

Redução na movimentação dimensional da madeira de Jatobá (*Hymenaea* sp.) e Muiracatiara (*Astronium* sp.) submetidas a tratamento térmico adicionalReduction in dimensional changes of Jatobá (*Hymenaea* sp.) and Muiracatiara (*Astronium* sp.) submitted to additional heat treatmentSaly Takeshita¹ e Ivaldo Pontes Jankowsky²**Resumo**

A movimentação dimensional é uma das características indesejáveis da madeira, ocasionada, principalmente, por sua natureza higroscópica. Visando reduzir esse efeito, o presente estudo buscou melhorar a estabilidade dimensional da madeira de duas espécies de folhosas, a partir da aplicação de tratamentos térmicos adicionais em madeiras submetidas à secagem ao ar e em estufa. As madeiras selecionadas foram as espécies comercialmente conhecidas como Jatobá e Muiracatiara. Os tratamentos térmicos consistiram na exposição da madeira a temperaturas de 60°C, 75°C e 90°C por períodos de 24, 48, 72 e 96 horas. Após os tratamentos, as amostras foram expostas a um ambiente de baixa umidade relativa e, após estabilização, foram expostas a um ambiente de alta umidade relativa. Ao final dos condicionamentos foram medidos os índices de retração e inchamento das amostras. Os resultados obtidos permitiram verificar que os tratamentos térmicos reduziram a movimentação dimensional das madeiras, decorrente das variações no teor de umidade; sendo que a temperatura de 90°C proporcionou os menores índices de contração e inchamento tanto nas madeiras secas ao ar e como as submetidas à secagem convencional.

Palavras-chave: Madeiras tropicais, movimentação dimensional, contração, inchamento, tratamento térmico.

Abstract

Dimensional changes are undesirable wood characteristics and are caused, mainly, by its hygroscopic nature. Seeking to reduce this effect, the present study aimed to improve the dimensional stability of two hardwood species, with the application of additional heat treatments to seasoned lumber as well as to kiln dried lumber. The selected wood species are commercially known as Jatobá and Muiracatiara. The heat treatments consisted in wood exposition to temperatures at 60°C, 75°C and 90°C during 24, 48, 72 and 96 hours, respectively. After the heat treatment, the samples were placed in an environment with low relative humidity (Condition 1) and, after reaching equilibrium moisture content, they were stored in an environment with high relative humidity (Condition 2). At the end of storage, the shrinkage and swelling rates of samples were measured. The results show that the heat treatments reduced dimensional changes of wood caused by changes in the moisture content changes. The temperature of 90°C provided the lowest shrinkage and swelling rates, both in air dried and kiln dried lumber.

Keywords: Tropical hardwood, dimensional movement, shrinkage, swelling, heat treatment.

INTRODUÇÃO

A madeira é caracterizada como um material dimensionalmente instável, decorrente do fenômeno de dessorção ou adsorção de umidade apresentados pelo material.

A entrada de água entre as moléculas de celulose da parede celular provoca o afastamento das mesmas e, como consequência, o inchamento. O processo contrário produz a aproximação das moléculas de celulose, resultando na retração da madeira (BURGER; RICHTER, 1991).

A compreensão do comportamento das variações dimensionais da madeira e a influência da umidade de equilíbrio do ambiente sobre o material é essencial para sua utilização industrial. Galvão e Jankowsky (1985) citam que inúmeras implicações de ordem prática do fenômeno tornam o seu estudo de grande importância; pois determinadas espécies podem ser vetadas para uma finalidade onde a estabilidade dimensional seja um fator primordial.

Para amenizar os defeitos da madeira e seus produtos em uso, o material deve passar por um

¹Doutoranda em Recursos Florestais. USP - Universidade de São Paulo / ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Caixa Postal 09 - 1348-900 - Piracicaba, SP. E-mail: saly@usp.br.

²Professor Doutor. USP - Universidade de São Paulo / ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Caixa Postal 09 - 1348-900 - Piracicaba, SP. E-mail: jankowsky@usp.br.

processo de secagem natural ou artificial. Em escala industrial, a secagem em estufa ou convencional é o processo mais utilizado para reduzir a umidade da madeira, que pode ser indiretamente considerado um tratamento térmico (NOGI et al., 2003).

A aplicação de calor em produtos semi-acabados ou em madeiras que já passaram por um processo de secagem (artificial ou natural) é abordado em muitas pesquisas. Nesta situação, a madeira já foi seca e alterações em sua estrutura, decorrentes deste processo, podem ter ocorrido. Desta maneira, o objetivo da aplicação de calor é modificar o comportamento da madeira já processada, permitindo um melhor desempenho em sua utilização (DEL MENEZZI, 2004).

Para Skaar (1988), a elevação da temperatura da madeira produz como efeito imediato a redução da umidade de equilíbrio para uma considerada umidade relativa e uma permanente redução na higroscopicidade da madeira após retornar à temperatura normal. Entretanto, este efeito depende da temperatura e do tempo de exposição. Para Kollmann e Côte (1968), no caso de peças de madeiras tratadas com temperaturas abaixo de 100°C, a perda de material orgânico não é significativamente alta e algumas variações de massa observadas podem ser atribuídas somente à perda de água adsorvida na madeira.

No geral, os estudos sobre tratamentos térmicos envolvem temperaturas elevadas e muito acima daquelas utilizadas em secagens convencionais (ESTEVES et al., 2008; COSTA, et al., 2010; KOL, 2010; ROUSSET et al., 2011). Porém, umas das complicações geradas por este tipo de técnica é a dificuldade na análise no comportamento térmico de seus componentes e suas subsequentes propriedades, devido às grandes alterações nas estruturas química e anatômica da madeira (SHRESTHAD et al., 1994).

Apesar dos tratamentos térmicos a altas temperaturas melhorarem a estabilidade da madeira, caso sejam submetidas por períodos mais prolongados, seu uso não é recomendado para utilização em estruturas que requeiram muito esforço ou onde a resistência seja um fator importante (GUNDUZ et al., 2008). Esse efeito que pode ser atribuído às alterações físicas, químicas e morfológicas causadas pelo aumento da temperatura (SIK et al., 2010).

Considerando que são escassas as informações sobre o efeito da aplicação de calor em temperaturas abaixo de 100°C, o objetivo deste estudo foi quantificar o aumento na estabilidade dimensional da madeira de duas espécies de

folhosas; a partir da aplicação de tratamentos térmicos adicionais utilizando temperaturas variando entre 60°C e 90°C, em madeiras submetidas à secagem ao ar e convencional.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem

No estudo foram utilizadas madeiras de Jatobá (*Hymenaea* sp.) e Muiracatiara (*Astronium* sp.), fornecidas por uma empresa fabricante de pisos de madeira maciça. A massa específica do Jatobá (*Hymenaea* sp.) utilizada neste experimento foi de 0,88 g/cm³ e da Muiracatiara (*Astronium* sp.) foi de 0,78 g/cm³.

Inicialmente foram selecionadas, de uma pilha de madeira previamente seca ao ar, cinco tábuas com corte tangencial e cinco com corte radial, com aproximadamente 150 cm de comprimento. O número de tábuas baseou-se na norma ASTM (2010), que considera esta a quantidade mínima para ser representativa.

O material restante seguiu para secagem convencional, seguindo os procedimentos operacionais da indústria. O programa de secagem foi o programa usual da própria indústria, que permite secar as duas espécies juntas; com base no estudo desenvolvido por Andrade et al. (2001), para o grupamento de espécies. Os parâmetros desse programa foram 40°C de temperatura inicial, 65°C de temperatura final e potencial de secagem igual a 2,4 (mantido constante para umidades abaixo do PSF - ponto de saturação das fibras). Para o período de resfriamento utilizou-se a temperatura de 35°C; sendo que a duração da secagem foi de 20 dias e umidade final média de 8%. Após a secagem foram coletadas mais cinco tábuas tangenciais e cinco radiais, com 150 cm de comprimento.

De cada tábua selecionada foram retiradas 13 amostras com dimensões nominais de 4,0 x 1,5 x 8,0cm (Largura x Espessura x Comprimento); sendo 12 delas destinadas aos tratamentos térmicos (combinação de 3 temperaturas e quatro tempos de tratamento) e uma testemunha (não submetida ao tratamento térmico).

Tratamentos térmicos

Os tratamentos térmicos foram realizados em uma câmara de climatização com ventilação interna e controle de temperatura e umidade relativa. As temperaturas utilizadas nos ensaios foram de 60°C, 75°C e 90°C, sendo que para cada temperatura os tempos de tratamento foram de

24, 48, 72 e 96 horas; totalizando 12 diferentes tratamentos (Tabela 1). A umidade relativa foi regulada de acordo com cada temperatura para que se proporcionasse uma umidade de equilíbrio (UE) de aproximadamente 12%, semelhante à UE ambiente.

Tabela 1. Detalhamento dos tratamentos térmicos realizados.

Table 1. Details of the applied heat treatments.

Amostras	Temperatura	Tempo (Horas)
Testemunha 1	Secagem ao ar	-
Testemunha 2	Secagem em estufa	-
Tratamento 60	60°C	
Tratamento 75	75°C	24, 48, 72 e 96
Tratamento 90	90°C	

A definição das temperaturas para os tratamentos térmicos teve por base tanto a literatura sobre a secagem de madeiras tropicais como as limitações dos secadores convencionais. Para a madeira de folhosas, em geral, a temperatura final máxima dos programas de secagem é da ordem de 90°C (ANDRADE, 2000; PONCE; WATAI, 1985; SIMPSON; VERRILL, 1997); e especificamente para as madeiras de Jatobá e Muiracatiara a temperatura final recomendada está entre 65 e 70°C (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985; BOONE et al., 1988; JANKOWSKY et al., 1990; MENDES et al., 1998). Adicionalmente, a grande maioria dos secadores convencionais é projetada para operar a temperaturas abaixo de 100°C.

Condicionamento higroscópico

Para quantificar o efeito dos tratamentos térmicos nos índices de dessecção e adsorção da madeira foram realizados os condicionamentos higroscópicos, simulando ambientes de baixa e

alta umidade relativa. Para obter estes ambientes foram utilizadas soluções salinas saturadas de acetato de potássio (CH_3COOK) e de nitrato de potássio (KNO_3). A escolha destes reagentes foi de acordo com a disponibilidade do produto no laboratório e por se tratar de produtos químicos que não iriam gerar, de acordo com Medeiros (2006), descarte de alto risco químico.

Soluções salinas saturadas estão presentes em pesquisas envolvendo estudos de ecologistas e fisiologistas (WINSTON; BATES, 1960), caracterização fisiológica de sementes florestais (MEDEIROS, 2006) e avaliação de propriedades físicas da madeira (ALMEIDA; HERNANDÉZ, 2006a; ALMEIDA; HERNANDÉZ, 2006b; ALMEIDA; HERNANDÉZ, 2007).

O Condicionamento 1 (C1), correspondente à fase de dessecção, utilizou o CH_3COOK proporcionando umidade relativa média de 23%; e o Condicionamento 2 (C2), correspondente à fase de adsorção, utilizou o KNO_3 , com umidade relativa média de 93%.

Para obter as condições climáticas desejadas foram utilizadas caixas plásticas vedadas, contendo as soluções salinas saturadas e dotadas de um sistema de ventilação interna, para circulação e homogeneização do ar em seu interior (Figura 1). Os ensaios foram conduzidos em uma sala climatizada com a temperatura interna ajustada em 20°C.

Nas tampas das caixas de condicionamento foi adaptado um sensor para medir a umidade de equilíbrio no interior das caixas com um medidor elétrico do tipo resistência. Em cada uma das caixas de condicionamento foram selecionadas aleatoriamente duas amostras, denominadas amostras de controle, as quais ficaram suspensas por intermédio de um gancho metálico

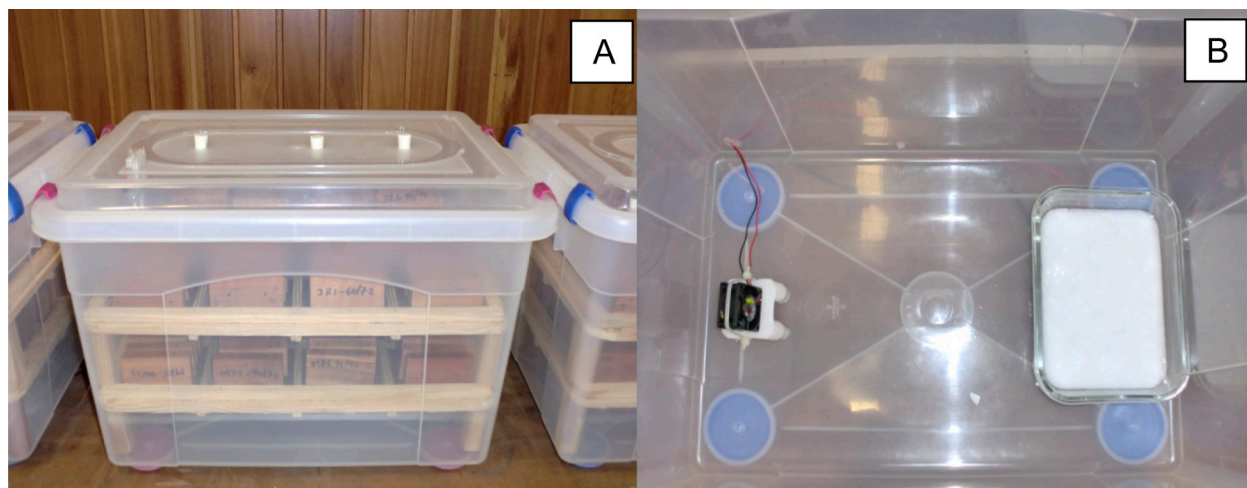


Figura 1. Condicionamento dos corpos de prova (A = caixa de condicionamento; B = interior da caixa de condicionamento com sistema de ventilação e solução saturada).

Figure 1. Samples's conditioning (A: box of conditioning; B: box inside with cooling system and saturated solution).

co preso em uma rolha de borracha. Essa técnica permite pesar as amostras controle sem a necessidade de abrir a caixa de condicionamento.

Em cada um dos condicionamentos (C1 e C2) as amostras controle foram pesadas periodicamente até atingirem o equilíbrio higroscópico, ou seja, massa constante. Ao finalizar os dois condicionamentos, todas as amostras foram secas em estufa a 103°C (±2), para obtenção de massa seca e cálculo do teor de umidade real dos corpos de prova ao longo dos condicionamentos.

Movimentação dimensional

Para a determinação da movimentação dimensional, foram medidos os índices de retração e inchamento linear, nos sentidos radial e tangencial. Com o auxílio de um micrômetro, foi realizada a mensuração das amostras ao início e ao final de cada condicionamento.

A movimentação dimensional referente ao Condicionamento 1 foi designada de MD1 (valores de retração), e de MD2 no Condicionamento 2 (valores de inchamento); utilizando as equações 1 e 2.

$$MD1 = \left(\frac{DT-DC1}{DT} \right) \times 100 \quad [1]$$

$$MD2 = \left(\frac{DC1-DC2}{DC1} \right) \times 100 \quad [2]$$

onde:

MD1 = Movimentação dimensional (%) após C1 (retração)

MD2 = Movimentação dimensional (%) após C2 (inchamento)

DT = Dimensão após tratamento térmico (mm)

DC1 = Dimensão após C1 (mm)

DC2 = Dimensão após C2 (mm)

Inicialmente os resultados foram analisados aplicando-se um delineamento fatorial inteira-

mente casualizado, com cinco repetições, individualizados nos sentidos tangencial e radial. A análise da variância incluiu os fatores Espécie (Jatobá e Muiracatiara), tipo de Secagem prévia (ao ar e convencional), Temperatura (60°C, 75°C e 90°C) e Tempo (24h, 48h, 72h e 96h); resultando em um delineamento fatorial 2 x 2 x 3 x 4 x 5.

Para as interações que acusaram significância na análise da variância foi aplicado o teste Tukey para a comparação de médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade de equilíbrio final para o Condicionamento 1 (C1), correspondente à fase de desorção, foi de 4,4% e para o Condicionamento 2 (C2), relativo à fase de adsorção, foi de 15,8%.

Tanto as amostras secas ao ar como as secas em estufas receberam tratamento térmico sob as mesmas condições de tempo, temperatura e umidade relativa. Após estes tratamentos, foi observada uma redução no teor de umidade das amostras provenientes da madeira seca ao ar e um aumento na umidade das amostras secas em estufa; ou seja, ocorreu uma uniformização no teor de umidade das amostras.

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os valores da movimentação dimensional das amostras após os Condicionamentos 1 e 2.

A análise da variância, anteriormente apresentada em detalhes por Takeshita (2011), acusou diferenças estatisticamente significativas, ao nível de 1% de probabilidades, para os fatores Espécie, Secagem e Temperatura; enquanto que o fator Tempo de tratamento não influenciou os resultados. A interação mais importante foi entre os fatores Secagem e Temperatura. No presente artigo optou-se por apresentar apenas as comparações entre médias

Tabela 2. Movimentação dimensional 1 (MD1) das amostras de Jatobá e Muiracatiara (retratibilidade), valores entre parênteses representam o desvio padrão.

Table 2. Dimensional change 1 (MD1) of Jatobá and Muiracatiara samples (shrinkage), values in parentheses represent the standard deviation.

		Seca ao Ar				Seca em estufa				
		Test.	60°C	75°C	90°C	Test.	60°C	75°C	90°C	
MD1 (%)	TAN	Jatobá	1,13 (0,14)	0,77 (0,16)	0,91 (0,27)	0,26 (0,10)	0,77 (0,21)	0,53 (0,09)	0,57 (0,15)	0,21 (0,07)
		Muiracatiara	1,00 (0,16)	0,75 (0,16)	1,00 (0,24)	0,29 (0,11)	0,75 (0,08)	0,49 (0,09)	0,76 (0,19)	0,32 (0,11)
	RAD	Jatobá	0,61 (0,17)	0,50 (0,17)	0,47 (0,18)	0,20 (0,08)	0,47 (0,14)	0,25 (0,08)	0,39 (0,15)	0,15 (0,06)
		Muiracatiara	0,80 (0,06)	0,59 (0,08)	0,79 (0,15)	0,26 (0,07)	0,56 (0,05)	0,37 (0,05)	0,52 (0,14)	0,22 (0,07)

Tabela 3. Movimentação dimensional 2 (MD2) das amostras de Jatobá e Muiracatiara (inchamento), valores entre parênteses representam o desvio padrão.

Table 3. Dimensional change 2 (MD2) of Jatobá and Muiracatiara samples (swelling), values in parentheses represent the standard deviation.

		Seca ao Ar				Seca em estufa				
		Test.	60°C	75°C	90°C	Test.	60°C	75°C	90°C	
MD2 (%)	TAN									
		Jatobá	2,21 (0,40)	1,74 (0,34)	1,65 (0,40)	1,42 (0,26)	1,68 (0,47)	1,53 (0,50)	1,27 (0,19)	1,45 (0,33)
		Muiracatiara	2,16 (0,43)	1,46 (0,31)	1,5 (0,32)	1,24 (0,22)	2,02 (0,70)	1,47 (0,26)	1,39 (0,21)	1,3 (0,23)
		RAD								
		Jatobá	1,39 (0,29)	1,12 (0,31)	0,95 (0,22)	0,94 (0,22)	0,84 (0,32)	0,81 (0,27)	0,77 (0,22)	0,76 (0,23)
		Muiracatiara	1,51 (0,18)	1,16 (0,12)	1,23 (0,18)	1,04 (0,10)	1,01 (0,10)	0,99 (0,12)	0,92 (0,09)	0,90 (0,07)

A retração e o inchamento médio das madeiras previamente secas em estufa, como esperado, foi menor que das madeiras secas ao ar. Considerando que a movimentação dimensional é uma resposta às variações no teor de umidade da madeira, esses resultados corroboram os resultados anteriores descritos na literatura; reforçando que a madeira seca em estufa apresenta menor higroscopicidade em comparação à madeira seca ao ar. Adicionalmente, foi demonstrando que a aplicação do tratamento adicional promoveu um ganho na estabilidade dimensional, além do já proporcionado pela secagem convencional.

Na comparação entre espécies, a madeira de Muiracatiara apresentou maior retração no sentido radial do que a madeira de Jatobá. Já no sentido tangencial, esse comportamento é observado somente nas amostras tratadas à 75°C e 90°C. Embora ocorra esta diferença na retração radial entre espécies, os valores absolutos são próximos o suficiente para validar o fato das duas espécies serem agrupadas, pela indústria, para uma mesma utilização comercial.

O tempo de tratamento térmico não afetou os resultados de MD1 e MD2 (retração e inchamento). Assim como no trabalho de Costa et al. (2010), o fator tempo também não teve influência significativa tanto na retração quanto no inchamento das amostras, ao realizar tratamentos térmicos em madeira das espécies *Simarouba amara* (Marupá), *Sextonia rubra* (Louro-vermelho) e *Cariniana micrantha* (Jequitibá-rosa) e condicioná-las em ambientes de adsorção e dessorção de umidade.

Resultados semelhantes foram obtidos por Edvardsen e Sandland (1999), onde a madeira foi submetida à um tratamento térmico utilizando as temperaturas de 50°C e 110°C por 96 horas, e em seguida condicionadas em um ambiente controlado, em ciclos alternados de alta

e baixa umidade relativa, para avaliar a influência da temperatura na variação dimensional da espécie *Picea abies*. Os autores constataram que as madeiras submetidas às temperaturas mais elevadas, nos primeiros ciclos de dessorção e adsorção, não apresentaram diferença na variação dimensional quando comparadas com a madeira submetida a 50°C; porém ao longo dos condicionamentos as amostras tratadas a 110°C apresentaram-se mais estáveis.

Esses resultados são particularmente interessantes, uma vez que a temperatura adotada no experimento citado é próxima à maior temperatura utilizada no presente estudo (90°C). Tanto para a retração (MD1) como para o inchamento (MD2), os menores valores absolutos de variação dimensional foram obtidos nas amostras submetidas à temperatura de 90°C, independente do tempo de tratamento.

De acordo com os resultados que constam das Tabelas 4 e 5, verifica-se que na situação de adsorção (inchamento) o efeito do tratamento térmico não foi tão acentuado quanto o observado na situação de dessorção (retração), porém nas duas situações as amostras submetidas ao tratamento térmico apresentaram as maiores reduções nos índices de retração e inchamento; Permitindo concluir que houve um aumento na estabilidade dimensional da madeira termicamente tratada a 90°C. Tomando por exemplo as amostras tangenciais de Jatobá secas em estufa e tratadas a 90°C por 24 horas, o índice de retração de 0,21%; ou seja, retraiu quase que 4 vezes menos se comparada com uma amostra somente seca em estufa, onde a retração foi de 0,77%.

A partir desta observação, as Tabelas 4 e 5 comparam os valores de retração e inchamento das amostras submetidas ao tratamento térmico de 90°C por 24 horas com as testemunhas, tanto para madeira seca ao ar como em estufa.

Tabela 4. Comparação da movimentação dimensional média (retração em %) entre as testemunhas e os tratamentos térmicos a 90°C por 24 horas, em C1.

Table 4. Comparison of mean dimensional change (shrinkage in %) between controls and heat treated samples at 90°C for 24 hours, in C1.

Tratamentos	Radial		Tangencial	
	Jatobá	Muiracatiara	Jatobá	Muiracatiara
T1(ar)	0,61 _(0,17) a	0,80 _(0,06) a	1,13 _(0,14) a	1,00 _(0,16) a
T2(E)	0,47 _(0,14) ab	0,56 _(0,05) b	0,77 _(0,21) b	0,75 _(0,08) b
Trat.(90/24ar)	0,24 _(0,09) bc	0,29 _(0,05) c	0,25 _(0,08) c	0,29 _(0,12) c
Trat.(90/24E)	0,13 _(0,06) c	0,16 _(0,08) d	0,21 _(0,04) c	0,33 _(0,07) c

Média com mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância, onde: T1(ar) = testemunha seca ao ar; T2(E) = testemunha seca em estufa; Trat(90/24ar) = tratamento de 90°C por 24 horas das amostras secas ao ar; Trat(90/24E) = tratamento de 90°C por 24 horas das amostras secas em estufa. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Tabela 5. Comparação da movimentação dimensional média (inchamento em %) entre as testemunhas e os tratamentos térmicos a 90°C por 24 horas, em C2.

Table 5. Comparison of mean dimensional change (swelling in %) between controls and heat treated samples at 90°C for 24 hours, in C2.

Tratamentos	Radial		Tangencial	
	Jatobá	Muiracatiara	Jatobá	Muiracatiara
T1(ar)	1,39 _(0,29) a	1,51 _(0,25) a	2,21 _(0,40) a	2,16 _(0,43) a
T2(E)	0,84 _(0,33) b	1,01 _(0,10) b	1,68 _(0,47) ab	2,02 _(0,71) ab
Trat.(90/24ar)	1,00 _(0,27) ab	1,04 _(0,09) b	1,49 _(0,28) ab	1,22 _(0,23) c
Trat.(90/24E)	0,77 _(0,25) b	0,91 _(0,10) b	1,47 _(0,49) b	1,34 _(0,32) bc

Média com mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância, onde: T1(ar) = testemunha seca ao ar; T2(E) = testemunha seca em estufa; Trat(90/24ar) = tratamento de 90°C por 24 horas das amostras secas ao ar; Trat(90/24E) = tratamento de 90°C por 24 horas das amostras secas em estufa. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Considerando as crescentes exigências no padrão de qualidade dos produtos a base de madeira, a exemplo da norma brasileira NBR 15799/2010 – Padronização e Classificação (ABNT, 2010), a qual estabelece uma variação mínima de $\pm 0,20$ mm em relação ao valor nominal para os itens espessura e largura dos pisos de madeira; o tratamento térmico adicional a 90°C contribuiria efetivamente para reduzir as não conformidades decorrentes das variações dimensionais.

Analisando-se o conjunto de resultados verifica-se que o tratamento térmico à 90°C foi o mais efetivo para reduzir tanto a higroscopicidade como a movimentação dimensional da madeira. Considerando-se que o tempo de tratamento térmico não influenciou os resultados, é importante avaliar a aplicação desse tratamento em condições industriais; onde o tratamento térmico poderia ser executado como complemento da secagem convencional.

CONCLUSÕES

O tratamento térmico à temperatura de 90°C foi o mais efetivo, reduzindo a higroscopicidade da madeira e, conseqüentemente, a sua movimentação dimensional. Adicionalmente, para as amostras secas em estufa os tratamentos térmicos promoveram um ganho adicional na estabilidade dimensional, além do já proporcionado pela secagem convencional.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa concedida durante o período do mestrado e empresa Indusparquet pelo fornecimento do material utilizado neste experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15799: Pisos de madeira com e sem acabamento - Padronização e Classificação. Rio de Janeiro, 2010. 6 p.

ALMEIDA, G.; HERNANDEZ, R. E. Changes in physical properties of tropical and temperate hardwoods below and above the fiber saturation point. *Wood Science and Technology*, New York, v. 40, n. 7, p. 599-613, 2006a.

ALMEIDA, G.; HERNANDEZ, R. E. Changes in physical properties of yellow birch below and above the fiber saturation point. *Wood and Fiber Science*, Madison, v. 38, n. 1, p. 74-83, 2006b.

ALMEIDA, G.; HERNANDEZ, R. E. Dimensional changes of beech wood resulting from three different re-wetting treatments. *Holz Als Roh-Und Werkstoff*, Berlin, v. 65, n. 3, p. 193-196, 2007.

- ANDRADE, A. **Indicação de Programas para a Secagem Convencional de Madeiras**. 2000. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeira) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I. J.; DUCATI, M. Grupamento de madeiras para secagem convencional. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 59, p. 88-89, 2001.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D5536-94: Standard practice for sampling forest trees for determination of clear wood properties**. Philadelphia, 2010.
- BOONE, R. S.; KOZLIK, C. J.; BOIS, P. J.; WENGERT, E. M. **Dry kiln schedules for commercial Woods – Temperate and tropical**. Madison, 1988. 158 p. (USDA. FPL-GTR, 57).
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.
- COSTA, F. C.; GOUVEIA, F. N.; CORRÊA, A. A. Efeito de tratamentos térmicos sobre a variação da massa e dimensional de madeiras da Amazônia. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 12., 2010. Lavras. **Anais...** Lavras: UFPA, 2010. 1 CD-ROM.
- DEL MENEZZI, C. H. S. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partícula orientadas (OSB)**. 2004. 225 p. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- EDVARSDEN, K.; SANDLAND, K. M. Increased drying temperature - Its influence on the dimensional stability of wood. *Holz Als Roh-Und Werkstoff*, Berlin, v. 57, n. 3, p. 207-209, Jun. 1999.
- ESTEVES, B. M.; DOMINGOS, I. J.; PEREIRA, H. M. Pine wood modification by heat treatment in air. *BioResources*. Carolina do Norte, v. 3, n. 1, p. 142-154, 2008.
- GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem Racional da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111 p.
- GUNDUZ, G.; NIEMZ, P.; AYDEMIR, D. Changes in specific gravity and equilibrium moisture content in heat-treated fir (*Abies nordmanniana* subsp *bornmulleriana* Mattf.) wood. *Drying Technology*, v. 26, n. 9, p. 1135-1139, 2008.
- JANKOWSKY, I. P.; CHIMELO, J. P.; CAVANCANTE, A. A.; GALINA, I. C. M.; NAGAMURA, J. C. S. **Madeiras brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum, 1990. 172 p.
- KOL, H. S. Characteristics of heat-treated Turkish pine and fir wood after ThermoWood processing. *Journal of Environmental Biology*, Lucknow, v. 31, n. 6, p. 1007-1011, nov.2010.
- KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v. 1, 592 p.
- MEDEIROS, A. C. S. **Preparo e uso de soluções salinas saturadas para a caracterização fisiológica de sementes florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 6 p. (Circular Técnica, 125)
- MENDES, A. S.; MARTINS, V. A.; MARQUES, M. H. B. **Programas de secagem para madeiras brasileiras**. Brasília: IBAMA, 1998. 114 p.
- NOGI, M.; YAMAMOTO, H.; OKUYAMA, T. Relaxation mechanism of residual stress inside logs by heat treatment: choosing the heating time and temperature. *Journal of Wood Science*, Tóquio, v. 49, n. 1, p. 22-28. 2003.
- PONCE, R. H.; WATAI, L. T. **Manual de secagem da madeira**. Brasília: STI/IPT, 1985. 70 p.
- ROUSSET, P.; DAVRIEUX, E.; MACEDO, L.; PERRÉ, P. Characterizations of the torrefaction of beech wood using NIRS: Combined effects of temperature and duration. *Biomass & Bioenergy*, Oxford, v. 35, n. 3, p. 1219-1226, mar.2011.
- SHRESTHAD, D.; CRAMER, S.; WHITE, R. Time-temperatures profile across a lumber section exposed to pyrolytic temperatures. *Journal of Fire and Materials*. Malden, v. 18, p. 211-220, 1994.
- SIK, H. S.; CHOO, K. T.; ZAKARIA, S.; AHMAD, S.; HOW, S. S.; CHIA, C. H.; YUSOFF, M. Dimensional Stability of High Temperature-Dried Rubberwood Solid Lumber at Two Equilibrium Moisture Content Conditions. *Drying Technology*, v. 28, n. 9, p. 1083-1090, 2010.

SIMPSON, W. T.; VERRILL, W. P. Estimating Kiln Schedules for Tropical and Temperate Hardwoods using specific gravity. *Forest Products Journal*, Madson, v. 47, n. 7/8, p. 64-68, 1997.

SKAAR, C. **Wood-Water Relations**. New York: Springer-Verlag, 1988. 263 p.

TAKESHITA, S. **Redução na higroscopicidade e na movimentação dimensional da madeira de folhosas submetida a tratamentos térmicos**. 2011. 106 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais, opção Tecnologia de Produtos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

WINSTON, P. W.; BATES, D. H. Saturated solutions for the control of humidity in biological-research. *Ecology*, Washington, v. 41, n. 1, p. 232-237, 1960.

Recebido em 02/04/2014
Aceito para publicação em 18/12/2014