

Recebido: 10-03-2017 Aceito: 02-01-2018 Publicado: 17-09-2018

Produção de painéis madeira-cimento pelo método de vibro-compactação

Vinicius Gomes Castro^{1*}, Carlos Frederico Alice Parchen², Setsuo Iwakiri³¹Departamento de Ciências Vegetais, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural do Sem-Árido, RN, Brasil.²Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.³Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.

RESUMO Este trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis madeira-cimento produzidos pelo método de vibro-compactação e pelo método de prensa de pratos. Uma vez que o adensamento por vibração ainda é muito recente para a formação deste tipo de produtos, também foi analisada a influência das dimensões dos moldes formadores. Foram utilizadas partículas de costaneira de *Pouteria guianensis*, resíduo de uma serraria do município de Manaus, AM, e cimento Portland tipo II na proporção 1:2,75 com adição de 3% de CaCl₂. Os diferentes métodos de produção geraram painéis de diferentes massas específicas. Moldes com dimensões de 45x55x1,5cm, com maior área livre, permitiram maior movimentação das partículas durante o processo o que resultou em painéis com massas específicas inferiores aos vibrados em moldes menores ou prensados. Porém, o painel vibrado de maior dimensão apresentou falhas, no sentido horizontal e vertical, e diferente espessura no sentido borda-centro. Quando os resultados foram ajustados em relação a diferente massa específica, observou-se que não houve diferença estatística para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos nos diferentes métodos. Contudo, não foi possível determinar um modelo de regressão eficiente para se prever as propriedades de acordo com a massa específica final dos painéis.

Palavras-chave: *Pouteria guianensis*; prensa de pratos; vibração.

Wood-cement boards manufactured by vibro-dynamic compression

ABSTRACT The aim of this work was to evaluate the physical and mechanical properties of wood-cement boards processed by vibro-dynamic compression method and by cold press method. Once vibro-compression still is unusual for production of this kind of material, there was also analyzed the influence of the formation box dimensions. Particles from *Pouteria guianensis* slabs, residue from one sawmill located at municipality of Manaus, AM, Brazil were mixed with Portland cement type II in a 1:2.75 wood:cement ratio and addition of 3% CaCl₂. Different methods produced boards of different density. Formation box of 45x55x1,5cm, with higher amount of free space, allowed the particles to move freely and resulted in boards with lower density than boards vibrated at small boxes or pressed. Nevertheless, the vibrated board with higher dimensions showed fail lines, both in vertical and horizontal directions, and different thickness in the edge-core direction. After the results were adjusted in relation the different densities, there was no statistical difference for the physical or mechanical properties of the boards produced by the different processing methods. However, it was not possible to find a efficient regression model that could predict properties based on the board final density.

Keywords: *Pouteria guianensis*; platen press; vibration.

Introdução

Um sério problema brasileiro ainda é o déficit habitacional. Em 2014, o déficit foi estimado em 6,068 milhões de domicílios, o que representou um total relativo de

9% da população. No entanto, percentualmente a situação foi ainda mais crítica na região Norte do país onde os valores encontrados se equivalem a 12,8%, sendo que nesta região apenas 42,2% dos domicílios foram considerados adequados

*Corresponding author: vinicius.castro@ufersa.edu.br

(FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2016). Desde 2009 este problema vem sendo enfrentado pelo programa governamental Minha Casa Minha Vida na provisão habitacional para famílias de baixa renda. Através deste programa, grandes investimentos são feitos no setor de construção civil de baixo custo. Contudo, a maior parte dos domicílios construídos é de concreto e tijolos, materiais que não são necessariamente os mais adequados para as condições climáticas de regiões tropicais.

Um material ecologicamente mais correto e com grande potencial de utilização para construção de casas populares na região Norte do Brasil é o compósito madeira-cimento, principalmente devido ao grande volume de resíduos de madeira gerado em serrarias que podem vir a ser usados como matéria-prima. A mistura destes resíduos com cimento torna-se um produto apto à construção civil devido suas propriedades mecânicas, estabilidade dimensional, isolamento térmico, acústico e boa trabalhabilidade (ASASUTJARIT et al., 2007; FRYBORT et al., 2008). Além disso, os compósitos de madeira-cimento são ainda mais atrativos devido à resistência natural ao ataque de agentes biodeterioradores como fungos e insetos. Outra vantagem é o fato de satisfazer a preferência cultural por materiais a base de cimento, mesmo que boa parte da matéria-prima seja formada por madeira, um material renovável.

Os custos de produção de compósitos englobam os custos de matéria-prima, equipamentos, preparação do material misturado e energia utilizada no processo. Compostos madeira-cimento também são materiais considerados de grande potencial de viabilidade econômica por serem de fácil produção, necessidade de equipamentos simples e ainda poder ser produzidos no próprio local de sua utilização, reduzindo assim custos de transporte e logística (KAZRAGIS, 2005).

Tradicionalmente, os compósitos são produzidos pelo método *BISON*. Este método envolve o uso de prensas hidráulicas de pratos durante a fase de pega do painel que é formado pela mistura de 65% de cimento, 28% de partículas de madeira e 10% de água, o que resulta em painéis com massa específica em torno de $1,25 \text{ g/cm}^3$ (NCL INDUSTRIES, 2011). Contudo, a necessidade do uso da prensa para a produção dos compósitos por este método pode representar um alto investimento inicial para a instalação de fábricas, o que encarece o processo e torna-se um gargalo para a utilização deste tipo de produto na produção de casas populares.

Recentemente, autores como Omoniyi et al. (2013) e Parchen et al. (2016) sugeriram o uso de um método alternativo de produção que substitui o uso da prensa de pratos por uma mesa vibratória, tradicionalmente utilizada na produção de blocos de concreto. Este equipamento é mais simples, barato e pode ser facilmente montado pelo próprio operador no local de utilização do produto. O processo de adensamento por vibração consiste essencialmente na eliminação do ar presente na mistura, o que força uma acomodação das partículas. O problema mais comum que pode ocorrer nos casos de vibração é a compactação não uniforme. Isso pode ser resultado de uma vibração inadequada ou excessiva, que causa segregação na mistura (NEVILLE; BROOKS, 2010). Neste tipo de processamento, os compósitos podem ser produzidos de diversos formatos definidos pelo molde submetido à vibração. Porém, a dimensão e forma do molde pode afetar o resultado do produto, uma vez que sua relação com o tamanho da partícula afeta o espaçamento para a movimentação e consolidação. Lian; Zhuge (2010) observaram esse comportamento ao concluírem que a adição de sílica fume não melhora as propriedades mecânicas de concretos porosos produzidos

pelo método de vibração, uma vez que partículas finas tendem a se segregarem e depositarem após a compactação.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de moldes de diferentes dimensões para a produção de painéis madeira-cimento por vibro-compactação e comparar as propriedades físicas e mecânicas deste produto com aqueles produzidos pelo método tradicional de prensa de pratos.

Material e Métodos

Foram utilizadas partículas de madeira proveniente de costaneiras, considerada descarte após processamento em serraria, de uma árvore da espécie *Pouteria guianensis* Aubl., com DAP de 32 cm e altura de 16,1 m, abatida no município de Manaus, AM.

As costaneiras foram descascadas, seccionadas e submersas em água fria por 7 dias antes de serem convertidas em partículas. Durante o período de imersão, a água foi trocada diariamente para estimular a extração de substâncias que poderiam inibir a pega do cimento. Partículas foram então geradas em um picador de disco e secas a um teor de umidade de aproximadamente 3% e reprocessadas em um moinho de martelo. Após a moagem, as partículas foram classificadas por peneiramento automático. Os painéis foram produzidos com as partículas retidas entre as peneiras com aberturas de 2,36 e 1,40mm.

As partículas foram misturadas com cimento Portland tipo CP II-Z em uma relação madeira:cimento de 1:2,75 (baseado no peso seco das partículas). Foram adicionados 0,5 ml de água para cada grama de cimento e 0,3 ml de água para cada grama de madeira seca. O aditivo químico cloreto de cálcio (CaCl_2) foi adicionado à mistura, na quantidade de 3% em relação à massa seca do cimento, com a função de acelerar a pega do cimento.

Método de adensamento por vibro-compactação

Foram produzidos dois tipos de moldes de compensado para produção de painéis com as dimensões 42x7x1,5cm (Figura 1A) e 55x45x1,5cm (Figura 1B). Os moldes foram preenchidos com a mistura madeira:cimento:água e submetidos à mesa vibratória com uma carga de impacto vertical equivalente a 220 N à 3.000 RPM por 30 segundos. Com a vibração, ocorreu o adensamento do material e o molde foi preenchido com uma quantidade extra da mistura e, novamente, submetido à vibração de igual duração. Esse processo foi repetido até não haver mais espaço livre no molde.

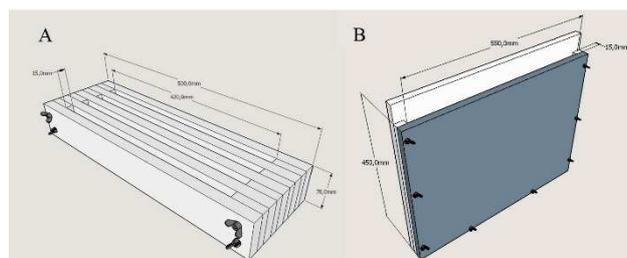


Figura 1. Esquema dos moldes utilizados na produção de corpos de prova (A) e de painéis madeira cimento (B).

Figure 1. Layout of the molds used at the specimens (A) and wood-cement boards (B) manufacture.

Os compósitos foram mantidos dentro do molde por 7 dias. Após esse período, o molde foi desmontado e o material mantido ao ar livre no período restante de 28 dias necessários para a cura do cimento. Em seguida, os corpos de prova foram cortados com serra diamantada nas dimensões normatizadas e submetidos aos seguintes testes de propriedades físicas e mecânicas: 8 corpos de prova com 50 mm de largura, 15 mm de espessura e 350 mm de comprimento para flexão estática (EN 310, 1993), 6 corpos de prova com 50 mm de largura, 50 mm de comprimento e 15 mm de espessura para absorção de água e inchamento em espessura (EN 317, 1993) e 6 corpos de prova de 50 mm de largura, 50 mm de comprimento e 15 mm de espessura para ligação interna (EN 319, 1993).

Método de prensa de pratos

Foram calculadas as quantidades e pesadas as partículas, água, cimento e aditivo químico relativos ao equivalente para produção de três painéis de massa específica nominal de 1,20 g/cm³. A madeira e o cimento foram misturados em uma betoneira, sendo o CaCl₂ diluído na água e aplicado gradativamente com auxílio de uma bomba aspersora.

Após a homogeneização do material, a massa total de cada painel foi pesada e distribuída em uma caixa formadora com dimensões de 38,5 cm de largura por 50,5 cm de comprimento. Ainda na caixa, a mistura foi pré-prensada manualmente antes de ser retirada e colocada na prensa. Duas barras de ferro de 1,5 cm foram colocadas no sentido do comprimento do colchão para garantir a espessura final do painel. Separada por chapas de alumínio untadas com óleo diesel, um segundo e um terceiro colchão foram sobrepostos (Figura 2).

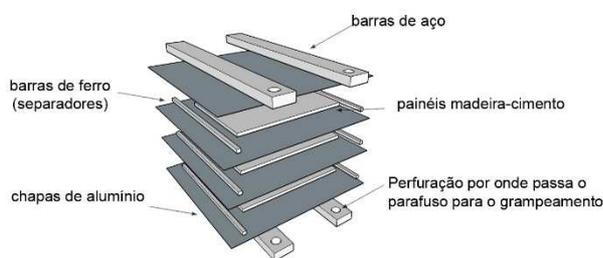


Figura 2. Esquema de montagem dos painéis como colocados na prensa de pratos.

Figure 2. Layout of the boards assemble as they were placed at the platen press.

A prensa foi então fechada a uma pressão de 40 kg/cm². A pressão foi mantida, sem presença de calor, por aproximadamente 1 hora. Uma vez que a espessura se mostrou estável, foi efetivado o grampeamento. O grampeamento consistiu em manter o painel sob pressão constante por 24 horas após a abertura da prensa. Para tal, foram postos parafusos e roscas ligando duas barras de aço posicionadas abaixo da primeira chapa de alumínio com outras duas, paralelas às primeiras, acima dos painéis. Após o

período inicial de restrição, os painéis foram retirados e mantidos ao ar livre por um total de 28 dias antes de serem cortados nas dimensões exigidas pela norma europeia para os ensaios de propriedades físicas e mecânicas.

A normalidade dos resultados foi caracterizada pelos testes Skewness e Kurtosis. Para as sequências de dados que estes testes não observaram uma distribuição normal, foi aplicado o método Box-Cox de transformação. Os dados normalizados foram testados por Análise de Variância Multifatorial considerando a massa específica do compósito como variável concomitante, caso o valor-p tenha sido abaixo de 5%. Teste de comparação de média Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Para os casos em que a massa específica foi confirmada como uma covariável significativa, o teste Tukey foi conduzido com os valores ajustados para uma massa específica média.

A regressão entre as propriedades físicas e mecânicas e a massa específica final dos compósitos foi ajustado para o modelo que apresentou a maior correlação determinada pelo maior valor de R².

Resultados e Discussão

A produção de compósitos madeira-cimento nas dimensões de painéis pelo método de vibro-compactação gerou um produto final com duas regiões críticas de irregularidade (Figura 3) que não ocorreu quando os corpos de prova foram produzidos em moldes menores.

A primeira irregularidade ocorreu no sentido vertical do molde. A mistura tendeu a apresentar uma maior densificação na parte superior do que na inferior. Isto ocorreu devido ao fato de que, no primeiro abastecimento de material, a mistura possuía maior espaço para vibrar e se posicionar livremente, enquanto que, a cada reabastecimento, o espaço livre passou a ser gradativamente menor, forçando o material a uma maior acomodação. A região superior do painel

apresentou uma aparência semelhante ao dos painéis produzidos em moldes menores, uma vez que o espaço livre para vibração passou a ser igual.

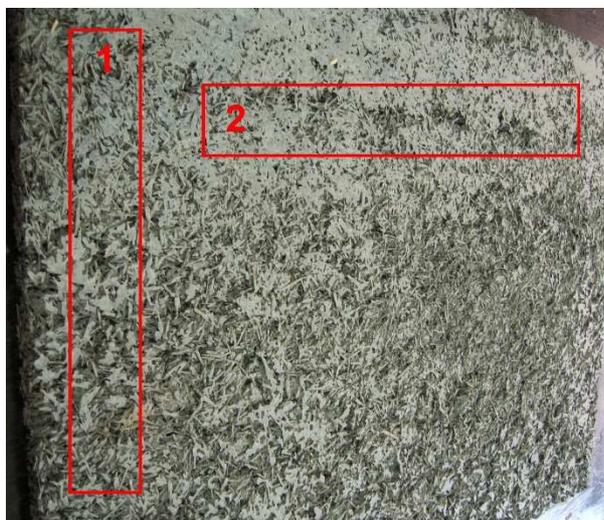


Figura 3. Painéis madeira-cimento vibro-compactados com detalhes para as irregularidades da distribuição das partículas: 1 - Irregularidade no sentido vertical; 2 - Irregularidade no sentido horizontal.

Figure 3. Vibro-compressed wood cement board with detailed irregular particle distribution: 1 - Irregularity at the vertical direction; 2 - Irregularity at the horizontal direction.

A segunda irregularidade observada foi no sentido horizontal. Linhas de transição puderam ser claramente identificadas ao longo do painel. Estas falhas foram resultadas do processo de abastecimento descontínuo do material e ao diferente comportamento das partículas em relação ao espaço livre. Esta irregularidade também não pode ser observada quando moldes menores foram usados, pois houve pouca diferença entre a quantidade de espaço livre gerada a cada abastecimento.

As características do molde para produção de painéis maiores geraram ainda uma terceira irregularidade: a variação na espessura no sentido borda-centro. Uma vez que não houve a força de retenção aplicada pelos parafusos na região central do painel, o acúmulo de material tendeu a abaular o compensado do molde. A deformação do molde

resultou em painéis com espessuras nas regiões centrais quase 10mm acima da espessura das extremidades, regiões próximas aos parafusos. A variação na espessura foi consideravelmente menor no processo de produção tradicional devido ao sentido da pressão exercida pela prensa de pratos e do processo de grampeamento (Figura 4).

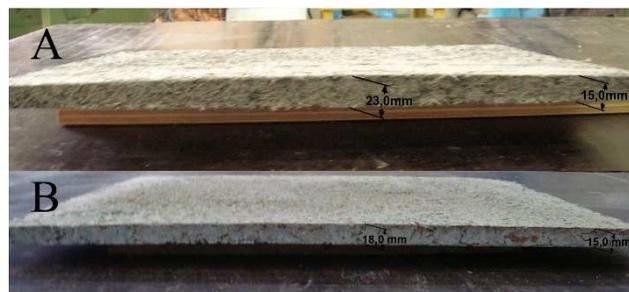


Figura 4. Variação de espessura no perfil de painéis madeira-cimento produzidos pelo método de vibro-compactação (A) e por prensa de pratos (B).

Figure 4. Thickness variation of the wood cement boards produced by vibro-compression method (A) and by platen press (B).

A Tabela 1 apresenta as médias dos resultados das propriedades físicas dos dois tipos de painéis produzidos por vibro-compactação e das amostras retiradas de painéis madeira-cimento produzidos pelo método de prensa de pratos.

Os três tratamentos apresentaram massa específicas distintas. Painéis prensados apresentaram um valor médio de massa específica superior aos compostos produzidos por vibro-compactação e de acordo com a massa específica nominal de 1,20 g/cm³ proposta pelo método *BISON*.

Para o método de vibro-compactação, a quantidade de material colocada nos moldes para a formação dos painéis influenciou o processo de adensamento das partículas. Assim, não foi possível programar previamente uma massa específica nominal como no processo tradicional.

Tabela 1. Propriedade físicas dos painéis madeira-cimento produzidos pelo método de vibro-compactação e por prensa de pratos.

Table 1. Physical properties of wood cement boards produced by vibro-compression method and by platen press.

| Tratamentos | Massa específica (g/cm ³) | AA 2h (%) | AA 24h (%) | IE 2h (%) | IE 24h (%) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Corpos de prova vibro-compactados | 1,10 ^b (1,96) | 19,79 ^a (7,58) | 22,28 ^a (5,59) | 0,30 ^a (66,74) | 0,41 ^a (49,07) |
| Painéis vibro-compactados | 0,95 ^c (5,81) | 18,35 ^a (13,35) | 20,43 ^a (9,66) | 0,24 ^a (71,74) | 0,38 ^a (48,74) |
| Painéis prensados | 1,17 ^a (4,32) | 13,86 ^a (10,90) | 15,82 ^a (8,29) | 0,41 ^a (55,80) | 0,65 ^a (47,39) |

AA, absorção de água após 2 e 24 horas; e IE, o inchamento em espessura após 2 e 24 horas; Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação (%).

Ocorreu uma diferença estatística entre os valores médios da massa específica dos painéis de diferentes dimensões produzidos por vibro-compactação devido à diferença entre os espaços livres para as partículas vibrarem nos diferentes moldes. O molde maior apresentou espaço para vibração superior, o que permitiu uma acomodação de partículas mais espaçada, principalmente na parte inferior do painel, do que os moldes menores, o que resultou em painéis de menor massa específica.

A possibilidade de produção de painéis vibro-compactados de massa específica inferior aos prensados gera uma nova gama de possibilidade de uso para o produto. Por exemplo, Tittlein (2012) sugeriu o uso de painéis madeira-cimento de massa específica de 0,7 g/cm³ para a substituição de placas de gesso muito usadas atualmente nos processos construtivos, mas com grande potencial poluidor.

Uma vez ajustado às diferentes massas específicas, os painéis apresentaram médias estatisticamente iguais para a propriedade física de absorção de água tanto após 2 horas quanto após 24 horas de imersão. A absorção de água dos três tratamentos de *Pouteria guianensis* foi menor do que a encontrada na literatura para painéis produzidos com outras espécies tropicais. Macedo et al. (2012) encontraram uma média de 26,7% de absorção de água após 24 horas para painéis produzidos com *Cedrela odorata* L., 26,7% com *Hymenaea courbaril* L. e 30,7% com *Vochysia maxima* Ducke.

Estes valores foram encontrados pelos autores para painéis produzidos com uma relação madeira:cimento de 1:3 e com 5% de adição de CaCl₂ confeccionados pelo método de prensa de pratos.

Após ajuste das massas específicas, os três tratamentos também não apresentaram diferença estatística para as propriedades de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão. Os resultados médios apresentados também foram inferiores aos requisitos de inchamento máximo para painéis comerciais BISON: 1% após 2 horas e 1,5% após 24 horas (NCL Industries LTD., 2011).

Tabela 2. Propriedades mecânicas dos compósitos madeira-cimento produzidos pelo método de vibro-compactação e por prensa de pratos.

Table 2. Mechanical properties of wood cement boards produced by vibro-compression method and by platen press.

| Tratamentos | LI (MPa) | MOR (MPa) | MOE (MPa) |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Corpos de prova vibro-compactados | 0,46 ^a (21,39) | 2,68 ^a (33,29) | 1669 ^a (22,01) |
| Painéis vibro-compactados | 0,49 ^a (26,14) | 1,31 ^a (55,73) | 809 ^a (55,51) |
| Painéis prensados | 0,51 ^a (28,37) | 3,58 ^a (20,43) | 2343 ^a (24,84) |

LI, ligação interna; MOR, módulo de ruptura; MOE, módulo de elasticidade; Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação (%).

As irregularidades observadas nos painéis inteiros produzidos pelo método de vibro-compactação refletiram em no alto valor de coeficiente de variação para os valores de flexão estática (Tabela 2). Não houve diferença estatística entre os valores médios de nenhuma das propriedades mecânicas avaliadas entre os diferentes métodos de produção, uma vez que o fator massa específica foi considerado um covariante. Os valores médios encontrados para a propriedade de ligação interna de todos os tratamentos também foram suficientes para atender ao requisito mínimo de 0,40 MPa exigido para painéis comerciais (NCL Industries LTD., 2011).

Em relação aos valores médios de módulo de ruptura, notou-se que os painéis produzidos com a espécie *Pouteria guianensis*, inclusive os produzidos pelo método tradicional de prensa de pratos, apresentaram valores médios inferiores ao requisito mínimo de 9 MPa recomendado para painéis comerciais (NCL Industries LTD., 2011). Contudo, é comum encontrar na literatura painéis produzidos com espécies tropicais que não atendem a este requisito. Por exemplo, Macedo et al. (2012) encontraram valores médios de MOR de 7,56 e 4,21 MPa para painéis de *Vochysia maxima* e *Hymenaea courbaril*, respectivamente. Já Sotannde et al. (2012) encontraram um valor médio de 5,88 MPa para painéis produzidos com partículas de *Azelia africana*. A explicação para os baixos valores de MOR de espécies tropicais pode ser justificada pela presença de extrativos e a composição química neste tipo de madeiras que podem inibir a cura do cimento e afetar as propriedades mecânicas dos painéis (NAZERIAN et al., 2011).

Os valores médios de MOR dos tratamentos produzidos pelo método de vibro-compactação foram semelhantes aos encontrados na literatura para compósitos produzidos com outras espécies florestais. Castro et al. (2015) encontraram um valor médio de 1,74 MPa para painéis produzidos com

partículas de *Eucalyptus saligna*, enquanto Parchen et al. (2016) encontraram valores entre 0,91 e 1,09 MPa ao utilizar partículas de galhos e troncos, respectivamente, de *Pinus* spp.

Os valores médios de MOE foram abaixo do requisito mínimo para painéis madeira-cimento comerciais produzidos pelo método tradicional, 3.000 MPa (NCL INDUSTRIES LTD., 2011). Contudo, os valores médios para os compósitos vibro-compactados foram semelhantes aos encontrados por Castro et al. (2015) para os painéis de *Eucalyptus saligna* vibro-compactados (913 MPa).

Através de análises de regressão foi possível desenvolver os melhores modelos de previsão para as propriedades avaliadas em relação a massa específica final dos painéis madeira-cimento produzidos com partículas de *Pouteria guianensis*, independentemente do método utilizado (Tabela 3).

Para as propriedades físicas e para a ligação interna, não foi possível determinar uma forte correlação com a massa específica. Entretanto, a correlação foi mais significativa, embora ainda baixa, para as propriedades de MOR e MOE, com valores de R^2 pouco acima de 70%.

Conclusões

Com base nos resultados obtidos, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

A utilização do método de adensamento por vibro-compactação permitiu a produção de painéis madeira-cimento de menor massa específica do que a mínima requerida para a produção pelo método tradicional de prensa de pratos. Sendo que a massa específica final do painel vibro-compactado está correlacionada com o tamanho do molde de formação. Moldes menores geraram painéis mais densificados.

Uma vez ajustada às diferentes massas específicas, os compósitos vibro-compactados apresentaram propriedades

físicas e mecânicas equivalentes aos painéis produzidos pelo método tradicional, o que indica o potencial do método para a produção deste tipo de material.

A metodologia de formação de compósitos madeira-cimento por vibro-compactação ainda necessita aprimoramento quando utilizada para a formação de painéis

de grandes dimensões. Sugere-se o futuro desenvolvimento de um método em que todo o material seja depositado de forma contínua para se evitar linhas de falhas nos painéis, assim como a incorporação de reforços na estrutura do molde para se evitar a variação de espessura entre borda e centro.

Tabela 3. Equações de regressão entre as variáveis estudadas e a massa específica dos painéis madeira cimento.

Table 3. Regression equations between studied variables and density of the wood cement boards.

| Propriedade | Equação | R ² (%) |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------|
| Absorção de água após 2 horas | $AA_{2h} = \frac{1}{(0,0240252 + 0,0330298 \times me^2)}$ | 48,06 |
| Absorção de água após 24 horas | $AA_{24h} = \frac{1}{(0,0240192 + 0,0266786 \times me^2)}$ | 50,48 |
| Inchamento em espessura após 2 horas | $IE_{2h} = -0,239497 + 0,477297 \times me^2$ | 26,08 |
| Inchamento em espessura após 24 horas | $IE_{24h} = -0,245526 + 0,641687 \times me^2$ | 29,11 |
| Ligação interna | $LI = \sqrt{(0,0887512 + (0,157049 \times me^2))}$ | 9,36 |
| Módulo de ruptura | $MOR = 3,91753 - \left(\frac{2,4451}{me}\right)^2$ | 74,83 |
| Módulo de elasticidade | $MOE = 102,413 - \left(\frac{65,4942}{me}\right)^2$ | 71,65 |

me = massa específica; AA = absorção de água; IE = inchamento em espessura; LI = ligação interna; MOR = módulo de ruptura; MOE = módulo de elasticidade; R² = coeficiente de determinação.

Referências

ASASUTJARIT, C.; HIRUNLABH, J.; KHEDARI, J.; CHAROENVAI, S.; ZEGHMATI, B.; CHEUL SHIN, U. Development of coconut coir-based lightweight cement board. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 21, p. 277-288, 2007.

CASTRO, V. G.; BRAZ, R. L.; AZAMBUJA, R. R.; LOIOLA, P. L.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. Painéis cimento-madeira de *Eucalyptus saligna* com diferentes aditivos químicos e métodos de formação. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 349-360, 2015.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 310**. Wood-based panels – Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 317**. Aglomerado de partículas de madeira e

aglomerado de fibras de madeira – Determinação do inchaço na espessura depois da imersão em água. 1993

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 319**. Aglomerado de partículas de madeira e aglomerado de fibras de madeira – determinação da força da tensão perpendicular sobre a superfície plana da placa. 1993

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 323**. Wood-based panels – Determination of density. 1993.

FRYBORT, S.; MAURITZ, R.; TEISCHINGER, A.; MULLER, U. Cement bonded composites - a mechanical review. **Bioresources**, Raleigh, v. 3, n. 2, p. 602-626, 2008.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informações. **Déficit Habitacional no Brasil 2013-2014**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro. 2016. 92p.

KAZRAGIS, A. Minimization of atmosphere pollution by utilizing cellulose waste. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, Vilnius, v. 13, n. 2, p. 81-90, 2005.

LIAN, C., ZHUGE, Y. Optimum mix design of enhanced permeable concrete - An experimental investigation. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 24, n. 12, p. 2664-2671, 2010.

MACEDO, A. N., SOUZA, A. A. C.; POMPEU NETO, B. B. Chapas de cimento-madeira com resíduos da indústria madeireira da região amazônica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 131-150, 2012.

NAZERIAN, M.; GOZALI, E.; DAHMARDEH, M. The influence of wood extractives and additives on the hydration kinetics of cement paste and cement-bonded particleboards. **Journal of Applied Sciences**, Faisalabad, v. 11, n. 12, p. 2186-2192, 2011.

NCL INDUSTRIES LTD. **Bison panel - Cement bonded particle board**. Abids, 2011. Catálogo

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Concrete technology**. Segunda Edição. Pearson Education Limited. 442p. 2010

OMONIYI, T. E.; AKINYEMI, B. A.; OLAYIWOLA, H. O. Design and production specifications of machine for wood cement composite boards production. **Civil and Environmental Research**, Arlington, v. 3, n. 13, p. 137-144, 2013.

PARCHEN, C. F. A.; IWAKIRI, S.; ZELLER, F.; PRATA, J. G. Vibro-dynamic compression processing of low-density wood-cement composites. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlim, v. 74, n. 1, p. 75-81, 2016.

SOTANNDE, O. A.; OLUWADARE, A. O.; OGEDOH, O.; ADEOGUN, P. F. Evaluation of cement-bonded particle board produced from *Azelia africana* wood residues. **Journal of Engineering Science and Technology**, Subang Jaya, v. 7, n. 6, p. 732-743, 2012.

TITTELEIN, P.; CLOUTIER, A.; BISSONNETTE, B. Design of low-density wood-cement particleboard for interior wall finish. **Cement and Concrete Composites**, Amsterdam, v. 34, p. 218-222, 2012.