

Distribuição espacial do teor de umidade de tábuas de pinus secas em estufa industrial

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar a distribuição do teor de umidade das tábuas de pinus em câmaras de secagem. Foram analisadas a carga de madeira de pinus de duas estufas com capacidade de 100 m³ com espessuras das tábuas de 27 e 42 mm. O teor de umidade final (TUF) das tábuas após a secagem foi avaliado em diferentes regiões da pilha de secagem e regiões no interior da câmara. Os dados foram agrupados e avaliados conforme a distribuição nos eixos X, Y e Z da câmara. O TUF das tábuas foi igual a 13,46 e 10,59% respectivamente para as tábuas de 42 e 27 mm. O TUF apresentou diferença significativa, principalmente em relação ao eixo longitudinal das estufas. A maior variação do TUF foi nas peças de 27mm. Foi possível observar que o TUF das tábuas sofreu influência conforme o posicionamento no interior da estufa de secagem.

Palavras-chave: Secagem, Produtos de valor agregado, Coníferas, Localização, Variação.

Influence of spatial distribution on final moisture content of kiln-dried pinus planks

Abstract: This study aimed to evaluate the moisture content distribution on kiln-dried *pinus* planks. Two wood drying kilns with 100 m³ of cargo capacity were analyzed, each one working on different plank thicknesses (27 and 42 mm). The final moisture content (FMC), was evaluated from different regions of the woodpiles, and kilns, after the drying process. The resulting data were grouped and evaluated according to the distribution on kiln's X, Y and Z axes. The average planks' FMC was equal to 13,46% and 10,59% respectively for 42 and 27 mm planks. FMC showed significantly different mainly on kiln's longitudinal axis. FMC's variation was more significant on 27 mm planks. It was possible to observe that the final moisture content of the planks was influenced according to the position inside the kiln.

Keywords: Wood drying, Value-added products, Conifers, Location, Variation.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Pinus* spp possui reflorestamentos no sul do Brasil ocupando atualmente cerca de 1,6 milhões de hectares, representando aproximadamente 20% das florestas plantadas no país (IBÁ, 2017). Nos últimos anos este gênero tornou-se o principal fornecedor de madeira serrada no Brasil, superando a produção madeireira de espécies tropicais, principalmente da região Amazônica, produzindo 8 milhões de m³ em 2017 (FAO, 2019).

Grandes produções de madeira serrada demandam diversos processos de beneficiamento para seu uso ou comercialização. Dentro destas etapas a secagem da madeira, é uma das etapas mais importantes do processamento primário na indústria madeireira (Batista et al., 2016). Sua realização permite aumento da resistência mecânica da madeira, diminuição da massa, facilita a usinagem das tábuas e minimiza o ataque de fungos (De Jesus,

2017).

A grande demanda por madeira seca culmina na secagem artificial por meio da estufa convencional, que se tornou o método mais utilizado pela indústria madeireira. Atualmente as estufas convencionais possuem elevada automação e apresentam vantagens como a diminuição do tempo de condicionamento, a eliminação de fatores ambientais e o controle da velocidade de ventilação, temperatura e umidade relativa do ar (De Jesus et al. 2017).

Além do equipamento de secagem a complexidade da madeira também demanda atenção. Fatores inerentes as propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira afetam a secagem (Siau, 1971; Engelund et al. 2013; Zanuncio et al., 2015; Monteiro et al., 2017). Além disso, a espessura da tábua, a posição da tábua dentro da pilha, a posição dentro da estufa e o tamanho da pilha podem afetar a velocidade de secagem, assim como a qualidade da madeira (Liebl et al., 2017; Dittmann et al., 2017). Desta forma, o conhecimento sobre o sistema de secagem e da matéria prima são fundamentais para a correta secagem das tábuas e conseqüentemente maior agregação de valor nos produtos madeireiros. Tais medidas permitem a otimização do processo de secagem da madeira e conseqüentemente o máximo retorno do investimento (Oliveira et al., 2012).

Assim a boa gestão do processo de secagem é fundamental e deve seguir com base no conhecimento e controle dos parâmetros ali contidos, principalmente na homogeneidade do teor de umidade das tábuas no interior do equipamento. Visando este conhecimento na indústria madeireira, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da localização espacial das tábuas no teor de umidade final da madeira após a secagem em estufa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização espacial e obtenção de amostras

Duas estufas, uma com tábuas de pinus com espessuras nominais de 27 mm e outra com 42 mm foram avaliadas em uma fábrica de molduras para quadros. As molduras serão produzidas por meio de peças *clears* (sem defeitos) unidas por meio de ligação *finger joint*. Cada estufa possui capacidade para secagem de 100 m³.

Após a secagem foram retiradas três tábuas de cada pilha de secagem, amostradas na base, meio e topo da pilha. Cada estufa continha 45 pilhas (Figura 1A), sendo organizadas em código no formato “XYZ” onde “X” representa a profundidade da estufa, contendo três pilhas de profundidade. “Y” representa a distribuição lateral das pilhas, sob observação frontal da

estufa, com as portas abertas, contendo cinco pilhas de largura (Figura 1B). Por fim, “Z” indica a posição longitudinal das pilhas, contendo três camadas de altura.

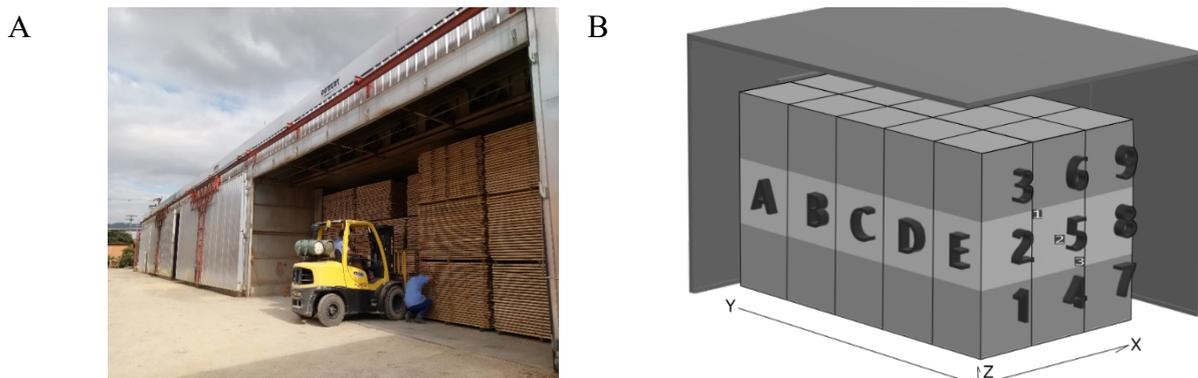


Figura 1. A: Equipamento utilizado para secar as tábuas de pinus e B: Amostragem realizada no interior da estufa de secagem. Em que: “X” representa a profundidade da estufa; “Y” representa a largura da estufa; “Z” a variação longitudinal da estufa; e “1, 2 e 3” representa a amostragem realizada nas tábuas para avaliar cada pilha de secagem.

2.2 Determinação do teor de umidade da madeira

Em cada tábua retirada da pilha foram retiradas duas amostras, com cinco cm cada, desprezando 30 cm dos topos, conforme metodologia descrita por Wallis (1970). A massa das amostras foi obtida em balança eletrônica digital, com precisão de 0,01g e secas em estufa a $103 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, até massa constante. Na sequência a massa das amostras foi novamente medida e o teor de umidade determinado conforme Equação 1. O teor de umidade final (TUF) de cada tábua foi a média do valor das duas amostras.

$$T \quad (1)$$

Onde: TU = Teor de umidade (%); Mu = Massa úmida da amostra (g); Ms = Massa seca da amostra (g)

2.3 Grupamentos e análise

Os dados de TUF médio da secagem foram agrupados e separados para os equipamentos conforme espessura das tábuas. A distribuição do TUF das pilhas, nos três eixos da estufa foi avaliada bem como a variação do TUF das tábuas nas diferentes posições dentro das pilhas. Os resultados foram analisados conforme os agrupamentos via software estatístico *PAST*, gerando as médias e suas diferenças estatísticas através do teste de Tukey.

3. RESULTADOS

Os resultados da distribuição espacial do teor de umidade das pilhas com tábuas de

pinus, com as espessuras de 27 e 42 mm, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição do teor de umidade das tábuas de pinus nos diferentes eixos da estufa e nas pilhas de secagem

Eixo da estufa	Espessura (mm)	Posição na estufa				
		Frente		Meio	Fundo	
X	27	10,52 ^{ns}		10,73 ^{ns}	10,50 ^{ns}	
	42	13,19 ^{ns}		13,56 ^{ns}	13,58 ^{ns}	
Y	27	A	B	C	D	E
	42	9,96 ^a	10,09 ^a	10,63 ^{ab}	10,8 ^{bc}	11,45 ^c
Z	27	Base		Meio	Topo	
	42	10,40 ^b		10,45 ^{ab}	10,92 ^a	
Pilha de Secagem						
Variação Longitudinal	27	Base		Meio	Topo	
	42	10,32 ^b		10,92 ^a	10,52 ^{ab}	
		13,02 ^a		14,24 ^b	13,06 ^a	

Em que: X representa a profundidade da estufa; Y a largura da estufa; e Z a variação longitudinal da estufa. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente à 5% significado pelo teste de Tukey. ^{ns}: não significativo.

4. DISCUSSÃO

Os teores médios de umidade das tábuas de pinus após a secagem variaram entre 9 e 14% (Tabela 1). Aparentemente é uma baixa variação para a produção de tábuas de pinus. No entanto, a variação obtida na secagem das tábuas pode ser um problema quando os *clears* foram unidos por ligações *fingersjoint* na mesma peça. Estas variações entre *clears* podem resultar em instabilidade dimensional e possivelmente em empenamentos nos produtos finais.

Os valores do teor de umidade das tábuas, em geral estão abaixo da umidade de equilíbrio da madeira na maioria das cidades no Brasil e refletem uma boa condução da secagem nos equipamentos. Elustondo et al. (2010) aponta que estes podem variar entre 5 e 25% conforme a composição das cargas, reiterando a importância da uniformidade destas.

A distribuição do teor de umidade final (TUF) no interior do equipamento demonstrou homogeneidade na distribuição das pilhas entre as diferentes camadas de profundidade (Eixo X), não diferindo significativamente nas duas classes de espessura das tábuas avaliadas. (Tabela 1). Estes valores demonstram boa condição de secagem, com adequada passagem do ar entre as pilhas e conseqüentemente retirada da água liberada da madeira. Resultado

diferente é relatado por Zadin et al. (2015), porém os autores relatam que a não ocorrência das variações do TUF entre as profundidades das pilhas de secagem pode ser explicada pelo fluxo reversível dos ventiladores atuando efetivamente nas estufas analisadas.

A distribuição entre as diferentes alturas das camadas de pilhas de tábuas (Eixo Z) apresentou homogeneidade na distribuição do TUF para as peças com 42 mm. Por outro lado, as tábuas de 27 mm apresentaram diferença significativa no TUF, tendo as pilhas localizadas nas alturas mais elevadas maiores valores. Este fato pode refletir a maior sensibilidade das tábuas mais finas com a aplicação do programa de secagem, como, por exemplo, durante a aspersão da água, que ocorre em maior intensidade exatamente na região alta da estufa e a troca no direcionamento da velocidade do ar, que transporta a água retirada da madeira.

O eixo horizontal da estufa (Y) apresentou variação significativa entre as camadas de pilhas (Tabela 1). Na secagem das tábuas de 27 e de 42 mm as pilhas localizadas próximas da parede da estufa, no lado “E”, apresentaram maiores TUF. Estes resultados podem indicar inadequada ventilação na região e conseqüentemente não arraste da água retirada na secagem. Provavelmente foram regiões onde o ar passou com menor velocidade devido ao fechamento inadequado dos defletores e ocorrência de espaço entre as pilhas e a parede. Importante ressaltar que no lado “A”, o lado oposto ao “E” este processo não ocorreu e apresentou secagem homogênea, semelhante ao centro da estufa, principalmente nas tábuas de 27 mm.

A distribuição média do TUF das tábuas dentro das pilhas demonstrou variação significativa (Tabela 1). Nas tábuas de pinus com 27 mm os menores TUF foram encontrados nas peças da base. Nas pilhas com 42 mm de espessura os menores valores foram relatados no meio da pilha de secagem. Possivelmente tais variações ocorreram devido as variações nos tabiques e pontaletes utilizados, que refletiram na intensidade da passagem do ar entre as tábuas e entre as pilhas para a retirada da água que é perdida durante a secagem.

O baixo TUF médio das tábuas reflete a secagem correta das tábuas para utilização em produtos de maior valor agregado, porém medidas podem ser tomadas para obter maior homogeneidade no TUF das tábuas. Tais medidas podem evitar a secagem excessiva ou insuficiente das peças e estão relacionadas ao dimensionamento adequado dos tabiques e pontaletes, a melhor distribuição das pilhas no interior da estufa, a melhor precisão na coleta de dados dos sensores de umidade e a melhor disposição dos defletores, principalmente nas paredes laterais.

5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir sobre a distribuição do teor de umidade final (TUF) das tábuas durante sua secagem que:

- As estufas estudadas realizaram a secagem de maneira adequada das tábuas.
- Ocorreu influência do posicionamento vertical das pilhas no TUF das peças de pinus.
- Existe influência do posicionamento horizontal das pilhas no TUF das tábuas.
- As peças de menor espessura apresentam maior sensibilidade à localização no interior da estufa.

6. REFERÊNCIAS

Batista DC, Klitzke RJ, Da Rocha MP, Batista TR. Ensaio de taxa de secagem e escore de defeitos para a predição da qualidade da secagem convencional da madeira de *Eucalyptus* sp.–parte 2. *Floresta e Ambiente* 2016; 23(1): 135-141.

De Jesus AO. Estudo para Melhoria de Eficiência Energética através da Substituição de Motores Elétricos de uma Estufa de Secagem de Madeiras. *Revista Uniplac Repositório De Relatórios-Engenharia Elétrica* 2017, 2.

Elustondo DM, Oliveira L, Avramidis S. New methodology to optimize sorting in wood drying. *Maderas. Ciencia y tecnologia* 2010; 12(2): 79-91.

Engelund ET, Thygesen LG, Svensson S, Hill CAS. A critical discussion of the physics of wood–water interactions. *Wood Science and Technology* 2013; 47(1): 141-161.

FAO. Visualize data on FAOSTAT; Roundwood & Sawnwood. [cited 2019 mai. 20]. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO/visualize>.

IBÁ. Relatório Indústria Brasileira de Árvores 2017. [cited 2019 mai. 20]. Available from: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2017.pdf>.

Monteiro TC, Lima JT, Hein PRG, Silva JRM, Trugilho, PF, Andrade HB. Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. *Scientia Forestalis* 2017; 45(115): 493-505.

Oliveira L, Elustondo D, Mujundar A, Ananias R. Canadian developments in kiln drying. *Drying Technology* 2012; 30(15): 1792-1799.

Siau JF. *Flow in wood*. Syracuse: Syracuse University Press; 1971.

Wallis NK. *Australian timber handbook*. Sydney: Angus & Robertson; 1970.

Zadin V, Kasemägi H, Valdna V, Vigonski S, Veske M, Aabloo A. Application of multiphysics and multiscale simulations to optimize industrial wood drying kilns. *Applied Mathematics and Computation* 2015; (26): 465–475.

Zanuncio AJV, Carvalho AG, Silva LF, Lima JT, Trugilho PF, Silva JRM. Predicting moisture content from basic density and diameter during air drying of *Eucalyptus* and *Corymbia* logs. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 2015; 17 (2): 335-344.