
- PORTUGAL INOVAÇÃO SOCIAL - PORTUGAL 2020, 2014. *Programa Operacional ao abrigo do objetivo de investimento no crescimento e no emprego*. Retirado de: <http://inovacaosocial.portugal2020.pt/wp-content/uploads/2015/06/PO-Centro.pdf>
- SCHRECK REIS, C., MOREIRA, A., NUNES, H., AZEVEDO, C., LOPES, R., TRINCÃO, P., 2014. Botanical Kits "Let's Sow Science!". In Costa, M.F., Pombo, J.M. e Dorrío, J.B. Eds, *Hands-on Science – Science Education with and for Society*, Hands on Science Network, pp. 87-95.
- SILVA, L., 2006. Os impactos do turismo em espaço rural. *Antropologia Portuguesa* **22** (23): 295-317.
- SILVA, V., 2015. A mata de dragoeiros do Parque Palmela em Cascais (Portugal), contributos para a sua valorização. *Bouteloua* **21** (VI): 123-133.
- SOLOMON, D.J., 2001. Conducting web-based surveys. *Practical Assessment, Research & Evaluation* **7** (19).
- STEPHENSON, N., DAS, A., CONDIT, R., RUSSO, S., BAKER, P., BECKMAN, N., COOMES, D., LINES, E., MORRIS, W., RÜGER, N., ÁLVAREZ, E., BLUNDO, C., BUNYAVEJCHEWIN, S., CHUYONG, G., DAVIES, S., DUQUE, Á., EWANGO, C., FLORES, O., FRANKLIN, J., GRAU, H., HAO, Z., HARMON, M., HUBBELL, S., KENFACK, D., LIN, Y., MAKANA, J., MALIZIA, A., MALIZIA, L., PABST, R., PONGPATTANANURAK, N., SU, S., SUN, I., TAN, S., THOMAS, D., VAN MANTGEM, P., WANG, X., WISER, S., ZAVALA, M., 2014. Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. *Nature*. **507**: 90-93. doi: 10.1038/nature12914.
- STOCKLMAYER, S., RENNIE, L., GILBERT, J.K., 2010. The roles of formal and informal sectors in the provision of effective science education. *Studies in Science Education* **46** (1): 144.

- THAYER-HART, N., DYKEMA, J., ELVER, K., SCHAEFFER N.C., STEVENSON, J., 2010. *Survey Fundamentals - A guide to designing and implementing surveys*. Office of Quality Improvement, 20 pp.
- THOMPSON, C.W., ROE, J., ASPINALL, P., MITCHELL, R., CLOW, A., MILLER, D., 2012. More green space is linked to less stress in deprived communities: Evidence from salivary cortisol patterns. *Landscape and Urban Planning* **105** (3): 221-229.
- TSUNETSUGU Y., PARK B., ISHII H., HIRANO H., KAGAWA T., MIYAZAKI Y., 2007. Physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the atmosphere of the forest) in an old-growth broadleaf forest in Yamagata Prefecture, Japan. *J. Physiol Anthropol* **26** (2): 1335-142. doi: 10.1007/s12199-009-0086-9.
- TURISMO DE PORTUGAL, 2013. Plano Estratégico Nacional do Turismo - Revisão do plano de desenvolvimento do turismo no horizonte de 2015. In *Diário da República, 1ª série*, **74**, de 16 de abril. Retirado de: <http://www.turismodeportugal.pt/PORTUGU%C3%8AS/TURISMODEPORTUGAL/PUBLICACOES/Documents/PENT%202012.pdf>
- VARELA, M., BARROS, M., 1998. Árvores de interesse público. Monumentos vivos de Portugal. *Revista Florestal* **XI** (29): 4-7.
- WANDERSEE, J.H., SCHUSSLER, E.E., 2001. Toward a theory of plant blindness. *Plant Science Bulletin* **47** (1): 2-9.
- YILMAZ, S., TIMUR, S., TIMUR, B., 2013. Secondary school students' key concepts and drawings about the concept of environment. *Anthropologist* **16** (1-2): 45-55.

Entregue para publicação em junho de 2017

Aceite para publicação em dezembro de 2017

Recensão

Bencatel, J., Álvares, F., Moura, A.E., Barbosa, A.M., 2017. *Atlas de Mamíferos de Portugal*. Universidade de Évora, Portugal, 256 pp.

A presente publicação representa, até agora, o maior contributo para o conhecimento e divulgação das espécies de mamíferos que ocorrem em Portugal Continental e Insular. Reflete um esforço notável de compilação e atualização de registos e do trabalho de numerosos investigadores que trabalham com mamíferos ou que se interessam pela fauna em geral. O elevado rigor apresentado neste trabalho torna possível a sua utilização como ferramenta essencial na definição de medidas de gestão e de políticas de conservação em acordo com a Convenção da Conservação da Diversidade Biológica. Embora existisse já um trabalho que incluía mapas de distribuição das espécies, o “Guia dos Mamíferos Terrestres de Portugal Continental, Açores e Madeira” (coord Mathias, 1999, ICN), estes eram bastante menos precisos, não incluíam mamíferos marinhos e foram publicados há mais de 18 anos. Com este atlas, os mapas de distribuição das espécies ganharam rigor espacial (quadrícula UTM 10x10 km²), distinguindo, para os mamíferos terrestres, a distribuição recente (desde 2000) de registos mais antigos. Este atlas não abrange os mamíferos voadores (morcegos) uma vez que estes foram alvo de um atlas recente (“Atlas dos Morcegos de Portugal Continental”, coord Raínho, 2013, ICNF). Cada uma das espécies selecionadas para o Atlas de Mamíferos tem, no livro, uma ficha ilustrada com fotografia e mapas da distribuição conhecida (em Portugal, na Europa e no Mundo), para além da descrição mais detalhada da distribuição global e em Portugal, informação ecológica e de habitat, assim como o enquadramento e estatuto nos diplomas legais nacionais e internacionais de conservação. Para cada espécie, os autores indicam ainda quais deverão ser as prioridades de investigação, o que torna este trabalho numa verdadeira ferramenta de gestão e conservação.

A mamofauna de Portugal é representada neste atlas por 67 espécies selvagens com ocorrência confirmada: 46 espécies terrestres não-voadoras e 21

espécies marinhas. São ainda mencionadas, embora sem ficha individual, algumas espécies adicionais com ocorrência especialmente restrita ou esporádica, como a foca-monge e alguns cetáceos. Um total de 13 espécies está classificado como ameaçadas no Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal (Críticamente em Perigo, Em Perigo ou Vulnerável). Outras 16 espécies foram classificadas no Livro Vermelho com Informação Insuficiente, o que significa que os dados biológicos disponíveis para os especialistas não foram suficientes para uma avaliação do seu estatuto de conservação nacional. O presente atlas vem assinalar geograficamente onde desenvolver projetos de investigação, sendo o arminho ou a orca exemplos destas espécies. Por outro lado, a expansão das áreas de distribuição de algumas espécies que não ocorriam em Portugal (motivada por alterações da paisagem, clima ou introduções acidentais) também já está atualizada neste atlas. O guaxinim e o rato-dos-prados são exemplos destas espécies que só recentemente fazem parte da lista de mamíferos de Portugal.

O atlas apresenta ainda um capítulo de espécies extintas ou de ocorrência duvidosa que inclui, por exemplo, o urso-pardo e o castor-europeu, e um capítulo com Análises Biogeográficas Exploratórias onde se explora especialmente o esforço de amostragem realizado, a diversidade de espécies observada e as áreas onde ainda falta informação (i.e., mapas de ignorância). O atlas tem também uma versão gratuita *online* (<https://atlas-mamiferos.uevora.pt>), onde se disponibilizam os mapas e dados de distribuição e onde se recolhem dados adicionais a incluir na segunda edição, que está já em curso.

Por todos estes motivos, este livro representa um verdadeiro serviço público na Conservação da Natureza, com um público-alvo bastante diversificado, desde investigadores e técnicos de Biologia da Conservação ou Ambiente até ao público geral com interesse neste tema. É esta transversalidade no público-alvo que torna este trabalho tão valioso. Um MUITO OBRIGADA aos autores que agarraram este desafio, ultrapassaram as dificuldades e conseguiram chegar a este resultado em tão pouco tempo. Fica a ganhar a Ciência, a Cultura e a Conservação da Natureza.

Sara M. Santos

Investigadora, Departamento de Biologia, Universidade de Évora; smsantos@uevora.pt

SILVA LUSITANA

Índice do Volume 25 (2017)

Nº 1, junho de 2017

Pyrolysis Behavior and Characterization of Torrefied Wood Chips L. Loureiro, F. Vieira de Campos, L. Nunes	1
Exploratory Study on the Feasibility of Producing Mixed Finger Joints from Hardwoods A. Kumar, V.S. Kishan Kumar, S. Gupta	21
Evaluation of an Operation of Burning of Wheat Straw Batches in a Pilot Scale Facility in Denmark E. Kristensen, J. Kristensen, A. Rodrigues	31
Propagation of Nine Endemic Plant Species from Madeira Island (Portugal) D. Henriques, S. Fontinha, M. C. Neves, H. Nóbrega, A. Ferro, M.A.A. Pinheiro de Carvalho	51
An Ecological Approach to the Management of Mixed Uneven-Aged Forests L.S. Barreto	79
Feira Ligna Hannover 2017 A. Rodrigues	107
Índice do Volume 24 (2016)	109

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

- 1 - A revista **SILVA LUSITANA** aceita toda a colaboração científica que dá a conhecer o resultado de trabalhos de investigação e de experimentação, assim como artigos de revisão, no domínio das Ciências Florestais e afins.
- 2 - Os trabalhos aceites pela Comissão Científica, serão publicados pela ordem cronológica de chegada à Comissão Editorial, devendo o autor incluir, no final do trabalho, a data de entrega para publicação.
- 3 - Os originais deverão ser enviados à: **Comissão Editorial da Revista SILVA LUSITANA, INIAV, I.P. - Av. da República, Quinta do Marquês, 2780-157 OEIRAS, Portugal.**
E-mail: silva.lusitana@iniav.pt
- 4 - As opiniões e conceitos emitidos são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.
- 5 - Os textos, escritos de forma clara e sucinta, devem ser apresentados em folhas A4, num só lado, com uma margem esquerda não inferior a 4 cm, e uma mancha de 20 cm x 13,5 cm incluindo quadros, fotografias, referências de pé de página, etc.
- 6 - Os originais não deverão exceder 25 páginas A4, incluindo anexos.
- 7 - **A apresentação dos originais deverá obedecer às seguintes regras:**
 - 7.1 - **Título:** O título do trabalho deverá ser conciso, específico e descritivo, não ultrapassando um máximo de 15 palavras.
 - 7.2 - **Nome do autor:** O nome do(s) autor(es) deverá ser seguido do título profissional, da direcção da instituição onde exerce a sua actividade científica e do seu E-mail.
 - 7.3 - **Sumário:** O sumário deverá ser conciso, cerca de 2-3% da totalidade do texto, mas nunca superior a 200 palavras. No fim deste, acrescentar as palavras-chave (no máximo de 5), que não apareçam no título. É obrigatório a apresentação de um sumário em inglês e em francês, com as respetivas palavras-chave, e com o título do trabalho nas referidas línguas.
 - 7.4 - **Quadros e Figuras:** Devem ser utilizados sempre que facilitem a compreensão do texto. A sua dimensão deve ser de modo a que, depois de reduzidos à dimensão considerada adequada, em função da mancha tipográfica, a sua reprodução não se afaste dos tipos utilizados no texto. A legenda deverá ser curta e concisa e indicadas sempre as fontes de onde foram retiradas.
 - 7.5 - **Fotografias:** Serão apenas aceites fotografias de qualidade e consideradas indispensáveis para a compreensão do texto. A Comissão Editorial reserva-se o direito de eliminar as fotografias sem qualidade e as que considere excessivas ou dispensáveis, depois de ouvido(s) o(s) autor(es).
 - 7.6 - **Notas de pé de página:** As notas de pé de página devem ser curtas e reduzidas ao mínimo, assinaladas sucessivamente por números e não por asteriscos.
 - 7.7 - **Referências bibliográficas:** No texto, referir o nome do(s) autor(es) em maiúsculas e o ano de publicação. No caso de 3 ou mais autores, utilizar o nome do primeiro seguido de *et al.* e a data da publicação. As referências no texto citadas em conjunto devem ser ordenadas por ordem cronológica.
Exemplos: Livro(A); Artigo(B); Artigo em Livro(C)
 - A) NATIVIDADE, J.V., 1950. *Subericultura*. Ministério da Economia, DGSFA, 387 pp.
 - B) CABRAL, M.T., LOPES, F., SARDINHA, R.A., 1993. Determinação das causas da morte do sobreiro nos concelhos de Santiago de Cacém, Grândola e Sines. Relatório Síntese. *Silva Lusitana* 1(1): 7-24.
 - C) SILVA, R., PÁSCOA, F., MARQUES, C.P., 1991. Modelação dinâmica dos povoamentos de pinheiro bravo. In *Comunicações do 1 Encontro Sobre Pinhal Bravo, Material Lenhoso e Resina*, SPCF/ESAC/CFC, Coimbra, pp. 123-130.
- 8 - **Número de cópias:** Os autores deverão enviar um original escrito com cópia em CD ou em alternativa por e-mail.
- 9 - **Revisão de provas:** A revisão das primeiras provas será feita pelo(s) autor(es). A alteração do texto inicial, para além de 5%, constituirá um encargo para o(s) autor(es).
- 10 - **Direitos de edição:** Todos os direitos de edição pertencem ao Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária na sua qualidade de Editor da revista **SILVA LUSITANA**.

SILVA LUSITANA

Índice

2017, Vol. 25(2): 1 - 103

Efeito das Alterações Climáticas Recentes no Crescimento e Densidade Radial do Pinheiro bravo no Centro-Sul de Portugal C. Kurz-Besson, J.L. Lousada, M.J. Gaspar, I. Correia, T. Soares David, P.M.M. Soares, R.M. Cardoso, A. Russo, I. Marques, F. Varino, R.M.Trigo, C.M. Gouveia	1
Woody Biomass Torrefaction: Fundamentals and Potential for Portugal L.M.E.F. Loureiro, L.J.R. Nunes, A.M. Rodrigues	35
Uso Agrícola e Florestal do Solo em Portugal: um Panorama Económico-Estrutural J. Cabral Rolo, F. Cordovil	65
Árvores Monumentais: do Conhecimento à Promoção Educativa e Turística R. Lopes, C. Schreck Reis, P.R. Trincão	75
Recensão	103
Índice do Volume 25(1) (2017)	105