

## Avaliação da Qualidade e Densidade da Cortiça – Um Estudo Piloto com Tomografia Computorizada

### *Cork Quality and Density Assessment – A Pilot Study Using Computerized Tomography*

João Pinheiro<sup>1</sup>, António Abrantes<sup>2</sup>, Gilmar Brito<sup>3</sup>

1. Técnico de Radiologia no Centro Hospitalar Universitário do Algarve. Técnico de Património Cultural. Professor convidado na Escola Superior de Saúde da Universidade do Algarve. Doutor em Ciências do Desporto. <https://orcid.org/0000-0001-7019-8313>

2. Técnico de Radiologia. Professor Coordenador na Escola Superior de Saúde da Universidade do Algarve, membro do Centro de Estudos em Saúde e investigador integrado no CICS NOVA Universidade de Évora. Doutor em Sociologia. <https://orcid.org/0000-0002-7792-678X>

3. Engenheiro químico na área do controlo de qualidade e laboratório em cortiça em São Brás de Alportel. Mestre em Engenharia Bioquímica

#### Resumo

A cortiça é uma matéria-prima natural, renovável e sustentável, utilizada há muitos séculos. Os produtos obtidos a partir da casca da cortiça representam um importante recurso económico para vários países. O controle de qualidade é realizado em diversas etapas, porém, a maioria desses controles são verificações visuais realizadas por pessoas experientes. O controle de qualidade das rolhas de cortiça é obrigatório para garantir a perfeita conservação do vinho. A cortiça possui propriedades específicas que conferem um grande potencial para novas aplicações, pelo que a utilização de novas tecnologias para avaliar a qualidade da cortiça é inevitável.

O objetivo deste estudo é obter um método de controlo de qualidade da cortiça mais consistente, eficaz e fiável. Diversas amostras de qualidade pré-definida foram analisadas utilizando um equipamento de tomografia computadorizada (General Electric GE LightSpeed 16 Slice) para avaliação de densidade e qualidade utilizando protocolo específico adaptado para baixas densidades e elevado contraste.

As curvas de densidade de distribuição assumem uma distribuição normal nas amostras com maior pureza. Descobrimos também que a distribuição de amplitude também é um critério chave para classificação. Quanto menor a amplitude, mais homogêneo é o material. Isto estabelece uma relação diretamente proporcional ao grau de pureza da cortiça. Ao contrário das amostras com coeficientes de atenuação linear com maior distribuição média e maiores amplitudes que revelam maior heterogeneidade do material. Através da utilização de tomografia computadorizada com protocolo otimizado, a qualidade da cortiça foi avaliada com resultados satisfatórios abrindo uma nova porta para novas técnicas de avaliação da qualidade. Este método tem-se revelado promissor e assertivo na escolha de amostras de cortiça, no entanto carece de mais estudos, para certificar a consistência do método e desenvolvê-lo.

#### Abstract

Cork is a natural, renewable, sustainable raw material that has been used for many centuries and the products obtained from cork bark represent an important economic resource for several countries. Quality control is performed in several steps, however, most of these controls are visual checks performed by experienced people. The quality control of cork stoppers is mandatory to guarantee the perfect conservation of the wine. Cork has specific properties that confer great potential for new applications, therefore the use of new technologies to assess cork quality is inevitable.

The aim of our study is to obtain a finer and more reliable quality control method for cork. Several samples of pre-defined quality were analysed using a computed tomography equipment (General Electric GE LightSpeed 16 Slice CT) for density and quality assessment using a specific protocol adapted to low densities and high contrast.

Density distribution curves show a normal distribution in the samples with the highest purity. We also found that the amplitude distribution is also a key criterion for classification. The lower the amplitude the more homogeneous the material is. This establishes a directly proportional relationship to the degree of purity of the cork. Unlike the samples with linear attenuation coefficients with higher average distribution and higher amplitudes which reveal greater heterogeneity of the material.

By using a CT scan with an optimized protocol, cork quality was assessed with satisfactory results opening a new door to new quality assessment techniques.

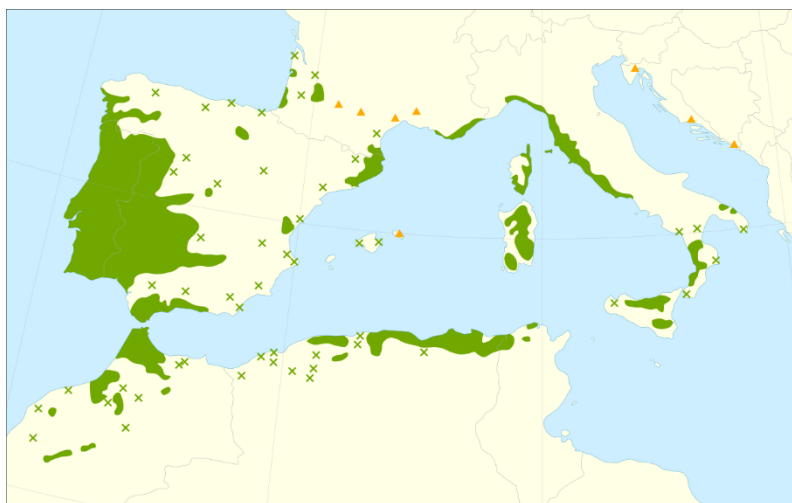
This method has proved to be promising and assertive in the choice of cork samples. However, we encourage further studies.

**Palavras-chave:** cortiça, controlo de qualidade, tomografia computadorizada, atenuação linear, unidades Hounsfield.

**Keywords:** cork, quality control, computerized tomography, linear attenuation, Hounsfield units.

## Introdução

O sobreiro (nome científico: *Quercus Suber*), é uma árvore que cresce em todo o Mediterrâneo com influência atlântica, desde a Península Ibérica até ao sul de França, Itália e Norte de África (1) (**Figura 1**). Ao contrário dos Carvalhos, o Sobreiro possui uma casca maciça (Cortiça), que representa a maior parte do valor total da árvore (2). A cortiça é uma matéria-prima natural, renovável e sustentável, utilizada há muitos séculos (4) com um certo grau de complexidade e propriedades ainda não totalmente compreendidas (2). A cortiça é um material de grande importância económica, muito utilizado no fabrico de rolhas e painéis isolantes e decorativos (4). Os produtos obtidos a partir da cortiça representam um importante recurso económico para vários países. Entre estes produtos, as rolhas de vinho e champanhe representam o produto mais lucrativo (5). O controle de qualidade é realizado em diversas etapas, porém, a maioria desses controlos são verificações visuais realizadas por pessoas experientes (5). A qualidade da cortiça é cuidadosamente monitorizada desde a produção no campo até ao processamento industrial e é fundamental na determinação da adequação para a produção de rolhas e do valor económico das pranchas de cortiça e dos produtos finais (3). O controlo de qualidade das rolhas de cortiça é obrigatório para garantir a perfeita conservação do vinho. Várias técnicas foram desenvolvidas, mas o controlo de qualidade está essencialmente relacionado com o estado da superfície externa, pelo que possíveis fissuras ou furos no interior da rolha ficarão ocultas (5). Na indústria, as pranchas de cortiça são classificadas tendo em conta a espessura da prancha e a sua qualidade, que tem a ver com a homogeneidade e continuidade do tecido suberoso. Tal como acontece com qualquer outro material, os critérios de qualidade que a cortiça deve cumprir dependem dos produtos a fabricar, bem como dos fins a que se destinam, podendo variar ao longo do tempo devido a alterações ocorridas na utilização dos produtos ou nos processos de fabrico. Atualmente a classificação da qualidade da cortiça está diretamente relacionada com a aptidão tecnológica das pranchas de cortiça para a produção de rolhas e o respetivo desempenho tanto em quantidade como em qualidade das rolhas produzidas (2). Cada prancha de cortiça pode ser classificada em sete classes de qualidade comercial: 1ª, 2ª e 6ª para cortiça rejeitada. Na prática comercial também é comum agrupar em classes que constituem qualidade mista: ex. 1ª/2ª ou 1ª/3ª, correspondendo a rolhas de boa qualidade, 3ª/4ª ou 4ª/5ª rolhas como qualidade média, e 5ª/6ª como rolhas de má qualidade. Atualmente, a indústria utiliza frequentemente a classe 1ª-5ª como representação da cortiça, que pode ser utilizada para o fabrico de rolhas. No entanto, o que se verifica é que a classificação das pranchas em classes de qualidade varia muito de acordo com o operador que a executa, uma vez que é uma operação visual, sendo que isto é mais acentuado no caso das rolhas de qualidade média onde existe uma maior margem de erro (3).



**Figura 1:** Distribuição do sobreiro (*Quercus Suber*) na zona mediterrânea e costa atlântica de Portugal continental. Preenchido a verde: Presença nativa; Cruz: Nativo mas isolado; Triângulo: Introduzido e naturalizado (sinantrópico). (Fonte: Caudullo, G., Welk, E., San-Miguel-Ayanz, J., 2017. Com permissão e licença Creative Commons (CC).

Até à data, a indústria da cortiça e o público em geral têm visto a cortiça principalmente em termos de rolhas para engarrafamento de vinho. No entanto, a inovação ocorre cada vez mais além da indústria tradicional. A cortiça possui propriedades específicas (físicas, químicas e mecânicas) que conferem grande potencial para novas aplicações (7). O aumento do interesse pelos produtos naturais também tem sido um fator importante nesta mudança de atitude. Por exemplo, a cortiça foi escolhida para algumas aplicações aeroespaciais devido às suas propriedades térmicas, taxa de queima lenta e capacidade de absorção de choque (3). Esta evolução tem sido apoiada pela utilização de técnicas de caracterização cada vez mais complexas para descobrir todo o potencial da cortiça.

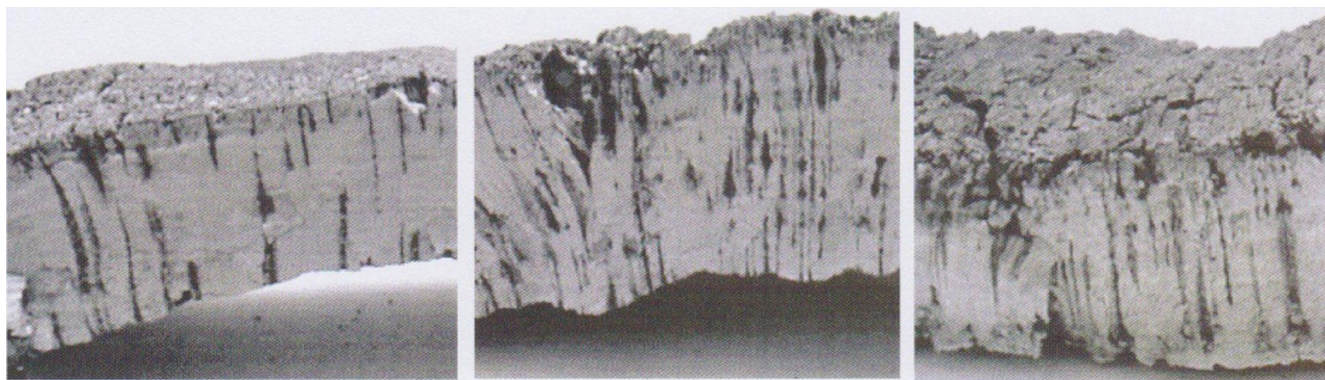
A tomografia computadorizada (TC) tem sido um dos maiores avanços na radiologia diagnóstica. A TC é uma técnica tomográfica na qual um feixe de Raios-X passa através de uma fina seção axial de um objeto em várias direções. Os detetores medem a intensidade da radiação atenuada à medida que atravessa o objeto a examinar. A reconstrução matemática da imagem calcula a atenuação local em cada ponto da seção de corte. Estes coeficientes de atenuação local são traduzidos em “*número de TC*” e finalmente convertidos em tons de cinza que são exibidos como uma imagem (8). A reconstrução da imagem começa com a seleção do campo de visão desejado. Cada raio do tubo até ao detetor que passa por este campo de visão é usado para a reconstrução. O coeficiente de atenuação para cada ponto da imagem é determinado pela média dos valores de atenuação de todos os Raios-X que cruzam este ponto (retroprojeção) (8).

Os cortes de imagem transversais reconstruídos são representados por uma matriz de pixels (geralmente 512x512 pixels), com cada pixel representando o coeficiente de atenuação de Raios-X da estrutura subjacente. Os coeficientes de atenuação de Raios-X de cada pixel são transformados em unidades Hounsfield (UH). Variando de -1024 a 3071, servem de base para a exibição das imagens em escala de cinza ou em escala de cores (9). Os valores típicos de UH de estruturas anatómicas são: -1000 UH para ar, -100 a -50 UH para tecido adiposo, 0 UH para água, 30-70 UH para sangue e tecido muscular, 130-500 UH para calcificações, 200-500 UH para sangue com contraste e 500-1500 UH para osso.

O objetivo do presente estudo é criar uma forma mais fiável de seleção das pranchas de cortiça que vai além do olho humano, melhorando a qualidade dos produtos resultantes e correspondentes resultados económicos.

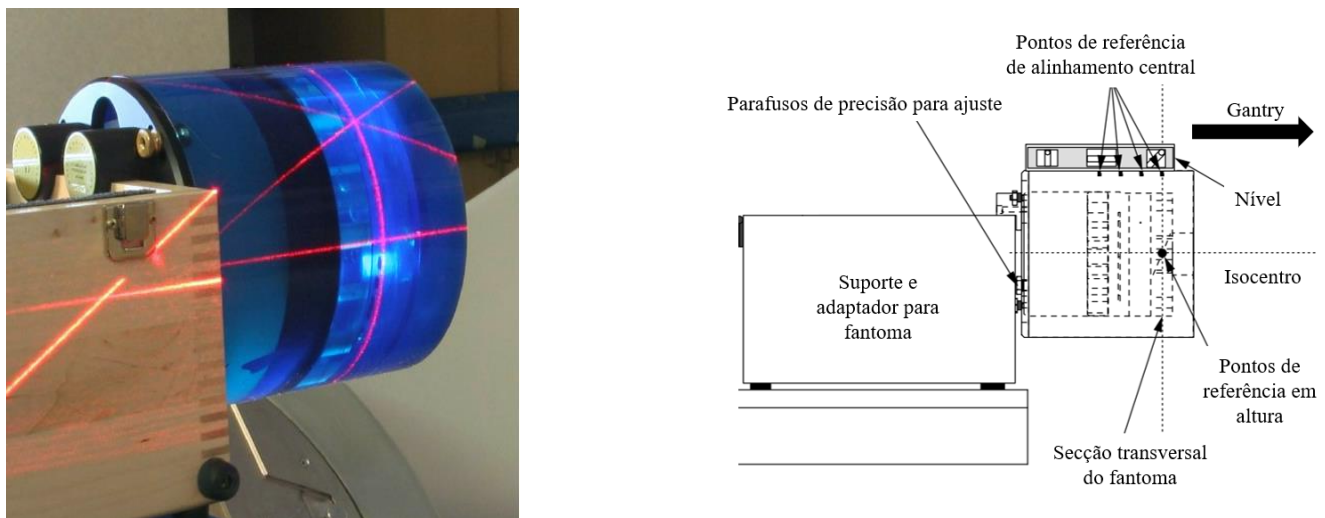
## Metodologia

O objetivo específico deste estudo é obter um método de seleção e controlo de qualidade da cortiça mais preciso e fiável. A prática corrente no que respeita à escolha e classificação inicial das pranchas de cortiça assenta em métodos tradicionais, ou seja, na perceção qualitativa e empírica de trabalhadores experientes, mas que, não obstante, não recorre a instrumentos de medição, sendo um processo demoroso que requer que cada prancha seja analisada individualmente. Com a ajuda de dois corticeiros foram selecionadas e classificadas várias pranchas de cortiça quanto à sua qualidade e pureza: 1 - baixa qualidade; 2 - qualidade média e 3 - qualidade elevada (**Figura 2**).



**Figura 2:** Da esquerda para a direita: Qualidade alta, qualidade média e qualidade baixa.

Ocasionalmente os TSDT que usam sistemas de TC, encontram números de TC (ou intervalos de Unidades Hounsfield) de um determinado tecido ou substância que são diferentes do que se espera ou mesmo do que se obteve em experiências prévias. Estas diferenças geralmente não são indicativas de um problema no sistema de TC, mas provavelmente surgem do facto de que os números CT não serem sempre universais, pois variam dependendo da energia específica, filtragem, tamanho do objeto e procedimentos de calibração usados. Embora o sistema de TC tenha um mecanismo de calibração integrado que tenta corrigir o endurecimento do feixe e outros fatores, isto é baseado em modelos e fantasmas de calibração que geralmente são redondos e uniformemente preenchidos com água e geralmente não correspondem à variância inerente do corpo (tamanho, forma, etc.). Para a verificação da qualidade de imagem, como seja a verificação da resolução espacial de baixo contraste, a resolução de alto contraste (*Modular Transfer Function* ou MTF), ruído da imagem, uniformidade e linearidade, utilizou-se o fantoma Catphan 600 (The Phantom Laboratory, Inc., Salem, NY), representado na **Figura 3**.



**Figura 3:** Fantoma Catphan 600 (The Phantom Laboratory, Inc., Salem, NY) e esquema de colocação.

Este fantoma possui 5 secções distintas e modulares que permitem determinar o alinhamento do fantoma na TC, alinhamento dos lasers de localização com o plano de corte, a espessura de corte, o incremento da mesa, a simetria circular do sistema de visualização, a linearidade dos números de TC e a resolução contraste (MTF). Uma vez que a espessura de corte e a resolução de contraste são os fatores mais importantes neste protocolo, os resultados são apresentados na **Tabela 1** para a espessura de corte e para a resolução de contraste, de acordo com o seguinte teste:

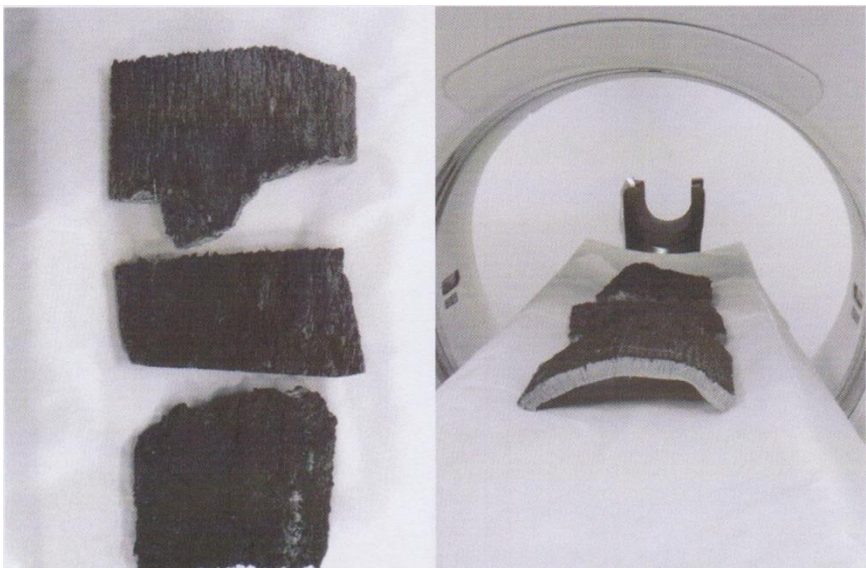
- 1) A aquisição foi realizada nas condições de rotina e aceitação descritas nos documentos do equipamento. Foi escolhido o modo de aquisição axial que possui a máxima resolução espacial;
- 2) Colocou-se o fantoma dentro da *gantry* de modo que o fio de alto contraste do fantoma ficasse alinhado paralelamente ao eixo z da TC;
- 3) A posição do fantoma foi referenciada e anotada, de forma a ser reproduzida nos futuros testes de constância e aceitação, bem como nas placas de cortiça;
- 4) Após o fantoma ser posicionado efetuou-se uma aquisição;
- 5) O FOV (field of view) foi o mais reduzido possível de forma que a medição não fosse limitada pelo tamanho do píxel.

**Tabela 1:** Resultados de calibração e valores de tolerância para diversas espessuras de corte e resolução espacial com recurso ao Fantoma Catphan 600.

| Tolerância (Protocolo de aceitação)          |                      |                      |                 |
|----------------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| espessura de corte nominal seleccionada (mm) | Limite Inferior (mm) | Limite Superior (mm) | Resultado (mm)  |
| 0,50                                         | 0,25                 | 0,75                 | 0,56            |
| 1,00                                         | 0,50                 | 1,50                 | 1,18            |
| 2,00                                         | 1,50                 | 2,50                 | 2,12            |
| 3,00                                         | 2,50                 | 3,50                 | 3,11            |
| 5,00                                         | 4,50                 | 5,50                 | 5,12            |
| Parâmetros de Teste                          |                      |                      |                 |
| Diferença de potencial                       | Corrente             | Região               | Kernel          |
| 80 kV                                        | 10 mA†               | Corpo                | B31s            |
| Valores de Referência Obtidos                |                      |                      |                 |
|                                              | 50%                  | 10%                  | 2%              |
|                                              | lp*/cm               | lp/cm                | lp/cm           |
|                                              | Limite Inferior      | Limite Superior      | Limite Inferior |
|                                              | Limite Superior      | Limite Inferior      | Limite Superior |
| Tolerância                                   | 3,16                 | 3,86                 | 6,15            |
| Resultado                                    | 3,38                 | 6,65                 | 7,47            |
|                                              |                      |                      | 8,20            |
|                                              |                      |                      | 9,13            |

† - miliampere; \* linhas de par

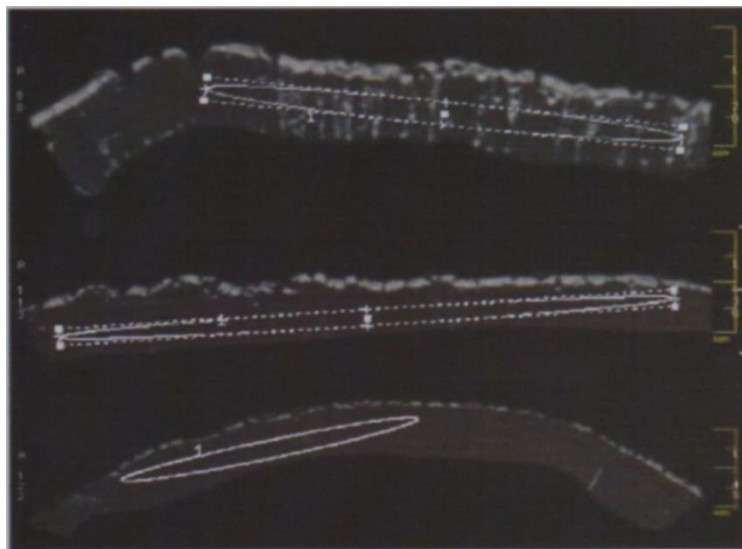
As pranchas foram subsequentemente analisadas, pelo equipamento de TC, marca e modelo *General Electric GE LightSpeed 16 Slice* com Tubo de Raios-X 6.3MHU e capaz de um tempo de rotação de 0,5 segundos. Neste estudo específico, foi utilizada uma aquisição cobrindo toda a área de cada fragmento utilizando o mesmo protocolo para todas as aquisições (**Figura 4**). O protocolo utilizado foi aquisição volumétrica, com 10 mAs (mili-amperagem por segundo), 80 kV (quilovolt) e colimação de 0,63 mm. Este protocolo resultou na otimização de diversas aquisições realizadas, com foco na resolução espacial e consequentemente na definição da imagem, e levando em consideração a adequação do feixe de Raios-X devido à densidade, estrutura e tamanho do material amostral. O processamento e análise de imagens foi realizado no *Advantage Workstation 4.6* da General Electric.



**Figura 4:** Exemplo de colocação das amostras de cortiça na mesa de exame.

### Resultados e Discussão

Após a obtenção de um volume de dados de cada fragmento (*raw data*), foi reconstruído um volume de forma a obter 0,63 mm contíguos em cada um dos fragmentos. O pós-processamento dos dados foi feito no modo VRT (*Volume Rendering Technique*), para melhor compreensão da densidade e da presença de ar na constituição do material analisado. A densidade da amostra foi estudada colocando um ROI (*Region of Interest*) para abranger o máximo de material utilizável possível em cada amostra, mas não excedendo os seus limites, ou para incluir a camada externa (**Figura 5**) que geralmente não tem utilidade.



**Figura 5:** Amostras de cortiça no plano axial na TC com respetivos exemplos de ROI. De cima para baixo: Cortiça de baixa qualidade, qualidade média e alta qualidade.

O ROI foi então avaliado utilizando uma média da densidade mínima à máxima na área designada de cada uma das amostras (**Tabela 2**), sendo este processo realizado consistentemente de forma a aprimorar os resultados e reduzir o erro de medição.

**Tabela 2:** Classificação e medidas realizadas nas pranchas de cortiça analisadas (n =156).

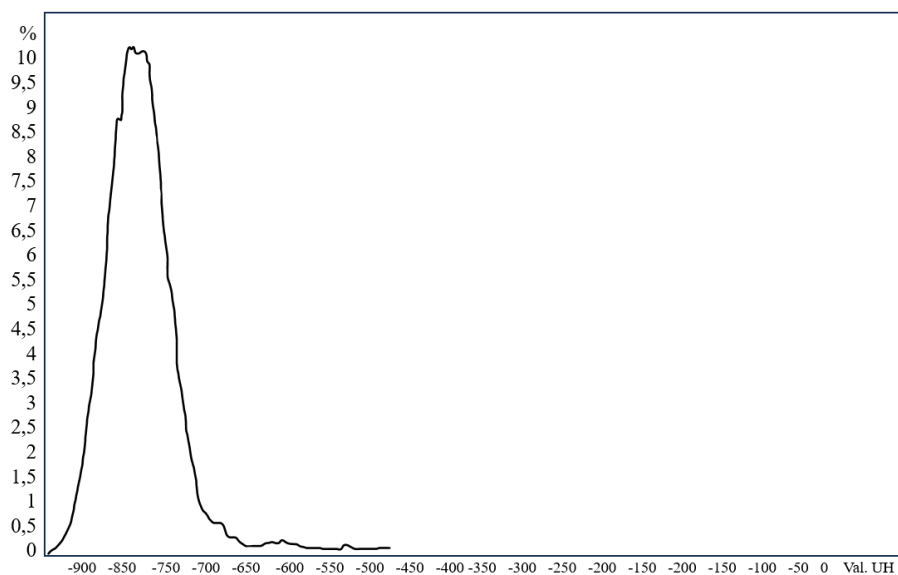
| Pranchas de Cortiça | Medições | Grau | Analizada                          | Mín. | Máx. | Desvio padrão | Amplitude |
|---------------------|----------|------|------------------------------------|------|------|---------------|-----------|
| Qualidade Baixa     | n=54     | 1    | 07mm <sup>2</sup>                  | -871 | -24  | -668,2        | 847       |
| Qualidade Média     | n=50     | 2    | mm <sup>2</sup> , 1mm <sup>2</sup> | -930 | -460 | -821,4        | 470       |
| Qualidade Elevada   | n=52     | 3    | 5,7mm <sup>2</sup>                 | -888 | -674 | -793,9        | 214       |

Com recurso a software específico para análise da distribuição percentual dos coeficientes de atenuação linear para a área analisada (ROI), obtiveram-se os seguintes gráficos (**Gráficos 1 a 3**). Primeiramente verificou-se que todos os coeficientes de atenuação linear (médio, mínimo e máximo) apresentaram valores negativos. De referir que zero é a medida padrão de água e o valor -1000 é a medida do ar em unidades Hounsfield. As amostras revelam valores de atenuação linear substancialmente inferiores aos da água, o que explica a flutuabilidade da cortiça. No que diz respeito à qualidade, convergindo a avaliação qualitativa feita pelos corticeiros com os dados obtidos pelo sistema de TC, verificamos que os resultados obtidos nos fragmentos de baixa qualidade apresentaram uma densidade média mais elevada (-668,2 UH), bem como uma amplitude de valores mais elevada (entre -871 UH e - 24 UH). O **Gráfico 1** revela uma grande heterogeneidade na composição da cortiça. Além disso, a curva é caracterizada pela sua forma irregular, pois apresenta vários picos ao longo de toda a distribuição, indicando a existência de uma grande quantidade de detritos. A presença destes detritos no interior na cortiça é explicada por fatores externos, aquando do crescimento e desenvolvimento da mesma, como sejam partículas que ficam encrustadas na cortiça por efeito do vento, ou mesmo pelo processo de modificação do solo adjacente que é geralmente agrícola ou em regime de “montado”.

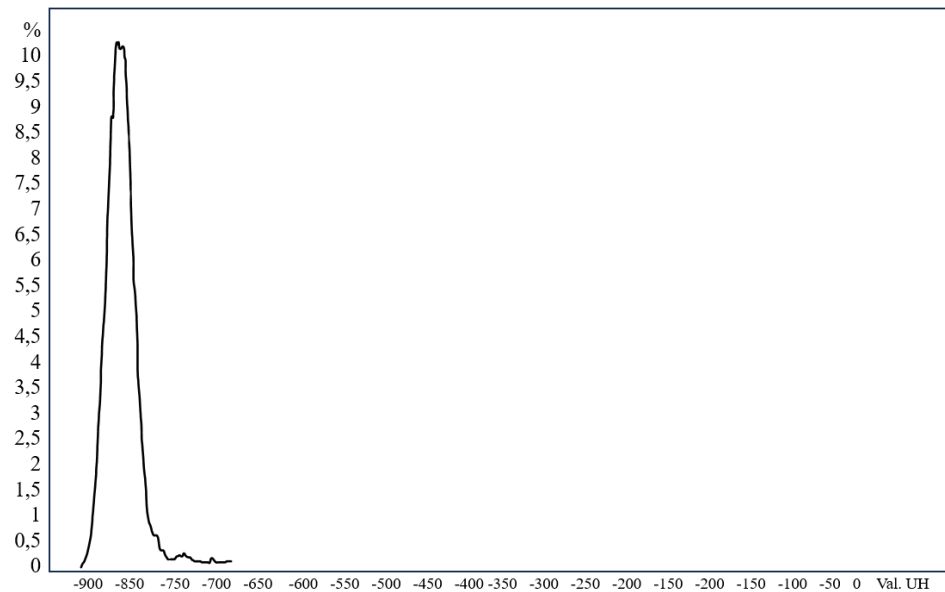


**Gráfico 1:** Valores obtidos em Unidades Hounsfield para pranchas de cortiça de qualidade baixa. (UH – Unidades Hounsfield).

A amostra de qualidade média (**Gráfico 2**) revela uma média substancialmente inferior (-930 UH) e uma amplitude inferior a 500 HU (entre -930 UH e -460 UH). A curva de distribuição é mais homogênea, aproximando-se de uma distribuição Gaussiana normal. Relativamente à amostra de elevada qualidade (**Gráfico 3**), verificamos que esta apresenta uma distribuição normal e uniforme. Esta amostra também possui uma amplitude mais restrita (entre -888 UH e -674 UH) mostrando maior homogeneidade dos fragmentos. Esta homogeneidade é particularmente evidente no interior da prancha de cortiça onde a seleção tradicional e consequente classificação da qualidade não é possível.

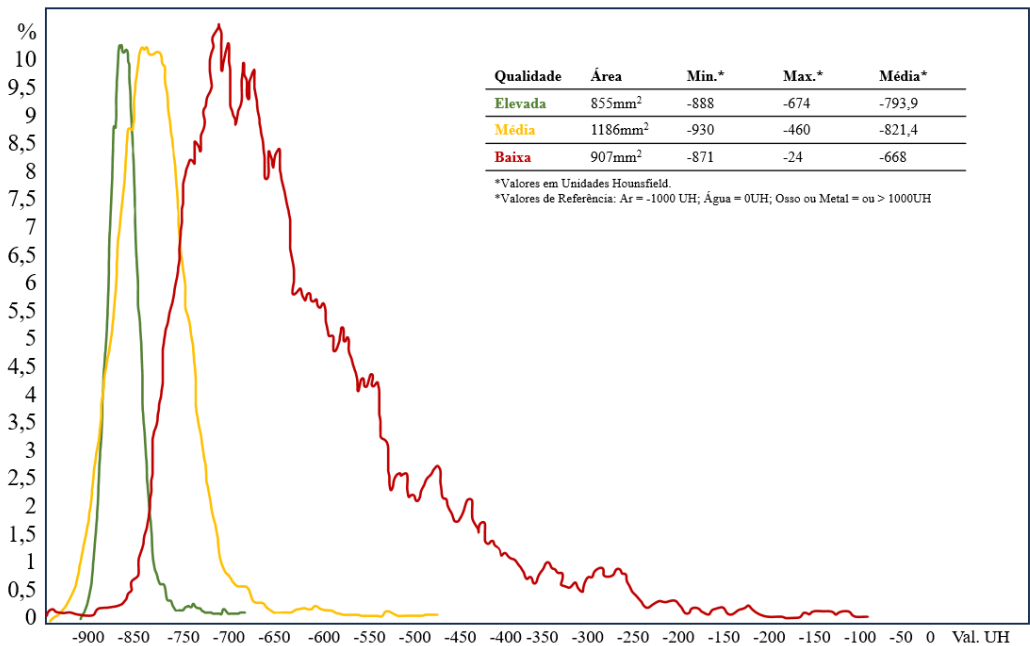


**Gráfico 2:** Valores obtidos em Unidades Hounsfield para pranchas de cortiça de qualidade média. (UH – Unidades Hounsfield).



**Gráfico 3:** Valores obtidos em Unidades Hounsfield para pranchas de cortiça de qualidade elevada. (UH – Unidades Hounsfield).

Os resultados gerais podem ser observados com maior facilidade no **Gráfico 4**, onde estão combinados os vários valores obtidos para as diferentes qualidades das pranchas de cortiça.



**Gráfico 4:** Valores combinados obtidos para pranchas de cortiça de baixa (vermelho), média (amarelo) e elevada qualidade (verde). . (UH – Unidades Hounsfield).

A aplicação de métodos imagiológicos a material de cariz florestal é mais frequente em estudos de silvicultura para determinação das propriedades da madeira, detetando características internas do tronco, como a medula, anéis de crescimento, cerne e albarno (a porção interior e médias do tronco respetivamente), (10) e a TC já foi usada anteriormente para detetar defeitos internos do tronco auxiliando a simulação do corte de forma a aumentar o rendimento (11), no entanto este princípio aplica-se geralmente a material destinado à construção, o que não se aplica no caso do presente estudo em que o foco é a porção mais externa da árvore.

A micro-tomografia por raios-X pode ser útil para avaliar a qualidade da cortiça, principalmente a destinada ao fabrico de rolhas (12), no entanto esta é uma cortiça que já sofreu vários processos fabris de escolha e classificação, sendo geralmente de qualidade alta ou elevada. Além disso por vezes os fragmentos de cortiça a analisar excedem o tamanho dos detetores o que dificulta a sua análise da totalidade, o que não ocorre num sistema de TC convencional com a possibilidade de rotação de 360°, no entanto, a microtomografia poderá ser uma técnica a ser usada para analisar o efeito e eficácia da rega nas plantações (13).

De referir algumas limitações do presente estudo; nomeadamente os números de TC podem variar facilmente em 10 ou mais com base no kVp, na espessura do corte e no tamanho, formato e composição do objeto. No entanto, isto é um problema inerente aos sistemas de TC e que ocorrem também em estudos de diagnóstico em contexto clínico, mas uma vez que o objetivo do estudo depende em grande parte da variabilidade da densidade do material, este fator deve ser referido. Existe a possibilidade que o uso de técnicas iterativas e/ou abordagens de energia dupla possam diminuir estes efeitos, mas certamente os números de TC não são estritamente portáteis e variam de acordo com os fatores listados acima. Não obstante o uso de aplicações nativas de sistemas de energia dupla poderá auxiliar na identificação e classificação do material presente nas pranchas de cortiça. A inexistência de sistemas de TC dedicados ao estudo de material de baixa densidade também faz com que este tipo de estudos necessite de ser realizado em equipamentos tipicamente usados em diagnóstico, ao contrário de equipamentos radiológicos de cariz industrial que usam energias mais elevadas. Futuramente a viabilidade de aplicação desta técnica passará invariavelmente por sistemas de TC com um grau considerável de automatização e por software de reconhecimento automático de padrões.

## **Conclusão**

Com este estudo piloto experimental e prospetivo, pretendeu-se efetuar a análise de amostras de cortiça através de TC para estabelecer uma ferramenta empírica e objetiva de avaliação de amostras deste material, de forma a auxiliar na escolha e classificação industrial. Observamos que as curvas de densidade de distribuição assumem distribuição normal nas amostras de maior pureza. Descobrimos também que a distribuição de amplitude também é um critério chave para classificação. Quanto menor a amplitude, mais homogêneo é o material, o que estabelece uma relação diretamente proporcional ao grau de pureza da cortiça ao contrário das amostras com coeficientes de atenuação linear com maior distribuição média e maiores amplitudes que revelam maior heterogeneidade do material. Assim, este método revelou-se muito promissor e assertivo na escolha de amostras de cortiça, contudo carece de maior desenvolvimento através de estudos em maior escala. Além disso, vem proporcionar a abertura a novas ramificações do tronco da radiologia e de possíveis contribuições para a necessidade de desenvolvimento e manutenção de indústrias sustentáveis como é o caso da indústria corticeira.

**Conflito de Interesses:** Não há conflito de interesses da parte dos autores.

**Imagens provenientes de exames/aquisições:** Fonte: os próprios

### Referências / References:

- 1- Caudullo, G., Welk, E., San-Miguel-Ayanz, J., 2017. Chorological maps for the main European woody species. Data in Brief 12, 662-666. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.5114086>
- 2- Fortes M, Rosa M, Pereira H. A Cortiça. Lisboa. Editor: Instituto Superior Técnico Press; 2004.
- 3- Silva SP, Sabino MA., Fernandes EM, Correio VM, Boesel LF, Reis RL. Cork: properties, capabilities and applications. Int Mater Rev. 2005;50(6) :345—65. <http://www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/174328005X41168>
- 4- Lopes MH, Gil a M, Silvestre a J, Neto CP. Composition of suberin extracted upon gradual alkaline methanolysis of Quercus suber L. cork. J Agric Food Chem. 2000 Feb;48(2):383-91. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10691644>
- 5- Brunetti A, Cesáreo R, Golosio B, Luciano P, Ruggero A. Cork quality estimation by using Compton tomography. Nucl Instruments Methods Phys Res Sect B Beam Interact with Mater Atoms, 2002 Nov;196(1-2):161-8 <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168583X02012892>
- 6- Gil L, Varela MC. Technical Guidelines for genetic conservation and use for cork oak (Quercus Suber). Biodivers Int. Rome; 2008,1-6.
- 7- Fernandes A, Fernandes I, Cruz L, Mateus N, Cabral M, de Freitas V. Antioxidant and biological properties of bioactive phenolic compounds from Quercus suber L. J Agric Food Chem. 2009;57(23):11154—60. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19888728>
- 8- Prokop M, Galanski M. Spiral and Multislice Computed Tomography of the Body. Molen A Van der, Prokop C, editors. Thieme; 2002.
- 9- Reisner M, Becker C, Nikolaou K, Glazer G. Multislice CT. Springer; 2009.
- 10-Longuetaud F, Mothe F, Kerautret B, Krähenbühl A, Hory L, Leban JM, Debled-Rennesson I (2012) Automatic knot detection and measurements from X-ray CT images of wood: A review and validation of an improved algorithm on softwood samples. Comput Electron Agric 85:77-89. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.03.013>
- 11-Stängle SM, Brüchert F, Heikkilä A, Usenius T, Usenius A, Sauter UH (2015) Potentially increased sawmill yield from hardwoods using X-ray computed tomography for knot detection. Ann For Sci 72:57-65. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.03.013>
- 12-Crouvisier-Urien, K., Chanut, J., Lagorce, A., Winckler, P., Wang, Z., Verboven, P., Nicolai, B., Lherminier, J., Ferret, E., Gougeon, R. D., Bellat, J. P., & Karbowiak, T. (2019). Four hundred years of cork imaging: New advances in the characterization of the cork structure. Scientific reports, 9(1), 19682. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55193-9>
- 13-Poeiras,A.,Oliveira,T.,Reis,J.,Surový,P.,Silva,M. & de Almeida Ribeiro,N.(2022).Influence of water supply on cork increment and quality in Quercus suber L.. Central European Forestry Journal,68(1) 3-14. <https://doi.org/10.2478/forj-2021-0024>

Recebido / Received: 10/01/2024

Aceite / Accept: 26/01/2024