



**Secagem de Lenho Juvenil de *Eucalyptus Globulus* Labill.
e Avaliação de Defeitos
Potencialidades do seu Uso como Madeira Maciça**

Daniel Alexandre Coimbra Nicolau

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais

Orientador: Doutora Sofia Knapic de Soares Ferreira

Coorientadores: Doutora Helena Margarida Nunes Pereira e Doutor José António dos Santos

Júri:

Presidente: Doutora Maria Helena Reis de Noronha Ribeiro de Almeida, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutor José Maria Santos Rodrigues Saporiti Machado, Investigador Auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil e Doutora Sofia Knapic de Soares Ferreira.

Lisboa, 2014

“Uma árvore só o é, pois ao longo do seu crescimento reúne um conjunto de estratégias que a ajudam a ultrapassar as maiores adversidades. Todos os obstáculos contribuem para o seu próprio crescimento e desempenho!” (Daniel Nicolau)

Aos meus pais, família e a todos os meus amigos

AGRADECIMENTOS

Longo e cheio de obstáculos foi este caminho. Muitas foram as etapas pelas quais tive de passar e que me fizeram crescer. Cabe-me agradecer a um conjunto de pessoas que tornaram possível a chegada até aqui.

Em primeiro lugar agradeço às pessoas mais importantes da minha vida – os meus pais. A eles devo a força e dedicação durante estes anos. Aproveito para enaltecer a grande mulher e maravilhosa mãe, agradecendo-lhe o grande exemplo de Vida.

À minha “Grande” família que embora pequena sempre esteve incansavelmente ao meu lado.

Agradeço ainda ao meu amigo João pelos conselhos e força que me deu e às “minhas” sempre únicas Vanessa e Rita, amigas que colecionei nesta cruzada Florestal e que jamais esquecerei.

Não posso deixar de agradecer à minha orientadora e amiga Sofia, pela paciência e ensinamentos dados ao longo de toda a tese.

Ao Doutor José António Santos devo toda esta tese, pois sem a ajuda incondicional, jamais seria possível a sua concretização. Agradeço ainda a todas as pessoas que no LNEG partilharam comigo todo o progresso deste trabalho.

Por último, não me posso esquecer de todos os meus professores que no Instituto Superior de Agronomia me ensinaram a ser quem sou.

Por terem acreditado em mim,

Daniel Nicolau

RESUMO

A *Eucalyptus globulus*, espécie de crescimento rápido e de grande expressão no nosso país, revela na atualidade uma grande importância em várias indústrias. Dadas as suas características, esta espécie tem interessantes potencialidades para uso como madeira maciça. No entanto, um dos grandes constrangimentos do uso desta madeira prende-se à lenta e difícil secagem que apresenta. No presente trabalho procedeu-se à secagem de madeira juvenil de *E. globulus* através de três métodos diferentes – secagem ao ar livre, secagem em estufa e secagem em vácuo. Fizeram-se quatro ensaios, para que fosse possível avaliar diferentes condições de secagem no que se refere à influência do afastamento aos topos, espessura dos provetes, tipo de método de secagem utilizado e condicionamento físico das peças. Em todos os ensaios observaram-se respostas favoráveis à secagem, que permitem o uso desta espécie como madeira sólida. A avaliação visual dos provetes mostrou poucos defeitos e com pouca importância prática. Comprovou-se, assim, a potencialidade do uso de madeira juvenil de eucalipto na indústria de madeira sólida.

Palavras-chave: *Eucalyptus globulus*, juvenil, secagem, defeitos

ABSTRACT

Eucalyptus globulus, a fast growing species and an abundant one in our country, is of great importance in many industries. Taking in consideration its characteristics, this species shows interesting potential as a solid wood. However, one of its handicaps to this purpose is the slow and difficult drying process. The present work focused on the drying of juvenile wood from *E. globulus* using three different methods – air drying, kiln drying and vacuum drying. The work was divided in four assays in order to assess different testing parameters, mainly the location within the samples, the thickness, the drying process and the physical conditioning of samples. In all assays was observed favorable responses to drying process, enabling its use as solid wood. In the end a visual evaluation of the defects was performed, revealing no significant defects. Hence it was possible to establish the potential of juvenile eucalypt wood to be used in solid wood industries.

Keywords: *Eucalyptus globulus*, juvenile wood, drying, defects

EXTENDED ABSTRACT

The demand for high quality wood has risen in recent years. When considering solid wood used in industry, one needs to take in consideration three different variables – raw material quantity, its quality and productivity. *Eucalyptus globulus*, occupies 812 thousand hectares in Portugal and its fast growing species. This species has adapted very well Portugal's weather and soil characteristics. Although some environmental concerns have been raised they have shown less impact. The eucalypt juvenile wood has a huge potential for industrial purposes due to its anatomical and technological characteristics, such as high density and durability, and its mechanical properties, such as resistance. Its natural colour allows versatility regarding finishing treatments, which has relevant importance in industry. The objective of the work, within project “EucPlus-Novos processos e utilizações para madeira de eucalipto” (PTDC/AGR-CFL/119752/2010), coordinated by the Forest Research Centre, consisted in the study of the drying process of juvenile wood from *Eucalyptus globulus* followed by the evaluation of the defects resulting from this process, to assess its potential use as solid wood. Test samples obtained from 5 year eucalypt trees were dried up with different methods: air drying, kiln drying and vacuum drying. The work was divided in four different assays: (i) first assay – general drying essay; (ii) second assay – drying of test samples, with same initial dimensions, for dimensional assays; (iii) third assay – drying of perforated test samples and small boards' thickness; (iv) fourth assay – vacuum drying. In these four assays different drying conditions were evaluated, meaning the different drying rates according to the location within the samples, the thickness test samples, the kind of drying method use, and physical conditioning of test samples. The drying was slower when further from the end of the piece and from the outer part of the sample. This result was expected since in the drying of a piece the water leaves its inner part though the outer part. Therefore the drying of thinner boards was faster than that of thicker boards. The largest drying rate, 1.92% of water content loss per day, was obtained when using thinner boards. The dimensional assays showed a shrinkage in averaged of 10% and 11% for the width (radial section) and thickness (tangential section), respectively. In the end it was possible to evaluate the defects resulting from the three drying methodologies. Using the Prong test was observed that the drying was homogeneous. The second assay was the only one with significant defects during the process, namely twisting. The remaining defects were associated with smudge due to the use of staples and small checks caused by external mechanical shocks after the drying process due to handling. Juvenile wood from eucalypts shows a great potential to be transformed into solid wood products, being that its good preform depends on the material itself and the processing engineering. Wood behaved differently according to the drying process chosen. Hence it is important to choose according to the considered wood final application. Taking in consideration the dimensional limitations, it is proposed to use this wood with reconstitution technologies, as in the case of glued laminated timbers, plywood and others, in order to increase its potential. Nevertheless, although positive behavior was shown during the drying process, juvenile wood showed a pattern of resistance lower than an adult wood. It is also important to refer that the by-products of sawdust have a relevant commercial value in other industries such as plywood and pellets. In future work it would be useful to compare the drying of juvenile and adult wood in order for a better understanding of eucalypt drying. The short time to accomplish the practical work didn't allow the

convenient study of the different assays, so the developments of different works to understand all the aspects spoken are needed. However difficult, lengthy and unpredictable the intricacies of the whole technological process of eucalypt wood, this will never stop it from being a material with future.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
EXTENDED ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	xiii
LISTA DE ANEXOS	xivv
INTRODUÇÃO	1
1. ESTADO DE ARTE	3
1.1. Enquadramento geral da floresta portuguesa	3
1.2. A espécie – <i>Eucalyptus globulus</i>	4
1.3. Lenho juvenil.....	6
1.4. Serragem	7
1.5. Secagem.....	9
1.5.1. Teor de água da madeira	11
1.5.2. Fatores que influenciam a taxa de secagem.....	15
1.5.3. Tipos de secagem – Secagem Natural vs. Secagem Artificial.....	16
1.5.4. Retração da madeira e defeitos de secagem.....	21
1.5.5. Vantagens e desvantagens do processo de secagem.....	27
1.6. Secagem de madeira de eucalipto	28
2. MATERIAIS E MÉTODOS	31
2.1. Primeiro ensaio – Metodologia geral de ensaio de secagem	32
2.2. Segundo ensaio – Secagem de provetes homogéneos/Ensaio dimensionais	34
2.3. Terceiro ensaio – Secagem de peças com furos e peças de pequena espessura	36
2.4. Quarto ensaio - Secagem em vácuo	37
2.5. Pré-tratamento de dados	38
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
3.1. Teor de água inicial	40
3.2. Primeiro ensaio – Metodologia geral de ensaio de secagem	40

3.3.	Segundo ensaio – Secagem de provetes homogêneos/Ensaio dimensionais	44
3.4.	Terceiro ensaio – Secagem de peças com furos e peças de pequena espessura	48
3.5.	Quarto ensaio – Secagem em vácuo	50
3.6.	Comparações entre ensaios.....	51
3.7.	Teste de Prong e Avaliação visual de defeitos	53
4.	CONCLUSÕES	55
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
6.	ANEXOS.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição das áreas totais por espécie/grupo de espécies (Fonte: CELPA, 2012)	3
Figura 2 - Evolução da área de povoamentos florestais (1000 ha), por espécie dominante em Portugal Continental (Fonte: CELPA, 2012).....	4
Figura 3 – Esquerda: Utilização da madeira de eucalipto em pavimento (Fonte: http://galeria.madeidura.com/galeria?func=detail&id=16#joomimg); Direita: Utilização de madeira de eucalipto em exteriores (Fonte: http://www.cismadeira.com/ingles/downloads/eucaliptoweb.pdf)	5
Figura 4 – Localização do cerne, borne, lenho juvenil e lenho adulto numa árvore. (Fonte: http://www.cifap.utad.pt/est2.gif)	7
Figura 5 – Processo de serragem da madeira: (A) Tensões da madeira durante a serragem do toro; (B) Exemplo de esquema de aproveitamento da matéria-prima.	8
Figura 6 – Modelo teórico da distribuição das tensões de crescimento no interior de um toro (Fonte: Adaptado de - Vázquez, 2001).....	9
Figura 7 – Curva característica de secagem para materiais porosos (Fonte: Adaptado de Rosen, 1983).	11
Figura 8 – Formas de água na madeira	12
Figura 9 – Movimento da água na madeira durante o processo de secagem. Numa primeira fase de secagem o ar seco e quente aquece a superfície da peça de madeira promovendo ao aparecimento de um gradiente entre a superfície e o interior da madeira. Com o contínuo aquecimento à superfície da peça, a água começa a deslocar-se do interior da madeira, por capilaridade, até à superfície da peça. Numa fase final da secagem a peça deverá conter um teor de água homogéneo em toda a peça de modo a evitar potenciais defeitos ao longo das fases tecnológicas seguintes	14
Figura 10 – Exemplo de uma pilha de secagem correta, onde verificamos a colocação de todos os provetes de forma equilibrada e com uma altura livre da base correta (Fonte: Graça, 2010)	17
Figura 11 – Em cima: Secador industrial (Cortesia: Volgger OHG); Em baixo: Pilha de secagem de eucalipto num secador solar (Fonte: Santos, 2013).	19
Figura 12 – Sistema de vácuo. (Fonte: Santos, 2013).....	20

Figura 13 – Diagrama de retração (Fonte: Martins, 2010).	22
Figura 14 - Comportamento físico sofrido pela madeira devido a anisotropia após a secagem (Fonte: Denig <i>et al.</i> , 2000).	22
Figura 15 – Diferentes defeitos resultantes da secagem de peças de madeira (Fonte: Graça, 2010)	24
Figura 16 – Tipos de empenos (Fonte: Martins, 2010).	25
Figura 17 - Teste do garfo ou de Prong. A – Garfos movem-se para dentro; B – Garfos movem-se para fora. (Fonte: Adaptado de Furniture, 2005)	26
Figura 18 - Sistema de suporte de toros improvisado, com vista a ultrapassar a dificuldade de abertura de toros de pequeno diâmetro.	31
Figura 19 – Da esquerda para a direita: (A) Utilização de suportes para a estabilização do toro aquando o corte do mesmo; (B) Corte do toro ao meio; (C) Provetes obtidos do corte do toro, tendo sido apenas aproveitados seis provetes para o ensaio em questão.	32
Figura 20 - Esquema de corte e inserção dos provetes no toro do ensaio 1.....	32
Figura 21 – Método para colocação das sondas – a) Método de colocação das 4 sondas no provete 1 (s1, s2, s3 e s4) a uma profundidade de 8 mm; b) Método de colocação das sondas nos provetes 2, 3, 4, 5 e 6 (respetivamente s5, s6, s7, s8 e s9) a uma profundidade de 15 mm.	33
Figura 22 – Medição do teor de água dos provetes – Método elétrico.	33
Figura 23 - Provetes em estudo no ensaio 2.....	34
Figura 24 – A) Aplainamento; e B) desgrossoamento dos provetes 7, 8, 9 e 10.	34
Figura 25 - Esquema de corte e inserção dos provetes no toro do ensaio 2.....	35
Figura 26 – Método de secagem dos provetes 7, 8, 9 e 10.	35
Figura 27 – (A) Aproveitamento de meio toro em 6 provetes de dimensão distinta; (B) Esquema dos furos feitos em cada provete; (C) Resultado dos furos aplicados em um dos provetes.....	36

Figura 28 – (A) Tábuas obtidas para o ensaio da influência da espessura aquando a secagem; (B) Método de secagem das tábuas.	36
Figura 29 - Esquema de corte e inserção dos provetes no toro do ensaio 3 – (A) Ensaio 3T; (B) Ensaio 3F.....	37
Figura 30 – Sistema de vácuo laboratorial utilizado durante o ensaio 4. (Fonte: Santos, 2013).....	37
Figura 31 – Teor de água do provete 1 medido através do método elétrico. A - Teor de água do provete 1 ao longo dos 120 dias de ensaio; B - Intervalo de dias em que se verificaram maiores diferenças entre os teores de água dentro do provete.	42
Figura 32 – Relação entre os teores de água obtidos ao longo do ensaio e a distância em profundidade das sondas nos provetes.....	43
Figura 33 – Relação entre o teor de água médio estimado dos provetes com o número de dias de secagem, para o ensaio 1.	44
Figura 34 – Relação entre o teor de água médio estimado dos provetes do ensaio com o número de dias ao longo da secagem, para o ensaio 2; P7 – Provette 7, P8 – Provette 8; P9 – Provette 9; P10 – Provette 10.	45
Figura 35 – Ensaio dimensional – Largura; P7 – Provette 7, P8 – Provette 8; P9 – Provette 9; P10 – Provette 10.	46
Figura 36 – Ensaio dimensional – Espessura; P7 – Provette 7, P8 – Provette 8; P9 – Provette 9; P10 – Provette 10.	47
Figura 37 – Teor de água dos provetes obtido através do método elétrico; P7 – Provette 7, P8 – Provette 8; P9 – Provette 9; P10 – Provette 10.....	48
Figura 38 - Relação entre o teor de água médio estimado dos provetes do ensaio com o número de dias ao longo da secagem, para o ensaio 3; PF – Provette com furos; PT – Provette-Tábua; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.....	49
Figura 39 - Relação entre o teor de água médio estimado dos provetes do ensaio com o número de dias ao longo da secagem, para o ensaio 4; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.	51
Figura 40 – Curva de secagem para os 4 ensaios em estudo.....	53

Figura 41 – Teste de Prong aos provetes em estudo.	53
Figura 42 – (A) Empenos em hélice nos provetes do ensaio 2; (B) Fissura de topo.....	54
Figura 43 – Manchas na zona de colocação dos grampos.....	54
Figura 44 – Defeitos extrínsecos à secagem de madeira – Nós e fissuras.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Propriedades tecnológicas do <i>E. globulus</i> . (Fonte: Santos, 2007b).....	5
Quadro 2 – Teor de água da madeira previsível face a situação ou local de aplicação. (Fonte: Carvalho, 1996).....	10
Quadro 3 – Estado da madeira segundo o teor de água. (Fonte: Carvalho, 1996).....	12
Quadro 4 - Estudo de Innes <i>et al.</i> (2008), onde se avaliou a propensão a fendas internas após secagem de tábuas de <i>E. globulus</i>	29
Quadro 5 – Resumo das potencialidades da madeira de eucalipto através da análise das vantagens e desvantagens do seu uso (Santos, 1998).....	30
Quadro 6 – Teor de água inicial médio da material em estudo.....	40
Quadro 7 – Valores referentes às pesagens dos provetes do ensaio 1; P1 – Provete 1, P2 – Provete 2; P3 – Provete 3; P4 – Provete 4; P5 – Provete 5; P6 – Provete 6; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.	40
Quadro 8 - Teores de água dos provetes medidos através de um medidor elétrico, onde S – indicativo de ‘Sonda’ e DT – distância ao topo do provete.	41
Quadro 9 – Valores da estimativa do teor de água dos provetes do ensaio 1; P1 – Provete 1, P2 – Provete 2; P3 – Provete 3; P4 – Provete 4; P5 – Provete 5; P6 – Provete 6; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.....	43
Quadro 10 - Valores referentes às pesagens dos provetes do ensaio 2; P7 – Provete 7, P8 – Provete 8; P9 – Provete 9; P10 – Provete 10; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio. ...	44
Quadro 11 - Valores da estimativa do teor de água dos provetes do ensaio 2; P7 – Provete 7, P8 – Provete 8; P9 – Provete 9; P10 – Provete 10; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.	45
Quadro 12 – Valores do ensaio dimensional – Larguras e espessuras dos provetes ao longo dos dias de ensaio; P7 – Provete 7, P8 – Provete 8; P9 – Provete 9; P10 – Provete 10.	46
Quadro 13 - Valores referentes às pesagens dos provetes do ensaio 3; PF – Provete com furos; PT – Provete-Tábua; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.	48

Quadro 14 - Valores da estimativa do teor de água dos provetes do ensaio 3; PF – Proвете com furos; PT – Proвете-Tábua; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.....	49
Quadro 15 - Valores referentes às pesagens dos provetes do ensaio 4; PV – Proвете em vácuo; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.	50
Quadro 16 - Valores da estimativa do teor de água dos provetes do ensaio 4; PV – Proвете em vácuo; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.	50
Quadro 17 – Comparação entre taxas de secagem.	52

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 - Lista de equipamentos utilizados aquando o trabalho prático e suas características	66
ANEXO 2 - Metodologia de aplicação do vácuo	67
ANEXO 3 - Ensaio 1 – Interpolação dos valores das pesagens principais (sombreados a cinzento) para os 120 dias de ensaio.....	68
ANEXO 4 - Ensaio 1 e 2 – Interpolação dos teores de água obtidos pelo método elétrico (sombreados a cinzento)	69
ANEXO 5 - Ensaio 1 – Teores de água estimados.....	70
ANEXO 6 - Ensaio 2 – Interpolação dos valores das pesagens principais (sombreados a cinzento) para os 113 dias de ensaio.....	71
ANEXO 7 - Ensaio 2 – Teores de água estimados.....	72
ANEXO 8 - Ensaio 3 – Interpolação dos valores das pesagens principais (sombreados a cinzento) para os 99 dias de ensaio.....	73
ANEXO 9 - Ensaio 3 – Teores de água estimados.....	75
ANEXO 10 - Ensaio 4 – Interpolação dos valores das pesagens principais (sombreados a cinzento) para os 85 dias de ensaio	77

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a procura de espécies florestais que forneçam madeira com potencial para substituir aquelas que tradicionalmente são comercializadas tem sido constante (Santos, 2002). A *Eucalyptus globulus* Labill. é uma das espécies, de rápido crescimento, preferidas para plantações industriais em todo o mundo (Bal *et al.*, 2013). Em Portugal o eucalipto está fortemente associado ao sector da pasta para papel. No entanto, estudos revelam que esta espécie possui potencialidades para ser utilizada como matéria-prima em indústrias de madeira maciça, nomeadamente para aplicações estruturais e pavimentos (Santos *et al.*, 2004; Pereira *et al.*, 2010).

A vocação que esta espécie tem para a indústria de pasta para papel e as dificuldades no processo de transformação, com vista à sua utilização como madeira maciça, não facilitam as oportunidades de pesquisa de novas tecnologias no âmbito da transformação e na procura de novas aplicações. A transformação da madeira, com vista a uso sólido, requer conhecimentos técnicos rigorosos, que criam também um grande obstáculo neste campo de investigação (Santos *et al.*, 2004).

Importa salientar que a madeira de eucalipto é geralmente proveniente de plantações de ciclo curto, apresentando-se como principal obstáculo a secagem de material com grande percentagem de lenho juvenil propenso a apresentar diversos defeitos durante a secagem.

Com vista ao sucesso do processo de secagem é sempre necessário conhecer as características do material em estudo, os equipamentos mais adequados e os processos físicos envolvidos (Jankowsky, 1995). A utilização do eucalipto como madeira maciça, como de qualquer outra espécie, implica uma avaliação completa do seu comportamento à secagem. É importante garantir uma secagem de qualidade, minimizando o aparecimento de defeitos.

Este trabalho tem como objetivo o estudo do processo de secagem de lenho juvenil de *Eucalyptus globulus* e a avaliação dos principais defeitos decorrentes deste processo, com vista à determinação do seu potencial para utilização como madeira maciça. Para isso, recorreu-se à secagem de provetes de eucalipto com 5 anos através de três processos de secagem: secagem ao ar, em estufa e por vácuo. No final do processo foi possível comparar a eficácia dos diferentes tipos de secagem, avaliar as diferentes condições de secagem, isto é, influência do afastamento aos topos, espessura dos provetes, tipo de método de secagem utilizado e condicionamento físico das peças e estimar os defeitos decorrentes da mesma.

A presente dissertação foi estruturada em cinco capítulos. No primeiro capítulo faz-se um apanhado geral do estado da floresta portuguesa bem como da evolução do eucalipto em Portugal. Neste capítulo fazemos ainda uma descrição da espécie, do processo de secagem e uma pequena abordagem sobre os principais defeitos associados a este processo. O segundo capítulo refere-se à apresentação da

sequência experimental de todo o trabalho prático, referenciando-se materiais e métodos utilizados. No terceiro capítulo apresentam-se os resultados bem como a sua discussão através da análise comparativa dos diferentes processos utilizados ao longo do trabalho experimental. Por fim, no quarto capítulo é possível encontrar as conclusões gerais da presente dissertação.

Este trabalho faz parte do projeto “EucPlus-Novos processos e utilizações para madeira de eucalipto” (PTDC/AGR-CFL/119752/2010), coordenado pelo Centro de Estudos Florestais.

1. ESTADO DE ARTE

1.1. Enquadramento geral da floresta portuguesa

A floresta portuguesa inicialmente constituída por árvores de folha caduca no Norte do país e árvores de folha persistente a Sul, tem sofrido alterações ao longo da sua história. Atualmente, a área de floresta portuguesa ascende a 3,2 milhões de hectares, correspondendo a 35,4% de todo o território (ICNF, 2013).

A Figura 1 apresenta os dados do 6.º Inventário Florestal Nacional, de 2013, em que o eucalipto é a espécie dominante com uma área de aproximadamente 812 mil hectares. Na Península Ibérica, a espécie ocupa uma área de aproximadamente 1 milhão de hectares (Resch, *et al.*, 2002). Destaca-se ainda que a área ocupada por resinosas corresponde a aproximadamente 31% da floresta portuguesa, sendo a restante área (69%) ocupada por folhosas (CELPA, 2012).

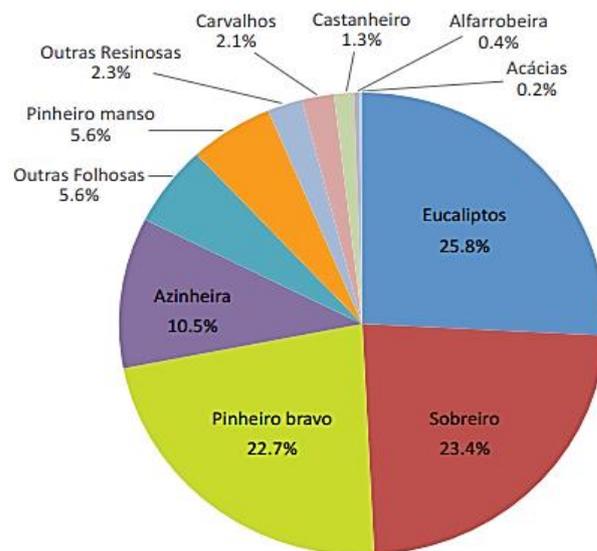


Figura 1 – Distribuição das áreas totais por espécie/grupo de espécies (Fonte: CELPA, 2012)

Na Figura 2, entre 1995 e 2010 observa-se que uma das alterações mais significativas das áreas das espécies florestais ocorreu com o eucalipto, cuja área aumentou cerca de 95 mil hectares (CELPA, 2012).

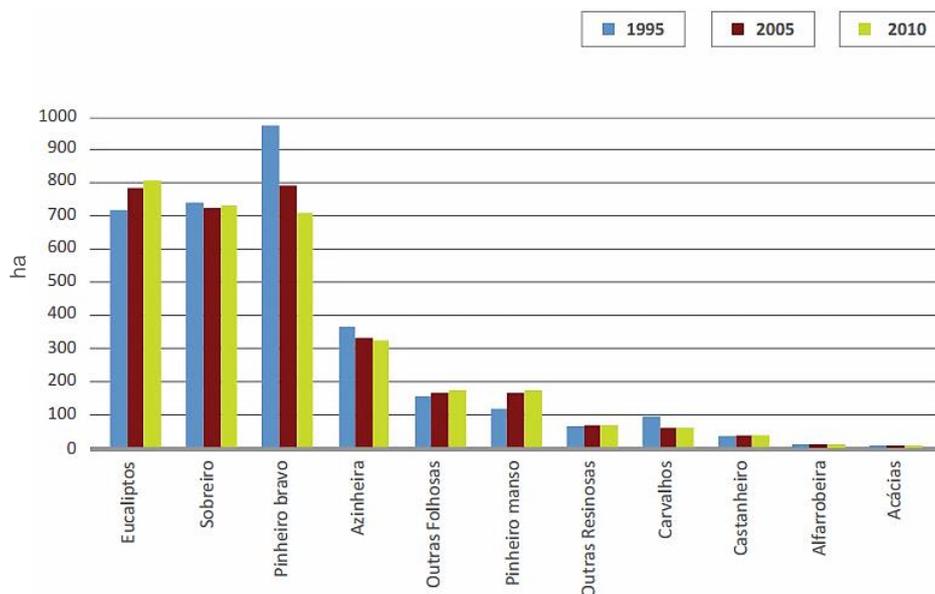


Figura 2 - Evolução da área de povoamentos florestais (1000 ha), por espécie dominante em Portugal Continental (**Fonte:** CELPA, 2012).

Nos últimos anos, a produção de madeira de eucalipto tem aumentado em Portugal, principalmente devido ao elevado investimento realizado por empresas de celulose de madeira, que usam o eucalipto como fonte principal. O eucalipto está na da empresa de capitais portugueses que mais exporta, a Portucel, que só por si assegura cerca de 3% do total de bens exportados e representa perto de 1% do PIB nacional. Este aumento restringiu-se a determinadas indústrias não sendo refletido em determinadas aplicações, como por exemplo utilização da madeira para carpintaria ou móveis. Este facto pode ser justificado pela dificuldade das técnicas e operações tecnológicas ligadas ao processo de transformação, bem como devido à classificação de “madeira de qualidade baixa” associada ao eucalipto (Santos, 2004).

1.2. A espécie – *Eucalyptus globulus*

O *Eucalyptus globulus* é uma espécie introduzida pertencente ao género botânico *Eucalyptus*, que engloba um grande número de espécies (estão identificadas mais de 700 espécies de eucalipto). Determinadas propriedades da madeira de eucalipto, como é o exemplo do seu crescimento rápido e da sua forma esguia e apumada com pouca ramificação ao longo do fuste, atribuem-lhe uma relevância elevada a nível económico.

O eucalipto foi introduzido em Portugal em meados do século XIX e expandiu-se sobretudo na segunda metade do séc. XX, coincidindo com a instalação e crescimento da indústria de pasta e papel. A espécie *E. globulus* adaptou-se com facilidade ao nosso clima e solos, ganhando grande interesse económico no nosso território (Alves *et al.*, 2007). Foi em Portugal que, pela primeira vez no mundo, se utilizou a madeira de eucalipto para produção de pasta para papel (Grupo Portucel Soporcel, 2011). A cultura do

eucalipto bem como a sua expansão tem, contudo, originado debates controversos centrados sobretudo nos seus impactes negativos sobre o ambiente. A madeira de eucalipto pode ser caracterizada pela sua alta densidade (0.81 g cm^{-3} , segundo Knapic *et al.*, 2014) e durabilidade, bem como pelas suas boas propriedades mecânicas e resistência ao impacto. A sua tonalidade de cor natural permite um vasto leque de acabamentos (Madeidura, 2010). Estas características possibilitam o uso desta espécie em diferentes tipos de indústrias. A madeira de *E. globulus* apresenta propriedades mecânicas excelentes assemelhando-se, segundo alguns autores, a outras espécies de madeira, em particular o carvalho (Hillis, 1978; Skolmen *et al.*, 1990 e Baso *et al.*, 2007).

Embora considerada de difícil secagem (Carvalho, 1997), a madeira de eucalipto apresenta um comportamento favorável perante diferentes acabamentos (lixagem, envernizamento, etc.) tal como podemos concluir pela análise do Quadro 1.

Quadro 1 – Propriedades tecnológicas do *E. globulus*. (Fonte: Santos, 2007b).

Serragem	Fácil
Secagem	Lenta e delicada. Forte tendência para a ocorrência de defeitos
Fendas	Ausentes ou de pequenas dimensões, em secagem controlada
Colapso	Possibilidade de ocorrência
Empenos	Ligeiros ou sem empenos, se condicionada mecanicamente durante a secagem
Laboraço	Aplainamento fácil, ocorrência ocasional de defeito lascado
Rendimento médio de aproveitamento	54%
Utilizações potenciais	Estruturas maciças ou coladas; mobiliário; pisos e parquetes; folheados e contraplacados

Embora se associe o eucalipto a indústrias de pasta para papel, desde cedo a madeira de eucalipto foi utilizada nas travessas de caminho-de-ferro, tendo sido inclusive uma das suas primeiras utilizações no nosso país (Alves *et al.*, 2007). Posteriormente, a madeira de eucalipto começou a ser utilizada nos mais diversos fins, desde as estruturas dos telhados, na tanoaria, nos pavimentos, na carpintaria e mais recentemente no mobiliário (Madeidura, 2010).



Figura 3 – **Esquerda:** Utilização da madeira de eucalipto em pavimento (Fonte: <http://galeria.madeidura.com/galeria?func=detail&id=16#joomimg>); **Direita:** Utilização de madeira de eucalipto em exteriores (Fonte: <http://www.cismadeira.com/ingles/downloads/eucaliptoweb.pdf>)

Atualmente, devido à evolução de conhecimento e ao domínio de diferentes processos tecnológicos, a madeira de eucalipto apresenta grande potencial para variadas necessidades e aplicações (Figura 3).

1.3. Lenho juvenil

A região central da árvore, de forma cilíndrica que se estende desde a base até ao topo, e cujo diâmetro é parcialmente uniforme, denomina-se por lenho juvenil (Figura 4) (Krahmer, 1986; Zobel & Buijtenen, 1989; Cown, 1992; Evans *et al.*, 2000). Ramay & Biggs (1986) descrevem lenho juvenil como sendo o xilema secundário, formado durante a fase jovem do câmbio vascular da árvore (meristema responsável pelo crescimento da árvore em altura e diâmetro). Este período caracteriza-se anatomicamente por um acréscimo gradual nas dimensões das células e por correspondentes alterações nas suas formas, estruturas e disposições, em sucessivos anéis de crescimento, que se traduzem diretamente nas propriedades da madeira (Vidaurre *et al.*, 2011).

Santos *et al.* (2011) afirmam que a zona de lenho juvenil é mais suscetível a empenos e podridão, tendo a mesma uma resistência mecânica menor e existindo maiores retrações e desvios do fio. Os autores salientam ainda que a zona de transição entre o cerne e o borne tem tensões internas muito fortes, que podem dar origem a empenos, tanto na serragem em verde como em cortes após a secagem.

Vários estudos mostram que o lenho juvenil ainda se encontra pouco estudado para madeira de folhosas, mencionando a necessidade de se conhecerem as diferenças nas propriedades dos dois tipos principais de madeira (juvenil e adulta) presentes em uma mesma árvore (Bhat *et al.*, 2001; Silva, 2002; Lara *et al.*, 2003 e Gatto *et al.*, 2008).

O lenho juvenil de uma árvore apresenta, segundo afirmam Bendtsen (1978) e Senft *et al.* (1985), maiores ângulos microfibrilares da camada S2, maior diâmetro do lúmen das células, maior conteúdo em lenhina, mais lenho de reação e de contração longitudinal comparativamente ao lenho adulto (Washusen, 2011). Por outro lado a densidade, a espessura da parede celular, o conteúdo em celulose, a resistência e a rigidez são maiores em madeira adulta (Bendtsen, 1978; Zobel, 1984; Lima, 2005; Palma *et al.*, 2010). Estas características são particularmente importantes na condução da secagem pelos problemas que podem originar. É importante reconhecer e aprender a solucionar os defeitos deste lenho, pois com a tendência da utilização de rotações cada vez mais curtas, o lenho juvenil aparecerá em maior quantidade (Santos, 2007a).

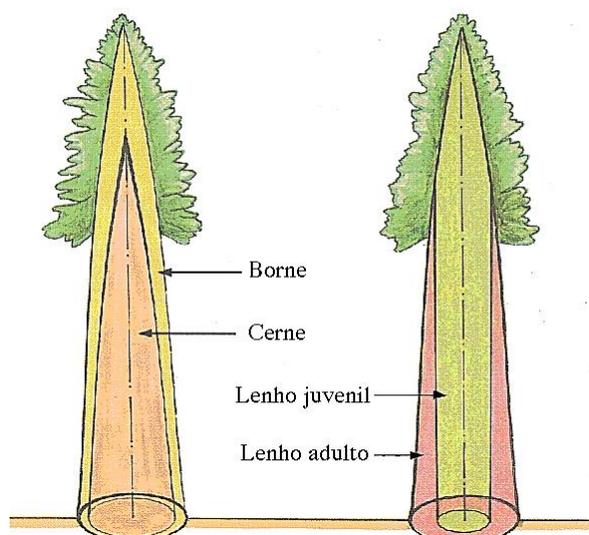


Figura 4 – Localização do cerne, borne, lenho juvenil e lenho adulto numa árvore. (Fonte: <http://www.cifap.utad.pt/est2.gif>)

Estudos recentes sobre efeitos dos tratamentos térmicos nas propriedades físicas de madeira adulta e madeira juvenil de *E. grandis* mostram que as perdas de massa são mais elevadas em madeira adulta que em madeira juvenil. Os autores pensam que este facto esteja relacionado com a quantidade superior de bolsas de ar que o lenho juvenil apresenta no seu interior, que funcionam como isoladores, reduzindo o efeito da temperatura (Bal *et al.*, 2012).

1.4. Serragem

Segundo a definição presente na norma NP EN 844-3:2008 (Norma Portuguesa para madeira redonda e serrada onde estão inseridos os termos relativos a madeira serrada), a serragem consiste na operação que permite obter peças de dimensões definidas, a partir de peças maiores ou de toros. Dada a anisotropia e o tipo de formação geométrica da madeira por camadas concêntricas, o processo de serragem deve ser bem planeado, sendo tomadas opções que visem não só a qualidade final mas também tendo em conta a finalidade do produto (Santos *et al.*, 2011).

Após o corte da árvore, Schacht *et al.* (1997) sugerem o uso de saco plástico para proteger os toros das rachaduras de topo ou em alternativa o uso de silicones, ceras ou tintas com aderência a madeira húmida. O objetivo é retardar a perda de água através dos topos, após o abate. A serragem de eucalipto deve ser feita num intervalo de tempo curto após o abate, pois o início prematuro da secagem provoca fendas importantes nos topos do toro, tensões internas e consequentemente dificuldades de secagem, tanto por deformações como por endurecimento da madeira provocando, assim, o consequente acréscimo de consumo de potência e aquecimento das serras (Santos, 1998).

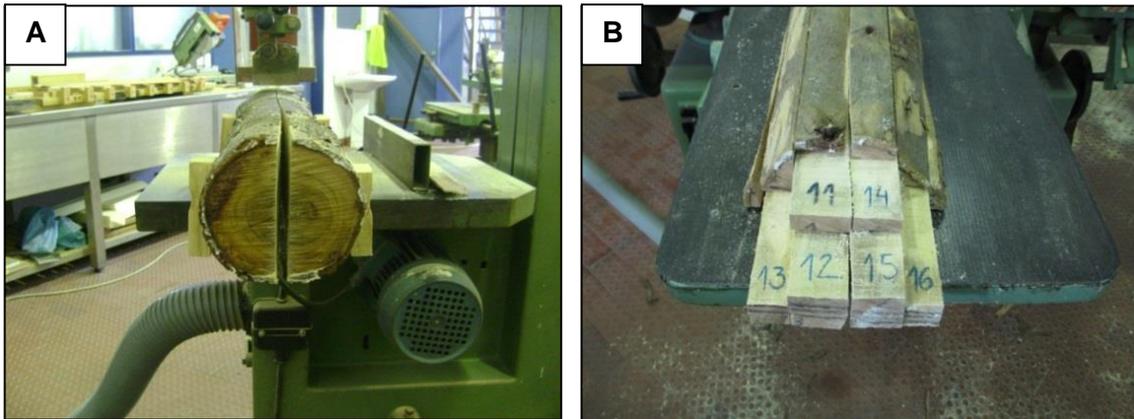


Figura 5 – Processo de serragem da madeira: (A) Tensões da madeira durante a serragem do toro; (B) Exemplo de esquema de aproveitamento da matéria-prima.

Geralmente o padrão de corte influencia a qualidade da secagem através da libertação de tensões na serra (Figura 5a). Estas tensões estão associadas às tensões de crescimento (Skolmen *et al.*, 1990; Neumann *et al.*, 1992; Yang, 2007). As tensões de crescimento têm origem no desenvolvimento das células que o câmbio produz. Na árvore em pé, as tensões de crescimento são fundamentais para a sustentação do tronco e para o equilíbrio das copas, fazendo parte deste modo do seu crescimento e desenvolvimento (Santos, 2010).

Para Boyd (1972), Chafe (1979) e Sales (1986), a origem das tensões de crescimento está diretamente relacionada com a lenhificação das paredes celulares. Os mesmos autores sugerem que as tensões de crescimento são causadas pelo encurtamento das fibras durante a lenhificação nas sucessivas camadas exteriores da árvore. As razões para o encurtamento das fibras não são claramente entendidas, mas Nicholson *et al.*, 1972, Boyd, 1977 e Vázquez, 2001 acreditam que são devido ao processo de maturação das células.

As tensões de crescimento em árvores jovens de pequeno diâmetro, como por exemplo no eucalipto, são maiores do que em árvores de diâmetros maiores (Hillis, 1984). Washusen *et al.* (2004) estudou a deformação de peças de madeira de eucalipto durante a serragem, verificando que apenas 6% do material em estudo não recuperou dos danos provocados pela tensão. O desbaste precoce das árvores reduz consideravelmente a ocorrência de tensões na madeira (Washusen, 2002 e Washusen *et al.*, 2004), tendo sido esta a principal razão para os resultados apresentados nos estudos de Washusen *et al.* (2004).

Na Figura 6 é apresentado o modelo teórico da distribuição das tensões de crescimento ao longo da seção de um tronco, apresentado por Vázquez (2001), que permite interpretar globalmente o conjunto das deformações que surgem durante qualquer operação de serragem. É importante referir que, na generalidade, as espécies do género *Eucalyptus* apresentam tensões de crescimento elevadas (Vázquez, 2001).



Figura 6 – Modelo teórico da distribuição das tensões de crescimento no interior de um toro (Fonte: Adaptado de - Vázquez, 2001).

Os modelos de corte dos toros devem ser estudados, não só para maximização do aproveitamento de matéria-prima (Figura 4b) mas também para evitar potenciais problemas com os provetes durante o processo de secagem.

Segundo Santos (1998), uma metodologia que permite reduzir significativamente o risco de desenvolvimento de fendas consiste em realizar o primeiro corte pelo centro do toro, seguindo-se cortes paralelos, pois têm mostrado um bom compromisso entre o rendimento e a qualidade das peças finais (Figura 5a). Este primeiro corte permite a libertação de tensões, sendo depois possível proceder ao corte dos provetes desejados (Figura 5b).

Os rendimentos de serragem de toros de *E. globulus* com, em média, 44,8 cm de DAP (diâmetro à altura do peito) e 2,7 cm de comprimento estão compreendidos entre os 38 – 65% (Santos, 2010).

1.5. Secagem

A secagem de madeiras é uma técnica que consiste na redução controlada do seu teor de água, com a finalidade de que a madeira atinja um determinado ponto de equilíbrio, com um mínimo de defeitos, tendo em conta o fim para o qual se destina (Martins, 1988; Santos *et al.*, 2005; Madeidura, 2010).

O processo de secagem da madeira resulta da conjugação de dois fenómenos: evaporação e circulação da água na madeira. Inicialmente ocorre uma rápida evaporação da água livre, não havendo nesta fase variação na dimensão das peças. Abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF), as paredes celulares começam a contrair-se devido à perda de água, o que resulta numa diminuição de espessura e uma correspondente retração do volume total inicial (Santos *et al.*, 2005). Este ponto caracteriza o momento em que as células já não contêm água 'livre' na madeira, ou seja, representa o momento em que já não existe água nas cavidades celulares (Pratt, 1974).

A secagem de madeira depende de diversos fatores, nomeadamente de características intrínsecas da espécie utilizada, do teor de água final, da espessura das peças e do processo de secagem utilizado.

Com vista a este objetivo, a secagem pode ser efetuada naturalmente (ao ar livre), artificialmente (em secador de ar quente, em desumidificador ou em vácuo), ou pela conjugação destas diferentes formas. A secagem ao ar geralmente (excetuando casos em que o uso de madeira não requer um baixo teor de água) oferece pouca oportunidade de controlo do processo (sobretudo ao nível de controlo de temperatura e humidade) para além de ser mais lenta. Por outro lado, este tipo de secagem apresenta vantagens do ponto de vista económico e menos risco de defeitos de secagem (Santos *et al.*, 2005). Uma madeira para utilizações exteriores (como por exemplo mobiliário e construção de estruturas) pode ser, regra geral, inicialmente seca pelo processo ao ar mas em seguida terão de ser aplicados métodos mais eficientes como seja a secagem em secador e/ou em vácuo, que permitam valores de humidade mais baixos (Simpson *et al.*, 1999).

É importante ainda referir que durante a secagem de uma madeira ocorrem três estágios distintos (Figura 7), com variação diferenciada na taxa de secagem para cada intervalo do processo, as quais determinam a curva característica de secagem do material (Jankowsky *et al.*, 2003). Os teores de água que uma madeira deverá conter no final do processo de secagem diferem consoante as condições finais (temperatura, humidade, exposição solar) a que será exposta (Quadro 2).

Quadro 2 – Teor de água final da madeira previsível face a situação ou local de aplicação. (Fonte: Carvalho, 1996).

Situações ou locais de aplicação da madeira	Teor de água (%)
Contacto com focos de humidade	22-30
Locais abertos e descobertos	18-22
Locais abertos e cobertos	15-18
Locais fechados e cobertos	13-15
Locais fechados e aquecidos	10-13
Locais fechados e continuamente aquecidos	8-10

Sendo a madeira considerada um material com propriedades superiores (por exemplo, facilidade de perfilagem com ferramentas, boa resistência ao choque, etc.), comparativamente a outros materiais (betão, aço, ferro, etc.), o processo de secagem adquire uma importância relevante (Miller, 1999).

Os maiores problemas das indústrias de serração, carpintaria e mobiliário, relacionam-se com o processo de secagem da madeira, nomeadamente com a ocorrência de defeitos, distorções, manchas e fendas resultantes desta operação de transformação. Embora seja normal que exista uma variação de dimensões e tendência para deformações durante o processo, é a má conduta desta operação que causa os principais e mais graves defeitos: aparecimento de fendas, colapso e deformações (Santos *et al.*, 2005).

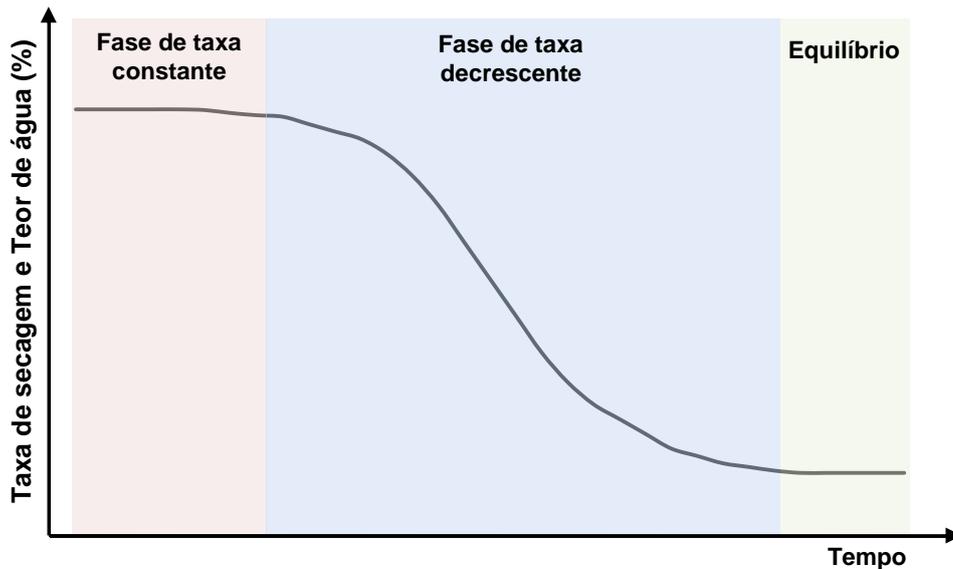


Figura 7 – Curva característica de secagem para materiais porosos (Fonte: Adaptado de Rosen, 1983).

1.5.1. Teor de água da madeira

A água na madeira verde encontra-se presente de duas formas: 'água livre' nas cavidades celulares e 'água ligada' associada às paredes celulares (Figura 8). A primeira é mais facilmente removida, deslocando-se de uma célula para outra até atingir a superfície da peça. Quanto toda a 'água livre' é retirada da madeira resta apenas 'água ligada' unida às paredes celulares, sendo necessária uma maior quantidade de energia para a remover. No momento em que a árvore é cortada, esta perde rapidamente parte da água que a constitui, nomeadamente água 'livre', visto que a água associadas às paredes celulares tende a sair de uma forma mais lenta.

A madeira possui naturalmente um teor em água muito superior ao que deve apresentar nas suas condições normais de utilização (Matos, 2010). Assim, o teor de água da madeira verde (expresso em relação à massa de madeira anidra) pode chegar a ser superior a 100%.

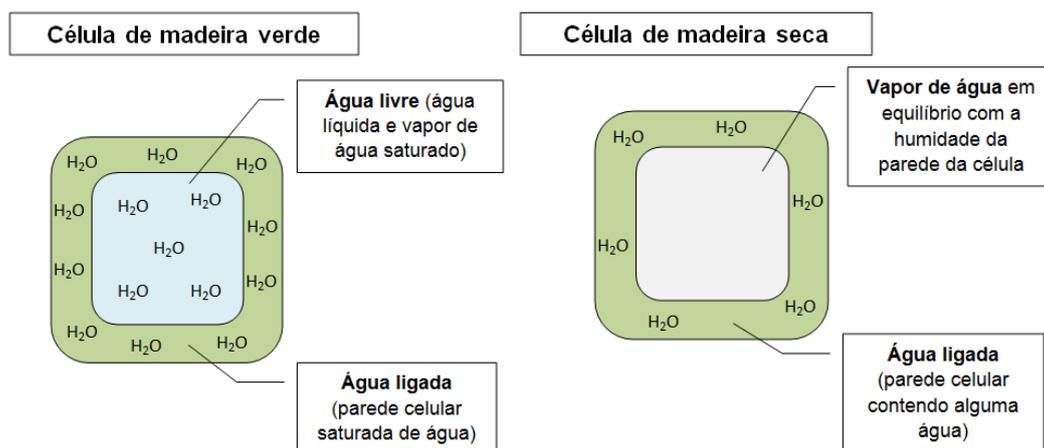


Figura 8 – Formas de água na madeira.

Segundo Mateus (2007) a madeira verde apresenta uma resistência diminuída comparativamente a todos os esforços que nela possam atuar, quando comparadas nas mesmas peças depois da madeira se encontrar seca. Esta resistência mínima conserva-se durante o primeiro período de secagem até à altura que se atinge, no lenho, o nível de teor de água correspondente a 30% (para a generalidade das espécies), isto é, ao PSF. Sendo a madeira um material higroscópico, a humidade no seu interior tende a estar em equilíbrio com a humidade do ar circundante. Quando o teor em água da madeira atinge o equilíbrio, diz-se que se atingiu o teor de água de equilíbrio da madeira (Simpson *et al.*, 1999).

Existe uma classificação das madeiras segundo a ótica do teor de água que possuem. Esta classificação é apresentada por Carvalho (1996) e apresentada no Quadro 3. No mesmo quadro encontra-se a relação entre o teor de água da madeira e a possível condição de exposição da mesma.

Quadro 3 – Estado da madeira segundo o teor de água. (Fonte: Carvalho, 1996).

Denominação	Teor de água (%)	Condicionamento do meio
Madeira saturada	mais de 70	Madeira longo tempo imersa em água
Madeira verde	de 51 a 70	Madeira em pé ou de corte recente
Madeira semi-seca	de 23 a 50	Madeira serrada em verde
Madeira comercialmente seca	de 12 a 22	Madeira enxuta (fora do risco de alteração cromática)
Madeira seca ao ar (sob coberto)	de 13 a 17	Inverno: 16 a 18%; Primavera/Outono: 14 a 16%; Verão: 12 a 14%
Madeira muito seca	de 8 a 12	Interiores, Ambientes aquecidos
Madeira completamente seca	0	Estabilizada em peso a 103 ± 2° C

O desempenho de determinada madeira é influenciado pelo teor de água que contém. O teor de água de uma madeira é expresso como uma percentagem do seu peso seco. Este teor pode ser determinado pelo método de secagem em estufa ou através do uso de medidores elétricos (Simpson *et al.*, 1999).

Os medidores elétricos permitem a determinação do teor de água da madeira de forma não destrutiva (sem danificar a mesma). Estes medidores proporcionam uma rápida resposta e são de razoável precisão entre a gama de 7% e 25% de teor de água da madeira. Para teores fora desta gama o método não é tão preciso. Existem dois tipos de medidores elétricos: (1) baseados na resistência elétrica, no qual se utiliza a relação entre o teor de água da madeira e a resistência elétrica; e (2) baseados na capacitância, em que se relaciona o teor de água da madeira e as propriedades dielétricas da madeira e a água que esta contém. É mais comum, no entanto, a utilização da resistência elétrica (Simpson *et al.*, 1999), por ser mais preciso do que o método capacitivo.

Para o cálculo da determinação do teor de água na madeira utiliza-se frequentemente a seguinte expressão:

$$Y = \left(\frac{M_x - M_0}{M_0} \right) \times 100 = \frac{M_{H_2O}}{M_0} \times 100 \quad \text{(Equação 1)}$$

onde, Y, representa o teor de água da madeira (%), M_x é a massa de madeira húmida, M_0 é a massa da madeira seca e M_{H_2O} é a massa de água contida na madeira.

Para efeitos de utilização da madeira como elemento estrutural a perda de água da madeira até ao ponto de saturação das fibras não gera problemas (Santos *et al.*, 2005; Martins, 2010; Domar, 2011). É a partir deste limite que a madeira inicia um processo de retração (Santos *et al.*, 2005). É importante referir que a diminuição das dimensões das peças se dá ao longo de todo o processo de perda de água na madeira, quanto mais não seja pelo motivo de diferentes locais apresentarem valores diferentes de teor de água (superfície e interior).

Na primeira fase da secagem de uma madeira ocorre a evaporação da água na superfície do material bem como a movimentação da mesma do interior até à superfície da peça, por forças de capilaridade (Figura 9) – esta etapa corresponde à fase constante do gráfico apresentado na Figura 7. A energia (calor sensível) da corrente de ar é transferida para a superfície da madeira, promovendo a vaporização da água que, no estado de vapor, é transferida para a corrente de ar (Jankowsky *et al.*, 2003). As condições externas (principalmente temperatura e humidade relativa do ar) exercem grande efeito sobre o processo, regulando a taxa de secagem nessa fase.

À medida que o material vai perdendo água, a contínua vaporização à superfície provoca um gradiente de humidade (principalmente no sentido da espessura). Neste ponto, em que a quantidade de água líquida que chega até a superfície é menor que a quantidade de água evaporada, tem início a primeira fase de taxa de secagem decrescente (Figura 7), durante a qual a linha de vaporização penetra no material em direção ao centro (Jankowsky *et al.*, 2003). Enquanto na primeira fase a movimentação da água se fazia por capilaridade (sendo esta afetada pela estrutura anatómica da madeira) a movimentação na fase decrescente faz-se por fenómenos difusivos (afetada não só pelas características da madeira mas também pelas condições termodinâmicas da corrente de ar).

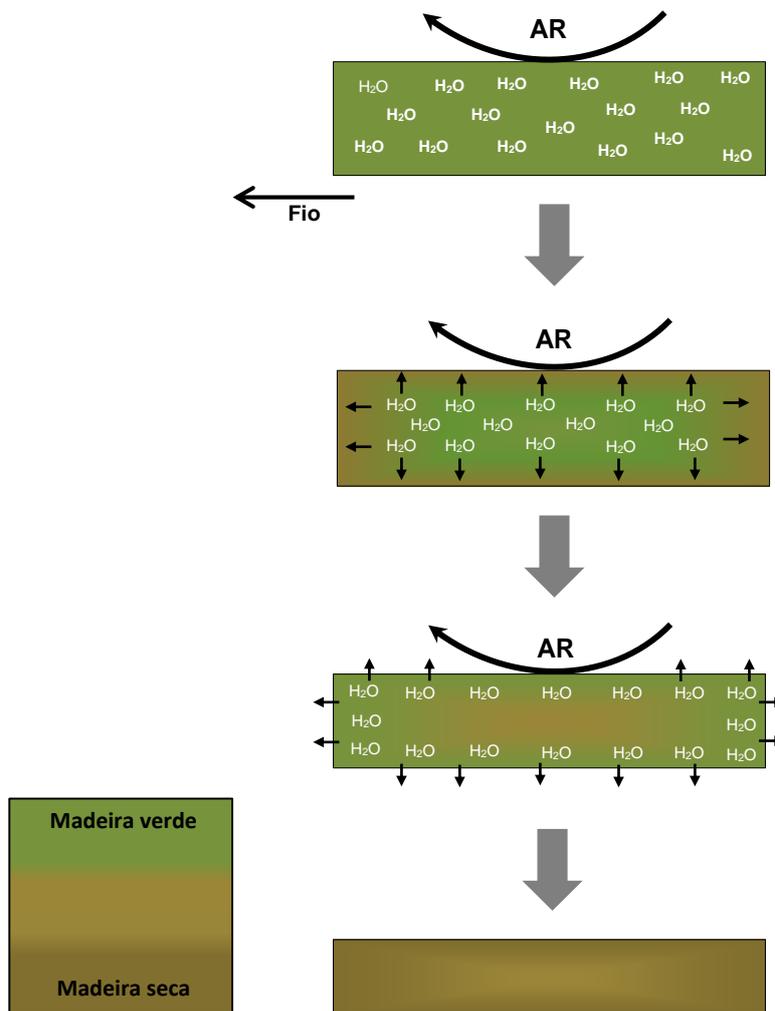


Figura 9 – Movimento da água na madeira durante o processo de secagem. Numa primeira fase de secagem o ar seco e quente aquece a superfície da peça de madeira promovendo ao aparecimento de um gradiente entre a superfície e o interior da madeira. Com o contínuo aquecimento à superfície da peça, a água começa a deslocar-se do interior da madeira, por capilaridade, até à superfície da peça. Numa fase final da secagem a peça deverá conter um teor de água homogêneo em toda a peça de modo a evitar potenciais defeitos ao longo das fases tecnológicas seguintes.

Por fim, na fase final de secagem a madeira tende a atingir o teor de água de equilíbrio, isto é, as trocas entre a água que existe no ar e a água que existe na madeira chegam ao equilíbrio. É importante ainda referir que ao longo de todo o processo a madeira retrai nas três direções principais da madeira: axial, radial e tangencial.

A saída de água do interior da madeira provoca o aparecimento de esforços internos, causados pela tensão capilar e pela retração volumétrica. Estes esforços irão provocar posteriormente deformações classificadas como defeitos de secagem (Jankowsky, 1995). Uma madeira vai secando no sentido do teor de água de equilíbrio, consoante a temperatura e a humidade relativa do ar (Santos, 2007b). Diversos modelos matemáticos já foram propostos visando estabelecer os efeitos das diferentes variáveis envolvidas no processo de secagem (Turner, 1996).

A título de curiosidade, uma madeira de eucalipto com 28 mm de espessura demora em média entre 4 e 6 semanas a secar da condição verde até um teor de água final de 15%, sendo as perdas causadas por defeitos da ordem de 30 a 40% (Jankowsky, 1992).

Findo o processo de secagem, é considerada secagem bem-sucedida se a madeira apresentar os seguintes atributos (Lamb, 1994): (i) livre de defeitos visíveis (por exemplo, empenos, colapsos, manchas, etc.); (ii) o teor de água é compatível com o uso que se pretende dar à madeira; (iii) a variação do teor de água dentro de cada peça e entre peças seja mínimo; e (iv) a madeira se encontra livre de tensões de secagem.

O nível aceitável para cada um destes fatores irá variar de acordo com o tipo de madeira e com a aplicação pretendida para a mesma.

1.5.2. Fatores que influenciam a taxa de secagem

São vários os fatores que influenciam a taxa de secagem da madeira (Simpson *et al.*, 1999):

- **Espécie** – algumas espécies secam mais rapidamente e outras mais lentamente. Resinosas e algumas madeiras leves secam mais rapidamente sob condições favoráveis. As madeiras mais pesadas necessitam de mais tempo de secagem de modo a ser atingido o teor de água desejável.
- **Espessura da peça** – regra geral, o tempo de secagem aumenta a uma taxa de, aproximadamente, a espessura elevada à potência de 1,5. Isto é, uma peça com 50 mm de espessura demorará três vezes mais tempo a perder uma determinada quantidade de água comparativamente a uma peça de 25 mm de espessura ($50^{1,5}/25^{1,5}=2,8$). Geralmente, peças com menor espessura apresentam menor deformação comparativamente a peças com maior espessura (Bekele, 1994).
- **Borne e cerne** – O teor de água presente no borne é, geralmente, muito maior que a existente no cerne. Não obstante, a madeira do borne seca mais rapidamente que a madeira do cerne. Nas folhosas o conteúdo em água no borne não é muito maior que no cerne, no entanto, após a secagem o conteúdo em água no borne é menor que no cerne.
- **Método de empilhar as peças** – a taxa de secagem da madeira é afetada pela maneira como os provetes de madeira são empilhados. Quanto maior for a capacidade de circulação do ar, mais rápida é a secagem.

- **Local de secagem** – a eficiência da secagem depende, em certa medida, de quão bem a superfície do solo é pavimentada e drenada. Por exemplo, após uma chuva se a água não for drenada pode influenciar negativamente o processo de secagem de uma madeira. O local de secagem deve ser mantido o mais limpo possível (vegetação, etc.).
- **Condições climáticas** – o clima influencia grandemente a taxa de secagem ao ar. Talvez o fator que mais influência seja a temperatura, embora a humidade relativa do ar e a precipitação também sejam fatores importantes.

1.5.3. Tipos de secagem – Secagem Natural vs. Secagem Artificial

Existem vários métodos que podem ser usados para a secagem de madeira. Todos os métodos de secagem envolvem, como já foi dito anteriormente, a remoção de água do interior da madeira para a superfície, onde a mesma é evaporada. A operação de secagem conta com duas modalidades: secagem natural (ao ar livre) e secagem artificial (em secador de ar quente, em desumidificador ou em vácuo). Portugal dispõe de condições climáticas amenas, ótimas para a secagem natural de madeiras (Santos, 2005). A nível industrial verifica-se que a secagem ao ar apresenta vantagens do ponto de vista económico e menos risco de defeitos de secagem sendo no entanto um processo moroso (Jankowsky, 1982; Santos, 2005).

O processo mais antigo de secagem de madeira é o da secagem ao ar livre. De acordo com Jankowsky (1982) este processo tem uma ampla utilização dependendo totalmente das condições climáticas, o que pode ocasionar oscilações durante a secagem. Genericamente o método de secagem ao ar consiste em expor pilhas de madeira ao ar exterior. A passagem de ar quente nas superfícies das pilhas de madeira faz com que a água que existe no interior das peças comece a evaporar. Deste modo, é importante que exista arejamento entre as peças de madeira de forma a maximizar a circulação de ar, aumentando consequentemente a velocidade de secagem (Simpson *et al.*, 1999). A vantagem associada a este método, como já foi referido, prende-se sobretudo com os baixos custos de capital quando comparado com outros métodos. As principais limitações deste processo estão associadas à incapacidade de controlo de secagem, à taxa de secagem lenta durante certos meses do ano (devido sobretudo à elevada precipitação) e à maior probabilidade de ocorrência de defeitos (falta de homogeneidade, fendas de topo, desenvolvimento de manchas, etc.). Com este método de secagem a madeira dificilmente apresenta valores inferiores a 14-16 % de teor de água final (Santos *et al.*, 2011). Não obstante, devido ao risco de deformações elevado, não se recomenda utilizar este método para madeiras com teor de água inferior a 30% (AIMMP, 2013).

Embora também se use pilhas de secagem no processo artificial é no processo natural que estas mais fazem sentido. A formação das pilhas de secagem constitui um aspeto determinante para o bom desenvolvimento do processo. As peças a secar devem ficar bem alinhadas com suportes de separação

e barrotes de base (para evitar o contacto do material com o chão). Mendes *et al.* (1996) e Mendes *et al.* (1997) aconselham que a base da pilha tenha uma altura livre de pelo menos 50 cm para que ocorra a saída do ar húmido que fica estacionado na parte inferior da pilha (Figura 10).

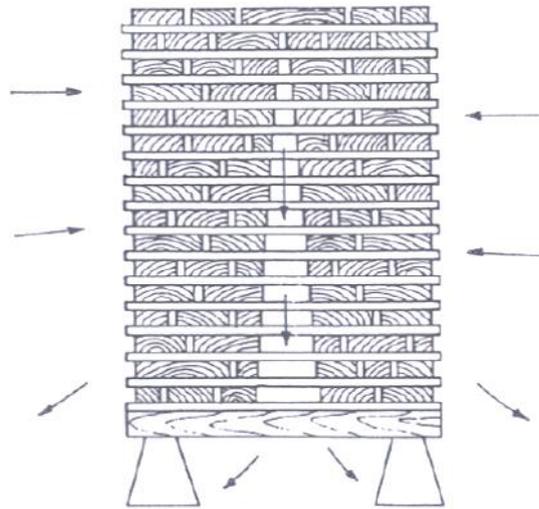


Figura 10 – Exemplo de uma pilha de secagem correta, onde verificamos a colocação de todos os provetes de forma equilibrada e com uma altura livre da base correta (**Fonte:** Graça, 2010)

O sistema de empilhamento vertical permite incrementar a velocidade de secagem (de 1,5 a 2 vezes), uma vez que permite mais eficazmente a circulação do ar (AIMMP, 2013). Na secagem de espécies como o eucalipto recomenda-se ainda a colocação de pesos sobre as pilhas de madeira, sendo que Santos *et al.* (2007) aconselham pesos na ordem dos 1000 kg/m². Os autores salientam, ainda, que a colocação de pilhas sobrepostas facilita o processo de secagem mas que é necessário tomar cuidados no que diz respeito à segurança, nomeadamente perigo de queda da pilha. Deste modo uma solução consiste no uso de cintas de fibras com sistema de aperto que ao longo de todo o processo se vão ajustando às medidas desejadas. É ainda importante referir que o uso de pesos, sob as várias formas existentes, em cima da pilha é de fundamental importância para reduzir o aparecimento de empenamentos (Mendes *et al.*, 1997).

A secagem ao ar, dadas as suas características, propicia o aparecimento de defeitos (como o colapso, fendas superficiais, fendas internas, etc.) e uma heterogeneidade do teor de água nas peças, revelando-se insuficiente quando falamos da utilização de madeiras com vista usos como em carpintaria e mobiliário.

Existe, assim, a necessidade de assegurar a obtenção de um produto final compatível com as aplicações que requerem baixos teores de água, a conveniência de melhorar o tempo de secagem, a capacidade de otimização do transporte da madeira serrada (ao reduzir o peso da mesma) e a eliminação da possibilidade de degradação da madeira serrada (p.e. podridão). A secagem artificial revela-se, assim, um método mais eficiente comparativamente ao processo de secagem ao ar. Este processo consiste, de um modo geral, na exposição das peças de madeira a uma fonte de energia

externa em um espaço confinado. O objetivo da secagem artificial da madeira é promover o equilíbrio entre a velocidade de evaporação da água à superfície da madeira, a taxa de movimentação interna (de água e calor) e as respostas das peças de madeira ao longo de todo o processo, de forma a promover a secagem mais rápida com um nível de perdas e padrão de qualidade aceitável, consoante o produto que se pretende (Jankowsky, 1995). Embora com o aumento do conhecimento sobre os princípios físicos envolvidos na secagem de madeira, não nos podemos esquecer que a madeira é proveniente de um organismo vivo, sujeito deste modo a fatores genéticos e a fatores do meio envolvente. A grande variabilidade inter e intraespecífica, existente nas propriedades físicas da madeira de eucalipto, por exemplo, nem sempre podem ser previstas por modelos matemáticos de aplicação generalizada (Jankowsky, 1995).

No âmbito deste trabalho destacam-se dois tipos de secagem artificial: a secagem em estufa e a secagem em vácuo.

A secagem de madeira em secador é realizada em câmara fechada ou edifício aquecido, com a humidade controlada e onde o ar circula com elevada velocidade ao longo da superfície da madeira (Figura 9). Para a secagem inicial são usadas temperaturas entre os 38 °C e 54 °C, sendo que as temperaturas finais de secagem variam entre os 66 °C e 93 °C (Denig *et al.*, 2000). Segundo os mesmos autores a velocidade do ar para espécies de folhosas deverá ser de 1 a 3 m/s, sendo que menores velocidades estão aconselhados para espécies de difícil secagem, como é o caso do eucalipto. Portage *et al.* (1999) estudaram o efeito de diferentes velocidades do ar na secagem de madeira de folhosas (0.05 m/s, 0.5 m/s e 2.0 m/s) e verificando que o efeito da velocidade do ar mais elevado provocou uma diminuição de 40 % no tempo total de secagem.

Tomaselli (1984) considera a secagem em secador (Figura 11), um processo mais regulável e rápido. Vázquez *et al.* (2002) afirmam que se expusermos madeira adulta de eucalipto com dimensões de 250 x 10 x 3,2 cm em estufa, às condições de 27 °C, humidade relativa de 80% e velocidade do ar de 1 m/s, esta seca de 65% a 30% de teor de água num período de 15 dias. O controlo da humidade relativa do ar e da humidade de equilíbrio dentro da estufa deveram ser controlados periodicamente para que se evitem defeitos durante a secagem.



Figura 11 – Em cima: Secador industrial (Cortesía: Volgger OHG); Em baixo: Pilha de secagem de eucalipto em secador solar (Fonte: Santos, 2013).

Estudos realizados num secador solar no LNEG permitiram uma qualidade final da madeira de eucalipto exceccionalmente elevada (INETI, 2008). Esta secagem é caracterizada por ser uma secagem descontínua, de baixo custo energético e com um tempo de secagem intermédio entre a secagem artificial e a secagem ao ar. Na Figura 11 mostra-se o condicionamento físico da madeira feito através de cintas ajustáveis.

A secagem em vácuo tem como principal característica a redução da temperatura de ebulição da água quando submetida a pressões abaixo da pressão ambiente. A redução da pressão no interior do secador permite taxas de secagem razoáveis a baixas temperaturas, o que pode ser vantajoso na secagem de madeiras espessas ou suscetíveis a defeitos como rachaduras superficiais, colapso e rachaduras internas (Smith *et al.*, 1994). O isolamento térmico é um aspeto importante neste método de secagem, uma vez que a transmissão de calor é difícil sob pressão reduzida. Os equipamentos complementares deste tipo de secagem são: a bomba de vácuo, que reduz a pressão dentro da câmara de secagem, e o condensador, que retira do sistema a água que é evaporada da madeira (Smith *et al.*, 1994). Embora a evolução nos equipamentos tenha reduzido o consumo de energia sem alterar a

eficiência do secador (Smith *et al.*, 1994), o investimento inicial elevado e o custo da energia elétrica gasta durante o processo ainda são fatores limitantes para a popularização do método. Na (Figura 12) mostra-se o secador de vácuo laboratorial utilizados nos ensaios experimentais desta dissertação.



Figura 12 – Sistema de vácuo. (Fonte: Santos, 2013)

Lianbai (2007) realça ainda que a tecnologia de secagem a vácuo está ainda restrita aos casos em que a madeira tem um valor comercial elevado, uma vez se tratar de um método caro. A principal vantagem do método de secagem por vácuo é derivada da redução da duração da secagem entre 3 a 6 vezes, permitindo também a secagem de madeiras de grande espessura (AIMMP, 2013).

A utilização do método de secagem ao ar de madeira serrada, nos países desenvolvidos, foi muito reduzida e este método foi substituído por métodos mais eficientes como os de secagem em estufas controladas, como ilustrado por Sandqvist (1984) e Esping (1992). A título exemplificativo, e de acordo com Esping (1992), a quantidade de madeira serrada que foi seca ao ar na Suécia em 1973 era de 4,0 milhões de m³ (30,1% do total de madeira serrada) e em 1990 de 1,1 milhões de m³ (9,3% do total de madeira serrada).

A utilização combinada de secagem natural e secagem artificial pode ser uma eficaz alternativa com vista ao aumento a utilização adequada de madeira serrada e da eficiência a nível económico de determinada empresa (Bekele, 1995). O mesmo autor salienta, ainda, que a secagem ao ar não deve ser posta de parte uma vez que reduz significativamente o aparecimento de fendas à superfície da madeira juvenil de *E. globulus*. No entanto nestes casos, o empeno em hélice e em meia cana aumentam significativamente.

Priest *et al.* (1982) fizeram um estudo com três métodos de secagem de madeiras (secagem completa em estufa, secagem ao ar e secagem em estufa combinada e secagem completa ao ar) com tábuas de 25 mm de espessura de *E. grandis* secas do estado verde até 10% de teor de água. Estes autores

observaram que o método de secagem completa ao ar era o mais barato. A secagem combinada foi preferida uma vez que se tornou o teor de água em cada uma das peças mais uniforme. Gough (1981) e Várquez *et al.* (2002) também verificaram que o método mais eficaz combinava a secagem ao ar da madeira (até aos 20-25% de teor de água) seguindo-se de secagem em estufa.

O processo de secagem implementado na Europa combina a realização sequencial de uma secagem ao ar e em estufa. O ciclo de secagem ao ar tem a duração de 5-7 meses e a secagem em estufa demora cerca de 25-30 dias (Vázquez *et al.*, 2002). É importante referir que estes são tempos médios uma vez que dependem muito de todos os fatores referidos no tópico 1.5.2.

1.5.4. Retração da madeira e defeitos de secagem

As perdas em valor e volume resultantes de defeitos que se desenvolvem na madeira durante a secagem podem inviabilizar todo um processo industrial. Os defeitos da secagem ao ar podem ter causas químicas (manchas ou descoloração), bióticas (provocada por fungos, insetos, etc.) ou mecânicas. Os defeitos da secagem em estufa e vácuo geralmente devem-se a causas mecânicas (Simpson, 1999).

Abaixo do PSF, a perda de água por secagem determina a retração das paredes celulares e, conseqüentemente, a redução das dimensões de um provete de madeira (Blakemore *et al.*, 2009). A retração das peças de madeira, durante a secagem, varia muito de acordo com as espécies e a orientação das fibras na peça (Simpson *et al.*, 1999). Podemos definir por retração linear o quociente, expresso em percentagem, da variação do comprimento de um determinado segmento do provete. Consideramos então a retração axial, a retração radial (redução no tamanho paralela aos raios da madeira) e a retração tangencial (redução no tamanho, paralela ao crescimento dos anéis de crescimento). A retração linear é total quando uma determinada peça varia de dimensão desde o PSF até ao estado seco (Martins, 2010).

A retração volumétrica de um provete é o quociente, expresso em percentagem, da variação do seu volume devida à perda de água, e considera-se retração volumétrica total a retração volumétrica correspondente à diminuição da humidade desde a saturação até 0% de teor de água (Martin, 2010).

Finalmente o autor considera por coeficiente de retração volumétrica e coeficiente de retração linear (axial, tangencial e radial) a variação dimensional correspondente à diminuição de 1% do teor de água da madeira, avaliável para valores abaixo do PSF, uma vez que como já vimos, abaixo deste valor a variação dimensional é diretamente proporcional à perda de água. Na Figura 13 é feita a comparação dos dois tipos de retração: (i) retração linear (axial, radial e tangencial) e (ii) retração volumétrica.

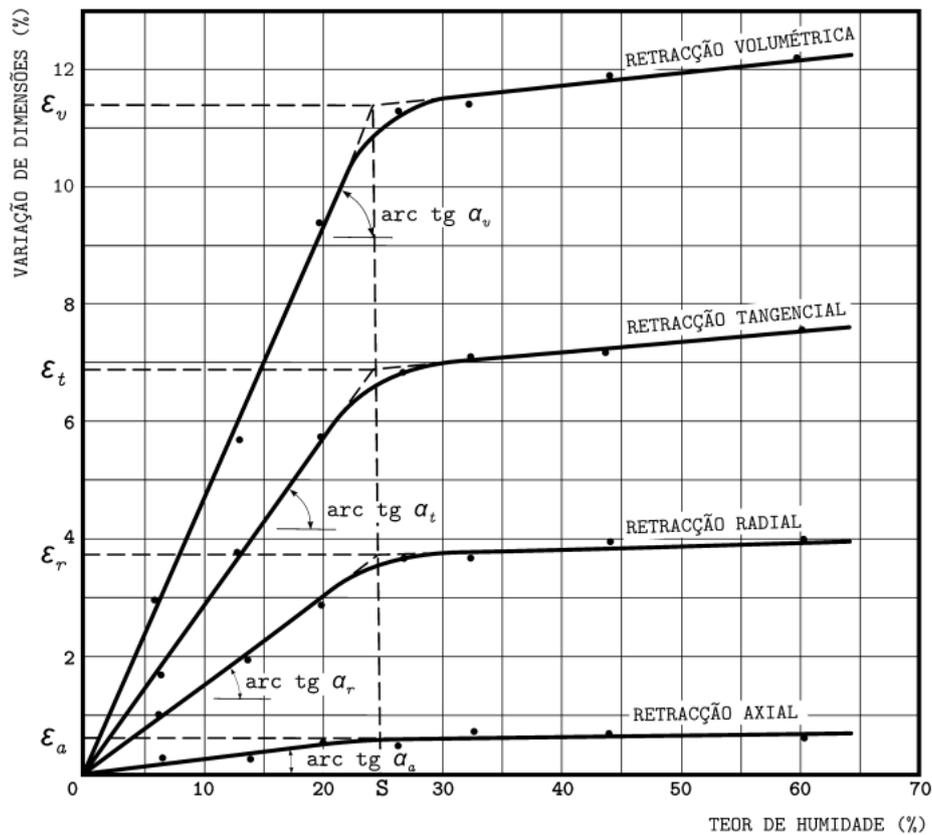


Figura 13 – Diagrama de retracção (Fonte: Martins, 2010).

Quando queremos estudar a retracção de uma peça de madeira, é insuficiente considerar apenas a retracção volumétrica para compreender e atuar tecnicamente de modo a minimizar os problemas que este tem sobre a madeira. O mais importante é saber a relação que existe entre as três retracções lineares, dada a anisotropia do material (Figura 14).

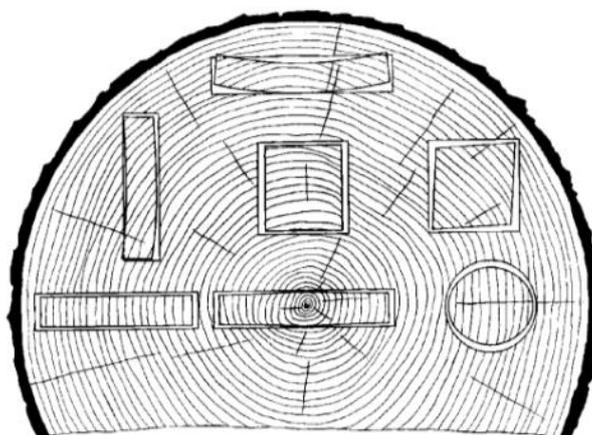


Figura 14 - Comportamento físico sofrido pela madeira devido a anisotropia após a secagem (Fonte: Denig *et al.*, 2000).

A retracção axial mostra-se assim muito pequena e insignificante quando comparada com as outras – 0,1% a 0,2% da dimensão da madeira em verde (Simpson *et al.*, 1999). No entanto esta percentagem

para madeira juvenil pode aumentar significativamente (não deixando, contudo, de ser um valor baixo). A retração tangencial, por sua vez, tem o valor mais alto sendo 1,5 a 2 vezes maior que a retração radial. Serão estas diferenças entre as retrações lineares que explicam os defeitos que ocorrem durante a secagem (Martins, 2010).

Contudo, certas anomalias estruturais, por exemplo os denominados lenhos de tração têm valores de retração axial anormalmente elevados, superiores inclusive às retrações transversais, donde podem ocorrer deformações longitudinais das peças de madeira, como é o exemplo do empeno em arco, de face ou de canto (Martins, 2010). Quanto menor é o quociente entre a retração tangencial e a retração radial, menor é a tendência para a deformabilidade transversal das peças.

Um dos maiores problemas das indústrias de serração, carpintaria e mobiliário, relacionam-se com o processo de secagem da madeira, nomeadamente com a ocorrência de defeitos, distorções, manchas e fendas resultantes desta operação de transformação (Figura 15).

Embora seja normal, como já vimos anteriormente, que a variação de dimensões determine a tendência para algumas deformações, é a má condução da operação de secagem que causa os principais e mais graves defeitos, com sejam, o aparecimento de fendas, colapso e fortes deformações (Santos *et al.*, 2010). Segundo os mesmos autores, quando falamos em defeitos, uma medida de emergência poderá passar por humificar ou menos molhar abundantemente as madeiras sempre que se observem pequenas fendas superficiais.

A secagem apesar de ser uma operação necessária e vantajosa para o bom comportamento final de uma madeira pode, se for incorretamente conduzida, levar ao aparecimento de gradientes de humidade, colapso, fendas internas, tensões internas e empenos.

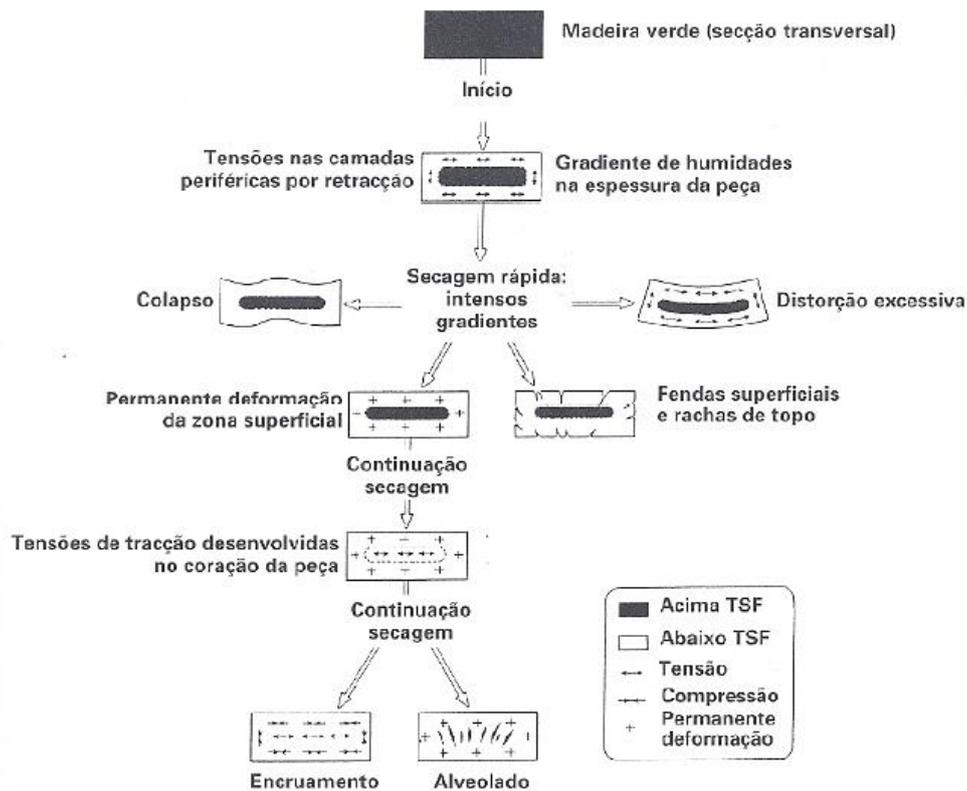


Figura 15 – Diferentes defeitos resultantes da secagem de peças de madeira (Fonte: Graça, 2010)

O colapso ainda não está totalmente descrito por especialistas em madeira (Furniture, 2008). Segundo Santos (2005) o colapso é um defeito caracterizado por um esmagamento das células em certas zonas da peça de madeira, em que a superfície apresenta um aspeto rugoso ou ondulado nas régua de corte radial, e em casos extremos, grandes fendas internas (em particular nas peças de corte tangencial). O colapso sem fendas internas pode ser recuperado através do processo de recondicionamento por vapor.

As fendas superficiais aparecem por vezes a meio da secagem e desaparecem ou tornam-se invisíveis no final da mesma. A sua ocorrência significa que houve uma condução incorreta do ciclo de secagem, isto é, que houve secagem demasiado rápida nas primeiras fases do processo (Santos, 2005). Se as fendas superficiais não forem muito profundas desaparecem nas operações de transformação mecânica das superfícies.

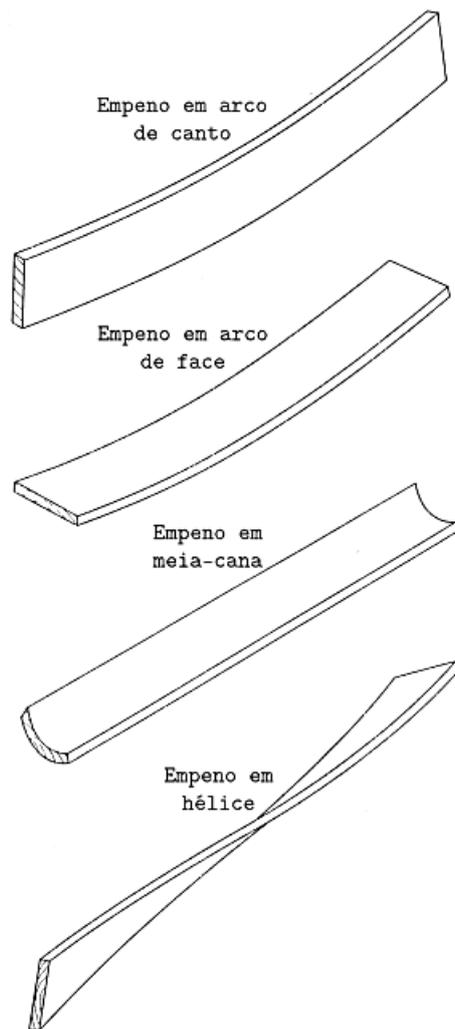


Figura 16 – Tipos de empenos (Fonte: Martins, 2010).

Santos (2005) afirma que as fendas internas surgem geralmente associadas ao colapso, e são defeitos que inutilizam a madeira para possíveis usos. Nem sempre é possível a observação destas a partir da superfície, sendo apenas detetáveis após o corte das peças. Quando se observa um forte colapso, deve-se suspeitar de fendas internas ou retrações tangenciais elevadas, sobretudo nas peças de maior espessura.

Um dos piores defeitos da madeira são as tensões internas que deformam completamente a madeira nas operações de transformação mecânica, causando, geralmente um grande desperdício de material. As tensões internas apenas podem ser evitadas utilizando um programa de secagem apropriado, ou reparadas posteriormente através de tratamento adequado de inversão de tensões (Santos, 2005).

Por fim, define-se por empeno qualquer distorção da peça da madeira em relação aos planos originais da sua superfície. Deste modo podemos destacar quatro tipos de empenos: em arco de canto, em arco de face, em meia-cana e em hélice (Figura 16).

Para além das avaliações visuais que geralmente se fazem às peças de madeira após secagem, o teste do garfo ou teste de Prong é um dos testes mais utilizados para determinar se uma madeira está em stress (Figura 17). Segundo Furniture (2008) para realizar este teste, geralmente faz-se um corte no provete no sentido do fio da madeira entre 10 a 15 cm a partir do topo. Se houver stress os garfos movem-se. Se os garfos se movem para dentro quer dizer que a peça tem uma maior quantidade de água no interior comparativamente à quantidade na superfície (Figura 17A). Se pelo contrário os garfos se movem para fora quer dizer que a peça tem uma maior quantidade e água à superfície (Figura 17B).

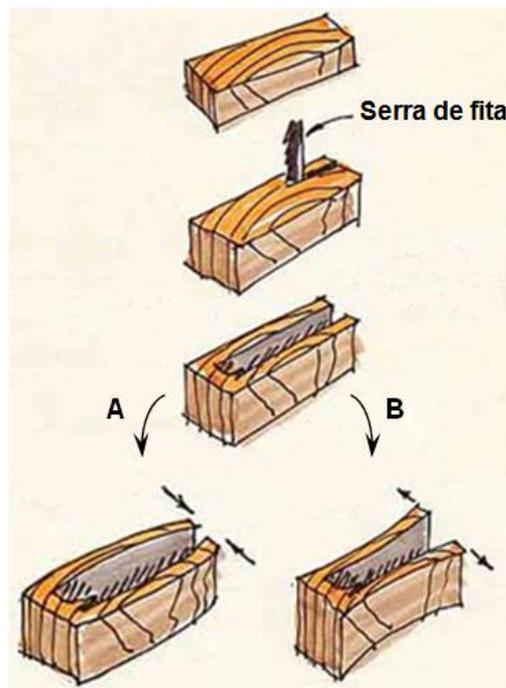


Figura 17 - Teste do garfo ou de Prong. **A** – Garfos movem-se para dentro; **B** – Garfos movem-se para fora. (Fonte: Adaptado de Furniture, 2005)

No que se refere à avaliação da qualidade de secagem, destaca-se a norma EN 14298:2004 (Norma Europeia para madeira serrada e avaliação da qualidade de serragem) que tem como objetivo definir qualidade da operação de secagem, tendo em atenção um valor de teor de água final desejado entre 7 % e 18%, para madeira serrada de espessuras inferiores a 100 mm. Na aplicação desta norma são avaliados dois parâmetros: teor de água e tensões internas. É importante contudo referir que esta norma não define nem quantifica os parâmetros importantes para definir uma secagem de elevada qualidade.

1.5.5. Vantagens vs. custos do processo de secagem

Uma vez aceite a ideia que o processo de secagem tem uma importância decisiva para as indústrias de madeira, é importante salientar as suas vantagens. Podemos, assim, enumerar as seguintes vantagens relativas ao processo de secagem (Galvão *et al.*, 1985; Ponce *et al.*, 1985; Simpson *et al.*, 1999):

- i. Redução do peso do material reduzindo-se, por conseguinte, o transporte e os custos de manutenção;
- ii. Garantia que qualquer retração ocorre durante a secagem, evitando que a mesma dê lugar em produtos finais;
- iii. Aumentado das propriedades - resistência mecânica da madeira;
- iv. Eficácia na utilização de outros componentes (pregos, parafusos, etc.);
- v. Eficácia na aplicação de diversos produtos de acabamento e de preservação (conservantes, colas, tintas, etc.);
- vi. Redução da probabilidade de deterioração e coloração das peças;
- vii. Aumento da eficiência das propriedades térmicas (maior isolamento);
- viii. Melhoria das características de acabamento das peças.

A desvantagem do processo prende-se sobretudo, como já foi dito anteriormente, com possíveis defeitos que se vão observando durante a secagem.

A secagem tem custos elevados, tanto em investimentos em equipamentos, como na exigência de qualificação do pessoal envolvido. Devem-se ainda considerar os consumos de energia e custos de imobilização de stocks (tempo de secagem), sendo que, para uma produção de qualidade não há uma alternativa de secagem definida como sendo "a melhor". A forma de abordagem mais evidente para ponderar as vantagens vs. custos da secagem é fazer um raciocínio baseado nos "custos da não qualidade". Ponderar quanto custa perder clientes, quanto custa satisfazer reclamações, quanto custa as peças rejeitadas na classificação da qualidade, etc.

1.6. Secagem de madeira de eucalipto

Como já foi referido anteriormente, a industrialização, em alguns países, de madeira de eucalipto para a produção de móveis, por exemplo, tornou-se economicamente inviável devido ao grande volume de perdas em madeira durante as operações de processamento, originando baixíssimos rendimentos em madeira serrada e produtos derivados (Mendes *et al.*, 1996). Uma das maiores fontes de perdas é observado durante a secagem de madeira, podendo mesmo levar até à perda total de matéria-prima (Mendes *et al.*, 1997).

Devido às características da madeira de eucalipto a sua secagem deverá ser, sempre que possível, executada em condições suaves tanto de temperatura como de humidade relativa do ar, a fim de proporcionar uma secagem mais lenta, para que a quantidade de defeitos seja a menor possível (Wengert, 1985; Vermaas, 1989). Condições mais agressivas de secagem irão causar certamente defeitos e perda de madeira.

Geralmente aumento da temperatura de secagem provoca um aumento na incidência de colapso e de fendas em favo de mel. Por sua vez, a redução da humidade relativa do ar ou uma velocidade de secagem acima da recomendada causará uma rápida secagem na superfície da peça, resultando em fendas superficiais, aumento na probabilidade de incidência de colapso e um acentuado gradiente de humidade entre a superfície e o interior da peça (Campbell *et al.*, 1984).

Após a madeira ter perdido a totalidade da água 'livre', isto é, quando o teor de água está próximo ao PSF, as condições de secagem podem ser mais "drásticas". Incrementos na temperatura e decréscimos na humidade relativa do ar permitem aumentar a taxa de secagem sem ocasionar maior incidência de defeitos. Por sua vez, o condicionamento das peças de eucalipto no final do processo (ou quando o teor de água estiver entre 15 e 20%) permitirá a recuperação de parte da madeira colapsada e o relaxamento das tensões residuais da secagem (Campbell *et al.*, 1984).

Em suma, o eucalipto é uma espécie que apresenta uma secagem lenta e difícil, devido sobretudo à sua permeabilidade reduzida (Neumann *et al.*, 1992; Vermaas, 1995; Simpson, 1996; Martins *et al.*, 2001; Santos, 2002 e Jankowsky *et al.*, 2003) e elevada retração tangencial e colapso (Neumann *et al.*, 1992).

Andrade (2000) salienta que a adoção de um programa de secagem mais drástico implica em redução do padrão de qualidade da madeira seca de eucalipto, pelo aumento na incidência de defeitos de secagem e Zobel (1989) considera que a madeira de eucalipto, em geral, é propenso a entrar em colapso e encolhimento quando cultivada em rotação curta.

Embora o eucalipto seja uma espécie muito suscetível a colapso (Campbell *et al.*, 1984; Skolmen *et al.*, 1990; Neumann *et al.*, 1992; Quintanar-Olguin, 1999; Washusen *et al.*, 2001), a sua propensão de ocorrência ainda é bem compreendida. Blakemore *et al.* (2009) sugerem que o *E. globulus* é propenso a colapso, contudo não indicam se as tensões da madeira estão ligadas a essa mesma observação.

Para os autores, a melhor maneira de avaliar a propensão ao colapso é observando a ocorrência de fendas internas, assim, como a sua gravidade.

Campbell *et al.* (1984), Cavalcante (1991), Simpson (1991), Rozas Mellado (1993) e Severo (1998) constataram que o colapso está diretamente associado com as altas temperaturas no início da secagem. No caso da secagem da madeira de eucalipto em estufa, vários autores recomendam sempre iniciar a secagem com temperaturas inferiores a 45 °C mantendo estas temperaturas até que toda a água livre seja removida da madeira (Hartley *et al.*, 1990; Severo, 1998; Innes, 1995 e Vermaas, 1995). Colenego *et al.* (2004) defende ainda que o processo de vaporização inicial dos toros, antes da secagem das peças, permite a diminuição da ocorrência de todos os defeitos de secagem.

Innes *et al.* (2008) estudaram árvores com 13 e 19 anos a partir da secagem de tábuas (Quadro 4). Após secagem a 40 cm dos topos verificaram que 87-92% do material não apresentava fendas internas visíveis. Os autores face a estes resultados concluem que o fendimento interno é um dos problemas menores na secagem de eucalipto.

A madeira originária de plantações geridas nas quais ocorrem desbastes e podas são menos propensas à ocorrência de fendas internas (Washusen *et al.*, 2004 e Washusen *et al.*, 2009). Estes autores, através da comparação de madeiras da mesma idade de zonas geridas e não geridas, concluíram que as primeiras apresentavam menos fendas internas que as segundas. Segundo Neumann *et al.* (1992), tal como acontece para o colapso, existe também redução do fendimento se as temperaturas iniciais de secagem forem baixas (preferencialmente abaixo dos 30°C). Tratamentos com humidades elevadas e temperaturas baixas reduzem consideravelmente as fendas em forma de favo de mel.

Quadro 4 - Estudo de Innes *et al.* (2008), onde se avaliou a propensão a fendas internas após secagem de tábuas de *E. globulus*.

Idade das árvores	Total de provetes em estudo	Sem fendas	Fendas mínimas	Fendas moderadas	Fendas pesadas
19 anos	75	92%	8%	0%	0%
13 anos	302	87%	11%	3%	0%

Hansmann *et al.* (2008) estudaram a secagem por vácuo de 26 tábuas de *E. globulus* no estado verde (teor de água superior a 86%) com as dimensões de 130 x 10 x 3,2 cm (material com idade desconhecida), e verificaram que este processo contribuiu eficazmente para a secagem do material. O estudo verificou ainda que a qualidade de secagem alcançada foi elevada, para além da grande vantagem de redução dos tempos de secagem. Algumas tábuas apresentaram defeitos de secagem, nomeadamente colapso e fendas superficiais.

Por fim, no Quadro 5 é apresentada uma síntese das vantagens e desvantagens da utilização de madeira de eucalipto sempre com vista à sua utilização como madeira maciça (Santos, 1998).

Quadro 5 – Resumo das potencialidades da madeira de eucalipto através da análise das vantagens e desvantagens do seu uso (Santos, 1998).

Vantagens	Desvantagens
Madeira de rápido crescimento	Deformações durante e após a serragem devido a tensões de crescimento
Madeira dura e resistente mecanicamente	Secagem difícil, demorada e com perigo de aparecimento de defeitos
Bom aspeto estético/Possibilidade de bons acabamentos	Valores elevados de retração
Poucos nós e de pequena dimensão	Fraca estabilidade dimensional
Potencialidades para substituição de algumas espécies exóticas importadas	Longo tempo para atingir as condições de equilíbrio de humidade

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisadas várias amostras de madeira juvenil de *E. globulus* provenientes de um povoamento localizado no Instituto Superior de Agronomia (ISA), Universidade de Lisboa, sito na Tapada da Ajuda, Lisboa. As árvores estudadas tinham 5 anos de idade e encontravam-se no campo BIOENERGISA, numa parcela de 30 m² e em um compasso 1x1. O BIOENERGISA é um campo de divulgação inserido no ISA, que visa a sensibilização e a experiência pedagógica sobre plantas que podem vir a ser utilizadas na produção de energia. Os exemplares foram cedidos pelos viveiros da Altri.

Tendo em conta o objetivo desta tese, subdividiu-se o trabalho prático em diferentes ensaios, para que fosse possível avaliar diferentes condições de secagem no que se refere à influência do afastamento aos topos, à espessura dos provetes, ao tipo de método de secagem utilizado e ao condicionamento físico das peças (utilização de pesos e grampos de aperto).

Todos os toros utilizados ao longo deste trabalho tinham um comprimento aproximado de cerca de 2 m e cada uma das extremidades dos toros encontrava-se isolada com silicone (aplicado imediatamente após o abate) com vista a evitar/retardar a secagem dos mesmos. Durante o corte dos toros, foi necessário improvisar um método de suporte (Figura 18) tendo em conta a dificuldade de corte de toros de pequeno diâmetro numa serra de fita de mesa.



Figura 18 - Sistema de suporte de toros improvisado, com vista a ultrapassar a dificuldade de abertura de toros de pequeno diâmetro.

2.1. Primeiro ensaio – Metodologia geral de ensaio de secagem

O primeiro ensaio consistiu na secagem de provetes com dimensões de 70 x 3,5 x 3,0 cm, durante 124 dias. No primeiro dia recorreu-se a uma serra de fita (Anexo 1A) para obter diferentes provetes através do corte de um toro com 15 cm de diâmetro. Utilizaram-se quatro suportes de madeira que ajudaram no posicionamento do toro, impedindo a sua rotação e permitindo a abertura a meio diâmetro. Deu-se, em seguida, lugar ao corte dos provetes (Figura 19).

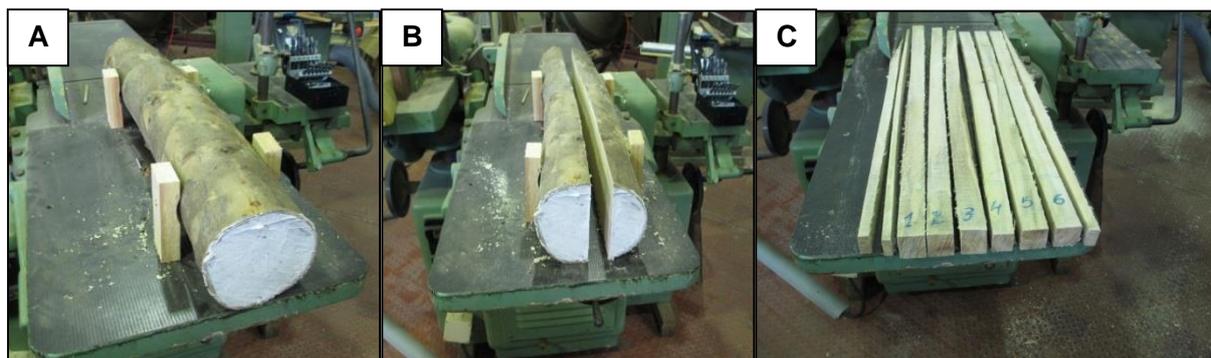


Figura 19 – Da esquerda para a direita: (A) Utilização de suportes para a estabilização do toro aquando o corte do mesmo; (B) Corte do toro ao meio; (C) Provetes obtidos do corte do toro, tendo sido apenas aproveitados seis provetes para o ensaio em questão.

A Figura 20 mostra o esquema de corte do ensaio 1 a partir do qual foram obtidos os provetes bem como a sua inserção no toro.

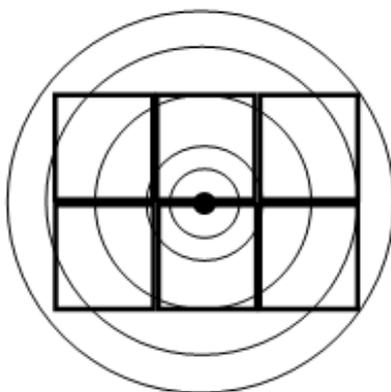


Figura 20 - Esquema de corte e inserção dos provetes no toro do ensaio 1.

Com este ensaio pretendia-se estudar a variação do teor em água ao longo do período de secagem fazendo uma avaliação da velocidade de secagem na direção paralela às fibras e perpendicular às fibras. Deste modo, em cada um dos seis provetes selecionados foram colocadas sondas (s1 a s9) para avaliar a variação local do teor em água da madeira ao longo do processo de secagem em função do seu afastamento do topo. No provete 1 colocaram-se 4 sondas (s1, s2, s3 e s4) a uma profundidade de 0,8 mm; espaçadas 10 cm e com uma margem inicial de 2 cm (Figura 21a). Este estudo permitiu avaliar a velocidade de secagem ao longo do provete. As restantes sondas foram distribuídas pelos

outros cinco provetes, tendo sido colocadas a uma profundidade de 15 mm (aproximadamente no interior de cada peça) e com uma margem inicial de 30 cm (Figura 21b). Cabe ainda ressaltar que o provete 1 continha maioritariamente borne comparativamente aos outros provetes (2, 3, 4, 5 e 6) que eram constituídos sobretudo por cerne.

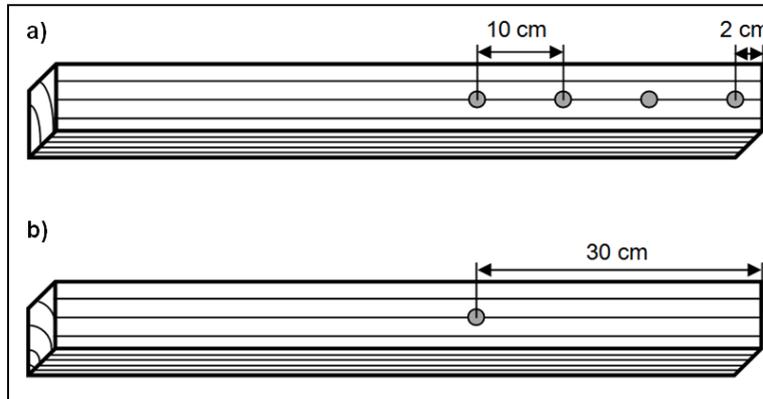


Figura 21 – Método para colocação das sondas – a) Método de colocação das 4 sondas no provete 1 (s1, s2, s3 e s4) a uma profundidade de 8 mm; b) Método de colocação das sondas nos provetes 2, 3, 4, 5 e 6 (respetivamente s5, s6, s7, s8 e s9) a uma profundidade de 15 mm.

Os 6 provetes em estudo foram colocados em pilha, a 5 cm do chão e todos separados entre si por provetes de madeira, condicionados mecanicamente por um peso total de 60 kg, procedendo-se assim a uma secagem ao ar. Ao longo dos 124 dias deste ensaio os provetes foram constantemente pesados numa balança de precisão (Anexo 1B) e medidos os seus teores de humidade com o auxílio de um medidor elétrico de teor em água nos locais assinalados na Figura 21 e como mostra a Figura 22 (Anexo 1C).



Figura 22 – Medição do teor de água dos provetes – Método elétrico.

Das sobras obtidas do corte dos provetes principais fizeram-se três provetes-teste (H1, H2 e H3) para a determinação do teor de água inicial. Estes provetes foram pesados e colocados numa estufa de bancada c/ ventilação (Anexo 1D) a 25 °C durante 4 dias, seguidos de 4 dias a 100 °C. Findo este tempo, deu-se por terminado o teste uma vez que os provetes já não apresentavam alterações de massa. Importa referir que durante o processo de secagem dos provetes-teste se realizaram duas pesagens intermédias.

2.2. Segundo ensaio – Secagem de provetes homogéneos/Ensaio dimensionais

Neste ensaio estudou-se a variação dimensional de provetes com dimensão inicial de 74 x 3,8 x 3,8 cm ao longo do período de secagem. Como no ensaio anterior, procedeu-se ao corte dos provetes (proвете 7, 8, 9 e 10), utilizando-se o mesmo método de corte (Figura 23). De seguida, procedeu-se ao aplainamento e desengrossamento dos provetes, utilizando-se para isso uma máquina universal e uma desengrossadora (Anexo 1E e 1F), respetivamente Figura 24A e 24B. Utilizou-se ainda uma serra circular (Anexo 1G) para o aperfeiçoamento final dos provetes.



Figura 23 - Provetes em estudo no ensaio 2.

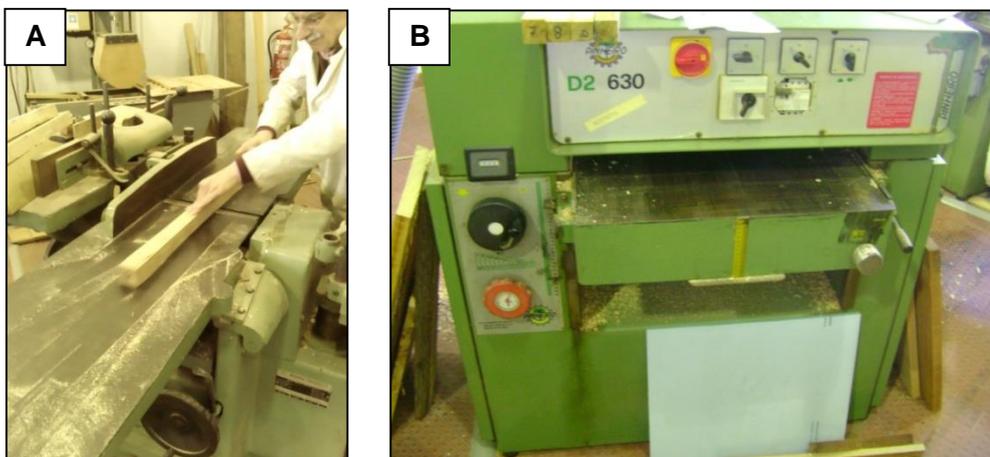


Figura 24 – A) Aplainamento; e B) desengrossamento dos provetes 7, 8, 9 e 10.

Na Figura 25 é possível ver o esquema de corte do ensaio 2 a partir do qual foram obtidos os provetes bem como a sua inserção no toro com 15 cm de diâmetro.

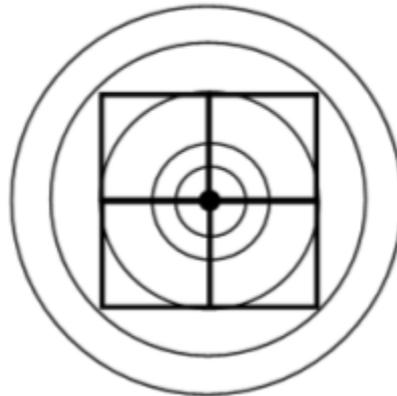


Figura 25 - Esquema de corte e inserção dos provetes no toro do ensaio 2.

Foram colocadas sondas em cada um dos provetes (s10, s11, s12 e s13 no provete 7, 8, 9 e 10, respetivamente), com uma margem inicial de 30 cm e com uma profundidade de 15 mm, para a avaliação do teor de humidade. Por fim, em cada um dos provetes foi marcado um local de medição das larguras e espessuras (designado por 'b' e 'h', respetivamente). É importante salientar que o segmento 'b' se encontrava no plano tangencial enquanto o segmento 'h' se encontrava no plano radial.

Foram recolhidos durante todo o período de ensaio (116 dias) dados referentes aos pesos, dimensões dos provetes (com um paquímetro) e teores de humidade, regularmente. Estes provetes foram secos ao ar e presos com o auxílio de grampos, para controlar a deformação dos mesmos durante a secagem (Figura 26).



Figura 26 – Método de secagem dos provetes 7, 8, 9 e 10.

2.3. Terceiro ensaio – Secagem de peças com furos e peças de pequena espessura

Este ensaio consistiu no corte de um toro com 18 cm de diâmetro em provetes em dois sub-ensaios. Para isso, de metade do toro retiraram-se provetes sem dimensões pré-definidas (F11, F12, F13, F15 e F16), onde foram feitos furos de 10 em 10 cm, com 5 mm de diâmetro (Figura 27), de modo a ser possível a comparação entre a rapidez de secagem deste ensaio com outros. A secagem destes provetes foi feita ao ar, sendo que apenas o provete 12F e 15F foram presos com o auxílio de grampos.

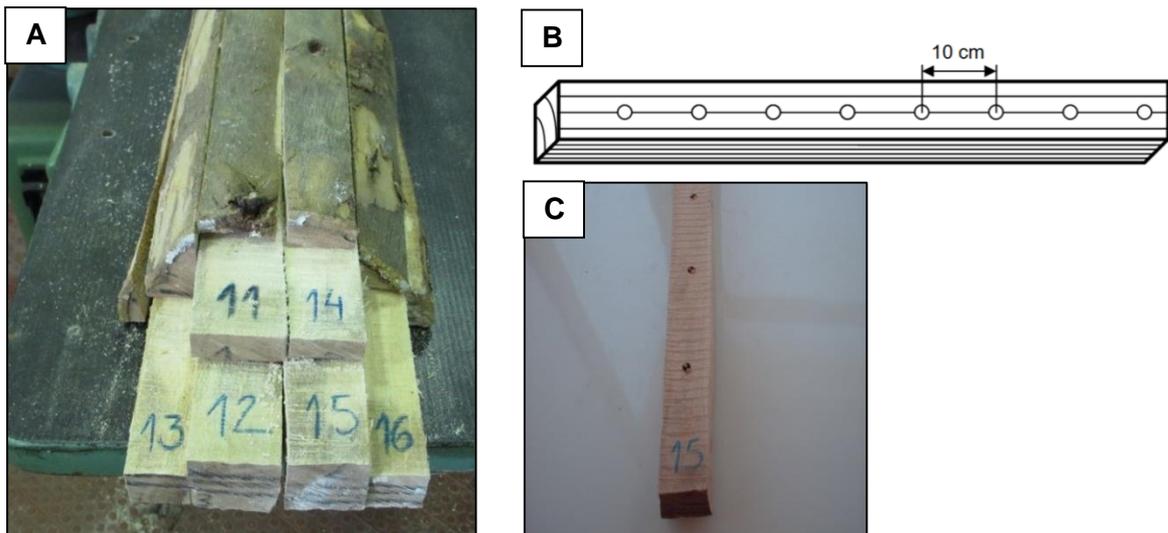


Figura 27 – (A) Aproveitamento de meio toro em 6 provetes de dimensão distinta; (B) Esquema dos furos feitos em cada provete; (C) Resultado dos furos aplicados em um dos provetes.

Da outra metade do toro foram feitas tábuas (de T1 a T9) com 1 cm de espessura (sem comprimento e largura pré-definido) com o objetivo de identificar a influência da espessura da peça aquando a secagem (Figura 28A). As peças foram secas ao ar e presas como mostra a Figura 28B, mais uma vez para garantir a estabilidade das mesmas aquando a secagem.

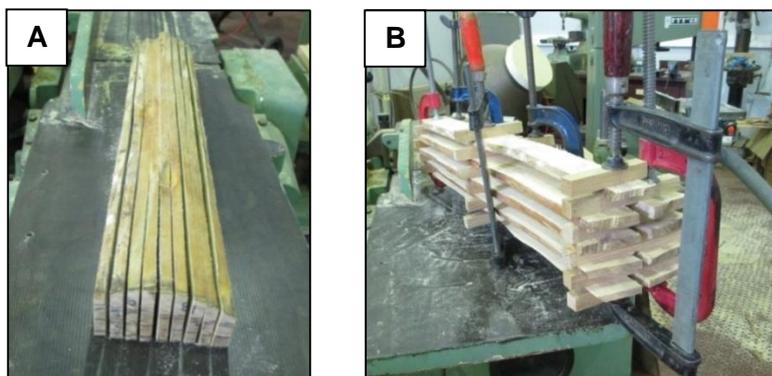


Figura 28 – (A) Tábuas obtidas para o ensaio da influência da espessura aquando a secagem; (B) Método de secagem das tábuas.

A Figura 29 apresenta o esquema de corte do ensaio 3 a partir do qual foram obtidos os provetes bem como a sua inserção no toro.

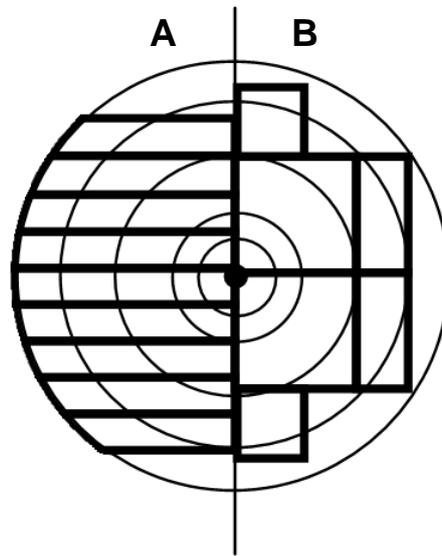


Figura 29 - Esquema de corte e inserção dos provetes no toro do ensaio 3 – (A) Ensaio 3T; (B) Ensaio 3F.

Todos os materiais em estudo foram regularmente pesados durante o período do ensaio (102 dias).

2.4. Quarto ensaio - Secagem em vácuo

Num último ensaio, submeteram-se provetes de dimensões distintas (de V1 a V10) a uma secagem por vácuo com vista a avaliar os potenciais deste tipo de secagem comparativamente à secagem ao ar. Com fim a este objetivo, utilizou-se uma câmara de vácuo com aquecimento (Anexo 1H e 1I) – Figura 30. Durante 87 dias os provetes foram submetidos a temperaturas de 80 °C (segundo esquema apresentado no Anexo 2).



Figura 30 – Sistema de vácuo laboratorial utilizado durante o ensaio 4. (Fonte: Santos, 2013)

Na fase final dos ensaios (últimos 31 dias), todos os provetes à exceção dos provetes do ensaio de secagem em vácuo foram postos num secador de madeiras semi-industrial a 60 °C (Anexo 1J), uma vez que ao ar já não se verificavam variações significativas dos pesos. A metodologia de emprego da estufa pode ser consultada no Anexo 2.

2.5. Pré-tratamento de dados

Durante o estudo dos ensaios foi necessário proceder à interpolação de determinados dados uma vez que, por condicionalismos de calendário, não foi possível recolher dados para todos os dias de programação regular de leituras. Deste modo, para um maior rigor dos resultados apresentados, utilizou-se em muitos casos a interpolação linear (Equação 2) na obtenção de alguns valores, em dias onde não foram feitas pesagens ou outras medições e que, em tempo oportuno, serão referidos.

x1	y1	(experimental)
x2	y2	(interpolado)
x3	y3	(experimental)

$$y_2 = y_1 + \frac{(y_3 - y_1)(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \quad \text{(Equação 2)}$$

Foi ainda útil, ao longo da apresentação dos resultados, a utilização do cálculo do teor de água estimado de cada um dos provetes, conseguido através dos seus pesos. Estes valores conseguem ser calculados quando existe um valor de referência do teor de água associado a uma medição elétrica na mesma data e a massa da madeira nesta mesma altura.

Começa-se por calcular o peso anidro estimado a partir do valor conhecido do teor de água por medição elétrica H % e da massa correspondente P_h (Equação 3).

$$P_{o \text{ estimado}} = \frac{P_h}{(1 + H\%)} \cdot 100 \quad \text{(Equação 3)}$$

Teoricamente, os valores de peso e de teor de água correspondentes, estão sempre compatíveis com um único valor do P_{o estimado}. No entanto, como a medição elétrica só é rigorosa para valores baixos de humidade, fez-se esta estimativa quase no fim da secagem.

Depois pode calcular-se o valor do teor de água correspondente a qualquer valor do qual se conheça o peso, através da fórmula tradicional e normalizada da medição do teor de água por pesagens.

$$H(\%) = \frac{(P_h - P_o)}{P_o} \cdot 100 \quad \text{(Equação 4)}$$

onde, H% é a estimativa do teor de água da madeira; P_h é o peso húmido do provete para o dia x; e P_o é a estimativa do peso anidro para o dia x. Teoricamente, os valores de peso e de teor de água correspondentes, devem estar sempre compatíveis com um único valor do P_{o estimado}. Mas como a medição elétrica só é rigorosa para valores baixos de humidade, a estimativa de H% faz-se quase no

fim da secagem. Em seguida, serão apresentados todos os dados que nos parecem relevantes relativamente aos quatro ensaios em estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Teor de água inicial

Através da secagem em estufa dos provetes de ensaio H1, H2 e H3 obtiveram-se os teores de água apresentados no Quadro 6. Ao 9.º dia deu-se por terminada a secagem dos provetes uma vez que estes já não apresentavam uma variação de peso significativa. Através da equação 1 foi possível calcular o teor de água de cada um dos provetes sabendo-se, assim, que o material em estudo apresentava em média um teor de água inicial de 112,5%.

Quadro 6 – Teor de água inicial médio da material em estudo.

Dias	Peso dos provetes (g)					Teor de água (%)
	1	5	7	8	9	
H1	76,9	44,6	36,2	36,1	36,1	113,1
H2	82,0	48,4	38,2	38,1	38,1	115,2
H3	82,7	48,3	39,5	39,5	39,5	109,3
					Média	112,5

3.2. Primeiro ensaio – Metodologia geral de ensaio de secagem

Os resultados das pesagens obtidas para o primeiro ensaio em estudo (do provete 1 ao 6) encontram-se sintetizados no Quadro 7. Os valores apresentados no quadro excluem os pesos das sondas utilizadas para determinação do teor de água dos provetes.

Quadro 7 – Valores referentes às pesagens dos provetes do ensaio 1 (em gramas); P1 – Provette 1, P2 – Provette 2; P3 – Provette 3; P4 – Provette 4; P5 – Provette 5; P6 – Provette 6; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.

Dias	Ensaio 1 (DI: 7 Março 2013; DF: 4 Julho 2013)					
	Metodologia geral de ensaio de secagem					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	840,02	765,44	786,24	667,00	732,70	703,28
8	648,53	582,10	576,49	495,00	538,37	505,07
15	524,23	484,68	485,50	409,08	465,73	428,37
22	480,40	442,88	450,20	375,50	430,87	397,06
29	467,32	429,80	443,51	367,07	418,74	388,49
36	457,15	418,44	432,34	359,66	403,49	378,74
43	451,47	412,70	426,99	354,58	391,25	374,76
51	441,80	403,01	416,38	345,74	387,59	365,26
65	436,23	397,92	410,84	341,37	382,70	361,11
78	434,87	396,91	409,89	340,48	381,65	360,31
92	426,21	393,79	406,39	337,71	378,69	357,49
106	423,32	386,36	399,19	331,35	371,55	350,86
120	421,23	384,29	396,97	329,60	369,58	348,97

Os valores intermédios das pesagens para os 120 dias de ensaio foram obtidos através da regra de interpolação linear e encontram-se no Anexo 3.

Os valores dos teores de água obtidos através da medição elétrica encontram-se sintetizados no Quadro 8. Neste quadro consta ainda informação relativa à distância ao topo e profundidade das sondas. No Anexo 4 encontram-se os valores intermédios que foram interpolados.

No gráfico da Figura 31A e 31B é apresentada a evolução do teor de água do provete 1 ao longo do processo de secagem para as suas quatro sondas. Esta evolução permite-nos comparar a velocidade de secagem, dadas as características de inserção das sondas no provete (distância entre si de 10 cm; distância inicial ao topo do provete de 2 cm; e profundidade de 8 mm). Pela análise do gráfico 31A é possível destacar uma fase inicial (primeiros 15 dias de ensaio) onde se observa um período de “adaptação” do provete às condições do meio. Nesta fase inicial a água do interior do provete começa a deslocar-se para a superfície do mesmo, justificando-se deste modo este patamar inicial constante. Entre o 15º dia e o 32º dia (gráfico com curvas de tendência da Figura 31B), verifica-se que quanto mais longe do topo do provete a sonda está, mais lenta é a secagem, sendo que a partir do 32º dia o provete começou a secar por igual em toda a sua dimensão.

É importante referir ainda que, embora o método elétrico não seja tão preciso para teores de água fora do intervalo 7% - 25%, o estudo revelou resultados bastante satisfatórios.

Quadro 8 - Teores de água dos provetes (em valor percentual) medidos através de um medidor elétrico, onde S – indicativo de ‘Sonda’ e DT – distância ao topo do provete.

		Sondas a uma profundidade de 1/3 da espessura (8 mm)				Sondas a uma profundidade de 1/2 da espessura (15 mm)				
		Provete 1				Provete 2	Provete 3	Provete 4	Provete 5	Provete 6
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Dias	DT	2 cm	12 cm	22 cm	32 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm
	1	65,8	65,3	65,8	65,5	65,2	65,8	65,5	65,1	65,3
	8	65,5	65,2	65,0	64,9	52,2	65,8	65,1	45,8	65,1
	15	64,9	65,2	65,0	65,1	43,0	65,3	65,2	39,6	48,6
	22	38,3	49,1	55,6	61,1	34,7	47,6	60,2	37,4	47,6
	29	31,0	31,5	34,2	35,2	26,6	42,1	36,6	33,6	32,6
	36	27,1	27,2	27,6	26,8	22,8	31,7	27,8	22,9	22,9
	43	25,3	25,2	25,6	24,9	21,2	28,6	25,2	20,2	21,6
	51	22,1	22,2	22,4	21,5	18,9	23,4	21,7	17,8	19,3
	65	20,6	20,3	20,6	19,9	17,4	21,2	19,9	15,7	17,6
	78	20,1	19,8	20,1	19,3	17,0	20,9	19,3	15,1	17,1
	92	19,2	18,9	19,0	18,6	16,3	20,0	18,6	14,5	16,5
	106	16,6	16,4	16,3	15,8	14,1	17,5	16,1	11,7	13,6
120	16,6	16,4	16,3	15,7	14,0	17,5	15,9	11,5	13,6	

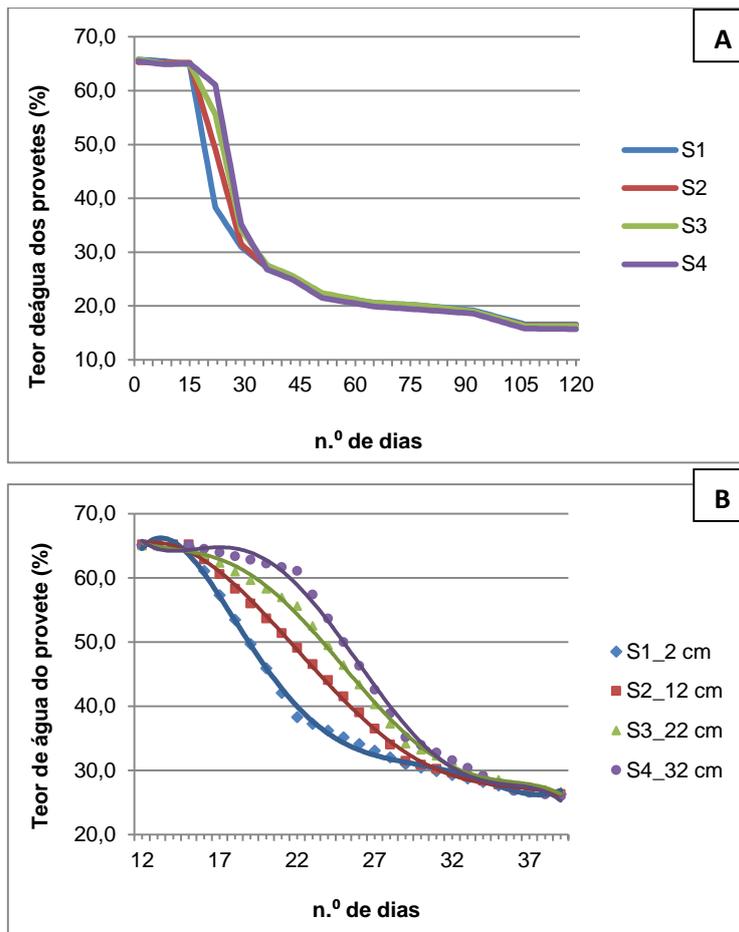


Figura 31 – Teor de água do provete 1 medido através do método elétrico. **A** - Teor de água do provete 1 ao longo dos 120 dias de ensaio; **B** - Intervalo de dias em que se verificaram maiores diferenças entre os teores de água dentro do provete.

No gráfico da Figura 32 relacionou-se o teor de água ao longo dos dias de ensaio, comparando-se o teor do provete à profundidade de 8 mm (1/3 da espessura do provete) e a média dos teores dos provetes à profundidade de 15 mm (1/2 da espessura do provete). Os dados em gráfico relativos a 1/3 da espessura dizem respeito ao teor de água obtido na sonda 4 (referente ao provete 1) para que fosse possível a comparação, uma vez que é a única a distar, aproximadamente, o mesmo valor do topo do provete (comparativamente aos provetes 2, 3, 4, 5 e 6). Observa-se no gráfico da figura 32 que a sonda 4 do provete 1 regista uma perda de valores mais acentuados do que a média obtida nas sondas dos restantes provetes. Esta observação pode ser explicada não só pelo deslocamento de água das camadas internas para as externas (este deslocamento ocorre em resposta ao gradiente causado pela perda de água à superfície dos provetes, que se encontra mais exposta às condições de secagem), como também pelo facto de o provete 1 ser maioritariamente constituído por borne ao passo que os restantes provetes são constituídos na sua maioria por cerne.

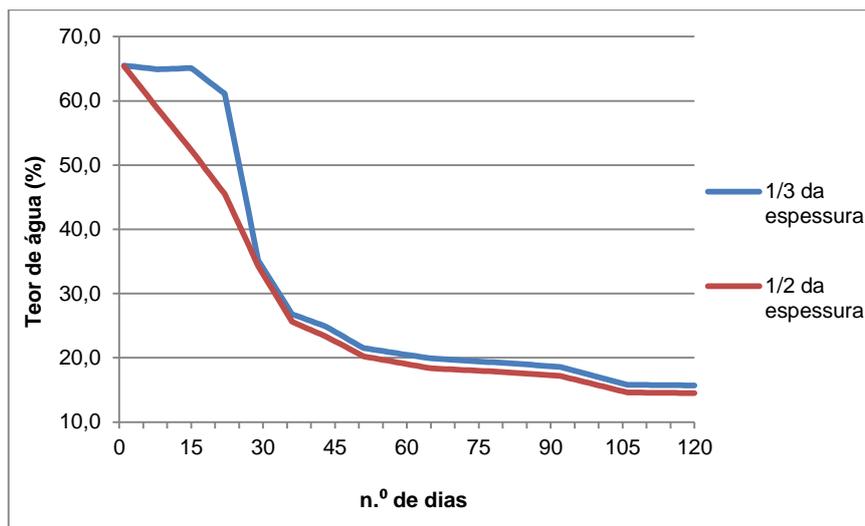


Figura 32 – Relação entre os teores de água obtidos ao longo do ensaio e a distância em profundidade das sondas nos provetes.

No Quadro 9, são apresentados os principais valores do teor de água estimados (dias em que foram feitas as pesagens). No Anexo 5 apresentam-se os valores interpolados para os 120 dias do ensaio.

O gráfico da Figura 33 apresenta a correlação entre o teor médio de água estimado dos seis provetes e os dias de ensaio. Podemos observar que inicialmente a madeira tende a perder água muito rapidamente (primeiros 15 dias de ensaio), sendo que a perda tende a ser progressivamente mais lenta à medida que chegamos ao fim do ensaio (120º dia).

Quadro 9 – Valores da estimativa do teor de água dos provetes do ensaio 1 (valores percentuais); P1 – Provete 1, P2 – Provete 2; P3 – Provete 3; P4 – Provete 4; P5 – Provete 5; P6 – Provete 6; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.

Ensaio 1 (DI: 7 Março 2013; DF: 4 Julho 2013)						
Dias	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	131,83	127,07	132,72	134,54	121,05	128,94
8	78,98	72,68	70,64	74,06	62,42	64,42
15	44,68	43,78	43,70	43,85	40,51	39,45
22	32,58	31,38	33,26	32,04	29,99	29,25
29	28,97	27,50	31,28	29,08	26,33	26,46
36	26,16	24,13	27,97	26,47	21,73	23,29
43	24,60	22,43	26,39	24,68	18,04	22,00
51	21,93	19,55	23,25	21,58	16,93	18,90
65	20,39	18,04	21,61	20,04	15,46	17,55
78	20,01	17,74	21,32	19,73	15,14	17,29
92	17,62	16,82	20,29	18,75	14,25	16,37
106	16,83	14,61	18,16	16,52	12,09	14,22
120	16,25	14,00	17,50	15,90	11,50	13,60

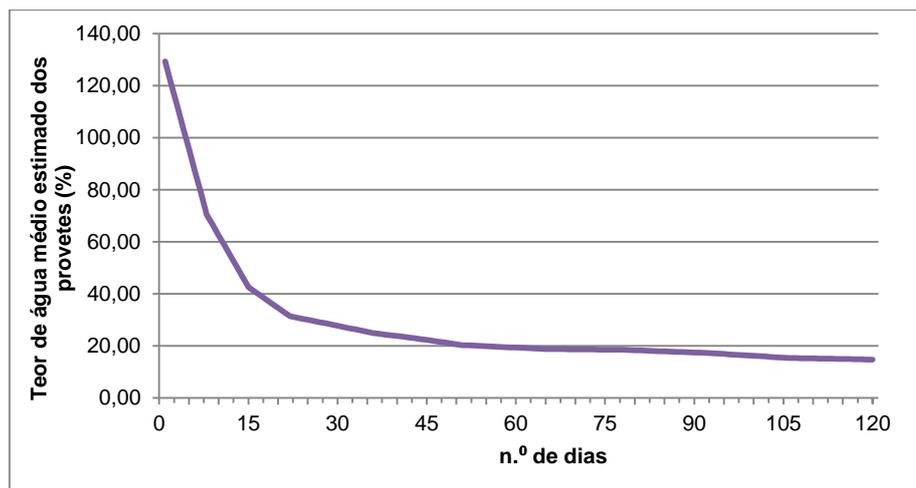


Figura 33 – Relação entre teor de água médio estimado dos provetes com o número de dias de secagem, para o ensaio 1.

3.3. Segundo ensaio – Secagem de provetes homogêneos/Ensaio dimensionais

Os resultados das pesagens dos 113 dias deste ensaio encontram-se agrupados no Quadro 10. No Anexo 6 temos o cálculo para os dias intermédios do ensaio através de interpolação.

Quadro 10 - Valores referentes às pesagens dos provetes do ensaio 2 (em gramas); P7 – Provetete 7, P8 – Provetete 8; P9 – Provetete 9; P10 – Provetete 10; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.

Ensaio 2 (DI: 14 Março 2013; DF: 4 Julho 2013)				
Secagem de provetes homogêneos				
Dias	P7	P8	P9	P10
1	1107,30	1092,10	1045,77	1110,92
8	829,25	801,97	800,44	855,52
15	725,80	698,62	677,37	738,75
22	678,41	646,49	623,53	673,83
29	644,91	613,92	583,11	626,98
36	627,06	596,89	562,74	599,40
44	608,10	579,75	545,70	578,02
58	597,99	570,36	536,73	567,82
71	595,71	568,47	534,88	565,66
85	588,63	564,91	530,27	561,96
99	581,08	554,77	521,25	551,60
113	577,66	551,65	518,35	548,13

No Quadro 11 são apresentados os valores da estimativa do teor de água dos provetes do ensaio 2 (através da utilização das equações 2 e 3) e em Anexo 7 encontra-se a tabela interpolada para os 113 dias de ensaio.

Quadro 11 - Valores da estimativa do teor de água dos provetes do ensaio 2 (valores percentuais); P7 – Provette 7, P8 – Provete 8; P9 – Provete 9; P10 – Provete 10; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.

Ensaio 2 (DI: 14 Março 2013; DF: 4 Julho 2013)				
Dias	P7	P8	P9	P10
1	120,63	130,63	131,21	134,70
8	65,23	69,36	76,97	80,74
22	35,17	36,53	37,85	42,36
29	28,50	29,65	28,92	32,46
36	24,94	26,05	24,41	26,63
44	21,17	22,43	20,65	22,11
58	19,15	20,45	18,66	19,96
71	18,70	20,05	18,25	19,50
85	17,29	19,30	17,24	18,72
99	15,78	17,16	15,24	16,53
113	15,10	16,50	14,60	15,80

No gráfico da Figura 34 é apresentada a evolução do teor médio de água estimado dos provetes ao longo dos dias de ensaio. Mais uma vez, tal como aconteceu para o ensaio 1, observamos uma perda de água inicial dos provetes bastante rápida (nos primeiros 15 dias de ensaio) tendendo os mesmos para o teor de água de equilíbrio dos provetes.

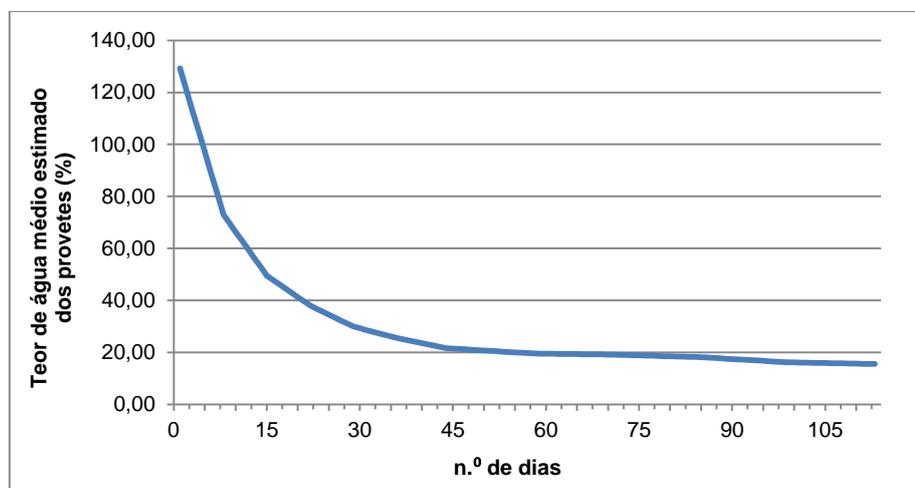


Figura 34 – Relação entre o teor de água médio estimado dos provetes do ensaio com o número de dias ao longo da secagem, para o ensaio 2; P7 – Provete 7, P8 – Provete 8; P9 – Provete 9; P10 – Provete 10.

Este ensaio previa o estudo da variação dimensional (larguras e espessuras) de quatro provetes. No Quadro 12 são apresentados os resultados numéricos deste mesmo ensaio.

Quadro 12 – Valores do ensaio dimensional – Larguras e espessuras dos provetes ao longo dos dias de ensaio; P7 – Provetete 7, P8 – Provetete 8; P9 – Provetete 9; P10 – Provetete 10.

Dias	Larguras (mm)				Dias	Espessuras (mm)			
	P7	P8	P9	P10		P7	P8	P9	P10
1	38,1	38,0	38,0	38,0	1	37,9	37,9	36,6	38,0
8	37,2	37,1	37,5	36,2	8	35,7	36,9	36,0	37,6
15	34,8	35,5	36,9	35,6	15	35,7	33,3	35,7	34,8
22	34,4	34,8	36,8	35,6	22	35,6	33,2	35,7	34,3
29	34,4	34,8	36,8	35,5	29	35,6	33,2	35,6	34,3
36	34,2	34,7	36,8	35,5	36	35,5	33,1	35,5	34,3
44	34,0	34,4	36,7	35,4	44	35,0	32,2	35,4	33,8
58	33,6	34,1	36,3	35,1	58	35,0	32,1	35,3	33,5
71	33,4	33,8	36,3	35,0	71	34,8	32,0	35,3	33,3
85	33,4	33,8	35,5	34,5	85	34,7	32,0	35,1	33,3
99	33,2	33,2	35,3	34,3	99	34,4	31,4	34,8	33,1
113	33,0	33,4	35,5	34,4	113	34,4	31,5	34,9	32,9

Verifica-se pela leitura do gráfico da Figura 35 que, embora todos os provetes tivessem começado com uma largura inicial igual, estes tenderam a deformar mais ou menos na zona de medição. O provete 9 foi o que ao longo do processo de medição manteve a sua largura mais inalterada (variação percentual de aproximadamente 6%), sendo que o provete 7 foi o que reduziu mais em termos de largura (variação percentual de 13%).

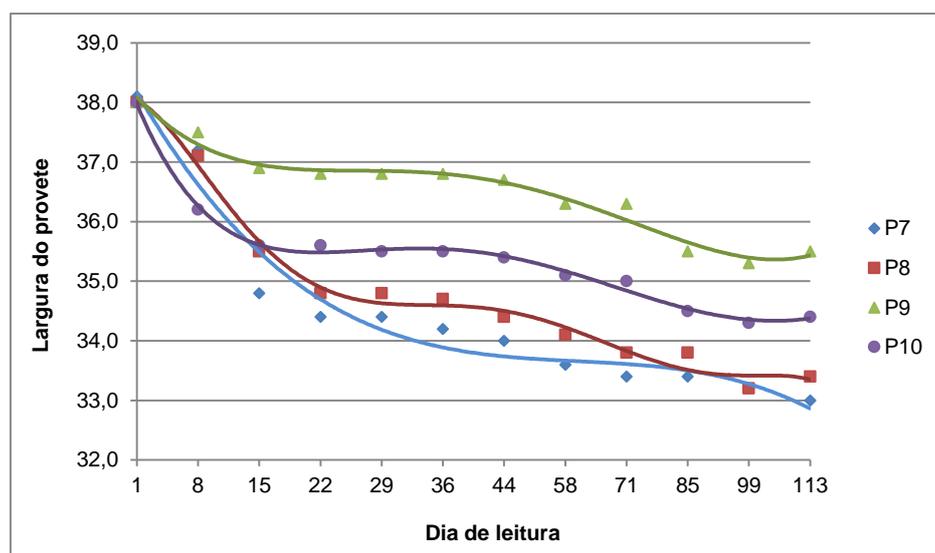


Figura 35 – Ensaio dimensional – Largura; P7 – Provetete 7, P8 – Provetete 8; P9 – Provetete 9; P10 – Provetete 10.

Embora nem todos os provetes tivessem começado com a mesma espessura (provetete 9 apresentou menor espessura que os outros provetes), o provete 9 voltou a ser o que alterou menos a sua espessura

(variação percentual de 5%). Por sua vez o provete 8 foi o que diminuiu mais a sua espessura relativamente à espessura inicial, apresentando uma variação percentual aproximada de 17% (Figura 36).

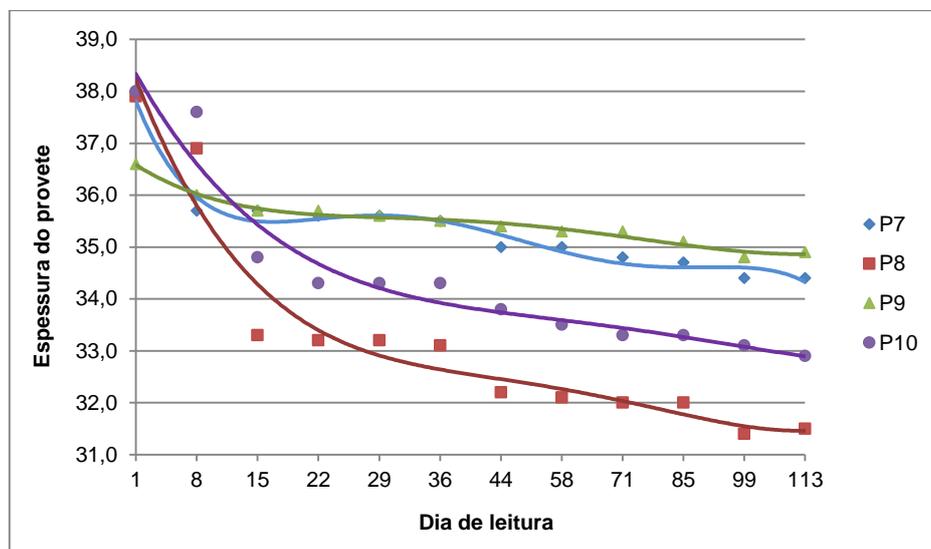


Figura 36 – Ensaio dimensional – Espessura; P7 – Provete 7, P8 – Provete 8; P9 – Provete 9; P10 – Provete 10.

Simpson *et al.* (1999) verificou que a retração axial apresentou-se entre os 0,1% e 0,2% da dimensão da madeira em verde. Embora os provetes tivessem o mesmo comprimento inicial, não foram realizados ensaios dimensionais para avaliar a variação do mesmo. Durante a secagem não houve grande variação deste parâmetro, assumindo-se que os padrões de variação axial ocorreram num intervalo semelhante ao apresentado pelo autor.

Era expectável que todos os provetes não apresentassem uma variação percentual de dimensões igual, isto porque, como já vimos anteriormente, a madeira possui características próprias que a distinguem de qualquer outro material de construção, nomeadamente no que diz respeito à sua heterogeneidade.

É ainda importante referir que, em termos médios, o conjunto de quatro provetes apresentaram uma variação percentual de 10% no que diz respeito à largura (plano maioritariamente radial) e de 11% no que diz respeito à espessura (plano maioritariamente tangencial). O uso do termo “*plano maioritariamente*” prendeu-se com o facto de aquando a serragem dos provetes do ensaio 2 não terem sido obtidos planos totalmente radiais ou tangenciais.

Como vimos, segundo Martins (2010), a retração tangencial é 1,5 a 2 vezes maior que a retração radial. Com os nossos resultados verificou-se que a variação radial foi 1,06 vezes maior que a variação tangencial. O facto de os planos não serem totalmente explícitos, justifica a contradição nos resultados obtidos face à bibliografia consultada.

Através dos valores interpolados, apresentados no Anexo 4, obteve-se o gráfico da Figura 37. Podemos observar que embora todos os provetes tivessem começado, aproximadamente, com o mesmo teor de água, estes secaram de formas muito díspares, tendendo no final para o mesmo teor de água.

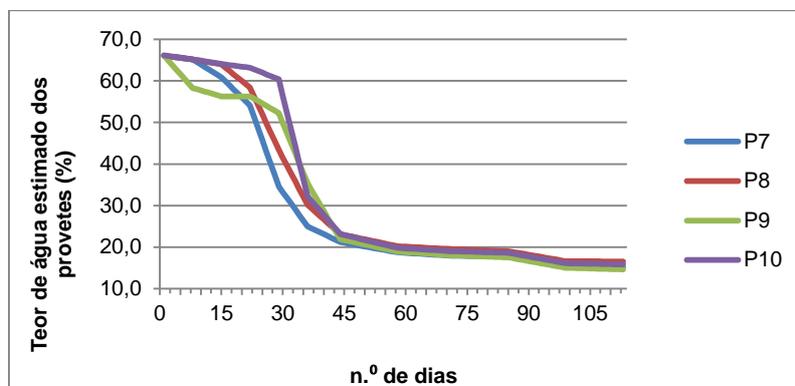


Figura 37 – Teor de água dos provetes obtido através do método elétrico; P7 – Provette 7, P8 – Provette 8; P9 – Provette 9; P10 – Provette 10.

3.4. Terceiro ensaio – Secagem de peças com furos e peças de pequena espessura

O terceiro ensaio consistiu no estudo do efeito da secagem em provetes com furos regulares em todo o seu comprimento e de peças com pequena espessura. Os pesos associados a este ensaio são apresentados no Quadro 13 e os respetivos dados interpolados no Anexo 8.

É importante referir que, embora conste de todas as tabelas, o provete 14 não reuniu os atributos necessários para integrar no ensaio. Deste modo, qualquer resultado apresentado, à exceção das tabelas, não integram com os dados obtidos para este provete.

Quadro 13 - Valores referentes às pesagens dos provetes do ensaio 3 (em gramas); PF – Provette com furos; PT – Provette-Tábua; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.

Ensaio 3 (DI: 28 Março 2013; DF: 4 Julho 2013)															
Secagem de peças com furos (PF) e peças de pequena espessura (PT)															
Dias	PF11	PF12	PF13	P14	PF15	PF16	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8	PT9
1	714,15	1305,39	703,57	369,31	1315,92	639,94	532,03	609,47	640,67	668,76	682,80	669,98	720,25	713,22	573,32
8	536,95	1070,17	540,27	255,68	1074,44	480,79	435,78	523,07	550,67	579,79	586,82	587,06	598,18	552,49	409,72
15	471,14	943,13	475,64	232,32	918,05	414,07	349,28	409,37	430,22	445,14	444,81	456,75	430,46	453,01	326,03
22	451,41	873,29	448,06	228,66	845,20	386,91	333,63	370,42	392,33	389,45	392,06	385,17	394,00	404,09	313,78
30	437,82	815,94	430,70	223,48	778,04	372,76	317,34	355,69	369,30	369,44	366,93	357,45	376,92	383,26	304,35
44	433,30	781,64	425,49	221,71	737,87	367,80	312,78	350,10	363,63	363,04	360,79	351,75	371,81	377,53	301,54
57	432,44	774,63	424,26	220,61	730,46	366,95	311,88	349,12	362,52	362,00	359,33	350,86	370,91	376,90	301,03
71	428,32	767,74	420,66	219,06	723,36	363,39	309,43	346,49	360,71	359,09	356,32	348,07	367,53	373,57	298,17
85	421,21	751,61	411,90	215,57	707,70	355,95	302,90	338,76	351,96	351,42	349,03	341,02	360,68	366,16	293,03
99	418,82	747,10	409,80	214,26	703,93	354,32	300,96	336,98	350,05	349,56	347,19	339,22	358,70	364,25	291,07

No Quadro 14 apresentam-se os valores da estimativa do teor de água dos provetes do ensaio 3 e em Anexo 9 encontra-se a tabela interpolada para os 99 dias de ensaio.

Quadro 14 - Valores da estimativa do teor de água dos provetes do ensaio 3 (valores percentuais); PF – Provete com furos; PT – Provete-Tábua; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.

Ensaio 3 (DI: 28 Março 2013; DF: 4 Julho 2013)															
Dias	P11F	P12F	P13F	P14	P15F	P16F	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8	PT9
1	96,22	101,07	97,57	98,35	115,12	107,84	103,43	108,13	110,61	120,16	126,31	127,28	131,06	125,32	126,66
8	47,53	64,84	51,71	37,32	75,64	56,15	66,62	78,62	81,03	90,87	94,50	99,15	91,90	74,54	61,98
15	29,45	45,27	33,56	24,77	50,08	34,48	33,55	39,80	41,43	46,54	47,43	54,95	38,10	43,12	28,90
22	24,03	34,51	25,82	22,81	38,17	25,66	27,57	26,49	28,97	28,21	29,95	30,66	26,40	27,66	24,05
30	20,30	25,68	20,94	20,03	27,19	21,06	21,34	21,46	21,40	21,62	21,62	21,26	20,92	21,08	20,33
44	19,05	20,40	19,48	19,08	20,62	19,45	19,59	19,56	19,54	19,51	19,58	19,33	19,28	19,27	19,21
57	18,82	19,32	19,14	18,49	19,41	19,18	19,25	19,22	19,17	19,17	19,10	19,02	18,99	19,07	19,01
71	17,69	18,25	18,12	17,65	18,25	18,02	18,31	18,32	18,58	18,21	18,10	18,08	17,91	18,02	17,88
85	15,73	15,77	15,66	15,78	15,69	15,60	15,82	15,68	15,70	15,69	15,68	15,69	15,71	15,68	15,85
99	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08

No gráfico da Figura 38 verifica-se a tendência do teor de água médio estimado ao longo dos 99 dias de ensaio para cada tipo de provete – provetes com furos e peças de pequena espessura. A tendência de secagem neste ensaio volta a apresentar-se semelhante à observada nos restantes ensaios.

É no entanto importante referir que, como para este ensaio não foi medido o teor de água pelo método elétrico, utilizou-se no cálculo do teor de água estimado a média dos teores de água dos provetes do ensaio 1 e 2 (no último dia de medição). Assim, as duas curvas deste gráfico tendem para a média assumida (15,08%).

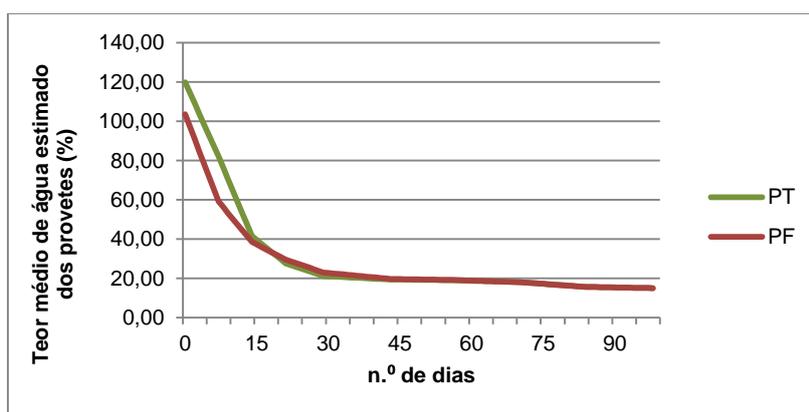


Figura 38 – Relação entre o teor de água médio estimado dos provetes do ensaio com o número de dias ao longo da secagem, para o ensaio 3; PF – Provete com furos; PT – Provete-Tábua; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.

3.5. Quarto ensaio – Secagem em vácuo

Os resultados referentes às pesagens principais dos provetes deste ensaio estão sumariados no Quadro 15 e devidamente interpolados no Anexo 10. Observando-se atentamente o Quadro 15 verifica-se que entre o primeiro e o oitavo dia de ensaio não houve diferenças significativas entre os pesos dos provetes. Esta situação justifica-se pelo facto de entre estes dias, e como descrito no Anexo 2, só ter sido aplicada pressão, faltando o elemento temperatura (crucial para a perda de água dos provetes na secagem em vácuo).

Quadro 15 - Valores referentes às pesagens dos provetes do ensaio 4 (em gramas); PV – Proвете em vácuo; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.

Ensaio 4 (DI: 11 Abril 2013; DF: 4 Julho 2013)							
Secagem em vácuo							
Dias	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7
1	474,34	280,60	180,14	200,37	120,06	327,68	608,35
8	472,62	280,18	176,16	198,54	118,47	324,17	608,61
16	445,04	263,35	166,26	183,10	105,41	285,68	585,85
30	418,88	249,58	150,11	175,43	103,18	272,04	569,67
43	316,64	189,24	110,21	133,69	76,62	203,79	481,92
57	294,41	174,59	107,24	122,05	73,00	195,27	345,05
71	267,06	157,04	100,03	111,51	67,92	181,74	345,05
85	266,81	156,82	99,43	111,35	67,48	181,21	343,85

No Quadro 16 apresentam-se os valores da estimativa do teor de água dos provetes do ensaio 4 e em Anexo 11 encontra-se a tabela interpolada para os 85 dias de ensaio. Mais uma vez como é expectável, devido ao que já foi dito anteriormente, entre o primeiro e oitavo dia de ensaio não houveram grandes alterações do teor de água estimado.

Quadro 16 - Valores da estimativa do teor de água dos provetes do ensaio 4 (valores percentuais); PV – Proвете em vácuo; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.

Ensaio 4 (DI: 11 Abril 2013; DF: 4 Julho 2013)							
Dias	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7
1	104,58	105,91	108,48	107,07	104,74	108,09	103,59
8	103,84	105,60	103,88	105,18	102,03	105,86	103,68
16	91,95	93,25	92,42	89,23	79,76	81,42	96,06
30	80,66	83,14	73,73	81,30	75,95	72,76	90,65
43	36,57	38,86	27,55	38,16	30,66	29,41	61,28
57	26,98	28,11	24,11	26,13	24,49	24,00	15,48
71	15,18	15,24	15,77	15,24	15,83	15,41	15,48
85	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08

Pela análise do gráfico da Figura 39, à exceção dos 8 primeiros dias de ensaio em que não houve alterações significativas, verifica-se uma diminuição gradual do teor de água médio estimado, estabilizando este valor, tal como ocorreu no ensaio 3, no teor de água médio assumido para o cálculo deste parâmetro (15,08%). É interessante observar-se que a tendência de secagem do ensaio 4 comparativamente aos outros três ensaios apresentou-se diferente.

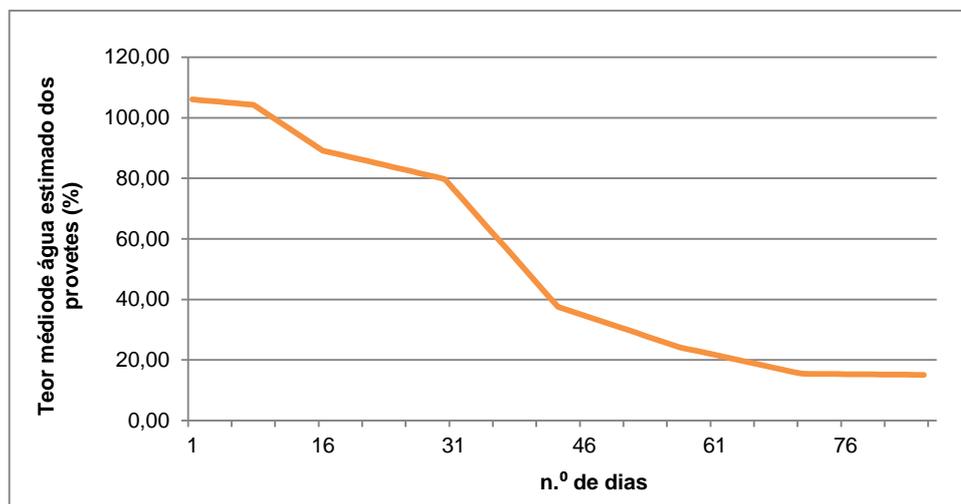


Figura 39 – Relação entre o teor de água médio estimado dos provetes do ensaio com o número de dias ao longo da secagem, para o ensaio 4; DI – Dia de início do ensaio; DF – Dia de término do ensaio.

3.6. Comparações entre ensaios

A comparação de ensaios é um elemento importante neste estudo, uma vez que permite avaliar as velocidades de secagens nos diferentes ensaios. Para a construção do Quadro 17 utilizaram-se as médias dos teores de água estimados para cada ensaio, estabelecendo-se cada um dos intervalos que conta na primeira coluna da mesma. Para cada um dos intervalos obteve-se uma estimativa percentual de secagem dos provetes, isto é, dividiu-se o valor de perda de teor de água entre determinado intervalo e dividiu-se pelo tempo correspondente.

Pelos dados do quadro concluímos que os provetes com furos foram os que secaram mais rapidamente (6,34%/dia) dos 80% aos 60% de teor de água, sendo que os provetes do ensaio 4 foram os que secaram mais lentamente (3,10%/dia). Entre os 60 e os 40% de teor de água os provetes com baixa espessura foram os que secaram mais rapidamente (5,05%/dia), continuando a ser os provetes do ensaio 2 que apresentam uma secagem mais lenta (2,25%/dia). Por fim, entre os 40% e os 20% de teor de humidade, os provetes em vácuo foram os que apresentaram maior rapidez de secagem (0,93%/dia), sendo que neste intervalo a secagem foi consideravelmente mais lenta para todos os ensaios.

Observou-se, como esperado, que os provetes com maiores dimensões demoraram, de uma forma generalizada, mais tempo a secar comparativamente aos provetes de espessuras mais pequenas. Para o intervalo global de teor de água estudado (80 – 20%) é ainda importante verificarmos a eficácia do método de perfuração dos provetes ao longo de todo o comprimento, uma vez que as taxas de secagem para este ensaio foram, no global, bastante positivas (1,56%/dia).

Observando-se agora o intervalo de 80% a 20%, ou seja de um modo geral, verifica-se que os provetes de pequenas espessuras do ensaio 3 obtiveram ao longo do tempo uma secagem mais rápida (1,92%/dia) comparativamente aos outros ensaios. Comparando estes quatro ensaios com um ensaio de madeira adulta - 45 anos (Santos *et al.*, 1999), podemos verificar que, para os intervalos que nos foi possível avaliar, os provetes de madeira adulta com as dimensões de 35x35 mm², demoram visivelmente mais tempo a secar que provetes de madeira jovem.

Quadro 17 – Comparação entre taxas de secagem (percentagem média diária de secagem).

Teor de água	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3 PF	Ensaio 3 PT	Ensaio 4	Madeira 45 anos
80 - 60%	5,30	4,22	6,34	5,80	3,10	-
60 - 40%	3,33	2,25	3,01	5,05	3,25	0,45
40 - 20%	0,53	0,59	0,70	0,84	0,93	0,34
80 - 20%	1,26	1,26	1,56	1,92	1,76	-
60 - 20%	-	-	-	-	-	0,39

No gráfico da Figura 40 são apresentadas as linhas de tendência de secagem ao longo dos primeiros 85 dias de ensaio (para o caso do ensaio 1, 2 e 3), através da relação entre os teores de água estimados. Conforme pode ser visualizado no gráfico da Figura 40 e comparando-se os resultados obtidos com a curva característica de secagem para materiais porosos apresentada por Rosen (1983) – Figura 7 –, podemos observar que a madeira de eucalipto não apresenta a fase constante nas suas curvas de secagem (excluindo-se o patamar dos 8 primeiros dias do ensaio 4, que apenas estiveram relacionados com problemas técnicos), comprovando-se a impermeabilidade da espécie. A permeabilidade reduzida aplica a necessidade de uma secagem lenta bem como do desenvolvimento. Estes resultados vêm ainda reforçar estudos feitos por Neumann *et al.*, 1992, Vermaas, 1995, Simpson, 1996, Martins *et al.*, 2001, Santos, 2002 e Jankowsky *et al.*, 2003.

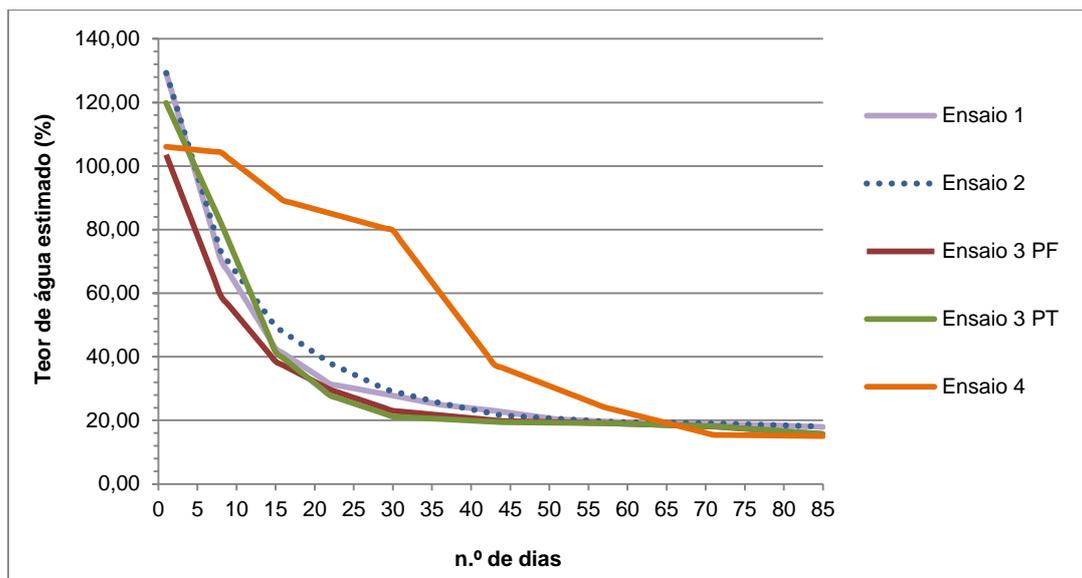


Figura 40 – Curva de secagem para os 4 ensaios em estudo.

3.7. Teste de Prong e Avaliação visual de defeitos

A secagem lenta do eucalipto contribui fortemente para que as superfícies das peças alcancem baixos teores de água, enquanto a parte central ainda permanece húmida ou parcialmente saturada, gerando-se tensões internas devido ao acentuado gradiente de humidade. Com o teste de Prong, como mostra a Figura 41, observou-se que, para todos os provetes em estudo, a secagem se deu de forma homogénea uma vez que não se obtiveram resultados semelhantes aos apresentados na Figura 17A e 17B.



Figura 41 – Teste de Prong aos provetes em estudo.

Com a avaliação visual das peças verificou-se uma diminuta quantidade de defeitos. No entanto, todos os provetes do ensaio 2 apresentaram empeno em hélice, provocado pelo grau de fio espiralado (fio em hélice longitudinal) - Figura 42A. Apenas em um provete se verificou fissura de topo com pequena profundidade (menos de 1 cm) como se pode ver na Figura 42B.

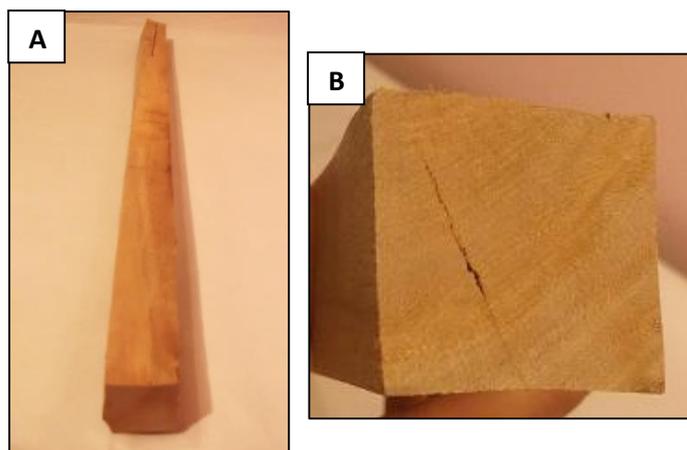


Figura 42 – (A) Empenos em hélice nos provetes do ensaio 2; (B) Fissura de topo.

Observou-se, principalmente nos provetes em que foram utilizados grampos para estabilização dimensional, o aparecimento de manchas que desvalorizam a qualidade do material com vista a usos sólidos (Figura 43). Está documentado, e é do conhecimento prático industrial, que a madeira de eucalipto no estado verde tende a formar manchas de corrosão quando em contacto com metais ferrosos.



Figura 43 – Manchas na zona de colocação dos grampos.

Por fim, foram observados outros defeitos associados a impactos mecânicos após o processo de secagem, nomeadamente ao provete 10 do ensaio 2 (que caiu ao chão aquando o processo de transporte). Verificou-se, assim, a existência de diversos nós “soltos” (Figura 44).



Figura 44 – Defeitos extrínsecos à secagem de madeira – Nós e fissuras.

4. CONCLUSÕES

A madeira de árvores jovens de eucalipto pode ser uma solução alternativa, presente e a médio prazo, com vista ao abastecimento de alguns sectores de indústria portuguesa. Sendo esta uma madeira que ainda não apresenta uma consistente formação de cerne, tem maior facilidade de secagem, nomeadamente secagem mais rápida, apresentado menor número de defeitos e menos graves, pelo que é de considerar a possibilidade de viabilização da sua utilização a níveis industriais. A possibilidade de recurso à madeira juvenil de eucalipto é sem dúvida aquela que pode vir a dar uma resposta ao abastecimento dentro de um menor espaço de tempo.

Embora o paradigma de que o processo de secagem de madeira juvenil de eucalipto está associado a um grande número de defeitos, o presente trabalho vem reforçar a ideia de que é possível secar este tipo de madeira a níveis de qualidade bastante elevados. No entanto, embora o eucalipto seja uma espécie com um grande impacto e importância em Portugal, poucos são estudos sobre esta temática. É assim importante que sejam desenvolvidos futuramente estudos mais exaustivos e conclusivos sobre a secagem deste tipo de madeira de modo a dinamizar e maximizar o potencial da mesma.

Durante o estudo a madeira mostrou um comportamento adequado a todos os processos de secagem, tendo sido encontrado um baixo número de defeitos no decorrer do trabalho experimental. Supõe-se que este resultado tenha sido devido e sobretudo ao procedimento de secagem inicial a temperaturas inferiores a 40°C (ensaio 1, 2 e 3). Foi possível verificar que o processo de secagem em vácuo (ensaio 4) apresentou também resultados bastante positivos.

A madeira juvenil de eucalipto mostra, assim, um grande potencial para a transformação como madeira maciça, sendo que o seu bom desempenho depende do próprio material como da engenharia da sua transformação, particularmente ao processo de secagem. Consoante o processo de secagem escolhido, assim será a resposta das madeiras, sendo por isso importante a ponderação do tipo de secagem a aplicar tendo em vista o resultado final que se pretende.

Tendo em conta as limitações de dimensões, propõe-se a utilização desta madeira em processamentos com tecnologias de reconstituição, como é o caso da formação de lamelados colados, placas coladas, contraplacados, etc., com vista ao aumento do seu potencial. Não nos podemos esquecer que embora se tenham obtido comportamentos positivos de secagem ao longo de toda a secagem, a madeira de eucalipto juvenil possui padrões de resistência relativamente inferiores à madeira adulta. É ainda importante referir que os subprodutos de serragem, obtidos enquanto este processo, têm valor comercial e podem ser utilizados em outras indústrias, como é o exemplo de indústrias de aglomerado e pellets.

Em futuros trabalhos aconselhamos ao desenvolvimento de uma base de comparação entre a madeira juvenil e a madeira adulta. Este trabalho apenas incidiu sobre o estudo de madeira juvenil, mas a nosso

ver seria útil a comparação entre as diferentes madeiras, para que deste modo possamos entender melhor a secagem de eucalipto. Os curtos prazos para a elaboração do trabalho prático não permitiram aprofundar convenientemente cada um dos ensaios, sendo por isso importante que se desenvolvam trabalhos que ajudem à melhor compreensão de todos os pontos abordados.

Por mais difíceis, morosos e imprevisíveis os meandros de todo o processo tecnológico da madeira de eucalipto, este nunca deixará de ser um material com futuro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIMMP – Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal. (s/ data). Secagem. Disponível em: http://www.aimmp.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=256&Itemid=178. Acesso em: 26/10/2013.

Alves, A.M., Pereira, J.S., Silva, J.M.N. 2007. O Eucaliptal em Portugal – Impactes Ambientais e Investigação Científica. ISAPress. Capítulo 1: 13 – 24.

Andrade, A. 2000. *Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras*. Dissertação (Mestrado em Ciências/Ciência e Tecnologia de Madeiras). Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo. São Paulo.

Bal, B.C., Bektaş, İ. 2013. The Effects of Heat Treatment on Some Mechanical Properties of Juvenile Wood and Mature Wood of *Eucalyptus grandis*. *Drying Technology*, 31: 479–485.

Bal, B.C., Bektaş, İ. 2012. Heat treatment of *E. grandis*. *BioResources*, 7(4): 5117-5127.

Baso, C., Casas, J.M., Furones, P., Bouzón, A. 2007. Steam treatment to improve the quality and increase the rate of drying of *eucalyptus globules* Labill. Proposal and execution of a test on quarter-sawn boards. University of Vigo: Vigo, Spain.

Bekele, T. 1995. Degradation of boards of *Eucalyptus globulus* Labill. and *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. during air drying. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 53: 407-412.

Bekele, T. 1994. Kiln drying of sawn boards of young *Eucalyptus globulus* Labill. And *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. grown on the Ethiopian Highlands. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 52: 377-382.

Bendtsen, B.A. 1978. Properties of wood from improved and intensively managed trees. *Forest Products Journal*, 28(10):61-71.

Bhat, K.M., Priya, P.B., Rugmini, P. 2001. Characterization of juvenile wood in teak. *Wood Science and Technology*, 34:517-532.

Blakemore, P., Northway, R.. 2009. Review of, and recommendations for, research into preventing or ameliorating drying related internal and surface checking in commercially important hardwood species in south-eastern Australia. FWPA Project PNB047-0809. November 2009.

Boyd, J.D. 1977. Basic cause of differentiation of tension wood and compression wood. *Australian Forest Research*. 1:121-143.

Boyd, J.D. 1972. The growth stresses: evidence of a origin in differentiation and lignification. *Wood Science and Technology*, 6: 251-262.

Campbell, G.S., Hartley, J. 1984. Drying and dried wood. *Academic Press*, p. 322-327.

Carvalho A. (1997) Madeiras Portuguesas. Estrutura anatómica, Propriedades e Utilizações. Vol. II. Direcção-Geral das Florestas, Lisboa, pp 415.

Carvalho, A. 1996. Madeiras Portuguesas. Estrutura Anatómica, Propriedades e Utilizações. Vol. I. Direcção-Geral das Florestas. Lisboa. 340 p.

Cavalcante, A.A. 1991. *Ocorrência do colapso na secagem da madeira de Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo. São Paulo.

Chafe, S. C. 1979. Growth stresses in trees. *Australian Forrest Research*, 9(3): 203-223.

Colenego, F.W., Severo, E.T.D. 2004. Efeito da vaporização de toras na secagem de madeira de *Eucalyptus grandis*. *Floresta e Ambiente*, 11(1): 7-13.

Cown, D.J. 1992. Corewood (Juvenile wood) in *Pinus radiata* - should we be concerned?. *New Zealand Journal of forestry Science*, 22(1): 87-95.

Denig, J., Wengert, E.M., Simpson W.T. 2000. *Drying hardwood lumber*. General Technical Report. United States Department of Agriculture. FPL-GTR-118.

Domar, T.R. 2010. *Produção de madeira serrada seca em estufa*. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Engenharia Química. Universidade Regional de Blumenau. Blumenau.

Esping, B. 1992. Trötorkning 1a, Grunder i torkning. Trite. *Graphic Systems AB*, Göteborg.

Evans, J.W., Senft, J.F., Green, D.W. 2000. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. *Forest Productions Journal*, 50(7-8): 75-87.

Furniture, R.J. 2010. Timber Drying Faults. Disponível em: <http://www.richardjonesfurniture.com/Articles/timber-dry-fault/timber-dry-fault.html>. Acesso em: 27/10/2013.

Galvão, A.P.M, Jankowsky, I.P. 1985. Secagem racional da madeira. São Paulo: Nobel.

Gatto, D.A., Haselein, C.R., Buligon, E.A., Calegar, L., Stangerlin, D.M., Oliveira, L.S. *et al.* Estimativa da idade de segregação do lenho juvenil e adulto por meio de parâmetros anatômicos para madeira de *Luehea divaricata* Mart. *Ciência Florestal*, 18(4): 535-540.

Gough, D.K. 1981. Timber seasoning in a solar kiln. Technical paper (No 24), Department of Forestry, Queensland.

Graça, J. 2010. *Sebenta de Tecnologias dos Produtos Florestais*. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Departamento de Engenharia Florestal. Lisboa.

Grupo Portucel Soporcel. 2011. Eucalipto. Disponível em: <http://www.portucelsoporcel.com/pt/group/eucalyptus.php>. Acesso em: 10/10/2013.

Hansmann, C., Stingl, R., Prieto, O.G., Lopez, C.B., Resch, H. 2008. High-Frequency Energy-Assisted Vacuum Drying of Fresh *Eucalyptus globulus*. *Drying Technology*, 26: 611–616.

Hartley, J., Gouch, D.K. 1990. Future sawnood drying in Australia. *FDC*. 181(94):179-190.

Hillis. 1984. High temperature and chemical effects on wood stability. *Wood Science and Technology*. 18: 281-293.

Hillis, W.E. 1978. Wood quality and utilization. *Eucalyptus for Wood Production*. CSIRO: Campbell, p.259–289.

INETI. 2008. Towards a competitive use of solar driers: a case study for the lumber industry. EUROSON 2008. 1st International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings. Lisbon. Portugal.

Innes, T.C., Greaves, B., Washusen, R., Nolan, G.B. 2008. Determining the Economics of Processing Plantation Eucalypts for Solid Timber Products. Forest and Wood Products Research and Development Corporation Report. PN04.3007. FWPRDC. Melbourne.

Jankowsky, I., Santos, G.R.V. dos, Andrade, A. de. 2003. Secagem de Madeira Serrada de Eucalipto. *Circular técnica IPEF*. Nº 199, p. 12.

Jankowsky, I. 1995. Equipamentos e processos para secagem de madeira. *Anais do Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria*. p. 109-118.

Jankowsky, I.P., Cavalcante, A.A. 1992. Collapse prevention in the drying of eucalypt wood. *III IUFRO International Wood Drying Conference*, p. 357-361.

Jankowsky, I.P. 1982. Tratamento preventivo e secagem da madeira de *Pinus spp.* *Revista da madeira*, 31(364): 22-28.

Knapic S., Pirralho M., Louzada J.L., Pereira H. 2014. Early assessment of density features for 19 Eucalyptus species using X-ray microdensitometry in a perspective of biomass potential production. *Wood Science and Technology*, 48:37-49. DOI: 10.1007/s00226-013-0579-y.

Krahmer, R. 1986. Fundamental anatomy of juvenile and mature wood. Proceedings of the a technical workshop: juvenile wood - what does mean to forest management and forest products. Forest Products Reserch Society. p. 5-11.

Lamb, F.M. 1994. Targeting and achieving the final moisture content. *Profitable Solutions for Quality Drying of Softwoods and Hardwoods*, p. 54-56.

Lara, H.A.P., Wagner, A.B. 2003. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L.. *Revista Árvore*. 27(3). p. 371-380.

Lianbai, G. 2007. Recent Research and Development in Wood Drying Technologies in China. *Drying Technology*. 25: 463–469.

Lima, I. L. 2005. *Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de Eucalyptus grandis Hill ex-Maiden*. Tese de doutoramento em Recursos Florestais. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Madeidura. 2010. *Eucalyptus globulus*. Disponível em: <http://www.madeidura.com/publicacoes/eucalipto-globulus>. Acesso em: 10/10/2013.

Martins, T. 2010. *Dimensionamento de Estruturas em Madeira – Coberturas e pavimentos*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.

Martins, V.A., Gouveia F.N., Martinez, S. 2001. Secagem convencional de madeira de eucalipto parte I : *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, *E. grandis* Hil Ex Maiden e *E. pilularis* Sm. *Brasil Florestal*, 70: 42-47.

Martins, V.A. 1988. Secagem de madeira serrada. IBDF/DPq-LPF. Brasília.

Mateus, T.J. 2007. Bases para o Dimensionamento de Estruturas de Madeira. *LNEC*, p. 45 – 58.

Mendes, L.M., Silva, J.R.M. da., Trugilho, P.F. Lima, J.T. 1997. Técnicas correctas de secagem da madeira do eucalipto ao ar livre. EMBRAPA-CNPQ. Vol. 3, p. 373-380.

- Mendes, L.M., Lima, J.T., Calegário, N. 1996. Unidades de equilíbrio médias de madeiras para 206 cidades Brasileira calculadas pela fórmula de Simpson. *Revista da madeira*, Vol. 26: p. 18.
- Miller, R.B. 1999. Characteristics and availability of commercially important woods. *Wood Handbook, Wood as Engineering Material*, FPL-GTR-113.
- Neumann, R.J., Saavedra, A. 1992. Check formation during the drying of *Eucalyptus Globulus*. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 50(3):106-110.
- Nicholson, J.E. 1973. Growth stresses differences in eucalypts. *Forest Science*. 9(3): 169-174.
- Nicholson, J.E., Campbell, G.S., Bland, D.E. 1972. Association between wood characteristics and growth stress level: A preliminary study. *Wood Science*. 5(2): 109-112.
- Norma Portuguesa EN 844-3. 2008. Madeira redonda e serrada. Terminologia. Parte 3: Termos relativos a madeira serrada. CT 14 IPQ.
- Palma, L.A., Leonello, E.C., Ballarin, A.W. 2010. Demarcação da madeira juvenil e adulta de *Corymbia citriodora*. *Cerne*. Lavras, 16: 114-148.
- Pereira, H., Miranda, I., Gominho, J., Tavares, F., Quilhó, T., Graça, J., Rodrigues, J., Shatalov, A., Knapic, S. 2010. *Qualidade e Utilização Tecnológica do Eucalipto (Eucalyptus globulus)*. Centro de Estudos Florestais. Lisboa.
- Ponce, R.H., Watai, L.T. 1985. Secagem de madeira. Brasília: STI/IPT.
- Pordage, L.J., Langrish, T.A.G. 1999. Simulation of the effect of air velocity in the drying of hardwood timber. *Drying Technology*, 17 (1&2): 237-255.
- Pratt, G.H.. 1974. Timber Drying Manual. *Princes Risborough Laboratory*. 2.^a Edition. Buckinghamshire.
- Priest, D. T., Malan, F. S., Knuffel, W. E. 1982. Degrade in *Eucalyptus grandis* sawn timber dried in three different ways. Special report, National Timber Research Institute, CSIR, South Africa.
- Quintanar-Olguin, J. 1999. Characterization of collapse in dried wood of *Eucalyptus globulus* Labill. *Ciencia Forestal en Mexico*. 24(86): 83–94.
- Ramay, W., Briggs, D. 1986. Juvenile Wood: has it come of age? Proc. Technical Workshop: Juvenile wood-what does it mean to forest management and forest products. Washington, USA, 1986. Forest Products Research Society. Pages 5 – 11.

Resch, H., Hansmann, C. 2002. Tests to dry thick eucalyptus boards in vacuum using high frequency heating. *Holzforschung und Holzverwertung*, 54(3): 59–61.

Rosen, H.N. 1983. Recent advances in the theory of drying lumber. IUFRO DIVISION V CONFERENCE. Illinois. p. 32-62

Rozas Mellado, E.C.E. 1993. *Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para a utilização de madeira serrada de Eucalyptus grandis (Hill Ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal/Setor de Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

Sales, C.G. 1986. Growth stresses: main results obtained on the study of guyana species and consequences for and use. IUFRO WORLD CONGRESS, 18, Ljubljana. V5, p. 234-248.

Sandqvist, S. 1984. Modern open air drying. Literature survey, final report. *The Wood Technology Centre*, Stockholm, Sweden.

Santos, G.R.V. dos. Otimização da Secagem da Madeira de *Eucalyptus grandis* (Hillex Maiden). 2002. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. São Paulo.

Santos, J.A., Duarte, M.C., Santos, J.M. Pestana, L. 2011. Bem utilizar madeiras portuguesas na construção/reabilitação. *CIMAD 11 – 1º Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção*.

Santos, J.A. 2007a. *Estudo de Modelos e Caracterização do Comportamento Mecânico da Madeira*. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho. Guimarães.

Santos, J.A. 2007b. Tecnologia de transformação industrial dos eucaliptos. Seminário SFCF - Sociedade Portuguesa de Ciências Florestais. ESAC – Coimbra.

Santos, J.A., Pinho, A.C.M. 2004. New advances for the application of *Eucalyptus* as a structural wood. *Silva Lusitana*, 12 (1): 43-50.

Santos, J.A., Paya, J.M. 1999. Les eucalyptus au Portugal. *Revista SILVA*. Cirad-Fôret. Mompelier. N°39 – Mars. 7p.

Santos, J.M. dos, Santos, J.A. dos. 2005. Secagem Natural e Artificial do Carvalho Negral. 5º Congresso Florestal Nacional. Viseu.

Santos, P.E.T dos. 2010. *Cultivo do Eucalipto – Tensões de crescimento*. Embrapa. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto_2ed/Manejo_Tensoes_Crescimento.htm. Acesso em: 17/10/2013.

Schacht, L.; Garcia, J.N. 1997. Variação genética de indicadores de tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts. EMBRAPA/CNPQ. V. 3, p.405-410.

Senft, J.F., Bendtesen, B.A., Galligan, W.L. Weak Wood: Fast-Grown Trees Make Problem Lumber. *Journal of forestry*, 83(8): 476-484.

Severo, E.T.D. 1998. *Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem na madeira de Eucalyptus dunnii Maid*. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal/Setor de Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

Silva, J.C. 2002. *Caracterização da madeira de Eucalyptus grandis Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira*. Tese de Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Paraná.

Simpson, W.T. 1996. Method to estimate dry-kiln schedules and species groupings: tropical and temperate hardwoods. Madison Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory, 55 p.

Simpson, W.T. 1992. Drying technology issues in tropical countries. *IUFRO All-division 5 "Forest Products"* Nancy, France: IUFRO; 1992: p. 497-507.

Simpson, W.T. 1991. Dry kiln operator's manual. WI: U.S. Department of Agriculture. 274p.

Simpson, W.T, Tschernitz, J.L., Fuller, J.J. 1999. Air Drying of Lumber. Gen. Tech. Rep, FPL–GTR–117: p. 62.

Skolmen, R.G., Ledig, F.T. 1990. *Eucalyptus globulus Labill*. Bluegum eucalyptus. *Silvics of North America*. Vol. 2, p. 299–304.

Smith, W.B., Smith, A., Neuhauser, E.F. 1994. Radio-frequency vacuum drying of red oak. *Profitable Solutions for Quality Drying of Softwoods and Hardwoods*, p. 101-108.

Tomaselli, I. 1984. Novas técnicas de secagem de madeira. *Silvicultura*, 9(34): 25-30.

- Turner, I.W. 1996. A two-dimensional orthotropic model for simulating wood drying processes. *Applied Mathematical Modelling*, 20(1): 60–81.
- Vázquez, M.C.T., Infante, F.S. 2002. Nuevas aplicaciones de la madera de Eucalipto. *Revista CIS-Madera*. N°9, 2º semestre, p. 6-22.
- Vázquez, M.C.T. 2001. Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus globulus* de Galicia (España). Influencia de la silvicultura y estrategias de aserrado. *Ciencia y tecnología*. 3(1-2): p. 68-89.
- Vermaas, H.F. 1995. Drying eucalypts for quality: Material characteristics, pré-drying treatments, drying methods, schedules and optimization of drying quality. *Suid-Afrikaanse Bosbouydskrif*, n.174, p. 41-49.
- Vermaas, H.F. 1989. Evaluation of low temperature and accelerated low temperature drying schedules for *Eucalyptus grandis*. *Holz-forschung*, 43(3): 207-212.
- Vidaurre, G., Lombardi, L.R., Oliveira, J.T. da S., Arantes, M.D.C. 2011. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. *Floresta e Ambiente*, 18(4): 469-480.
- Washusen, R. 2011. Processing plantation-grown *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for solid-wood products – Is it viable?. *CRC for Forestry*. Technical Report 209. Australia.
- Washusen, R. 2009. Modelling mill door log prices for plantation eucalypts with CSIROMILL. 'Forestry: a climate of change' (Institute of Foresters of Australia: Caloundra, Queensland). 6-10 September p. 161-216.
- Washusen, R., Reeves, K., Hingston, R., Davis, S., Menz, D. and Morrow, A. 2004. Processing Pruned and Un-Pruned Blue Gum (*Eucalyptus globulus*) to Produce High Value Products. *Forest and Wood Products Research and Development Corporation Report*. PN03.1315. FWPRDC. Melbourne.
- Washusen, R. 2002. Silvicultural effects on tension wood occurrence. *Unpublished CSIRO Forestry and Forest Products*. Client Report No. 1075.
- Washusen, R., Ilic, J. 2001. Relationship between transverse shrinkage and tension wood from three provenances of *Eucalyptus globules* Labill. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 59: 85–93.
- Wengert, E.M. 1985. New drying technology in the USA. *Syrup. on Forest Products Research Int*, Vol. 3: p. 1-13.

Yang, J.L. 2007. Investigation of potential sawlog quality indicators - A case study with 32-year-old plantation *Eucalyptus globulus* Labill. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 65:419-427.

Zobel, B., Van buijtenen, B., 1989. Wood variation: its causes and control. Springer, New York, USA, 363 pp.

Zobel, B.J. 1984. The changing quality of the world wood supply. *Wood Science and Technology*, 18:1-17.

6. ANEXOS

ANEXO 1 - Lista de equipamentos utilizados aquando o trabalho prático e suas características

	Nome do equipamento	Marca	Tipo de trabalho	Comprimento x largura (m)	Pesos Kg	Preço atual se comprado novo
A	Serra de Fita	OAC N'RA	Corte inicial (serragem), preparação de madeiras	0.8x0.6	110	350,00 €
B	Balança de precisão 1200 g	And HF-3000	Avaliação do teor de água por pesagens			200,00 €
C	Medidor elétrico de teor em água	Gann HT 85	Avaliação do teor de água por resistência elétrica			120,00 €
D	Estufa de bancada c/ ventilação 350 °C	Ehret TKL 4105	Determinação de teor de água	0.78x0.6	40	1 000,00 €
E	Máquina Universal	Pinheiro UIR-350	Aplainamento	2x1.7	500	850,00 €
F	Desengrossadora	Pinheiro D2-630	Calibradora de espessuras de pranchas de madeira	1.2x0.90	380	900,00 €
G	Serra circular	Mida SC FI	Corte (serragem) de madeiras, amostras p/ ensaio	1.2x0.95	400	1 500,00 €
H	Câmara de vácuo com aquecimento	Heraeus 0-760 torr / 20-80 °C	Condicionamento em vácuo e calor			
I	Bomba de vácuo	Eduards RV3 200 torr	Criação de vácuo			
J	Secador de madeiras semi-industrial	Cathild	Secagem de madeiras	2.5x1.8	800	15 000,00 €
K	Paquímetro	Filetta 0,02 mm	Medição de espessuras com precisão			60,00 €

ANEXO 2 - Metodologia de aplicação do vácuo

Período	Metodologia
De 11 Abr – 18 Abr (do 1.º dia ao 8.º dia de ensaio)	Por esquecimento não foi aplicada temperatura durante este período, tendo apenas sido aplicada pressão.
De 18 Abr – 26 Abr (do 8.º dia ao 16.º dia de ensaio)	Foram feitos 3 ciclos de vácuo à pressão de 180 mmHg e temperatura de 80 °C.
De 26 Abr – 10 Mai (do 16.º ao 30.º dia de ensaio)	Foram feitos 3 ciclos de vácuo à pressão de 180 mmHg e temperatura de 80 °C.
De 10 Mai – 23 Mai (do 30.º ao 43.º dia de ensaio)	Foram feitos 2 ciclos de vácuo à pressão de 180 mmHg e temperatura de 80 °C.
De 23 Mai – 6 Jun (do 43.º ao 57.º dia de ensaio)	Foram feitos 2 ciclos de vácuo à pressão de 180 mmHg e temperatura de 80 °C.
De 6 Jun – 20 Jun (do 57.º ao 71.º dia de ensaio)	Foram feitos 2 ciclos de vácuo à pressão de 180 mmHg e temperatura de 80 °C.
De 20 Jun – 4 Jul (do 71.º ao 85.º dia de ensaio)	Foi feito 1 ciclo de vácuo à pressão de 180 mmHg e temperatura de 80 °C.

Metodologia estufa

Período	Metodologia
De 6 Jun – 20 Jun (do 57.º ao 71.º dia de ensaio)	Foi ligada a estufa por 3 dias.
De 20 Jun – 4 Jul (do 71.º ao 85.º dia de ensaio)	Foi ligada a estufa por 3 dias.

ANEXO 3 - Ensaio 1 – Interpolação dos valores das pesagens principais (sombreados a cinzento) para os 120 dias de ensaio

Dias	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Dias	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Dias	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	840,02	765,44	786,24	667,00	732,70	703,28	43	451,47	412,70	426,99	354,58	391,25	374,76	86	429,92	395,13	407,89	338,90	379,96	358,70
2	812,66	739,25	756,28	642,43	704,94	674,96	44	450,26	411,49	425,66	353,48	390,79	373,57	87	429,30	394,90	407,64	338,70	379,75	358,50
3	785,31	713,06	726,31	617,86	677,18	646,65	45	449,05	410,28	424,34	352,37	390,34	372,39	88	428,68	394,68	407,39	338,50	379,54	358,30
4	757,95	686,87	696,35	593,29	649,42	618,33	46	447,84	409,07	423,01	351,27	389,88	371,20	89	428,07	394,46	407,14	338,30	379,32	358,09
5	730,60	660,67	666,38	568,71	621,65	590,02	47	446,64	407,86	421,69	350,16	389,42	370,01	90	427,45	394,24	406,89	338,11	379,11	357,89
6	703,24	634,48	636,42	544,14	593,89	561,70	48	445,43	406,64	420,36	349,06	388,96	368,82	91	426,83	394,01	406,64	337,91	378,90	357,69
7	675,89	608,29	606,45	519,57	566,13	533,39	49	444,22	405,43	419,03	347,95	388,51	367,64	92	426,21	393,79	406,39	337,71	378,69	357,49
8	648,53	582,10	576,49	495,00	538,37	505,07	50	443,01	404,22	417,71	346,85	388,05	366,45	93	426,00	393,26	405,88	337,26	378,18	357,02
9	630,77	568,18	563,49	482,73	527,99	494,11	51	441,80	403,01	416,38	345,74	387,59	365,26	94	425,80	392,73	405,36	336,80	377,67	356,54
10	613,02	554,27	550,49	470,45	517,62	483,16	52	441,40	402,65	415,98	345,43	387,24	364,96	95	425,59	392,20	404,85	336,35	377,16	356,07
11	595,26	540,35	537,49	458,18	507,24	472,20	53	441,00	402,28	415,59	345,12	386,89	364,67	96	425,38	391,67	404,33	335,89	376,65	355,60
12	577,50	526,43	524,50	445,90	496,86	461,24	54	440,61	401,92	415,19	344,80	386,54	364,37	97	425,18	391,14	403,82	335,44	376,14	355,12
13	559,74	512,51	511,50	433,63	486,48	450,28	55	440,21	401,56	414,80	344,49	386,19	364,07	98	424,97	390,61	403,30	334,98	375,63	354,65
14	541,99	498,60	498,50	421,35	476,11	439,33	56	439,81	401,19	414,40	344,18	385,84	363,78	99	424,77	390,08	402,79	334,53	375,12	354,18
15	524,23	484,68	485,50	409,08	465,73	428,37	57	439,41	400,83	414,01	343,87	385,49	363,48	100	424,56	389,54	402,28	334,08	374,61	353,70
16	517,97	478,71	480,46	404,28	460,75	423,90	58	439,02	400,47	413,61	343,56	385,15	363,19	101	424,35	389,01	401,76	333,62	374,10	353,23
17	511,71	472,74	475,41	399,49	455,77	419,42	59	438,62	400,10	413,21	343,24	384,80	362,89	102	424,15	388,48	401,25	333,17	373,59	352,75
18	505,45	466,77	470,37	394,69	450,79	414,95	60	438,22	399,74	412,82	342,93	384,45	362,59	103	423,94	387,95	400,73	332,71	373,08	352,28
19	499,18	460,79	465,33	389,89	445,81	410,48	61	437,82	399,37	412,42	342,62	384,10	362,30	104	423,73	387,42	400,22	332,26	372,57	351,81
20	492,92	454,82	460,29	385,09	440,83	406,01	62	437,42	399,01	412,03	342,31	383,75	362,00	105	423,53	386,89	399,70	331,80	372,06	351,33
21	486,66	448,85	455,24	380,30	435,85	401,53	63	437,03	398,65	411,63	341,99	383,40	361,70	106	423,32	386,36	399,19	331,35	371,55	350,86
22	480,40	442,88	450,20	375,50	430,87	397,06	64	436,63	398,28	411,24	341,68	383,05	361,41	107	423,17	386,21	399,03	331,23	371,41	350,73
23	478,53	441,01	449,24	374,30	429,14	395,84	65	436,23	397,92	410,84	341,37	382,70	361,11	108	423,02	386,06	398,87	331,10	371,27	350,59
24	476,66	439,14	448,29	373,09	427,40	394,61	66	436,13	397,84	410,77	341,30	382,62	361,05	109	422,87	385,92	398,71	330,98	371,13	350,46
25	474,79	437,27	447,33	371,89	425,67	393,39	67	436,02	397,76	410,69	341,23	382,54	360,99	110	422,72	385,77	398,56	330,85	370,99	350,32
26	472,93	435,41	446,38	370,68	423,94	392,16	68	435,92	397,69	410,62	341,16	382,46	360,93	111	422,57	385,62	398,40	330,73	370,85	350,19
27	471,06	433,54	445,42	369,48	422,21	390,94	69	435,81	397,61	410,55	341,10	382,38	360,86	112	422,42	385,47	398,24	330,60	370,71	350,05
28	469,19	431,67	444,47	368,27	420,47	389,71	70	435,71	397,53	410,47	341,03	382,30	360,80	113	422,28	385,33	398,08	330,48	370,57	349,92
29	467,32	429,80	443,51	367,07	418,74	388,49	71	435,60	397,45	410,40	340,96	382,22	360,74	114	422,13	385,18	397,92	330,35	370,42	349,78
30	465,87	428,18	441,91	366,01	416,56	387,10	72	435,50	397,38	410,33	340,89	382,13	360,68	115	421,98	385,03	397,76	330,23	370,28	349,65
31	464,41	426,55	440,32	364,95	414,38	385,70	73	435,39	397,30	410,26	340,82	382,05	360,62	116	421,83	384,88	397,60	330,10	370,14	349,51
32	462,96	424,93	438,72	363,89	412,20	384,31	74	435,29	397,22	410,18	340,75	381,97	360,56	117	421,68	384,73	397,45	329,98	370,00	349,38
33	461,51	423,31	437,13	362,84	410,03	382,92	75	435,18	397,14	410,11	340,69	381,89	360,49	118	421,53	384,59	397,29	329,85	369,86	349,24
34	460,06	421,69	435,53	361,78	407,85	381,53	76	435,08	397,07	410,04	340,62	381,81	360,43	119	421,38	384,44	397,13	329,73	369,72	349,11
35	458,60	420,06	433,94	360,72	405,67	380,13	77	434,97	396,99	409,96	340,55	381,73	360,37	120	421,23	384,29	396,97	329,60	369,58	348,97
36	457,15	418,44	432,34	359,66	403,49	378,74	78	434,87	396,91	409,89	340,48	381,65	360,31							
37	456,34	417,62	431,58	358,93	401,74	378,17	79	434,25	396,69	409,64	340,28	381,44	360,11							
38	455,53	416,80	430,81	358,21	399,99	377,60	80	433,63	396,46	409,39	340,08	381,23	359,91							
39	454,72	415,98	430,05	357,48	398,24	377,03	81	433,01	396,24	409,14	339,89	381,02	359,71							
40	453,90	415,16	429,28	356,76	396,50	376,47	82	432,40	396,02	408,89	339,69	380,80	359,50							
41	453,09	414,34	428,52	356,03	394,75	375,90	83	431,78	395,80	408,64	339,49	380,59	359,30							
42	452,28	413,52	427,75	355,31	393,00	375,33	84	431,16	395,57	408,39	339,29	380,38	359,10							
							85	430,54	395,35	408,14	339,10	380,17	358,90							

ANEXO 4 - Ensaio 1 e 2 – Interpolação dos teores de água obtidos pelo método elétrico (sombreados a cinzento)

Dias	P1				P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Dias	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9						S10	S11	S12	S13									
1	65,8	65,3	65,8	65,5	65,2	65,8	65,5	65,1	65,3					57	21,5	21,4	21,6	20,8	18,3	22,5	20,9	16,9	18,6	20,1	21,9	20,6	21,7
2	65,8	65,3	65,7	65,4	63,3	65,8	65,4	62,3	65,3					58	21,4	21,3	21,5	20,7	18,2	22,3	20,8	16,8	18,5	20,0	21,7	20,4	21,5
3	65,7	65,3	65,6	65,3	61,5	65,8	65,4	59,6	65,2					59	21,2	21,1	21,4	20,6	18,0	22,1	20,7	16,6	18,3	19,8	21,4	20,2	21,2
4	65,7	65,3	65,5	65,2	59,6	65,8	65,3	56,8	65,2					60	21,1	21,0	21,2	20,5	17,9	22,0	20,5	16,5	18,2	19,6	21,2	20,0	21,0
5	65,6	65,2	65,3	65,2	57,8	65,8	65,3	54,1	65,2					61	21,0	20,8	21,1	20,4	17,8	21,8	20,4	16,3	18,1	19,4	21,0	19,8	20,7
6	65,6	65,2	65,2	65,1	56,9	65,8	65,2	51,3	65,2					62	20,9	20,7	21,0	20,2	17,7	21,7	20,3	16,2	18,0	19,2	20,8	19,5	20,5
7	65,5	65,2	65,1	65,0	54,1	65,8	65,2	48,6	65,1					63	20,8	20,6	20,9	20,1	17,6	21,5	20,2	16,0	17,8	19,1	20,6	19,3	20,3
8	65,5	65,2	65,0	64,9	52,2	65,8	65,1	45,8	65,1	66,0	66,1	66,1	66,2	64	20,7	20,4	20,7	20,0	17,5	21,4	20,0	15,9	17,7	18,9	20,4	19,1	20,0
9	65,4	65,2	65,0	64,9	50,9	65,7	65,1	44,9	62,7	65,9	66,0	65,0	66,1	65	20,6	20,3	20,6	19,9	17,4	21,2	19,9	15,7	17,6	18,7	20,2	18,9	19,8
10	65,3	65,2	65,0	65,0	49,6	65,7	65,1	44,0	60,4	65,8	65,8	63,9	65,9	66	20,5	20,2	20,5	19,8	17,3	21,2	19,8	15,6	17,5	18,6	20,1	18,8	19,7
11	65,2	65,2	65,0	65,0	48,3	65,6	65,1	43,1	58,0	65,7	65,7	62,8	65,8	67	20,4	20,1	20,4	19,7	17,3	21,1	19,7	15,5	17,4	18,5	20,0	18,6	19,6
12	65,2	65,2	65,0	65,0	46,9	65,5	65,2	42,3	55,7	65,5	65,6	61,6	65,6	68	20,4	20,1	20,4	19,7	17,2	21,1	19,7	15,5	17,4	18,4	19,9	18,6	19,5
13	65,1	65,2	65,0	65,0	45,6	65,4	65,2	41,4	53,3	65,4	65,6	60,5	65,5	69	20,4	20,1	20,4	19,6	17,2	21,1	19,6	15,4	17,4	18,3	19,9	18,5	19,4
14	65,0	65,2	65,0	65,1	44,3	65,4	65,2	40,5	51,0	65,3	65,3	59,4	65,3	70	20,3	20,0	20,3	19,6	17,2	21,0	19,6	15,4	17,3	18,3	19,8	18,4	19,4
15	64,9	65,2	65,0	65,1	43,0	65,3	65,2	39,6	48,6	65,2	65,2	58,3	65,2	71	20,3	20,0	20,3	19,5	17,2	21,0	19,5	15,3	17,3	18,2	19,8	18,3	19,3
16	61,1	62,9	63,7	64,5	41,8	62,8	64,5	39,3	48,5	64,6	65,0	58,0	65,0	72	20,3	20,0	20,3	19,5	17,1	21,0	19,5	15,3	17,3	18,1	19,7	18,3	19,2
17	57,3	60,6	62,3	64,0	40,6	60,2	63,8	39,0	48,3	64,0	64,9	57,7	64,9	73	20,2	19,9	20,2	19,4	17,1	21,0	19,4	15,2	17,2	18,1	19,7	18,2	19,2
18	53,5	58,3	61,0	63,4	39,4	57,7	63,1	38,7	48,2	63,4	64,7	57,4	64,7	74	20,2	19,9	20,2	19,4	17,1	20,9	19,4	15,2	17,2	18,0	19,6	18,1	19,1
19	49,7	56,0	59,6	62,8	38,3	55,2	62,3	38,3	48,0	62,7	64,5	57,2	64,6	75	20,1	19,8	20,1	19,3	17,0	20,9	19,3	15,1	17,1	18,0	19,6	18,1	19,1
20	45,9	53,7	58,3	62,2	37,1	52,7	61,6	38,0	47,9	62,1	64,3	56,9	64,4	76	20,1	19,8	20,1	19,3	17,0	20,9	19,3	15,1	17,1	18,0	19,6	18,1	19,1
21	42,1	51,4	56,9	61,7	35,9	50,1	60,9	37,7	47,7	61,5	64,2	56,6	64,3	77	20,1	19,8	20,1	19,3	17,0	20,9	19,3	15,1	17,1	18,0	19,6	18,1	19,1
22	38,3	49,1	55,6	61,1	34,7	47,6	60,2	37,4	47,6	60,9	64,0	56,3	64,1	78	20,0	19,7	20,0	19,3	17,0	20,8	19,3	15,1	17,1	17,9	19,5	18,0	19,0
23	37,3	46,6	52,5	57,4	33,5	46,8	56,8	36,9	46,5	59,9	63,2	56,3	64,0	79	20,0	19,6	19,9	19,2	16,9	20,8	19,2	15,0	17,0	17,9	19,4	17,9	18,9
24	36,2	44,1	49,5	53,7	32,4	46,0	53,5	36,3	43,3	59,0	62,4	56,3	63,8	80	19,9	19,6	19,9	19,2	16,9	20,7	19,2	15,0	17,0	17,9	19,4	17,9	18,9
25	35,2	41,6	46,4	50,0	31,2	45,2	50,1	35,8	41,2	58,0	61,6	56,3	63,7	81	19,8	19,5	19,8	19,1	16,8	20,6	19,1	14,9	16,9	17,8	19,3	17,8	18,9
26	34,1	39,0	43,4	46,3	30,1	44,5	46,7	35,2	39,0	57,0	60,8	56,3	63,6	82	19,8	19,5	19,8	19,1	16,8	20,6	19,1	14,9	16,9	17,8	19,3	17,8	18,9
27	33,1	36,5	40,3	42,6	28,9	43,7	43,3	34,7	36,9	56,0	60,0	56,3	63,5	83	19,7	19,4	19,6	19,0	16,7	20,5	19,0	14,8	16,8	17,8	19,3	17,8	18,8
28	32,0	34,0	37,3	38,9	27,8	42,9	40,0	34,1	34,7	55,1	59,2	56,3	63,3	84	19,7	19,4	19,6	19,0	16,7	20,5	19,0	14,8	16,8	17,8	19,3	17,8	18,8
29	31,0	31,5	34,2	35,2	26,6	42,1	36,6	33,6	32,6	54,1	58,4	56,3	63,2	85	19,6	19,3	19,5	18,9	16,6	20,4	18,9	14,8	16,8	17,8	19,2	17,7	18,8
30	30,4	30,9	33,3	34,0	26,1	40,6	35,3	32,1	31,2	51,3	56,3	56,7	62,8	86	19,5	19,2	19,4	18,9	16,6	20,3	18,9	14,7	16,7	17,8	19,2	17,7	18,7
31	29,9	30,3	32,3	32,8	25,5	39,1	34,1	30,5	29,8	48,5	54,1	55,2	62,4	87	19,5	19,2	19,3	18,8	16,5	20,3	18,8	14,7	16,7	17,8	19,1	17,6	18,7
32	29,3	29,7	31,4	31,6	25,0	37,6	32,8	29,0	28,4	46,7	52,0	54,6	62,0	88	19,4	19,1	19,2	18,8	16,5	20,2	18,8	14,6	16,6	17,7	19,1	17,6	18,7
33	28,8	29,0	30,4	30,4	24,4	36,2	31,6	27,5	27,1	43,0	49,8	54,0	61,6	89	19,3	19,0	19,2	18,7	16,4	20,1	18,7	14,6	16,6	17,7	19,1	17,6	18,7
34	28,2	28,4	29,5	29,2	23,9	34,7	30,3	26,0	25,7	40,2	47,7	53,4	61,2	90	19,3	19,0	19,1	18,7	16,4	20,1	18,7	14,5	16,5	17,7	19,0	17,5	18,6
35	27,7	27,8	28,5	28,0	23,3	33,2	29,1	24,4	24,3	37,4	45,5	52,9	60,8	91	19,2	18,9	19,0	18,6	16,3	20,0	18,6	14,5	16,5	17,7	19,0	17,5	18,6
36	27,1	27,2	27,6	26,8	22,8	31,7	27,8	22,9	22,9	34,6	43,4	52,3	60,4	92	19,0	18,7	18,8	18,4	16,1	19,8	18,4	14,3	16,3	17,5	18,8	17,3	18,4
37	26,8	26,9	27,3	26,5	22,6	31,3	27,4	22,5	22,7	33,2	41,5	49,9	56,4	93	18,8	18,5	18,6	18,2	16,0	19,6	18,2	14,1	16,1	17,3	18,7	17,1	18,2
38	26,6	26,6	27,0	26,3	22,3	30,8	27,1	22,1	22,5	31,9	39,6	47,5	52,4	94	18,6	18,4	18,4	18,0	15,8	19,5	18,1	13,9	15,9	17,2	18,5	17,0	18,1
39	26,3	26,3	26,7	26,0	22,1	30,4	26,7	21,7	22,3	30,5	37,7	45,1	48,4	95	18,5	18,2	18,2	17,8	15,7	19,3	17,9	13,7	15,7	17,0	18,3	16,8	17,9
40	26,1	26,1	26,5	25,7	21,9	29,9	26,3	21,4	22,2	29,1	35,9	42,6	44,3	96	18,3	18,0	18,0	17,6	15,5	19,1	17,7	13,5	15,5	16,8	18,1	16,6	17,7
41	25,8	25,8	26,2	25,4	21,7	29,5	25,9	21,0	22,0	27,7	34,0	40,2	40,3	97	18,1	17,8	17,8	17,4	15,4	18,9	17,5	13,3	15,3	16,6	18,0	16,4	17,5
42	25,6	25,5	25,9	25,2	21,4	29,0	25,6	20,6	21,8	26,4	32,1	37,8	36,3	98	17,9	17,7	17,7	17,2	15,2	18,8	17,4	13,1	15,1	16,5	17,8	16,3	17,4
43	25,3	25,2	25,6	24,9	21,2	28,6	25,2	20,2	21,6	25,0	30,2	36,4	32,3	99	17,7	17,5	17,5	17,0	15,0	18,6	17,2	12,9	14,8	16,3	17,6	16,1	17,2
44	24,9	24,8	25,2	24,5	20,9	28,0	24,8	19,9	21,3	24,5	29,3	33,7	31,2	100	17,5	17,3	17,3	16,8	14,9	18,4	17,0	12,7	14,6	16,1	17,5	15,9	17,0
45	24,5	24,5	24,8	24,1	20,6	27,3	24,3	19,6	21,0	24,1	28,4	32,0	30,0	101	17,3	17,1	17,1	16,6	14,7	18,2	16,8	12,5	14,4	15,9	17,3	15,7	16,8
46	24,1	24,1	24,4	23,6	20,3	26,7	23,9	19,3	20,7	23,6	27,5	30,3	28,9	102	17,2	16,9	16,9	16,4	14,6	18,0	16,6	12,3	14,2	15,7	17,1	15,5	16,6
47	23,7	23,7	24,0	23,2	20,1	26,0	23,5	19,0	20,5	23,1	26,7	28,7	27,7	103	17,0	16,8	16,7	16,2	14,4	17,9	16,5	12,1	14,0	15,6	16,9	15,4	16,5
48	23,3	23,3	23,6	22,8	19,8	25,4	23,0	18,7	20,2	22,6	25,8	27,0	26,6	104	16,8	16,6	16,5	16,0	14,3	17,7	16,3						

ANEXO 5 - Ensaio 1 – Teores de água estimados

Dias	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Dias	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	131,83	127,07	132,72	134,54	121,05	128,94	61	20,83	18,47	22,07	20,48	15,88	17,94
2	124,28	119,30	123,85	125,90	112,68	119,72	62	20,72	18,37	21,96	20,37	15,77	17,84
3	116,73	111,53	114,98	117,26	104,30	110,50	63	20,61	18,26	21,84	20,26	15,67	17,74
4	109,18	103,76	106,11	108,62	95,92	101,29	64	20,50	18,15	21,72	20,15	15,56	17,65
5	101,63	96,99	97,24	99,98	87,55	92,07	65	20,39	18,04	21,61	20,04	15,46	17,55
6	94,08	88,22	88,37	91,34	79,17	82,85	66	20,36	18,02	21,58	20,01	15,43	17,53
7	86,53	80,45	79,51	82,70	70,80	73,63	67	20,33	18,00	21,56	19,99	15,41	17,51
8	78,98	72,68	70,64	74,06	62,42	64,42	68	20,30	17,97	21,54	19,97	15,39	17,49
9	74,08	68,55	66,79	69,74	59,29	60,85	69	20,27	17,95	21,52	19,94	15,36	17,47
10	69,18	64,42	62,94	65,43	56,16	57,28	70	20,25	17,93	21,50	19,92	15,34	17,45
11	64,28	60,29	59,09	61,11	53,03	53,71	71	20,22	17,91	21,48	19,89	15,31	17,43
12	59,38	56,17	55,25	56,80	49,90	50,15	72	20,19	17,88	21,45	19,87	15,29	17,41
13	54,48	52,04	51,40	52,48	46,77	46,58	73	20,16	17,86	21,43	19,85	15,26	17,39
14	49,58	47,91	47,55	48,16	43,64	43,01	74	20,13	17,84	21,41	19,82	15,24	17,37
15	44,68	43,78	43,70	43,85	40,51	39,45	75	20,10	17,81	21,39	19,80	15,21	17,35
16	42,95	42,01	42,21	42,16	39,01	37,99	76	20,07	17,79	21,37	19,77	15,19	17,33
17	41,22	40,24	40,72	40,47	37,50	36,53	77	20,04	17,77	21,35	19,75	15,17	17,31
18	39,49	38,47	39,23	38,79	36,00	35,08	78	20,01	17,74	21,32	19,73	15,14	17,29
19	37,76	36,70	37,73	37,10	34,50	33,62	79	19,84	17,68	21,25	19,66	15,08	17,23
20	36,04	34,92	36,24	35,41	33,00	32,17	80	19,67	17,61	21,18	19,59	15,01	17,16
21	34,31	33,15	34,75	33,73	31,49	30,71	81	19,50	17,55	21,10	19,52	14,95	17,09
22	32,58	31,38	33,26	32,04	29,99	29,25	82	19,33	17,48	21,03	19,45	14,89	17,03
23	32,06	30,83	32,97	31,62	29,47	28,86	83	19,16	17,41	20,95	19,38	14,82	16,96
24	31,55	30,27	32,69	31,19	28,95	28,46	84	18,99	17,35	20,88	19,31	14,76	16,90
25	31,03	29,72	32,41	30,77	28,42	28,06	85	18,82	17,28	20,81	19,24	14,69	16,83
26	30,52	29,16	32,12	30,35	27,90	27,66	86	18,65	17,21	20,73	19,17	14,63	16,77
27	30,00	28,61	31,84	29,92	27,38	27,26	87	18,48	17,15	20,66	19,10	14,57	16,70
28	29,49	28,05	31,56	29,50	26,85	26,86	88	18,31	17,08	20,58	19,03	14,50	16,64
29	28,97	27,50	31,28	29,08	26,33	26,46	89	18,14	17,02	20,51	18,96	14,44	16,57
30	28,57	27,02	30,80	28,70	25,67	26,01	90	17,97	16,95	20,44	18,89	14,38	16,50
31	28,17	26,54	30,33	28,33	25,02	25,56	91	17,80	16,88	20,36	18,82	14,31	16,44
32	27,77	26,06	29,86	27,96	24,36	25,10	92	17,62	16,82	20,29	18,75	14,25	16,37
33	27,37	25,57	29,39	27,59	23,70	24,65	93	17,57	16,66	20,14	18,59	14,09	16,22
34	26,97	25,09	28,91	27,21	23,04	24,20	94	17,51	16,50	19,98	18,43	13,94	16,07
35	26,56	24,61	28,44	26,84	22,39	23,74	95	17,45	16,35	19,83	18,27	13,79	15,91
36	26,16	24,13	27,97	26,47	21,73	23,29	96	17,40	16,19	19,68	18,11	13,63	15,76
37	25,94	23,89	27,74	26,22	21,20	23,11	97	17,34	16,03	19,53	17,95	13,48	15,60
38	25,72	23,64	27,52	25,96	20,68	22,92	98	17,28	15,87	19,37	17,79	13,33	15,45
39	25,49	23,40	27,29	25,70	20,15	22,74	99	17,23	15,72	19,22	17,63	13,17	15,29
40	25,27	23,16	27,06	25,45	19,62	22,55	100	17,17	15,56	19,07	17,47	13,02	15,14
41	25,04	22,91	26,84	25,19	19,09	22,37	101	17,11	15,40	18,92	17,31	12,86	14,99
42	24,82	22,67	26,61	24,94	18,57	22,18	102	17,05	15,24	18,77	17,15	12,71	14,83
43	24,60	22,43	26,39	24,68	18,04	22,00	103	17,00	15,09	18,61	16,99	12,56	14,68
44	24,26	22,07	25,99	24,30	17,90	21,61	104	16,94	14,93	18,46	16,83	12,40	14,52
45	23,93	21,71	25,60	23,91	17,76	21,22	105	16,88	14,77	18,31	16,68	12,25	14,37
46	23,59	21,35	25,21	23,52	17,62	20,84	106	16,83	14,61	18,16	16,52	12,09	14,22
47	23,26	20,99	24,82	23,13	17,49	20,45	107	16,79	14,57	18,11	16,47	12,05	14,17
48	22,93	20,63	24,42	22,74	17,35	20,06	108	16,74	14,53	18,06	16,43	12,01	14,13
49	22,59	20,27	24,03	22,35	17,21	19,68	109	16,70	14,48	18,02	16,38	11,97	14,08
50	22,26	19,91	23,64	21,96	17,07	19,29	110	16,66	14,44	17,97	16,34	11,92	14,04
51	21,93	19,55	23,25	21,58	16,93	18,90	111	16,62	14,39	17,92	16,30	11,88	14,00
52	21,82	19,45	23,13	21,47	16,83	18,81	112	16,58	14,35	17,88	16,25	11,84	13,95
53	21,71	19,34	23,01	21,36	16,72	18,71	113	16,54	14,31	17,83	16,21	11,80	13,91
54	21,60	19,23	22,89	21,25	16,62	18,61	114	16,50	14,26	17,78	16,16	11,75	13,86
55	21,49	19,12	22,78	21,14	16,51	18,52	115	16,46	14,22	17,73	16,12	11,71	13,82
56	21,38	19,01	22,66	21,03	16,41	18,42	116	16,41	14,18	17,69	16,08	11,67	13,78
57	21,27	18,91	22,54	20,92	16,30	18,32	117	16,37	14,13	17,64	16,03	11,63	13,73
58	21,16	18,80	22,43	20,81	16,20	18,23	118	16,33	14,09	17,59	15,99	11,58	13,69
59	21,05	18,69	22,31	20,70	16,09	18,13	119	16,29	14,04	17,55	15,94	11,54	13,64
60	20,94	18,58	22,19	20,59	15,99	18,03	120	16,25	14,00	17,50	15,90	11,50	13,60

ANEXO 6 - Ensaio 2 – Interpolação dos valores das pesagens principais (sombreados a cinzento) para os 113 dias de ensaio

Dias	P7	P8	P9	P10	Dias	P7	P8	P9	P10
1	1107,30	1092,10	1045,77	1110,92	59	597,81	570,21	536,59	567,65
2	1067,58	1050,65	1010,72	1074,43	60	597,64	570,07	536,45	567,49
3	1027,86	1009,21	975,68	1037,95	61	597,46	569,92	536,30	567,32
4	988,14	967,76	940,63	1001,46	62	597,29	569,78	536,16	567,16
5	948,41	926,31	905,58	964,98	63	597,11	569,63	536,02	566,99
6	908,69	884,86	870,53	928,49	64	596,94	569,49	535,88	566,82
7	868,97	843,42	835,49	892,01	65	596,76	569,34	535,73	566,66
8	829,25	801,97	800,44	855,52	66	596,59	569,20	535,59	566,49
9	814,47	787,21	782,86	838,84	67	596,41	569,05	535,45	566,32
10	799,69	772,44	765,28	822,16	68	596,24	568,91	535,31	566,16
11	784,91	757,68	747,70	805,48	69	596,06	568,76	535,16	565,99
12	770,14	742,91	730,11	788,79	70	595,89	568,62	535,02	565,83
13	755,36	728,15	712,53	772,11	71	595,71	568,47	534,88	565,66
14	740,58	713,38	694,95	755,43	72	595,20	568,22	534,55	565,40
15	725,80	698,62	677,37	738,75	73	594,70	567,96	534,22	565,13
16	719,03	691,17	669,68	729,48	74	594,19	567,71	533,89	564,87
17	712,26	683,73	661,99	720,20	75	593,69	567,45	533,56	564,60
18	705,49	676,28	654,30	710,93	76	593,18	567,20	533,23	564,34
19	698,72	668,83	646,60	701,65	77	592,68	566,94	532,90	564,07
20	691,95	661,38	638,91	692,38	78	592,17	566,69	532,58	563,81
21	685,18	653,94	631,22	683,10	79	591,66	566,44	532,25	563,55
22	678,41	646,49	623,53	673,83	80	591,16	566,18	531,92	563,28
23	673,62	641,84	617,76	667,14	81	590,65	565,93	531,59	563,02
24	668,84	637,18	611,98	660,44	82	590,15	565,67	531,26	562,75
25	664,05	632,53	606,21	653,75	83	589,64	565,42	530,93	562,49
26	659,27	627,88	600,43	647,06	84	589,14	565,16	530,60	562,22
27	654,48	623,23	594,66	640,37	85	588,63	564,91	530,27	561,96
28	649,70	618,57	588,88	633,67	86	588,09	564,19	529,63	561,22
29	644,91	613,92	583,11	626,98	87	587,55	563,46	528,98	560,48
30	642,36	611,49	580,20	623,04	88	587,01	562,74	528,34	559,74
31	639,81	609,05	577,29	619,10	89	586,47	562,01	527,69	559,00
32	637,26	606,62	574,38	615,16	90	585,93	561,29	527,05	558,26
33	634,71	604,19	571,47	611,22	91	585,39	560,56	526,40	557,52
34	632,16	601,76	568,56	607,28	92	584,86	559,84	525,76	556,78
35	629,61	599,32	565,65	603,34	93	584,32	559,12	525,12	556,04
36	627,06	596,89	562,74	599,40	94	583,78	558,39	524,47	555,30
37	624,69	594,75	560,61	596,73	95	583,24	557,67	523,83	554,56
38	622,32	592,61	558,48	594,06	96	582,70	556,94	523,18	553,82
39	619,95	590,46	556,35	591,38	97	582,16	556,22	522,54	553,08
40	617,58	588,32	554,22	588,71	98	581,62	555,49	521,89	552,34
41	615,21	586,18	552,09	586,04	99	581,08	554,77	521,25	551,60
42	612,84	584,04	549,96	583,37	100	580,84	554,55	521,04	551,35
43	610,47	581,89	547,83	580,69	101	580,59	554,32	520,84	551,10
44	608,10	579,75	545,70	578,02	102	580,35	554,10	520,63	550,86
45	607,38	579,08	545,06	577,29	103	580,10	553,88	520,42	550,61
46	606,66	578,41	544,42	576,56	104	579,86	553,66	520,21	550,36
47	605,93	577,74	543,78	575,83	105	579,61	553,43	520,01	550,11
48	605,21	577,07	543,14	575,11	106	579,37	553,21	519,80	549,87
49	604,49	576,40	542,50	574,38	107	579,13	552,99	519,59	549,62
50	603,77	575,73	541,86	573,65	108	578,88	552,76	519,39	549,37
51	603,05	575,06	541,22	572,92	109	578,64	552,54	519,18	549,12
52	602,32	574,38	540,57	572,19	110	578,39	552,32	518,97	548,87
53	601,60	573,71	539,93	571,46	111	578,15	552,10	518,76	548,63
54	600,88	573,04	539,29	570,73	112	577,90	551,87	518,56	548,38
55	600,16	572,37	538,65	570,01	113	577,66	551,65	518,35	548,13
56	599,43	571,70	538,01	569,28					
57	598,71	571,03	537,37	568,55					
58	597,99	570,36	536,73	567,82					

ANEXO 7 - Ensaio 2 – Teores de água estimados

Dias	P7	P8	P9	P10	Dias	P7	P8	P9	P10	Dias	P7	P8	P9	P10
1	120,63	130,63	131,21	134,70	41	22,58	23,79	22,06	23,81	81	17,69	19,52	17,53	18,95
2	112,72	121,88	123,46	126,99	42	22,11	23,34	21,59	23,24	82	17,59	19,46	17,45	18,89
3	104,80	113,13	115,71	119,28	43	21,64	22,89	21,12	22,68	83	17,49	19,41	17,38	18,83
4	96,89	104,38	107,96	111,57	44	21,17	22,43	20,65	22,11	84	17,39	19,35	17,31	18,78
5	88,97	95,62	100,21	103,86	45	21,02	22,29	20,51	21,96	85	17,29	19,30	17,24	18,72
6	81,06	86,87	92,46	96,16	46	20,88	22,15	20,36	21,81	86	17,18	19,15	17,09	18,57
7	73,14	78,12	84,71	88,45	47	20,73	22,01	20,22	21,65	87	17,07	18,99	16,95	18,41
8	65,23	69,36	76,97	80,74	48	20,59	21,87	20,08	21,50	88	16,96	18,84	16,81	18,25
9	62,29	66,25	73,08	77,22	49	20,45	21,73	19,94	21,35	89	16,86	18,69	16,67	18,10
10	59,34	63,13	69,19	73,69	50	20,30	21,58	19,80	21,19	90	16,75	18,54	16,52	17,94
11	56,40	60,01	65,31	70,17	51	20,16	21,44	19,66	21,04	91	16,64	18,38	16,38	17,78
12	53,45	56,89	61,42	66,64	52	20,01	21,30	19,51	20,88	92	16,53	18,23	16,24	17,63
13	50,51	53,77	57,53	63,12	53	19,87	21,16	19,37	20,73	93	16,43	18,08	16,10	17,47
14	47,56	50,66	53,64	59,60	54	19,73	21,02	19,23	20,58	94	16,32	17,92	15,95	17,31
15	44,62	47,54	49,76	56,07	55	19,58	20,88	19,09	20,42	95	16,21	17,77	15,81	17,16
16	43,27	45,97	48,06	54,11	56	19,44	20,73	18,95	20,27	96	16,10	17,62	15,67	17,00
17	41,92	44,39	46,36	52,15	57	19,29	20,59	18,81	20,11	97	16,00	17,46	15,53	16,85
18	40,57	42,82	44,66	50,19	58	19,15	20,45	18,66	19,96	98	15,89	17,31	15,38	16,69
19	39,22	41,25	42,96	48,23	59	19,12	20,42	18,63	19,92	99	15,78	17,16	15,24	16,53
20	37,87	39,67	41,25	46,27	60	19,08	20,39	18,60	19,89	100	15,73	17,11	15,20	16,48
21	36,52	38,10	39,55	44,32	61	19,05	20,36	18,57	19,85	101	15,68	17,06	15,15	16,43
22	35,17	36,53	37,85	42,36	62	19,01	20,33	18,54	19,82	102	15,64	17,02	15,10	16,38
23	34,22	35,55	36,58	40,94	63	18,98	20,30	18,51	19,78	103	15,59	16,97	15,06	16,32
24	33,27	34,56	35,30	39,53	64	18,94	20,27	18,47	19,75	104	15,54	16,92	15,01	16,27
25	32,31	33,58	34,02	38,11	65	18,91	20,24	18,44	19,71	105	15,49	16,88	14,97	16,22
26	31,36	32,60	32,75	36,70	66	18,87	20,21	18,41	19,68	106	15,44	16,83	14,92	16,17
27	30,41	31,62	31,47	35,29	67	18,84	20,17	18,38	19,64	107	15,39	16,78	14,87	16,11
28	29,45	30,63	30,19	33,87	68	18,80	20,14	18,35	19,61	108	15,34	16,74	14,83	16,06
29	28,50	29,65	28,92	32,46	69	18,77	20,11	18,32	19,57	109	15,29	16,69	14,78	16,01
30	27,99	29,14	28,27	31,63	70	18,73	20,08	18,29	19,54	110	15,25	16,64	14,74	15,96
31	27,48	28,62	27,63	30,79	71	18,70	20,05	18,25	19,50	111	15,20	16,59	14,69	15,90
32	26,98	28,11	26,99	29,96	72	18,60	20,00	18,18	19,45	112	15,15	16,55	14,65	15,85
33	26,47	27,60	26,34	29,13	73	18,49	19,94	18,11	19,39	113	15,10	16,50	14,60	15,80
34	25,96	27,08	25,70	28,30	74	18,39	19,89	18,04	19,34					
35	25,45	26,57	25,06	27,46	75	18,29	19,84	17,96	19,28					
36	24,94	26,05	24,41	26,63	76	18,19	19,78	17,89	19,22					
37	24,47	25,60	23,94	26,07	77	18,09	19,73	17,82	19,17					
38	24,00	25,15	23,47	25,50	78	17,99	19,68	17,74	19,11					
39	23,53	24,70	23,00	24,94	79	17,89	19,62	17,67	19,06					
40	23,05	24,24	22,53	24,37	80	17,79	19,57	17,60	19,00					

ANEXO 8 - Ensaio 3 – Interpolação dos valores das pesagens principais (sombreados a cinzento) para os 99 dias de ensaio

Dias	PF11	PF12	PF13	P14	PF15	PF16	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8	PT9
1	714,15	1305,39	703,57	369,31	1315,92	639,94	532,03	609,47	640,67	668,76	682,80	669,98	720,25	713,22	573,32
2	688,84	1271,79	680,24	353,08	1281,42	617,20	518,28	597,13	627,81	656,05	669,09	658,13	702,81	690,26	549,95
3	663,52	1238,18	656,91	336,84	1246,93	594,47	504,53	584,78	614,96	643,34	655,38	646,29	685,37	667,30	526,58
4	638,21	1204,58	633,58	320,61	1212,43	571,73	490,78	572,44	602,10	630,63	641,67	634,44	667,93	644,34	503,21
5	612,89	1170,98	610,26	304,38	1177,93	549,00	477,03	560,10	589,24	617,92	627,95	622,60	650,50	621,37	479,83
6	587,58	1137,38	586,93	288,15	1143,43	526,26	463,28	547,76	576,38	605,21	614,24	610,75	633,06	598,41	456,46
7	562,26	1103,77	563,60	271,91	1108,94	503,53	449,53	535,41	563,53	592,50	600,53	598,91	615,62	575,45	433,09
8	536,95	1070,17	540,27	255,68	1074,44	480,79	435,78	523,07	550,67	579,79	586,82	587,06	598,18	552,49	409,72
9	527,55	1052,02	531,04	252,34	1052,10	471,26	423,42	506,83	533,46	560,55	566,53	568,44	574,22	538,28	397,76
10	518,15	1033,87	521,80	249,01	1029,76	461,73	411,07	490,58	516,26	541,32	546,25	549,83	550,26	524,07	385,81
11	508,75	1015,72	512,57	245,67	1007,42	452,20	398,71	474,34	499,05	522,08	525,96	531,21	526,30	509,86	373,85
12	499,34	997,58	503,34	242,33	985,07	442,66	386,35	458,10	481,84	502,85	505,67	512,60	502,34	495,64	361,90
13	489,94	979,43	494,11	238,99	962,73	433,13	373,99	441,86	464,63	483,61	485,38	493,98	478,38	481,43	349,94
14	480,54	961,28	484,87	235,66	940,39	423,60	361,64	425,61	447,43	464,38	465,10	475,37	454,42	467,22	337,99
15	471,14	943,13	475,64	232,32	918,05	414,07	349,28	409,37	430,22	445,14	444,81	456,75	430,46	453,01	326,03
16	468,32	933,15	471,70	231,80	907,64	410,19	347,04	403,81	424,81	437,18	437,27	446,52	425,25	446,02	324,28
17	465,50	923,18	467,76	231,27	897,24	406,31	344,81	398,24	419,39	429,23	429,74	436,30	420,04	439,03	322,53
18	462,68	913,20	463,82	230,75	886,83	402,43	342,57	392,68	413,98	421,27	422,20	426,07	414,83	432,04	320,78
19	459,87	903,22	459,88	230,23	876,42	398,55	340,34	387,11	408,57	413,32	414,67	415,85	409,63	425,06	319,03
20	457,05	893,24	455,94	229,71	866,01	394,67	338,10	381,55	403,16	405,36	407,13	405,62	404,42	418,07	317,28
21	454,23	883,27	452,00	229,18	855,61	390,79	335,87	375,98	397,74	397,41	399,60	395,40	399,21	411,08	315,53
22	451,41	873,29	448,06	228,66	845,20	386,91	333,63	370,42	392,33	389,45	392,06	385,17	394,00	404,09	313,78
23	449,71	866,12	445,89	228,01	836,81	385,14	331,59	368,58	389,45	386,95	388,92	381,71	391,87	401,49	312,60
24	448,01	858,95	443,72	227,37	828,41	383,37	329,56	366,74	386,57	384,45	385,78	378,24	389,73	398,88	311,42
25	446,31	851,78	441,55	226,72	820,02	381,60	327,52	364,90	383,69	381,95	382,64	374,78	387,60	396,28	310,24
26	444,62	844,62	439,38	226,07	811,62	379,84	325,49	363,06	380,82	379,45	379,50	371,31	385,46	393,68	309,07
27	442,92	837,45	437,21	225,42	803,23	378,07	323,45	361,21	377,94	376,94	376,35	367,85	383,33	391,07	307,89
28	441,22	830,28	435,04	224,78	794,83	376,30	321,41	359,37	375,06	374,44	373,21	364,38	381,19	388,47	306,71
29	439,52	823,11	432,87	224,13	786,44	374,53	319,38	357,53	372,18	371,94	370,07	360,92	379,06	385,86	305,53
30	437,82	815,94	430,70	223,48	778,04	372,76	317,34	355,69	369,30	369,44	366,93	357,45	376,92	383,26	304,35
31	437,50	813,49	430,33	223,35	775,17	372,41	317,01	355,29	368,90	368,98	366,49	357,04	376,56	382,85	304,15
32	437,17	811,04	429,96	223,23	772,30	372,05	316,69	354,89	368,49	368,53	366,05	356,64	376,19	382,44	303,95
33	436,85	808,59	429,58	223,10	769,43	371,70	316,36	354,49	368,09	368,07	365,61	356,23	375,83	382,03	303,75
34	436,53	806,14	429,21	222,97	766,56	371,34	316,04	354,09	367,68	367,61	365,18	355,82	375,46	381,62	303,55
35	436,21	803,69	428,84	222,85	763,69	370,99	315,71	353,69	367,28	367,15	364,74	355,41	375,10	381,21	303,35
36	435,88	801,24	428,47	222,72	760,82	370,63	315,39	353,29	366,87	366,70	364,30	355,01	374,73	380,80	303,15
37	435,56	798,79	428,10	222,60	757,96	370,28	315,06	352,90	366,47	366,24	363,86	354,60	374,37	380,40	302,95
38	435,24	796,34	427,72	222,47	755,09	369,93	314,73	352,50	366,06	365,78	363,42	354,19	374,00	379,99	302,74
39	434,91	793,89	427,35	222,34	752,22	369,57	314,41	352,10	365,66	365,33	362,98	353,79	373,64	379,58	302,54
40	434,59	791,44	426,98	222,22	749,35	369,22	314,08	351,70	365,25	364,87	362,54	353,38	373,27	379,17	302,34
41	434,27	788,99	426,61	222,09	746,48	368,86	313,76	351,30	364,85	364,41	362,11	352,97	372,91	378,76	302,14
42	433,95	786,54	426,23	221,96	743,61	368,51	313,43	350,90	364,44	363,95	361,67	352,56	372,54	378,35	301,94
43	433,62	784,09	425,86	221,84	740,74	368,15	313,11	350,50	364,04	363,50	361,23	352,16	372,18	377,94	301,74
44	433,30	781,64	425,49	221,71	737,87	367,80	312,78	350,10	363,63	363,04	360,79	351,75	371,81	377,53	301,54
45	433,23	781,10	425,40	221,63	737,30	367,73	312,71	350,02	363,54	362,96	360,68	351,68	371,74	377,48	301,50
46	433,17	780,56	425,30	221,54	736,73	367,67	312,64	349,95	363,46	362,88	360,57	351,61	371,67	377,43	301,46
47	433,10	780,02	425,21	221,46	736,16	367,60	312,57	349,87	363,37	362,80	360,45	351,54	371,60	377,38	301,42
48	433,04	779,48	425,11	221,37	735,59	367,54	312,50	349,80	363,29	362,72	360,34	351,48	371,53	377,34	301,38
49	432,97	778,94	425,02	221,29	735,02	367,47	312,43	349,72	363,20	362,64	360,23	351,41	371,46	377,29	301,34
50	432,90	778,40	424,92	221,20	734,45	367,41	312,36	349,65	363,12	362,56	360,12	351,34	371,39	377,24	301,30
51	432,84	777,87	424,83	221,12	733,88	367,34	312,30	349,57	363,03	362,48	360,00	351,27	371,33	377,19	301,27
52	432,77	777,33	424,73	221,03	733,31	367,28	312,23	349,50	362,95	362,40	359,89	351,20	371,26	377,14	301,23
53	432,70	776,79	424,64	220,95	732,74	367,21	312,16	349,42	362,86	362,32	359,78	351,13	371,19	377,09	301,19
54	432,64	776,25	424,54	220,86	732,17	367,15	312,09	349,35	362,78	362,24	359,67	351,07	371,12	377,05	301,15
55	432,57	775,71	424,45	220,78	731,60	367,08	312,02	349,27	362,69	362,16	359,55	351,00	371,05	377,00	301,11
56	432,51	775,17	424,35	220,69	731,03	367,02	311,95	349,20	362,61	362,08	359,44	350,93	370,98	376,95	301,07
57	432,44	774,63	424,26	220,61	730,46	366,95	311,88	349,12	362,52	362,00	359,33	350,86	370,91	376,90	301,03
58	432,15	774,14	424,00	220,50	729,95	366,70	311,71	348,93	362,39	361,79	359,12	350,66	370,67	376,66	300,83
59	431,85	773,65	423,75	220,39	729,45	366,44	311,53	348,74	362,26	361,58	358,90	350,46	370,43	376,42	300,62
60	431,56	773,15	423,49	220,28	728,94	366,19	311,36	348,56	362,13	361,38	358,69	350,26	370,19	376,19	300,42
61	431,26	772,66	423,23	220,17	728,43	365,93	311,18	348,37	362,00	361,17	358,47	350,06	369,94	375,95	300,21
62	430,97	772,17	422,97	220,06	727,92	365,68	311,01	348,18	361,87	360,96	358,26	349,86	369,70	375,71	300,01
63	430,67	771,68	422,72	219,95	727,42	365,42	310,83	347,99	361,74	360,75	358,04	349,66	369,46	375,47	299,80
64	430,38	771,19	422,46	219,84	726,91	365,17	310,66	347,81	361,62	360,55	357,83	349,47	369,22	375,24	299,60
65	430,09	770,69	422,20	219,72	726,40	364,92	310,48	347,62	361,49	360,34	357,61	349,27	368,98	375,00	299,40
66	429,79	770,20	421,95	219,61	725,90	364,66	310,31	347,43	361,36	360,13	357,40	349,07	368,74	374,76	299,19
67	429,50	769,71	421,69	219,50	725,39	364,41	310,13	347,24	361,23	359,92	357,18	348,87	368,50	374,52	298,99
68	429,20	769,22	421,43	219,39	724,88	364,15	309,96	347,05	361,10	359,71	356,97	348,67	368,25	374,28	298,78
69	428,91	768,72	421,17	219,28	724,37										

74	426,80	764,28	418,78	218,31	720,00	361,80	308,03	344,83	358,84	357,45	354,76	346,56	366,06	371,98	297,07
75	426,29	763,13	418,16	218,06	718,89	361,26	307,56	344,28	358,21	356,90	354,24	346,06	365,57	371,45	296,70
76	425,78	761,98	417,53	217,81	717,77	360,73	307,10	343,73	357,59	356,35	353,72	345,55	365,08	370,92	296,33
77	425,27	760,83	416,91	217,56	716,65	360,20	306,63	343,18	356,96	355,80	353,20	345,05	364,59	370,39	295,97
78	424,77	759,68	416,28	217,32	715,53	359,67	306,17	342,63	356,34	355,26	352,68	344,55	364,11	369,87	295,60
79	424,26	758,52	415,65	217,07	714,41	359,14	305,70	342,07	355,71	354,71	352,15	344,04	363,62	369,34	295,23
80	423,75	757,37	415,03	216,82	713,29	358,61	305,23	341,52	355,09	354,16	351,63	343,54	363,13	368,81	294,87
81	423,24	756,22	414,40	216,57	712,17	358,08	304,77	340,97	354,46	353,61	351,11	343,03	362,64	368,28	294,50
82	422,73	755,07	413,78	216,32	711,06	357,54	304,30	340,42	353,84	353,06	350,59	342,53	362,15	367,75	294,13
83	422,23	753,91	413,15	216,07	709,94	357,01	303,83	339,86	353,21	352,52	350,07	342,03	361,66	367,22	293,76
84	421,72	752,76	412,53	215,82	708,82	356,48	303,37	339,31	352,59	351,97	349,55	341,52	361,17	366,69	293,40
85	421,21	751,61	411,90	215,57	707,70	355,95	302,90	338,76	351,96	351,42	349,03	341,02	360,68	366,16	293,03
86	421,04	751,29	411,75	215,48	707,43	355,83	302,76	338,63	351,82	351,29	348,90	340,89	360,54	366,02	292,89
87	420,87	750,97	411,60	215,38	707,16	355,72	302,62	338,51	351,69	351,15	348,77	340,76	360,40	365,89	292,75
88	420,70	750,64	411,45	215,29	706,89	355,60	302,48	338,38	351,55	351,02	348,64	340,63	360,26	365,75	292,61
89	420,53	750,32	411,30	215,20	706,62	355,48	302,35	338,25	351,41	350,89	348,50	340,51	360,11	365,61	292,47
90	420,36	750,00	411,15	215,10	706,35	355,37	302,21	338,12	351,28	350,76	348,37	340,38	359,97	365,48	292,33
91	420,19	749,68	411,00	215,01	706,08	355,25	302,07	338,00	351,14	350,62	348,24	340,25	359,83	365,34	292,19
92	420,02	749,36	410,85	214,92	705,82	355,14	301,93	337,87	351,01	350,49	348,11	340,12	359,69	365,21	292,05
93	419,84	749,03	410,70	214,82	705,55	355,02	301,79	337,74	350,87	350,36	347,98	339,99	359,55	365,07	291,91
94	419,67	748,71	410,55	214,73	705,28	354,90	301,65	337,62	350,73	350,22	347,85	339,86	359,41	364,93	291,77
95	419,50	748,39	410,40	214,63	705,01	354,79	301,51	337,49	350,60	350,09	347,72	339,73	359,27	364,80	291,63
96	419,33	748,07	410,25	214,54	704,74	354,67	301,38	337,36	350,46	349,96	347,58	339,61	359,12	364,66	291,49
97	419,16	747,74	410,10	214,45	704,47	354,55	301,24	337,23	350,32	349,83	347,45	339,48	358,98	364,52	291,35
98	418,99	747,42	409,95	214,35	704,20	354,44	301,10	337,11	350,19	349,69	347,32	339,35	358,84	364,39	291,21
99	418,82	747,10	409,80	214,26	703,93	354,32	300,96	336,98	350,05	349,56	347,19	339,22	358,70	364,25	291,07

ANEXO 9 - Ensaio 3 – Teores de água estimados

Dias	P11F	P12F	P13F	P14	P15F	P16F	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8	PT9
1	96,22	101,07	97,57	98,35	115,12	107,84	103,43	108,13	110,61	120,16	126,31	127,28	131,06	125,32	126,66
2	89,26	95,89	91,02	89,63	109,48	100,45	98,17	103,91	106,39	115,97	121,77	123,26	125,47	118,07	117,42
3	82,31	90,72	84,47	80,91	103,84	93,07	92,91	99,70	102,16	111,79	117,22	119,24	119,88	110,81	108,18
4	75,35	85,54	77,92	72,19	98,20	85,69	87,65	95,48	97,93	107,60	112,68	115,22	114,28	103,56	98,94
5	68,40	80,36	71,36	63,48	92,56	78,30	82,40	91,27	93,71	103,42	108,13	111,21	108,69	96,31	89,70
6	61,44	75,19	64,81	54,76	86,92	70,92	77,14	87,05	89,48	99,23	103,59	107,19	103,09	89,05	80,46
7	54,49	70,01	58,26	46,04	81,28	63,53	71,88	82,84	85,25	95,05	99,04	103,17	97,50	81,80	71,22
8	47,53	64,84	51,71	37,32	75,64	56,15	66,62	78,62	81,03	90,87	94,50	99,15	91,90	74,54	61,98
9	44,95	62,04	49,12	35,53	71,99	53,05	61,90	73,08	75,37	84,53	87,78	92,84	84,22	70,05	57,26
10	42,37	59,25	46,53	33,74	68,34	49,96	57,17	67,53	69,71	78,20	81,05	86,52	76,53	65,56	52,53
11	39,78	56,45	43,93	31,94	64,69	46,86	52,45	61,98	64,06	71,87	74,33	80,21	68,84	61,08	47,80
12	37,20	53,66	41,34	30,15	61,04	43,77	47,73	56,44	58,40	65,54	67,60	73,89	61,16	56,59	43,08
13	34,62	50,86	38,75	28,36	57,38	40,67	43,00	50,89	52,74	59,20	60,88	67,58	53,47	52,10	38,35
14	32,03	48,06	36,16	26,57	53,73	37,58	38,28	45,34	47,09	52,87	54,15	61,26	45,78	47,61	33,62
15	29,45	45,27	33,56	24,77	50,08	34,48	33,55	39,80	41,43	46,54	47,43	54,95	38,10	43,12	28,90
16	28,68	43,73	32,46	24,49	48,38	33,22	32,70	37,90	39,65	43,92	44,93	51,48	36,43	40,91	28,20
17	27,90	42,20	31,35	24,21	46,68	31,96	31,84	36,00	37,87	41,30	42,44	48,01	34,75	38,70	27,51
18	27,13	40,66	30,24	23,93	44,97	30,70	30,99	34,09	36,09	38,68	39,94	44,54	33,08	36,49	26,82
19	26,35	39,12	29,14	23,65	43,27	29,44	30,13	32,19	34,31	36,06	37,44	41,07	31,41	34,28	26,13
20	25,58	37,59	28,03	23,37	41,57	28,18	29,28	30,29	32,53	33,44	34,94	37,60	29,74	32,08	25,44
21	24,80	36,05	26,93	23,09	39,87	26,92	28,42	28,39	30,75	30,83	32,44	34,13	28,07	29,87	24,75
22	24,03	34,51	25,82	22,81	38,17	25,66	27,57	26,49	28,97	28,21	29,95	30,66	26,40	27,66	24,05
23	23,56	33,41	25,21	22,46	36,80	25,09	26,79	25,87	28,03	27,38	28,91	29,49	25,71	26,84	23,59
24	23,10	32,30	24,60	22,11	35,42	24,51	26,01	25,24	27,08	26,56	27,86	28,31	25,03	26,02	23,12
25	22,63	31,20	23,99	21,77	34,05	23,94	25,23	24,61	26,14	25,74	26,82	27,14	24,34	25,19	22,66
26	22,16	30,10	23,38	21,42	32,68	23,36	24,45	23,98	25,19	24,91	25,78	25,96	23,66	24,37	22,19
27	21,70	28,99	22,77	21,07	31,31	22,79	23,67	23,35	24,24	24,09	24,74	24,79	22,97	23,55	21,72
28	21,23	27,89	22,16	20,72	29,93	22,21	22,90	22,72	23,30	23,27	23,70	23,61	22,29	22,73	21,26
29	20,76	26,78	21,55	20,37	28,56	21,64	22,12	22,09	22,35	22,44	22,66	22,43	21,61	21,90	20,79
30	20,30	25,68	20,94	20,03	27,19	21,06	21,34	21,46	21,40	21,62	21,62	21,26	20,92	21,08	20,33
31	20,21	25,30	20,84	19,96	26,72	20,95	21,21	21,33	21,27	21,47	21,47	21,12	20,80	20,95	20,25
32	20,12	24,92	20,73	19,89	26,25	20,83	21,09	21,19	21,14	21,32	21,33	20,98	20,69	20,82	20,17
33	20,03	24,55	20,63	19,82	25,78	20,72	20,96	21,06	21,00	21,17	21,18	20,84	20,57	20,69	20,09
34	19,94	24,17	20,53	19,76	25,31	20,60	20,84	20,92	20,87	21,02	21,04	20,71	20,45	20,56	20,01
35	19,85	23,79	20,42	19,69	24,84	20,49	20,72	20,78	20,74	20,87	20,89	20,57	20,33	20,43	19,93
36	19,76	23,41	20,32	19,62	24,38	20,37	20,59	20,65	20,60	20,72	20,75	20,43	20,22	20,30	19,85
37	19,67	23,04	20,21	19,55	23,91	20,26	20,47	20,51	20,47	20,57	20,60	20,29	20,10	20,18	19,77
38	19,59	22,66	20,11	19,48	23,44	20,14	20,34	20,37	20,34	20,42	20,45	20,15	19,98	20,05	19,69
39	19,50	22,28	20,00	19,42	22,97	20,03	20,22	20,24	20,20	20,27	20,31	20,02	19,87	19,92	19,61
40	19,41	21,90	19,90	19,35	22,50	19,91	20,09	20,10	20,07	20,11	20,16	19,88	19,75	19,79	19,53
41	19,32	21,53	19,79	19,28	22,03	19,80	19,97	19,96	19,94	19,96	20,02	19,74	19,63	19,66	19,45
42	19,23	21,15	19,69	19,21	21,56	19,68	19,84	19,83	19,81	19,81	19,87	19,60	19,52	19,53	19,37
43	19,14	20,77	19,59	19,14	21,09	19,57	19,72	19,69	19,67	19,66	19,73	19,46	19,40	19,40	19,29
44	19,05	20,40	19,48	19,08	20,62	19,45	19,59	19,56	19,54	19,51	19,58	19,33	19,28	19,27	19,21
45	19,04	20,31	19,45	19,03	20,53	19,43	19,57	19,53	19,51	19,49	19,55	19,30	19,26	19,26	19,20
46	19,02	20,23	19,43	18,99	20,44	19,41	19,54	19,50	19,48	19,46	19,51	19,28	19,24	19,24	19,18
47	19,00	20,15	19,40	18,94	20,34	19,39	19,52	19,48	19,46	19,43	19,47	19,26	19,21	19,22	19,17
48	18,98	20,06	19,37	18,89	20,25	19,37	19,49	19,45	19,43	19,41	19,43	19,23	19,19	19,21	19,15
49	18,96	19,98	19,35	18,85	20,16	19,35	19,46	19,43	19,40	19,38	19,40	19,21	19,17	19,19	19,14
50	18,94	19,90	19,32	18,80	20,06	19,33	19,44	19,40	19,37	19,35	19,36	19,19	19,15	19,18	19,12
51	18,93	19,81	19,29	18,76	19,97	19,30	19,41	19,38	19,34	19,33	19,32	19,16	19,13	19,16	19,11
52	18,91	19,73	19,27	18,71	19,88	19,28	19,38	19,35	19,31	19,30	19,28	19,14	19,10	19,15	19,09
53	18,89	19,65	19,24	18,67	19,78	19,26	19,36	19,32	19,29	19,28	19,25	19,12	19,08	19,13	19,07
54	18,87	19,56	19,22	18,62	19,69	19,24	19,33	19,30	19,26	19,25	19,21	19,09	19,06	19,12	19,06
55	18,85	19,48	19,19	18,58	19,60	19,22	19,30	19,27	19,23	19,22	19,17	19,07	19,04	19,10	19,04
56	18,84	19,40	19,16	18,53	19,51	19,20	19,28	19,25	19,20	19,20	19,14	19,05	19,01	19,09	19,03
57	18,82	19,32	19,14	18,49	19,41	19,18	19,25	19,22	19,17	19,17	19,10	19,02	18,99	19,07	19,01
58	18,74	19,24	19,06	18,43	19,33	19,09	19,18	19,16	19,13	19,10	19,03	18,96	18,91	19,00	18,93
59	18,66	19,16	18,99	18,37	19,25	19,01	19,12	19,09	19,09	19,03	18,96	18,89	18,84	18,92	18,85
60	18,57	19,09	18,92	18,31	19,16	18,93	19,05	19,03	19,05	18,96	18,88	18,82	18,76	18,85	18,77
61	18,49	19,01	18,85	18,25	19,08	18,85	18,98	18,96	19,00	18,90	18,81	18,75	18,68	18,77	18,69
62	18,41	18,94	18,77	18,19	19,00	18,76	18,92	18,90	18,96	18,83	18,74	18,69	18,60	18,70	18,61
63	18,33	18,86	18,70	18,13	18,91	18,68	18,85	18,84	18,92	18,76	18,67	18,62	18,53	18,62	18,53
64	18,25	18,78	18,63	18,07	18,83	18,60	18,78	18,77	18,88	18,69	18,60	18,55	18,45	18,55	18,45
65	18,17	18,71	18,56	18,01	18,75	18,52	18,72	18,71	18,83	18,62	18,53	18,48	18,37	18,47	18,37
66	18,09	18,63	18,49	17,95	18,67	18,43	18,65	18,64	18,79	18,55	18,46	18,42	18,30	18,40	18,29
67	18,01	18,56	18,41	17,89	18,58	18,35	18,58	18,58	18,75	18,49	18,39	18,35	18,22	18,32	18,21
68	17,93	18,48	18,34	17,83	18,50	18,27	18,51	18,52	18,71	18,42	18,31	18,28	18,14	18,24	18,12
69	17,85	18,41	18,27	17,77	18,42	18,19	18,45	18,45	18,66	18,35	18,24	18,21	18,06	18,17	18,04
70	17,77	18,33	18,20	17,71	18,33	18,10	18,38	18,39	18,62	18,28	18,17	18,14	17,99	18,09	17,96
71	17,69	18,25	18,12	17,65	18,25	18,02	18,31	18,32	18,58	18,21	18,10	18,08	17,91	18,02	17,88
72	17,55	18,08	17,95	17,52	18,07	17,85	18,14	18,13	18,37	18,03	17,93	17,91	17,75	17,85	17,74
73	17,41	17,90	17,77	17,39	17,89	17,68	17,96	17,95	18,17	17,85	17,76	17,74	17,59	17,68	17,59
74	17,27	17,72	17,60	17,25	17,70	17,50	17,78	17,76	17,96	17,67	17,58	17,56	17,44	17,52	17,45
75	17,13	17,54	17,42	17,12	17,52	17,33	17,60	17,57	17,76	17,49	17,4				

79	16,57	16,83	16,72	16,58	16,79	16,64	16,89	16,81	16,94	16,77	16,72	16,71	16,65	16,68	16,72
80	16,43	16,66	16,54	16,45	16,61	16,47	16,71	16,63	16,73	16,59	16,55	16,54	16,50	16,51	16,58
81	16,29	16,48	16,37	16,31	16,42	16,29	16,53	16,44	16,52	16,41	16,38	16,37	16,34	16,35	16,43
82	16,15	16,30	16,19	16,18	16,24	16,12	16,35	16,25	16,32	16,23	16,20	16,20	16,18	16,18	16,29
83	16,01	16,12	16,02	16,05	16,06	15,95	16,17	16,06	16,11	16,05	16,03	16,03	16,02	16,01	16,14
84	15,87	15,95	15,84	15,91	15,87	15,78	16,00	15,87	15,91	15,87	15,86	15,86	15,87	15,85	16,00
85	15,73	15,77	15,66	15,78	15,69	15,60	15,82	15,68	15,70	15,69	15,68	15,69	15,71	15,68	15,85
86	15,68	15,72	15,62	15,73	15,65	15,57	15,76	15,64	15,66	15,64	15,64	15,64	15,66	15,64	15,79
87	15,64	15,67	15,58	15,68	15,60	15,53	15,71	15,60	15,61	15,60	15,60	15,60	15,62	15,59	15,74
88	15,59	15,62	15,54	15,63	15,56	15,49	15,66	15,55	15,57	15,56	15,55	15,55	15,57	15,55	15,68
89	15,54	15,57	15,50	15,58	15,52	15,45	15,60	15,51	15,52	15,51	15,51	15,51	15,53	15,51	15,63
90	15,50	15,52	15,45	15,53	15,47	15,42	15,55	15,47	15,48	15,47	15,47	15,47	15,48	15,46	15,57
91	15,45	15,47	15,41	15,48	15,43	15,38	15,50	15,42	15,43	15,42	15,42	15,42	15,44	15,42	15,52
92	15,40	15,42	15,37	15,43	15,38	15,34	15,45	15,38	15,39	15,38	15,38	15,38	15,39	15,38	15,46
93	15,36	15,37	15,33	15,38	15,34	15,30	15,39	15,34	15,34	15,34	15,34	15,34	15,35	15,33	15,41
94	15,31	15,32	15,29	15,33	15,30	15,26	15,34	15,29	15,30	15,29	15,29	15,29	15,30	15,29	15,35
95	15,26	15,27	15,24	15,28	15,25	15,23	15,29	15,25	15,25	15,25	15,25	15,25	15,26	15,25	15,30
96	15,22	15,22	15,20	15,23	15,21	15,19	15,23	15,21	15,21	15,21	15,21	15,21	15,21	15,20	15,24
97	15,17	15,17	15,16	15,18	15,16	15,15	15,18	15,16	15,16	15,16	15,16	15,16	15,17	15,16	15,19
98	15,12	15,12	15,12	15,13	15,12	15,11	15,13	15,12	15,12	15,12	15,12	15,12	15,12	15,12	15,13
99	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08	15,08

ANEXO 10 - Ensaio 4 – Interpolação dos valores das pesagens principais (sombreados a cinzento) para os 85 dias de ensaio

Dias	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7	Dias	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7
1	474,34	280,60	180,14	200,37	120,06	327,68	608,35	44	315,05	188,19	110,00	132,86	76,36	203,18	472,14
2	474,09	280,54	179,57	200,11	119,83	327,18	608,39	45	313,46	187,15	109,79	132,03	76,10	202,57	462,37
3	473,85	280,48	179,00	199,85	119,61	326,68	608,42	46	311,88	186,10	109,57	131,20	75,84	201,96	452,59
4	473,60	280,42	178,43	199,59	119,38	326,18	608,46	47	310,29	185,05	109,36	130,36	75,59	201,36	442,81
5	473,36	280,36	177,87	199,32	119,15	325,67	608,50	48	308,70	184,01	109,15	129,53	75,33	200,75	433,04
6	473,11	280,30	177,30	199,06	118,92	325,17	608,54	49	307,11	182,96	108,94	128,70	75,07	200,14	423,26
7	472,87	280,24	176,73	198,80	118,70	324,67	608,57	50	305,53	181,92	108,73	127,87	74,81	199,53	413,49
8	472,62	280,18	176,16	198,54	118,47	324,17	608,61	51	303,94	180,87	108,51	127,04	74,55	198,92	403,71
9	469,17	278,08	174,92	196,61	116,84	319,36	605,77	52	302,35	179,82	108,30	126,21	74,29	198,31	393,93
10	465,73	275,97	173,69	194,68	115,21	314,55	602,92	53	300,76	178,78	108,09	125,38	74,03	197,70	384,16
11	462,28	273,87	172,45	192,75	113,57	309,74	600,08	54	299,17	177,73	107,88	124,54	73,78	197,10	374,38
12	458,83	271,77	171,21	190,82	111,94	304,93	597,23	55	297,59	176,68	107,66	123,71	73,52	196,49	364,60
13	455,38	269,66	169,97	188,89	110,31	300,11	594,39	56	296,00	175,64	107,45	122,88	73,26	195,88	354,83
14	451,94	267,56	168,74	186,96	108,68	295,30	591,54	57	294,41	174,59	107,24	122,05	73,00	195,27	345,05
15	448,49	265,45	167,50	185,03	107,04	290,49	588,70	58	292,82	173,54	107,03	121,21	72,74	194,66	335,27
16	445,04	263,35	166,26	183,10	105,41	285,68	585,85	59	291,23	172,49	106,82	120,38	72,48	194,05	325,49
17	443,17	262,37	165,11	182,55	105,25	284,71	584,69	60	288,55	170,83	105,70	119,79	71,91	192,37	345,05
18	441,30	261,38	163,95	182,00	105,09	283,73	583,54	61	286,60	169,58	105,18	119,04	71,55	191,40	345,05
19	439,43	260,40	162,80	181,46	104,93	282,76	582,38	62	284,64	168,32	104,67	118,29	71,19	190,44	345,05
20	437,57	259,42	161,65	180,91	104,77	281,78	581,23	63	282,69	167,07	104,15	117,53	70,82	189,47	345,05
21	435,70	258,43	160,49	180,36	104,61	280,81	580,07	64	280,74	165,82	103,64	116,78	70,46	188,51	345,05
22	433,83	257,45	159,34	179,81	104,45	279,83	578,92	65	278,78	164,56	103,12	116,03	70,10	187,54	345,05
23	431,96	256,47	158,19	179,27	104,30	278,86	577,76	66	276,83	163,31	102,61	115,27	69,73	186,57	345,05
24	430,09	255,48	157,03	178,72	104,14	277,89	576,60	67	274,87	162,05	102,09	114,52	69,37	185,61	345,05
25	428,22	254,50	155,88	178,17	103,98	276,91	575,45	68	272,92	160,80	101,58	113,77	69,01	184,64	345,05
26	426,35	253,51	154,72	177,62	103,82	275,94	574,29	69	270,97	159,55	101,06	113,02	68,65	183,67	345,05
27	424,49	252,53	153,57	177,07	103,66	274,96	573,14	70	269,01	158,29	100,55	112,26	68,28	182,71	345,05
28	422,62	251,55	152,42	176,53	103,50	273,99	571,98	71	267,06	157,04	100,03	111,51	67,92	181,74	345,05
29	420,75	250,56	151,26	175,98	103,34	273,01	570,83	72	267,04	157,02	99,99	111,50	67,89	181,70	344,96
30	418,88	249,58	150,11	175,43	103,18	272,04	569,67	73	267,02	157,01	99,94	111,49	67,86	181,66	344,88
31	411,02	244,94	147,04	172,22	101,14	266,79	562,92	74	267,01	156,99	99,90	111,48	67,83	181,63	344,79
32	403,15	240,30	143,97	169,01	99,09	261,54	556,17	75	266,99	156,98	99,86	111,46	67,79	181,59	344,71
33	395,29	235,66	140,90	165,80	97,05	256,29	549,42	76	266,97	156,96	99,82	111,45	67,76	181,55	344,62
34	387,42	231,01	137,83	162,59	95,01	251,04	542,67	77	266,95	156,95	99,77	111,44	67,73	181,51	344,54
35	379,56	226,37	134,76	159,38	92,96	245,79	535,92	78	266,94	156,93	99,73	111,43	67,70	181,48	344,45
36	371,69	221,73	131,69	156,17	90,92	240,54	529,17	79	266,92	156,91	99,69	111,42	67,67	181,44	344,36
37	363,83	217,09	128,63	152,95	88,88	235,29	522,42	80	266,90	156,90	99,64	111,41	67,64	181,40	344,28
38	355,96	212,45	125,56	149,74	86,84	230,04	515,67	81	266,88	156,88	99,60	111,40	67,61	181,36	344,19
39	348,10	207,81	122,49	146,53	84,79	224,79	508,92	82	266,86	156,87	99,56	111,38	67,57	181,32	344,11
40	340,23	203,16	119,42	143,32	82,75	219,54	502,17	83	266,85	156,85	99,52	111,37	67,54	181,29	344,02
41	332,37	198,52	116,35	140,11	80,71	214,29	495,42	84	266,83	156,84	99,47	111,36	67,51	181,25	343,94
42	324,50	193,88	113,28	136,90	78,66	209,04	488,67	85	266,81	156,82	99,43	111,35	67,48	181,21	343,85
43	316,64	189,24	110,21	133,69	76,62	203,79	481,92								