

Efeito do Tratamento Térmico com Óleo de Soja na Madeira de Pinus

Karine Mafra Zablonky¹, Ghislaine Miranda Bonduelle², Rosilani Trianoski²

¹Vila Madera Marcenaria e Decoração Ltda, Curitiba/PR, Brasil

²Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal – DETF, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba/PR, Brasil

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do tratamento térmico em óleo de soja sobre algumas propriedades físicas da madeira de *Pinus sp.*, sendo avaliadas a variação dimensional, massa específica, empenamento e rachaduras em amostras com espessuras de 5 mm e 20 mm. As amostras foram submetidas ao tratamento térmico à temperatura de 80 °C e 160 °C com tempo de 20 e 40 minutos, com e sem imersão posterior em óleo frio. Foram realizadas comparações com amostras testemunhas a 12% de umidade. Os resultados demonstraram que os fatores de maior efeito do tratamento térmico com óleo de soja sobre as propriedades foram: maior temperatura de tratamento térmico (160 °C); menor espessura inicial (5 mm); maior tempo de tratamento (40 minutos) e imersão em óleo frio após o tratamento térmico. Os efeitos do tratamento térmico associado à imersão em óleo frio resultaram em menores contrações e empenamentos e no aumento dos valores da massa específica.

Palavras-chave: propriedades físicas, variação dimensional, contração, massa específica, empenamento.

Effect of Thermal Treatment With Soybean Oil on Wood *Pinus*

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the influence of heat treatment on soybean oil with some physical properties of *Pinus sp* wood, being evaluated the dimensional variation, density, warping and cracking in samples with 5 mm and 20 mm thicknesses. The samples were submitted to heat treatment at a temperature of 80 °C to 160 °C, for 20 and 40 minutes, with and without subsequent immersion in cold oil. Comparisons were made with control samples, to 12% moisture content. The results demonstrated that the factors of greater effect of the thermal treatment with soybean oil on the properties were: high-temperature heat treatment (160 °C); lower initial thickness (5 mm); longer treatment (40 minutes) and immersion in cold oil after the heat treatment. The effects of the heat treatment associated with immersion in cold oil resulted in lower shrinkage and warp and in the increase in density values.

Keywords: physical properties, dimensional variation, shrinkage, density, warp.

1. INTRODUÇÃO

As técnicas de tratamentos de madeiras são empregadas para modificar a estrutura anatômica e química, visando melhorar as propriedades tecnológicas e ampliar a gama de aplicações dos produtos (Rowell & Konkol, 1987; Hill, 2006). Segundo Vernois (2000) e Hill (2006), os principais objetivos dessas técnicas são aumentar a estabilidade dimensional e reduzir o comportamento hidrofílico da madeira através da modificação de sua estrutura química.

São vários os tipos de tratamentos que podem ser empregados para a melhoria da estabilidade dimensional da madeira, entre eles, o de preenchimento das células ou impregnação (USDA, 1999), a modificação química (Chang & Chang, 2003) e o tratamento térmico (Del Menezzi, 2004), sendo o tratamento térmico o mais comum e o mais utilizado industrialmente.

Os principais processos industriais de tratamento térmico da madeira foram desenvolvidos em países da Europa, sendo eles Thermowood (Finlândia), Plato (Holanda), Retification e Perdure (França) e Menz OHT (Alemanha). Os quatro primeiros baseiam-se principalmente na utilização de calor (e vapor) em estufas de secagem convencionais ou artificiais; já o Menz OHT utiliza óleo como meio de aquecimento (Hill, 2006; Esteves & Pereira, 2009). Boonstra (2008) ressalta ainda que, além da indústria Menz, outras duas indústrias na Alemanha (Thermoholz e a Bad Essen) realizam o tratamento da madeira com óleo quente.

O tratamento com óleos tem sido aperfeiçoado ao longo dos anos, e os mais comuns são de origem vegetal, como o de girassol, linhaça e canola, sendo este último o mais usado atualmente (Rapp & Sailer, 2001; Menz Holz, 2012). Uma das grandes vantagens da utilização de óleos vegetais é que eles possuem maior densidade e condutividade térmica do que o vapor de água, permitindo maior controle da temperatura durante o processamento (Menz Holz, 2012). As formas de empregá-los na madeira são por meio do tratamento de superfície por imersão e por aplicação com pressão associada ao vácuo e à secagem.

Os benefícios decorrentes do tratamento térmico da madeira sólida por meio da técnica de imersão em óleo à alta temperatura são descritos por vários pesquisadores. Estudos mostram que as madeiras tratadas com óleos vegetais apresentam maior resistência ao ataque de

organismos xilófagos, quando comparadas às madeiras tratadas com produtos preservantes químicos (Rapp & Sailer, 2001; Thévenon, 2001; Treu et al., 2001). Além disso, Rapp & Sailer (2001) relatam que o tratamento térmico em óleo tem menor efeito sobre a redução das propriedades mecânicas do que o tratamento em ar quente.

Bazyar (2012), avaliando o efeito do tratamento térmico com óleo de linhaça sobre as propriedades físicas da madeira de *Populus tremula*, observou a redução do inchamento volumétrico, da umidade de equilíbrio e da absorção de água, além do aumento da resistência ao apodrecimento. Bak & Németh (2012), em estudo sobre o tratamento térmico da madeira de álamo (*Populus sp.*) a partir de diferentes tipos de óleos vegetais (girassol, linhaça e canola), também obtiveram o aumento da estabilidade dimensional e a redução da taxa de absorção de umidade, não sendo constatadas diferenças estatísticas significativas entre os diferentes óleos.

Rapp & Sailer (2000) verificaram que os tratamentos com imersão em óleo quente resultam em melhoria significativa de algumas características da madeira e concluíram que é um processo mais eficiente em relação aos tratamentos térmicos em atmosfera gasosa. Os resultados do estudo conduzido por estes autores indicaram também que a madeira tratada com óleo vegetal quente apresenta capacidade de receber pintura com tintas acrílica à base de água, equivalente aos sistemas baseados em solventes alcalinos. Tais autores observaram ainda que, em teste de exposição ao tempo, as amostras apresentaram resultados satisfatórios pelo período de dois anos, e após este intervalo a adesão de tintas e vernizes em madeira tratada com óleo quente foi melhor do que em madeira tratada com vaporização.

Embora muitos sejam os benefícios obtidos com o tratamento térmico em óleo quente, muitos também são os fatores que exercem influência sobre este, podendo citar a temperatura, o tempo ou duração do tratamento, as espécies de madeira utilizadas, sua massa específica, teor de umidade, propriedades químicas, tamanho das peças, entre outros (Korkut & Hiziroglu, 2009; Esteves & Pereira, 2009).

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do tratamento térmico com óleo de soja nas propriedades físicas da madeira de *Pinus sp.*, a partir de diferentes tempos e temperaturas de tratamento, e da imersão em óleo frio após o tratamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizada nesta pesquisa madeira de *Pinus sp.*, com 31 anos de idade, proveniente de plantios localizados no município de Lages-SC. A amostragem consistiu na coleta de 10 árvores, as quais foram desdobradas originando 738 amostras, sendo 369 amostras com dimensões de 200 × 50 × 5 mm e 369 com dimensões de 200 × 50 × 20 mm (comprimento × largura × espessura), com orientação tangencial e tangencial-radial, respectivamente (Figura 1A).

As amostras foram acondicionadas em câmara climática (20 ± 3 °C e $65 \pm 5\%$), até atingirem teor de umidade entre 30 e 35% (ponto de saturação das fibras), sendo então medidas, pesadas e posteriormente submetidas aos tratamentos térmicos. Os tratamentos térmicos utilizados foram imersão em óleo de soja

quente com temperaturas de 80 e 160 °C e tempos de imersão de 20 e 40 minutos, conforme delineamento apresentado na Tabela 1. Parte das amostras permaneceu em câmara climática até a obtenção da umidade de equilíbrio de 12%, para servir como parâmetro de comparação.

O tratamento térmico das amostras em óleo de soja foi realizado em uma “fritadeira” industrial elétrica, conforme Figura 1B. Para os tratamentos T5 a T8, logo após o tratamento térmico, as amostras foram imersas em óleo frio à temperatura de 21 ± 5 °C (temperatura ambiente), por um período de 30 minutos.

Após 24 horas da realização dos tratamentos avaliou-se: a variação dimensional em espessura e largura, a massa específica, o empenamento e rachaduras. Foram novamente medidas após 2 meses, quando atingiram a estabilização.

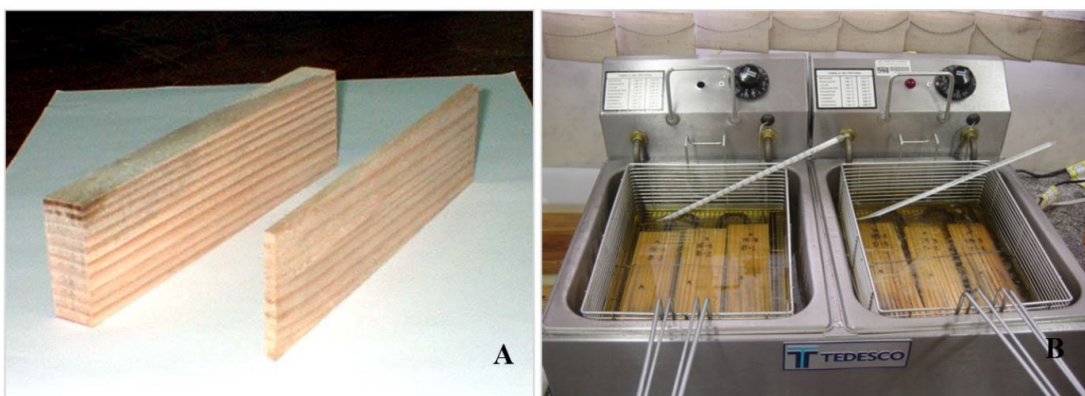


Figura 1. Exemplos de amostras de madeira (A) e equipamento utilizado nos tratamentos térmicos (B).
Figure 1. Examples of wood samples (A) and equipment used for thermal treatments (B).

Tabela 1. Plano experimental.
Table 1. Experimental design.

| Tratamento | Tratamento térmico | Temperatura (°C) | Tempo (minutos) | Imersão em óleo frio | Número de amostras (5 mm) | Número de amostras (20 mm) |
|-------------|---|------------------|-----------------|----------------------|---------------------------|----------------------------|
| T1 | Óleo | 80 | 20 | Não | 45 | 45 |
| T2 | Óleo | 80 | 40 | Não | 45 | 45 |
| T3 | Óleo | 160 | 20 | Não | 45 | 45 |
| T4 | Óleo | 160 | 40 | Não | 45 | 45 |
| T5 | Óleo | 80 | 20 | Sim | 45 | 45 |
| T6 | Óleo | 80 | 40 | Sim | 45 | 45 |
| T7 | Óleo | 160 | 20 | Sim | 45 | 45 |
| T8 | Óleo | 160 | 40 | Sim | 45 | 45 |
| Testemunha* | Câmara climática 20 ± 3 °C e $65 \pm 5\% = 12\%$ de umidade | | | 9 | | 9 |

*Testemunhas acondicionadas em câmara climática sem tratamento térmico em óleo.

A variação dimensional (contração) da largura e espessura das amostras foi determinada através da aplicação da Equação 1.

$$\beta_{el} = \frac{d_{sat} - d_{24h/2m}}{d_{sat}} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

sendo: β_{el} = Contração em largura e/ou espessura (%); d_{sat} = Dimensão saturada (antes do ensaio) (mm); d_{24h} = Dimensão 24 horas ou 2 meses após o tratamento (mm).

A massa específica foi determinada pelo método estereométrico, utilizando balança de precisão (massa) e paquímetro digital (volume).

O empenamento observado nas amostras tratadas e nas testemunhas foi determinado por meio de medidas realizadas com paquímetro digital e calculado pela Equação 2.

$$E = \frac{F}{C} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

sendo: E = Empenamento (%); F = Flecha do empenamento (mm); C = Comprimento da amostra (mm).

A avaliação das rachaduras nas amostras foi realizada visualmente.

Os resultados foram analisados segundo delineamento inteiramente casualizado, e a análise estatística aplicada foi a de arranjo fatorial, com duas espessuras das amostras, duas condições aplicadas às amostras após o tratamento térmico (com e sem imersão em óleo frio) e quatro tipos de tratamento térmico em óleo de soja (80 °C - 20min; 80 °C - 40min; 160 °C - 20min; 160 °C - 40min). Os resultados foram submetidos a testes para verificar a ocorrência de *outliers* (Grubbs), normalidade de dados (Shapiro Wilks), homogeneidade

de variâncias (Bartlett) e Análise de variância. Constatada diferença estatística significativa, as médias dos tratamentos térmicos foram comparadas entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade e posteriormente com a testemunha.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Efeito da espessura e condição de imersão sobre a variação dimensional e massa específica

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios gerais da variação dimensional em largura e espessura e da massa específica em função da espessura e da condição de posterior imersão em óleo frio, obtidos para as amostras tratadas termicamente em óleo de soja.

A análise do efeito principal espessura dos corpos de prova mostrou que esta variável exerceu influência sobre as variações dimensionais em largura e espessura, onde as amostras com menor espessura (5 mm) apresentaram contração estatisticamente superior em relação às amostras de maior espessura (20 mm). Este resultado pode ser justificado pelo fato que amostras de menor espessura aquecem mais rápido, atingindo a temperatura máxima desejada no interior da amostra em menor tempo e permanecendo maior tempo sob a condição preestabelecida. Tais fatores fazem com que a liberação da água na forma de vapor seja facilitada e o fenômeno de contração se manifeste com maior intensidade e magnitude, influenciando também o teor de umidade final dos tratamentos. De acordo com Rapp & Sailer (2000), o tratamento térmico com óleo por 4 horas a 220 °C resulta na redução do teor de umidade do ponto de saturação das fibras até

Tabela 2. Valores médios gerais de variação dimensional e massa específica.
Table 2. General average values of dimensional variation and density.

| Efeito principal | Variação dimensional em largura (%) | Variação dimensional em espessura (%) | Massa específica (g/cm ³) |
|------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Espessura | | | |
| 5 mm | 2,00 b | 3,44 b | 0,792 a |
| 20 mm | 0,78 a | 0,87 a | 0,675 a |
| Condição | | | |
| Sem imersão | 1,28 a | 2,29 a | 0,665 b |
| Com imersão | 1,50 a | 2,04 a | 0,802 a |

Médias seguidas de mesma letra dentro da mesma coluna, por efeito principal, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade.

aproximadamente 14%. Em relação à imersão em óleo frio após o tratamento térmico, não foram constatadas diferenças estatísticas significativas para a variação em largura e espessura.

Nota-se ainda que a variação dimensional em espessura é relativamente maior que a variação de largura, sendo este resultado explicado pelo fato de que as amostras apresentavam orientação tangencial quanto à espessura. Segundo Tsoumis (1968), a menor contração no corte radial pode ser atribuída a diversos fatores, como a presença de raios, os quais exercem influência de restrição sobre a contração radial, e ao desvio das microfibrilas, causado pela presença de um grande número de pontoações na parede radial dos traqueídes axiais de coníferas. Por outro lado, Tomaselli (1981) afirma, a partir de seus estudos, que a contração em espessura é maior que em largura, independentemente da orientação de corte da madeira (radial ou tangencial) para tratamentos com temperaturas superiores a 60 °C. Segundo este autor, ao serem submetidas ao aquecimento, as células da superfície da madeira têm sua contração em largura restringida pelas células do interior, o que não ocorre em relação a sua espessura.

Em relação aos valores médios de massa específica, verifica-se a partir do efeito principal espessura que as amostras de 5 mm apresentaram maior valor médio quando comparadas com as amostras de 20 mm; no entanto, não foi constatada diferença estatística significativa entre elas. Já para o efeito condição de imersão, nota-se que as amostras imersas em óleo

frio após o tratamento térmico apresentaram valor estatisticamente superior em relação às que não foram imersas. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que a imersão em óleo frio após o tratamento provoca um choque térmico nas amostras, proporcionando maior absorção e conseqüentemente o ganho de massa, o qual reflete diretamente na massa específica. Este fenômeno pode ainda ser complementado de acordo com as afirmações de Moreschi (2013), que relata que durante o tratamento de madeiras, por meio de banho quente-banho frio, com o resfriamento do ar remanescente na madeira na solução fria, cria-se pressão negativa em seu interior, que, auxiliado pela pressão atmosférica local e a redução da viscosidade da solução, drena com facilidade o produto que se encontra em contato com a superfície externa.

3.2. Efeito das interações sobre a variação dimensional

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios da variação dimensional para as interações entre espessura das amostras e condição de imersão em óleo frio dos diferentes tratamentos propostos no delineamento experimental.

Verifica-se que as amostras submetidas aos tratamentos térmicos à temperatura de 80 °C, independentemente da sua espessura, não sofreram variações dimensionais (largura e espessura), e quando ocorreram foram quase desprezíveis. Estes resultados estão de acordo com Hill (2006), que relata que temperaturas inferiores

Tabela 3. Variação dimensional das amostras tratadas termicamente em óleo de soja.

Table 3. Dimensional variation of samples heat-treated in soybean oil.

| Tratamentos | Amostras 5 mm | | Amostras 20 mm | |
|---------------------------------------|---------------|----------------------|----------------|----------------------|
| | Sem imersão | Imersão em óleo frio | Sem imersão | Imersão em óleo frio |
| Variação Dimensional em Largura (%) | | | | |
| Óleo - 80°C - 20' | 0,52 a | 0,16 a | 0,03 a | 0,00 a |
| Óleo - 80 °C - 40' | 0,15 a | 0,24 a | 0,03 a | 0,00 a |
| Óleo - 160 °C - 20' | 3,78 b | 3,78 b | 0,55 b | 1,32 b |
| Óleo - 160 °C - 40' | 3,56 b | 3,77 b | 1,58 c | 2,70 b |
| Variação Dimensional em Espessura (%) | | | | |
| Óleo - 80 °C - 20' | 0,00 a | 0,00 a | 0,00 a | 0,00 a |
| Óleo - 80 °C - 40' | 0,41 a | 0,06 a | 0,00 a | 0,00 a |
| Óleo - 160 °C - 20' | 7,05 b | 7,05 b | 0,16 b | 1,20 b |
| Óleo - 160 °C - 40' | 6,34 b | 6,62 b | 2,33 c | 3,40 c |

Médias seguidas de mesma letra, dentro da mesma coluna, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiabilidade.

a 140 °C causam apenas pequenas modificações nas propriedades da madeira, enquanto temperaturas superiores a 260 °C geram grandes modificações ou degradações inaceitáveis.

Por outro lado, as amostras submetidas aos tratamentos com temperatura de 160 °C apresentaram contrações mais expressivas tanto em largura quanto em espessura, sendo ambas estatisticamente superiores em relação às amostras tratadas com temperatura de 80 °C. Consta-se, dessa maneira, a influência da alta temperatura na maior contração da madeira, conforme já observado por Tomaselli (1981) e Jänsä & Viitaniemi (1999).

Os resultados indicaram também maiores valores de contração da madeira nas amostras submetidas à alta temperatura (160 °C) associada à imersão posterior em óleo frio, sendo que os valores de variações dimensionais obtidos para as amostras com 5 mm de espessura foram superiores em relação às amostras com 20 mm. A maior intensidade de contração observada nesses tratamentos pode ser atribuída à maior velocidade de resfriamento das amostras submetidas à imersão em óleo frio, além do efeito repelente à absorção de água pela madeira. O óleo pode estar ocupando o lúmen das células, impedindo dessa maneira a absorção de umidade do ambiente e consequentemente o inchamento pelas amostras após 24 horas da aplicação dos tratamentos.

A avaliação do tempo de tratamento térmico em óleo mostrou que o aumento de tempo de 20 para 40 minutos não resultou em diferenças estatisticamente significativas nos valores de contração das amostras de 5 mm. Esses resultados indicam que, para essa espessura, o tempo de 20 minutos é suficiente para tratar a amostra termicamente, além de estar de acordo com os estudos realizados por Jänsä & Viitaniemi (1999), que afirmam ser a temperatura o fator de maior influência na contração da madeira em relação ao tempo de tratamento térmico.

Já para as amostras de 20 mm, constatou-se diferença estatística significativa entre os tempos de tratamento na temperatura de 160 °C. Nesse caso, em função da maior espessura, o tempo de 20 minutos promoveu a liberação de uma menor quantidade de água das amostras na forma de vapor, impedindo de certa forma a aproximação das células e consequentemente a contração. Este fenômeno pode ser comparado às informações descritas por Galvão & Jankowsky (1985), que salientam que peças de madeira (verde ou úmida) com maior espessura resultam em aumento de peso sem alterar significativamente a área superficial para evaporação da água, implicando diretamente em maior tempo para eliminação da água e, assim, promover a contração.

Na Figura 2 estão apresentados os valores médios de contração em largura das amostras após 2 meses

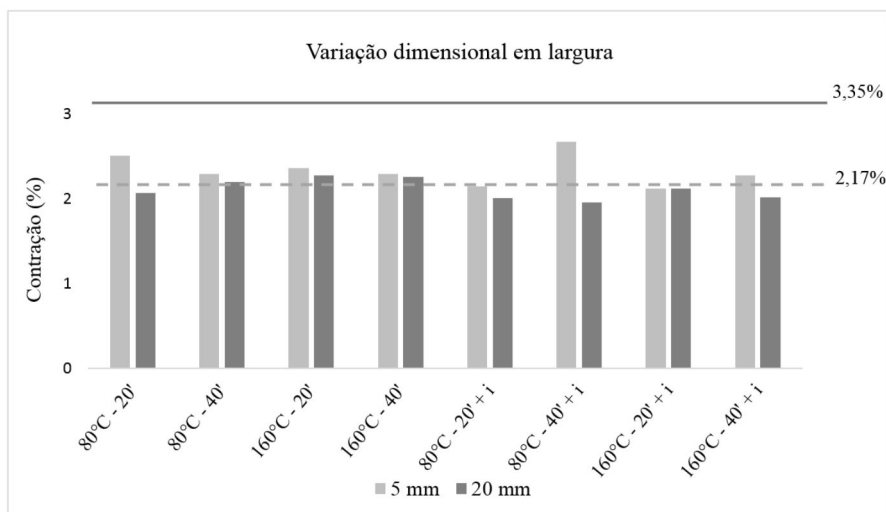


Figura 2. Variação dimensional em largura após a estabilização.

Figure 2. Dimensional variation width after stabilization.

de aplicação dos tratamentos, junto com os valores médios obtidos para o tratamento testemunha.

Verifica-se que as amostras de 5 mm climatizadas a 12% (testemunha) resultaram, na maioria dos casos, em valor médio de contração em largura inferior aos valores dos tratamentos térmicos em óleo de soja. Este fato confirma, de certa forma, o efeito da ação da temperatura sobre o fenômeno físico de contração ao longo do tempo. Em relação às amostras de 20 mm, nota-se que a testemunha apresentou o maior valor médio, onde possivelmente neste caso a remoção da umidade ocorreu de forma gradativa e regular até sua estabilização a 12%. Os menores valores da contração em largura das amostras de 20 mm que passaram pelo processo de "fritura" podem também estar associados às afirmações de Tomaselli (1981), a respeito da restrição que as células do interior da madeira exercem sobre a contração das células da superfície.

Após a estabilização em espessura (Figura 3), os tratamentos que utilizaram a temperatura mais elevada confirmaram a tendência de contração mais acentuada quando comparadas com as amostras tratadas em temperatura mais baixa. Além disso, nota-se que as amostras com menor espessura (5 mm) mantiveram a maior contração até entrar em umidade de equilíbrio, evidenciando o efeito de repelência à água ocasionada pelo óleo absorvido pela madeira durante o processo de tratamento térmico.

Em relação à testemunha, observa-se que para as amostras de 20 mm nenhum dos tratamentos térmicos superou a contração média das amostras climatizadas a 12%, confirmando o efeito da espessura e sugerindo a utilização de maiores tempos. Para as amostras de 5 mm, verifica-se que todos os tratamentos realizados com temperatura de 160 °C, e o tratamento a 80 °C por 40 minutos associado a posterior imersão em óleo frio, superaram a contração da testemunha.

3.3. Efeito das interações sobre a massa específica

Os resultados das interações entre espessura da amostra e imersão em óleo frio sobre a massa específica das amostras tratadas termicamente em óleo de soja e da testemunha são apresentados na Tabela 4.

Observa-se que o aumento da temperatura de 80 °C para 160 °C resultou em valores estatisticamente superiores de massa específica nos tratamentos térmicos com e sem imersão posterior em óleo frio. Esse aumento na massa específica está relacionado à redução da viscosidade do óleo devido à maior temperatura, favorecendo a penetração e absorção dele pela madeira.

Segundo Shames (1999), a viscosidade de um fluido mede a resistência oferecida ao movimento relativo das diferentes partes desse fluido, a qual é diretamente proporcional à força de atração entre as moléculas e

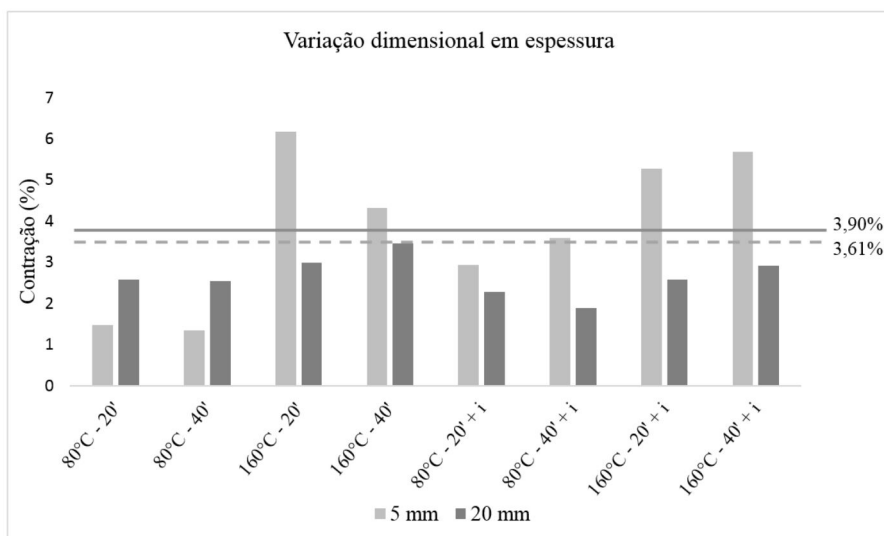


Figura 3. Variação dimensional em espessura após a estabilização.
Figure 3. Dimensional variation thickness after stabilization.

Tabela 4. Massa específica das amostras tratadas e testemunhas.**Table 4.** Density of treated and control samples.

| Tratamento | Amostras 5 mm | | Amostras 20 mm | |
|---------------------|---------------|----------------------|----------------|----------------------|
| | Sem imersão | Imersão em óleo frio | Sem imersão | Imersão em óleo frio |
| Óleo - 80 °C - 20' | 0,575 b | 0,618 b | 0,499 b | 0,568 b |
| Óleo - 80 °C - 40' | 0,570 b | 0,632 b | 0,502 b | 0,593 b |
| Óleo - 160 °C - 20' | 0,925 a | 1,016 a | 0,613 a | 0,941 a |
| Óleo - 160 °C - 40' | 0,959 a | 1,042 a | 0,679 a | 1,004 a |
| Testemunha | 0,520 | | 0,549 | |

Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey a 95% de confiabilidade.

totalmente influenciável pela temperatura. Com o aumento da temperatura, a força de atração entre as moléculas diminui devido ao aumento das distâncias intermoleculares provadas pelo aquecimento, reduzindo a viscosidade e permitindo que o fluido escoe ou penetre com maior facilidade. O efeito da viscosidade de fluidos é ainda corroborado por Paes (1997), que relata que soluções menos viscosas penetram e se difundem com maior eficiência na madeira.

A respeito do tempo de tratamento térmico em cada temperatura testada, verifica-se que esta variável não afetou significativamente o ganho de massa e, conseqüentemente, a massa específica. Outro fato observado é a tendência de maior incremento em massa específica das amostras com 5 mm de espessura em relação às amostras de 20 mm. Acredita-se que este comportamento se deve ao fato de que amostras mais finas permitem que o óleo penetre até a região mais interna das amostras, enquanto amostras mais espessas podem ter esta característica ligeiramente prejudicada, tanto pela temperatura quanto pelo tempo, resultando em menor acúmulo ou ausência de óleo nesta região.

Em comparação com as amostras testemunhas (5 e 20 mm), notou-se o ganho de massa e conseqüentemente a alteração dos valores de massa específica, os quais resultam da absorção do óleo pela madeira. Resultados similares para esta propriedade foram obtidos por Octavia et al. (2011) e Bal (2015).

3.4. Empenamento e rachaduras

O maior índice médio de empenamento (5,23%) foi apresentado pelo tratamento térmico realizado a 160 °C por 40 minutos nas amostras de 5 mm que não

passaram pelo processo de imersão em óleo a 21 °C para resfriamento. Em contrapartida, o tratamento que gerou o menor índice médio deste defeito (0,23%) foi o tratamento realizado a 80 °C por 20 minutos sem posterior resfriamento em óleo frio. O defeito de empenamento não foi identificado nas amostras estabilizadas a 12% de umidade em câmara climática e consideradas como testemunha.

Verifica-se também a partir da Figura 4 que as amostras de 5 mm apresentaram empenamento percentual superior em relação às amostras de 20 mm, resultado justificado pelo maior impacto da ação térmica em amostras mais finas. Outro fato observado refere-se ao efeito da temperatura, já que as amostras tratadas a 160 °C tiveram, de maneira geral, um maior índice de empenamento quando comparado com as submetidas à temperatura de 80 °C.

Nota-se, ainda, que a imersão em óleo frio após o tratamento térmico demonstrou ter efeito positivo na madeira de *Pinus sp.*, resultando em índices de empenamentos menores que as amostras tratadas sob as mesmas condições de temperatura e tempo, mas que não foram imersas em óleo para resfriamento.

Não foram constatadas rachaduras nas amostras tratadas termicamente em óleo de soja nem nas testemunhas acondicionadas em câmara climática. De acordo com Rapp & Sailer (2000), a possibilidade de ocorrência de rachaduras na madeira tratada com óleo em altas temperaturas é menor quando comparada com a aplicação de altas temperaturas em estufa, devido ao comportamento conjunto do óleo com o efeito do calor no interior da madeira. A aplicação de altas temperaturas durante o tratamento térmico em câmaras convencionais aumentam a fragilidade e a formação de rachaduras, sendo este um dos

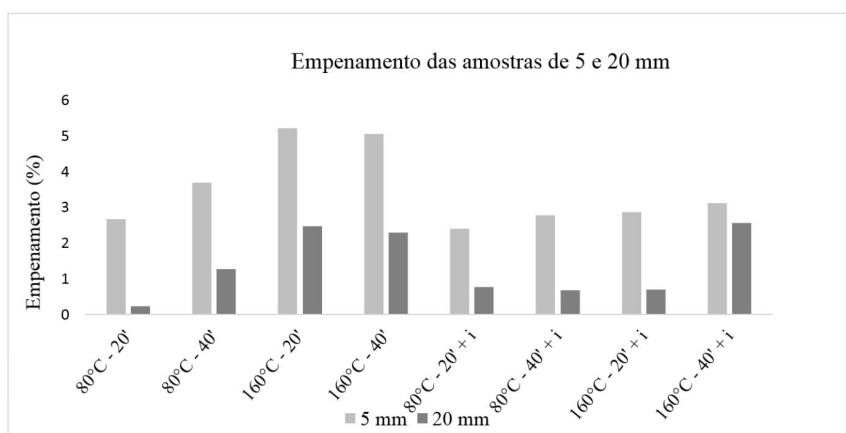


Figura 4. Empenamentos das amostras tratadas termicamente em óleo de soja.
Figure 4. Warping of the samples thermally treated in soybean oil.

motivos para disseminar o tratamento térmico com óleos vegetais.

4. CONCLUSÕES

A menor espessura das amostras (5 mm) exerceu maior influência sobre a variação dimensional, a massa específica e o índice de empenamento.

A imersão em óleo frio após o tratamento térmico, associada à temperatura de 160 °C, promoveu o aumento da massa específica e a redução do índice de empenamento das amostras, porém resultou em uma maior variação dimensional.

Os fatores que mais afetaram as propriedades de variação dimensional, massa específica, rachaduras e empenamento foram: a alta temperatura de tratamento (160 °C), a menor espessura da amostra (5 mm), o maior tempo de tratamento (40 minutos) e a imersão em óleo frio.

O tratamento térmico em óleo de soja não promoveu a ocorrência de rachaduras nas amostras, sendo recomendado como um método para melhorar a estabilidade dimensional.

A imersão em óleo frio após o tratamento térmico contribuiu para reduzir o empenamento, especialmente nas amostras mais finas (5 mm).

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 27 mar., 2016
 Aceito: 8 dez., 2016

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Rosilani Trianoski

Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal – DETF, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Av. Prof. Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, CEP 80210170, Curitiba, PR, Brasil
 e-mail: rosilani@ufpr.br

REFERÊNCIAS

- Bak M, Németh R. Changes in swelling properties and moisture uptake rate of oil-heat-treated poplar (*Populus euramericana* CV. Pannónia) wood. *BioResources* 2012; 7(4): 5128-5137. <http://dx.doi.org/10.15376/biores.7.4.5128-5137>.
- Bal BC. Physical properties of beech wood thermally modified in hot oil and in hot air at various temperatures. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 2015; 17(4): 789-798.
- Bazyar B. Decay resistance and physical properties of oil heat treated aspen wood. *BioResources* 2012; 7(1): 696-705.
- Boonstra M. *A two-stage thermal modification of wood* [tese]. Nancy: Henry Poincaré University; 2008.
- Chang HT, Chang ST. Improvements in dimensional stability and lightfastness of wood by butyrylation using microwave heating. *Journal of Wood Science* 2003; 49(5): 455-460. <http://dx.doi.org/10.1007/s10086-002-0504-8>.
- Del Menezzi CHS. *Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB)* [tese]. Curitiba: Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná; 2004.
- Esteves BM, Pereira HM. Wood modification by heat treatment: a review. *BioResources* 2009; 4(1): 370-404.

- Galvão APM, Jankowsky IP. *Secagem racional da madeira*. São Paulo: Nobel; 1985.
- Hill C. *Wood modification: chemical, thermal and other processes*. West Sussex: John Wiley & Sons, 2006. <http://dx.doi.org/10.1002/0470021748>.
- Jänsä S, Viitaniemi P. *Heat treatment of wood better durability without chemicals*. Nodiske; 1999.
- Korkut S, Hiziroglu S. Effect of heat treatment on mechanical properties of hazelnut wood (*Corylus colurna* L.). *Materials & Design* 2009; 30(5): 1853-1858. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2008.07.009>.
- Menz Holz. *Catálogo* [online]. 2012 [citado em 2015 out 28]. Disponível em: http://www.pletscherzaun.ch/menz/pdf/katalog_menzholz.pdf
- Moreschi JC. *Biodegradação e preservação da madeira*. Curitiba: DETF/UFPR; 2013.
- Octavia Z, Anne-Maria BL, Beldean E. Improvements in stability of the oil treated wood, recent researches in energy. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Landscape Architecture*; 2001; Angers, France. France: WSEAS Press; 2011. p. 146-150.
- Paes JB. *Efeitos da purificação e do enriquecimento do creosoto vegetal em suas propriedades preservativas* [tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 1997.
- Rapp A, Sailer M. *Heat treatment of wood in Germany: state of art*. Hamburg: Nordic Wood; 2000.
- Rapp A, Sailer M. *Use of vegetable oils for wood protection*. Einbek: Cost Action E22; 2001.
- Rowell RM, Konkol P. *Treatments that enhance physical properties of wood*. Madison: USDA; 1987. General Technical n. 55. <http://dx.doi.org/10.2737/FPL-GTR-55>.
- Shames IH. *Mecânica dos fluidos*. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.
- Thévenon MF. *Oils and water repellents in wood protection: research and development in France*. Montpellier: Cirad Rorêt; 2001.
- Tomaselli I. *Aspectos físicos da secagem da madeira de Pinus elliotii Engelm. acima de 100 °C* [tese]. Curitiba: Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná; 1981.
- Treu A, Militz H, Breyne S. *Royal treatment: scientific background and practical application*. Reinbek: University Göttingen; 2001.
- Tsoumis GT. *Wood as raw material: source structure, chemical, composition, growth, degradation and identification*. Oxford: Pergamon Press; 1968.
- United States Department of Agriculture – USDA. *Wood Handbook: wood as engineering material*. Washington: USDA; 1999.
- Vernois M. *Heat treatment of wood in France: state of the art*. Paris: Nordic Wood, Centre Technique du Bois et de l'Ameublement; 2000.