

## Avaliação dos efeitos de diferentes dosagens de água/cal na resistência à compressão axial de compósitos de madeira-cimento

Different effects assessment of dosages water/limer in the compressive strength of wood-cement composites

Barbara Talamini Villas-Bôas<sup>1</sup>, Carlos Frederico Alice Parchen<sup>2</sup>, Setsuo Iwakiri<sup>3</sup>, José Guilherme Prata<sup>4</sup>, Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Construção Civil - DCC, Av. Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 210 – Centro Politécnico - Bloco III - DCC, Curitiba - PR, 81531-970: barbaratvb@gmail.com

<sup>2</sup> Endereço dos outros autores

e-mail: parchen@ufpr.br; setsuo.ufpr@gmail.com; prata@ufpr.br; mariennemaron@gmail.com

---

### RESUMO

Diversos estudos mostram que algumas espécies de madeira não estão aptas à produção de compósitos madeira-cimento. Isso ocorre porque os componentes orgânicos podem afetar tanto a interação entre a madeira e o cimento, quanto as interações internas do cimento. Com isso, pesquisadores vêm estudando alternativas de pré-tratamento do material de origem vegetal, como por exemplo, utilizando-se aceleradores de pega, aditivos químicos, mineralização da madeira, dentre outros. Uma das técnicas consiste no pré-tratamento da madeira com suspensão de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da quantidade de  $\text{CaO}$  utilizada na preparação de suspensões de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  nas características mecânicas de compósitos de madeira-cimento. Foram avaliados três traços de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , e cinco granulometrias de partículas de *Pinus spp* oriundas de resíduos de madeireira, por meio da realização de ensaios de compressão axial em corpos de prova cilíndricos. Os resíduos foram secos em estufa, apresentando uma umidade de 3%, sem tratamento. A relação cimento: madeira foi de 1:1,5, em massa. As relações água/cal para produção de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  foram 4,7, 6,25 e 7,8. As médias de resistências à compressão axial obtidas mostraram que os compósitos produzidos com a relação água/cal de 6,25 apresentou valores estatísticos mais altos quando comparados aos compósitos produzidos com outras relações de água/cal.

**Palavras-chave:** Madeira-Cimento, Compósitos, Hidróxido de Cálcio.

---

### ABSTRACT

In according to a lot of studies, some woods aren't able to compose the cement-wood composite. It is because the affecting of the organics components in the wood-cement interaction and the cement reactions. Then, researchers have studied an alternative to the pre-treatment using  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  suspensions. This study evaluated the influence of the amount of  $\text{CaO}$  used on  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  suspensions and how they affect the mechanical characteristics of the wood-cement composite. Three  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  mixtures were evaluated and five granulometries of the *Pinus spp* from lamber residue, through axial compression tests in cylindrical specimens. The waste woods were dried in an oven and presented a 3% moisture. The cement:wood weight ratio was 1:1,5. The water/lime ratios were 4,7/1, 6,25/1 and 7,8/1. The composites produced with water/lime ratio of the 6,25/1 presented the average axial compressive strength higher compared with others ratios.

**Keywords:** Wood-cement, Composites, Calcium hydroxide.

---

### 1. INTRODUÇÃO

Os estudos sobre compósitos de madeira-cimento relatam cada vez mais as suas vantagens, como, por exemplo, a baixa densidade, quando comparado a outras placas cimentícias; a resistência a intempéries e insetos; as propriedades acústicas e de isolamento térmico. Sua baixa permeabilidade, quando comparados ao com-

pensado, permite que sejam serrados e furados, podendo receber parafusos, além de existir grande disponibilidade de matéria-prima para sua fabricação.

O Brasil apresenta um elevado número de indústrias de base florestal, sendo muitas delas ainda dotadas de equipamentos antigos e sem manutenção, causando baixa produtividade e maior perda de matéria-prima, de acordo com RECH [1]. Com o crescimento do mercado, aumenta a quantidade de resíduos, que, muitas vezes, não têm utilização na indústria em que foram gerados conforme citado por BRAND et al. [2].

De acordo com TEIXEIRA e CÉSAR [3], a indústria madeireira usa os recursos naturais de maneira ineficiente, tanto na obtenção da matéria-prima quanto na fase de produção e no descarte dos produtos no final da vida útil. FREITAS [4] cita que uma das provas dessa ineficiência é a grande geração de resíduos, que, segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis [5], está em torno de 30% a 60% de toda a árvore, dependendo da empresa. Isso significa que apenas um terço da madeira extraída é transformado em produto final.

SOUZA [6] defende que a extração da madeira pode gerar uma grande quantidade de resíduos, ainda mais considerando os resíduos florestais, que resultam das atividades de extração, e os resíduos industriais gerados pelo beneficiamento do material. Tradicionalmente, o uso do resíduo não passa dos limites industriais, servindo de combustível para geração de energia ou, algumas vezes, de forração para pisos de granjas, ainda segundo SOUZA [6], sendo que, na verdade, as áreas utilizadas para seu armazenamento poderiam ser destinadas para outros fins.

PARCHEN [7] disserta, no entanto, que tem ocorrido uma mudança de rumo e pensamento a respeito do tema, de modo que o que se considerava “entulho” (material inútil) passou a ser entendido como renovável. Nesse sentido, STANCATO [8] sustenta que a utilização de resíduos vegetais pode representar uma fonte promissora de exploração industrial. Por sua vez, BARBOSA *et al.* [9] afirmam que a utilização de resíduos deve ser feita a partir de programas que permitam agregar valores a eles; dessa forma, as empresas processadoras de madeira podem elevar seu índice de competitividade, além de as empresas do segmento florestal poderem se adaptar a parâmetros mais sustentáveis, dando um novo destino aos seus resíduos.

Atualmente, alguns pesquisadores têm se referido à utilização de resíduos para diversas atividades, tais como: painéis de madeira aglomerada [10], compósitos de plástico-madeira [11] e compósitos de madeira-cimento [7, 12].

O fenômeno chamado de inibição que acontece no início da reação de cristalização da pasta de cimento quando misturada às partículas de madeira, é influenciado diretamente pelos componentes químicos presentes no conteúdo celular da madeira [7]. Vários fatores influenciam as propriedades de compósitos de madeira-cimento, segundo LATORRACA e IWAKIRI [13] a interferência dos açúcares com estrutura molecular amorfa e cristalina, são uns dos agentes promotores da dificuldade de ligação entre a madeira e a matriz cimentícia. Portanto a compatibilidade entre o cimento Portland e as partículas de madeira depende dos açúcares que compõem a hemicelulose, como a pentose, a hexose, os ácidos hexurônicos e as deoxioxoses, por serem solúveis em água e em soluções alcalinas podem se solubilizar com maior facilidade. Devido a isso, muitos pesquisadores vêm estudando alternativas de pré-tratamento do material de origem vegetal, sendo recomendada a incorporação de aditivos químicos, os quais restringem a inibição da madeira, melhorando, dessa forma, as propriedades dos compósitos de madeira-cimento.

Segundo WEI *et al.* [14], um grupo de aditivos recomendado é o dos cloretos ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$  e  $\text{SnCl}_2$ ), os quais, misturados em uma quantidade de 4% em relação ao peso do cimento, ajudam na melhora das propriedades mecânicas dos compósitos. Contudo, de acordo com NEVILLE e BROOKS [15], há discordância entre os pesquisadores sobre o uso dos cloretos, uma vez que podem induzir a corrosão do aço revestido de concreto; com isso, passou-se a avaliar sua proporção máxima em relação ao peso do cimento. Outro efeito indesejável seria o aumento da retração e fluência. No mesmo sentido, de acordo com a NBR 6118, da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [16], não é permitido o uso de aditivos contendo cloreto na sua composição em estruturas de concreto armado. De forma similar, a ACI 318R-05 do AMERICAN CONCRETE INSTITUTE [17] recomenda limites baixos de cloreto, bem como proíbe o uso de aditivos com cloreto em concreto que contenha armadura.

Uma alternativa para melhorar as propriedades mecânicas dos compósitos de madeira-cimento é o uso do  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Por exemplo, na pesquisa de FAN *et al.* [18] utilizando 15 espécies de madeira tropical, a com-

patibilidade entre madeira e cimento foi menos eficiente nas madeiras com pré-tratamento de  $\text{CaCl}_2$  e melhorou significativamente com o pré-tratamento utilizando suspensão de  $\text{Ca(OH)}_2$ .

KARADE *et al.* [19] sugerem duas maneiras de tratar as partículas com  $\text{Ca(OH)}_2$ , sendo elas: imersão em solução seguida de lavagem das partículas e imersão sem lavagem, que acarreta a incorporação do cálcio na madeira. Segundo os autores, o uso da imersão em solução de 1% de  $\text{Ca(OH)}_2$  por uma hora mostrou-se mais eficaz que a imersão em água fria e quente nas partículas com granulometria abaixo de 1 mm. Por sua vez, nos testes realizados por PARCHEN [7], os compósitos com partículas de *Pinus* imersas em suspensão de  $\text{Ca(OH)}_2$  por uma hora e que, subsequentemente, secaram ao ar sem ser lavadas apresentaram incremento nos ensaios de compressão axial quando comparados aos painéis compostos por partículas lavadas após extração com  $\text{Ca(OH)}_2$ . De acordo com o autor, os materiais não lavados criam uma cobertura mineral sobre a superfície da partícula, a qual, após a secagem, age como bloqueio físico entre os extrativos e o cimento.

Outro fator que influencia as propriedades dos compósitos de madeira-cimento é a dimensão das partículas utilizadas. Conforme OLORUNNISOLA [20], a resistência à flexão em painéis de madeira-cimento está diretamente relacionada ao grau de ligação entre as partículas de madeira e o cimento, dependendo dessa ligação das dimensões das partículas utilizadas. Ainda, o estudo de BADEJO [21] indica que a geometria da partícula é altamente correlacionada com propriedades importantes, como o módulo de ruptura à flexão estática, o módulo de elasticidade à flexão estática e a ligação interna. Já as pesquisas de SEMPLE e EVANS [22] afirmam que as partículas longas devem ser usadas no lugar das pequenas, quando o objetivo for placas com alta resistência mecânica (MOR e MOE). Por fim, na revisão de literatura feita por FRYBORT *et al.* [23], existe a indicação de que a diminuição do tamanho das partículas, além de consumir mais energia, aumenta o consumo de adesivo, devido à maior área de superfície.

O trabalho deste artigo está focado em estudar e analisar a influência da quantidade de água/cal empregada na produção de solução de  $\text{Ca(OH)}_2$  utilizada para pré-tratamento das partículas vegetais, por meio das características físicas e mecânicas dos compósitos curados.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais Utilizados

Para a adesão das partículas utilizadas na produção dos corpos de prova dos compósitos de madeira-cimento utilizou-se o cimento Portland tipo CP II-Z, que contém adição de material pozolânico, variando de 6% a 14% em massa, o que confere ao cimento menor permeabilidade. O CP II-Z, no momento do experimento, foi misturado com a madeira, sendo, posteriormente, adicionada água potável. Também se utilizou um aglomerante aéreo que detém mecanismo de adesão e endurecimento com reação química em presença do ar. Nesta pesquisa, adotou-se a cal aérea ou  $\text{CaO}$ , conhecida pelo mercado consumidor como cal virgem. O óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) foi hidratado resultando dessa reação uma suspensão de hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$ .

As partículas vegetais de resíduos da serraria provieram da Madeireira Maracanã, situada no município de Tunas do Paraná, que produz e comercializa o produto como biomassa, utilizando a espécie *Pinus spp* originária de florestas plantadas na região.

Ao chegarem ao Laboratório de Painéis da UFPR, os cavacos com casca possuíam teor de umidade em torno de 52,25%, tendo sido secos ao ar livre por 48 horas; a seguir, foram colocados em estufas, ficando sua umidade residual em 3%. Depois de secos, os materiais foram reduzidos por moinho de martelos e peneirados mecanicamente. Na sequência, foram separados em sacos conforme retidos em cada peneira (2,36; 4,75 e 6,3 mm). Para os estudos, foi utilizada, além dos materiais retidos nas peneiras, parte do material antes de ser peneirado (apenas moído T1 e moído duas vezes T2), conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1: Granulometria dos materiais (fonte: autores)

Para produção dos compósitos, foi utilizada uma mesa vibratória que se encontra no Laboratório de Painéis da UFPR, desenvolvida por PARCHEN [7] e formada por um vibrador elétrico trifásico Würges, com ajuste mecânico dos excêntricos promotores da energia de vibração, com carga de impacto vertical equivalente a 220 N e rotação de 3.000 RPM, acoplada a uma prancha de compensado flexível.

## 2.2 Metodologia de Pesquisa

A verificação da melhor relação de água/cal para produção de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  foi realizada por meio de resistência à compressão axial em corpo de prova cilíndricos (70 mm x 140 mm).

Os tratamentos diferiram entre si devido à variação da granulometria da madeira e à relação água/cal na formação da suspensão de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; por outro lado, as relações madeira: cimento (1:1,5) e água/cimento (30%) foram mantidas fixas. O delineamento experimental consistiu de 15 tratamentos, tendo sido confeccionados, sete corpos de prova, para cada tratamento, totalizando 105 corpos de prova.

Tabela 1: Delineamento experimental.

TRATAMENTO	VIBRAÇÃO	ÁGUA/CAL	GRANULOMETRIA
111	220 N	4,7	#2,36
112			#4,75
113			#6,3
114			T1 (moído 1 vez)
115			T2 (moído 2 vezes)
121	220 N	6,25	#2,36
122			#4,75
123			#6,3
124			T1 (moído 1 vez)
125			T2 (moído 2 vezes)
131	220 N	7,8	#2,36
132			#4,75
133			#6,3
134			T1 (moído 1 vez)
135			T2 (moído 2 vezes)

O método empregado na produção dos corpos de prova foi sugerido por PARCHEN [7], consistindo no que segue. O processo de carbonatação a frio sobre as partículas de galhos é possível devido a reversibilidade da reação conhecida como ciclo da cal. O minério é encontrado na natureza como carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), na indústria produtora de cal, por ação de fornecimento de calor, desenvolve-se a reação de descarbonização do carbonato de cálcio, tornando-se óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) ou cal virgem.

Para cada cinco tratamentos, o  $\text{CaO}$  foi hidratado, resultando dessa reação uma suspensão de  $\text{Ca(OH)}_2$ , conhecido como cal hidratada. Para o preparo dessa mistura, utilizaram-se  $\text{CaO}$  com grau de pureza de 80% e água potável, ocorrendo uma reação exotérmica entre os componentes.

Para este estudo, foram preparadas três suspensões de  $\text{Ca(OH)}_2$ , nas seguintes relações: 4,7/1, isto é, 4,7 partes de água para uma parte de  $\text{CaO}$ , em massa; 6,25/1, ou seja, 6,25 partes de água para uma parte de  $\text{CaO}$ ; e 7,8/1, sendo 7,8 partes de água para uma parte de  $\text{CaO}$ . Terminada a reação exotérmica entre a água e o  $\text{CaO}$ , o  $\text{Ca(OH)}_2$  ficou em processo de complementação da reação de hidratação e resfriamento por 24 horas, em temperatura ambiente. A solução alcalina de hidróxido de cálcio obtida, com pH 12, foi adicionada às partículas de madeira durante a mistura, resultante em um pré-tratamento da madeira. A reversibilidade do processo se completa quando o dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  presente na atmosfera, se combina novamente com o hidróxido de cálcio, durante a fase de carbonatação ou secagem, se transformando quimicamente em ( $\text{CaCO}_3$ ) que mineraliza a superfície externa da partícula de madeira, apresentada na Figura 2.



**Figura 2:** A esquerda material sem tratamento, a direita material carbonatado (fonte: autores)

Para cada tratamento, foram produzidos sete corpos de prova, totalizando 35 corpos de prova para cada grupo de  $\text{Ca(OH)}_2$ . O grupo com relação água/cal de 4,7/1 foi denominado G-4,7, aquele com relação de 6,25/1 foi denominado G-6,25 e o último grupo, com relação de 7,8/1, foi denominado G-7,8. A confecção dos corpos de prova cilíndricos baseou-se na adaptação da norma NBR 5738, da ABNT [24], a qual é utilizada para o procedimento de moldagem e cura de corpos de prova de concreto de cimento Portland.

Após a modelagem, os corpos de prova curaram em lugar seco e ventilado, abrigado da luz solar. Decorridas 48 horas, os moldes de PVC cilíndricos foram abertos sem aplicação de esforço sobre as superfícies dos corpos de prova e terminaram sua cura de 28 dias no Laboratório de Painéis da UFPR, respeitando as condições ditadas pela adaptação da NBR 5738, da ABNT [24].

### 2.3 Determinação das Propriedades Mecânicas

Para a determinação das propriedades mecânicas dos corpos de prova, estes foram submetidos a ensaios de compressão axial, utilizando-se as máquinas de ensaios do Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFPR. Conforme atendimento a norma NBR 5739, da ABNT [25]. Os ensaios foram realizados ao final do período de 28 dias de cura (Figura 3).



**Figura 3:** Ensaio de compressão axial, conforme NBR 5739 (fonte: autores)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias são apresentados na Tabela 2. Todos os resultados tiveram sua análise feita por meio do software Statgraphics Centurion XV, versão 15.2.11. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com arranjo fatorial para os tratamentos. O método adotado foi a análise da variância (ANOVA), em que foi verificada a normalidade dos valores; quando da apresentação de diferenças significativas nas variâncias, adotou-se como procedimento para comparação de médias homogêneas o teste de Tukey-Kramer ao nível de probabilidade de 95%, utilizando o mesmo *software*.

A credibilidade dos ensaios axiais de compressão é considerada por MEHTA e MONTEIRO [26] parâmetro universalmente aceito como índice de referência da resistência do material ensaiado, quando o cimento é utilizado como aglomerante.

**Tabela 2:** Resultado dos testes de compressão.

TRATAMENTO	GRUPO	GRANULOMETRIA	DENSIDADE (G/CM <sup>3</sup> )	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL (MPA)
T111	4,7	#2,36	0,51 (4,7%)	0,71 (27%)
T112		#4,75	0,54 (2,7%)	0,82 (23%)
T113		#6,3	0,59 (8,9%)	0,73 (30%)
T114		T1	0,59 (5,1%)	0,62 (34%)
T115		T2	0,62 (2,6%)	0,55 (8%)
T121	6,25	#2,36	0,63 (5,6%)	1,62 (13%)
T122		#4,75	0,64 (5,7%)	1,36 (11%)
T123		#6,3	0,59 (5,2%)	1,11 (10%)
T124		T1	0,61 (4,4%)	1,01 (21%)
T125		T2	0,63 (2,5%)	1,36 (12%)
T131	7,8	#2,36	0,63 (3,9%)	1,37 (8%)
T132		#4,75	0,61 (6,2%)	1,22 (13%)
T133		#6,3	0,60 (6,4%)	1,00 (20%)
T134		T1	0,66 (4,5%)	1,33 (18%)
T135		T2	0,63 (2,4%)	1,05 (10%)

Todos os tratamentos apresentaram densidade menor que 0,66 g/cm<sup>3</sup>, ou seja, valor bem inferior ao de blocos de concreto para vedação encontrados no mercado, que é de 2,2 g/cm<sup>3</sup>. Assim de acordo com a NBR

12655, da ABNT [27] podem ser considerados compósitos leves.

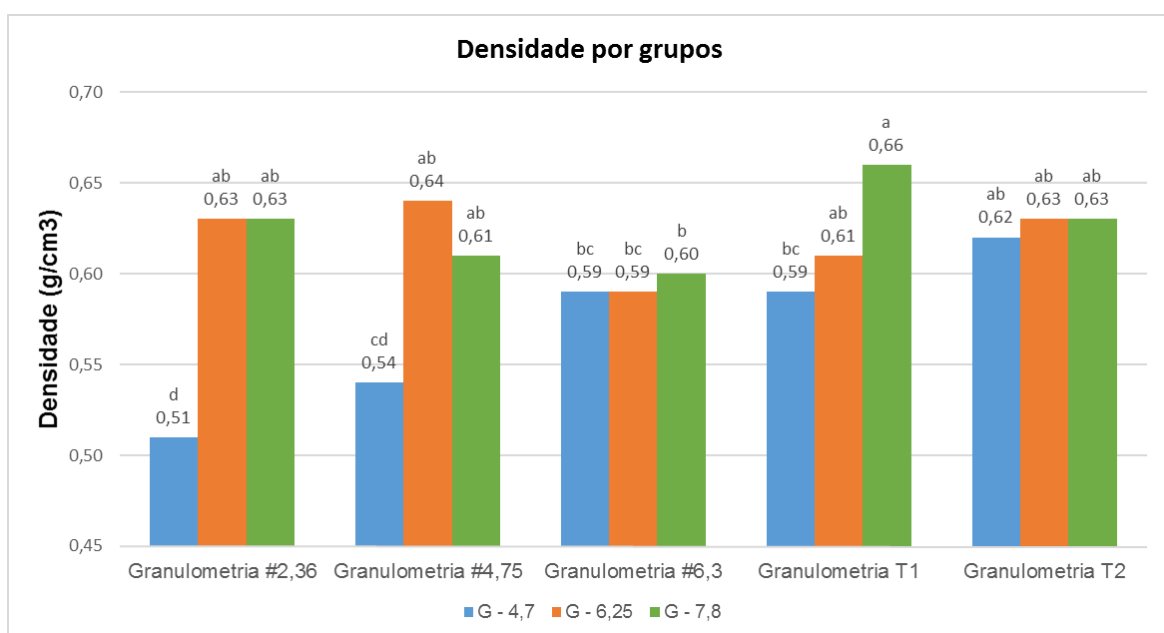
Conforme observado por PARCHEN [7] há possibilidade de se estabelecer comparações entre a densidade de materiais sólidos rotineiramente empregados na construção civil e os compósitos obtidos neste estudo, para futuramente encontrar aplicações específicas para os compósitos madeira-cimento conforme estudado em VILLAS-BÔAS [28]. A tabela 3 a seguir mostra um quadro comparativo entre as densidades de materiais empregados na construção civil.

**Tabela 3:** Densidade de materiais empregados na construção civil – adaptado de PARCHEN [7].

MATERIAL	DENSIDADE (g/cm <sup>3</sup> )
Bloco de concreto	2,2
Concreto para enchimento de piso	2,2 a 2,3
Painéis de cimento-amianto	1,9
Tijolo cerâmico furado	1,1 a 1,4
<i>Pinus spp</i>	0,39 a 0,48
Compósitos produzidos madeira-cimento	0,51 a 0,66

Por sua vez, os valores encontrados para a resistência à compressão axial são superiores aos encontrados na pesquisa realizada por PARCHEN [7], cujo valor médio de resistência a compressão axial foi de 0,52 MPa. Nestes estudos de PARCHEN [7] a densidade média dos tratamentos foi de 0,60 a 0,74 g/cm<sup>3</sup>. Observando-se a tabela 2, ficou evidente que ocorreu correlação entre a densidade dos corpos de prova dos compósitos e os valores encontrados para a resistência à compressão axial. Caso fosse realizada uma análise de variância nessas propriedades, poder-se-ia obter resultados equivocados. Visando eliminar essa fonte de variação, destaca-se que, para ajustar os valores de densidade, no presente estudo, a densidade dos corpos de prova foi tratada como uma covariável durante a análise estatística, apresentada a seguir.

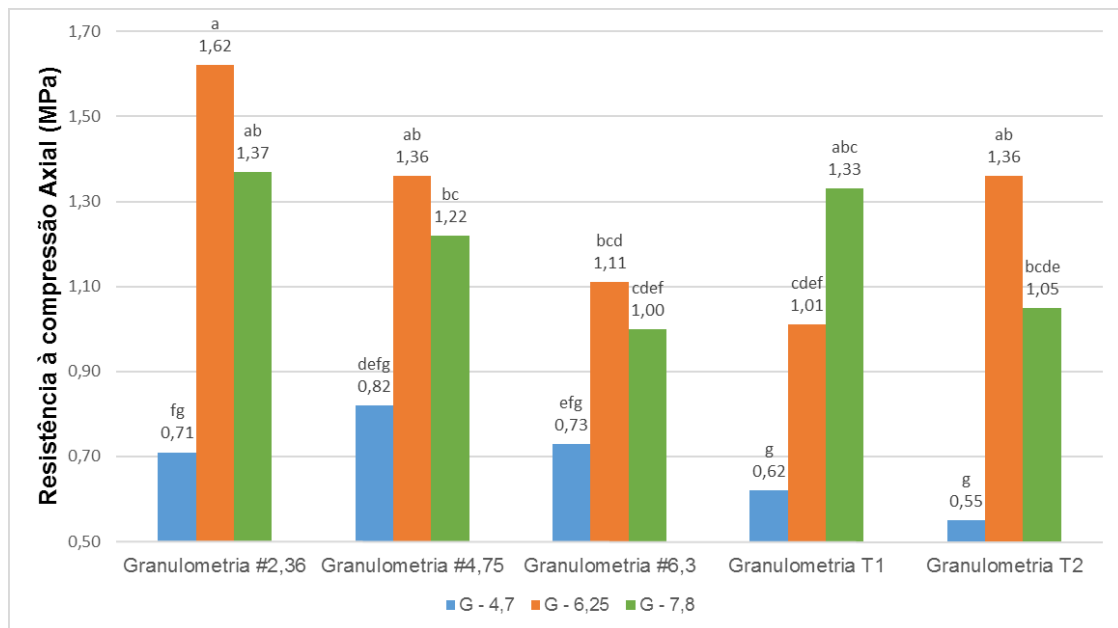
A figura 4 apresenta os valores médios encontrados para a densidade (g/cm<sup>3</sup>), comparando em cada granulometria os três grupos G-4,7; G-6,25 e G-7,8, acompanhados pelas letras que indicam a diferença estatística obtida pelo teste de múltiplas médias de Tukey. Ressalta-se que letras semelhantes indicam que as médias não diferem estatisticamente ao nível de 95% de probabilidade.



**Figura 4:** Valores médios das densidades separados por granulometria e por grupos de relação água/cal. (fonte: autores)

Os tratamentos que utilizaram relação água/cal igual a 4,7 apresentaram valores menores de densidade para corpos de prova produzidos com partículas menores (#2,36 e #4,75). Por sua vez, os tratamentos com relação água/cal de 6,25 e 7,8 não apresentaram diferenças estatísticas entre as frações granulométricas estudadas.

A figura 5 apresenta os valores médios da resistência à compressão axial em cada granulometria, para os três grupos de relação água/cal, acompanhados pelas letras que indicam a diferença estatística obtida pelo teste de múltiplas médias de Tukey. Novamente, destaca-se que letras semelhantes indicam que as médias não diferem estatisticamente ao nível de 95% de probabilidade.



**Figura 5:** Valores médios para Resistência a Compressão Axial por granulometria e grupos de relação água/cal. (fonte: autores)

Dentro dos 3 grupos estudados, não houve diferença estatística dos valores médios encontrados nos corpos de prova dos compósitos produzidos com relação água/cal de 6,25 e relação água/cal 7,8. Os corpos de prova dos compósitos produzidos com relação água/cal de 4,7 apresentaram valores médios menores que as outras relações, em todas as granulometrias estudadas. Ao comparar a figura 3 com a figura 4 verifica-se que o grupo G-4,7 apresenta valores médios de densidade menores, assim como valores de resistência a compressões axiais também menores que os outros dois grupos, o que indica que valores menores de resistência à compressão estão intimamente ligados a menores valores de densidade dos corpos de prova.

Esse resultado complementa os estudos de PARCHEN [7], onde a utilização de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  aumentou a resistência dos compósitos aproximadamente três vezes comparados ao tratamento de extração por água. Mas o estudo alerta para a quantidade ideal de CaO nos corpos de prova, valores muito altos de CaO podem agir negativamente na reação com o cimento.

As médias de tensão máxima em MPa já corrigidas pela covariável densidade são apresentadas na Tabela 4, na qual se podem analisar os resultados para as três relações água/cal.

**Tabela 4:** Resultado médios para a propriedade mecânica resistência à compressão utilizando todas as granulometrias.

ÁGUA/CAL	MÉDIA DAS TENSÕES
4,7	0,84 <sup>c</sup>
6,25	1,23 <sup>a</sup>
7,8	1,11 <sup>b</sup>

**Nota:** Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.



Por meio do teste de Tukey, verifica-se que os corpos de prova dos compósitos de madeira-cimento produzidos com a relação água/cal igual a 6,25 apresentaram um valor médio de resistência à compressão axial (1,23 MPa) estatisticamente superior a relação água/cal de 7,8 e este, superior a relação água/cal 4,7. A relação água/cal de 6,25 possui uma quantidade de cal suficiente para carbonatar a madeira, que mineralizou na superfície das partículas de madeira, influenciando positivamente na inibição, conforme também mencionado em outros estudos [7,18]

#### 4. CONCLUSÕES

A resistência à compressão no grupo em que os tratamentos possuíam  $\text{Ca(OH)}_2$  na relação água/cal igual a 6,25 foi estatisticamente superior à dos outros dois grupos, apresentando o grupo G-4,7 resultados menores. Apesar de ajudar na inibição do cimento, acredita-se que muito CaO prejudique seu desempenho, causando os baixos valores apresentados no grupo G-4,7.

Por sua vez, o grupo G-7,8 apresentou valores superiores em T1 (material moído sem peneiramento), comprovando as relações entre a granulometria e a quantidade de CaO e o mesmo deve ser observado conforme a granulometria de partícula utilizada.

A escolha da relação água/cal para tratamento das partículas deve ser correlacionada com a granulometria das mesmas.

#### 5. AGRADECIMENTOS

A equipe agradece ao apoio da Universidade Federal do Paraná (UFPR), ao Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME) por possibilitar o empenho de seus professores/pesquisadores/funcionários e colocar a sua infraestrutura à disposição deste trabalho de pesquisa. Além disso, deve-se registrar o agradecimento pela concessão de bolsas de estudo promovidas pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). E a madeireira Maracanã por fornecer o material para a pesquisa.

#### 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] RECH, C. “Estudo sugere uso de serragem como insumo”, *Revista da Madeira*, n. 66, 2002.
- [2] BRAND, M. A. *et al.* “Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais”. *Floresta*, Curitiba, v. 32, n. 2, pp. 247-259, 2002.
- [3] TEIXEIRA, M. G., CÉSAR, S. F. “Produção de compósito com resíduo de madeira no contexto da ecologia industrial.” *Madeira: Arquitetura e Engenharia*, v. 7, n. 19, 2012.
- [4] FREITAS, L. C. *A baixa produtividade e o desperdício no processo de beneficiamento da madeira: um estudo de caso*. 2000. Dissertação de M. Sc., Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2000.
- [5] INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Desmatamento. <http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas/desmatamento>, Acessado em: janeiro 2015.
- [6] SOUZA, A. A. C. *Utilização de resíduos da indústria madeireira para fabricação de chapas cimento-madeira*, Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.
- [7] PARCHEN, C. F. A. *Compósito madeira cimento de baixa densidade produzido com método de compactação vibro dinâmica.*, Tese de D.Sc., PPGEF/UFPR, Curitiba, PR, Brasil, 2012.
- [8] STANCATO, A. C. *Caracterização de compósitos à base de resíduos vegetais e argamassa de cimento modificada pela adição de polímeros para a fabricação de blocos vazados*, Tese de D.Sc., Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- [9] BARBOSA, L. C. *et al.* “Avaliação dos resíduos de uma serraria para a produção de celulose kraft.” *Ciência Florestal*, v. 24, n. 2, pp. 491-500, 2014.
- [10] IWAKIRI, S. *et al.* “Resíduos de serraria na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto”, *Scientia Agrária*, Curitiba, v. 1, n. 1-2, pp. 23-28, 2000.
- [11] YAMAJI, F. M. *Produção de compósito plástico-madeira a partir de resíduos da indústria madeireira*, Tese de D.Sc., UFPR, Curitiba-PR, Brasil, 2004.
- [12] LIMA, A. J. M., IWAKIRI, S. “Utilização de resíduos de madeira de *Pinus* spp, cinza volante e escória de alto-forno em compósitos cimento-madeira”, *Floresta*, Curitiba, v. 42, n. 3, pp. 639-650, 2012.

- [13] LATORRACA, J. V. F., IWAKIRI, S. “Painéis de madeira-cimento.” In: IWAKIRI, S. *Painéis de madeira reconstituída*, Curitiba, FUPEF, pp. 213-239. 2005.
- [14] WEI, Y., MIN, Z. Y. G, TOMITA, B. *Study of hydration behavior of wood cement-based composite II: effect of chemical additives on the hydration characteristics and strengths of wood cement composites*. Japan, The Japan Wood Research Society, 2000.
- [15] NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. *Tecnologia do concreto*. 2. ed., [s.l., s.n.], 2013.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: *projeto de estruturas de concreto – procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.
- [17] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). ACI Committee 318: *building code requirements for structural concrete (ACI 318-05) and commentary (318R-05)*. Farmington Hills, 2005.
- [18] FAN, M. et al. “Cement-bonded composites made from tropical woods: compatibility of wood and cement”, *Construction and Building Materials*, v. 36, pp. 135-140, 2012.
- [19] KARADE, S. R.; IRLE, M.; MAHER, K. “Influence of granule properties and concentration on cork-cement compatibility”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, v. 64, n. 4, pp. 281-286, 2006.
- [20] OLORUNNISOLA, A. O. “Effects of husk particle size and calcium chloride on strength and sorption properties of coconut husk-cement composites”, *Industrial Crops and Products*, n. 29, pp. 495-501, 2009.
- [21] BADEJO, S. O. O. “Effect of flake geometry on properties of cement-bonded particleboard from mixed tropical hardwoods”, *Wood Science and Technology*, n. 22, pp. 357-370, 1988.
- [22] SEMPLE, K. E., EVANS, P. D. *Wood-cement composites – suitability of Western Australian mallee eucalypt, blue gum and melaleucas*. [s.l.], Kingston, 2004.
- [23] FRYBORT, S. et al., “Cement bonded composites – a mechanical review”, *BioResources*, v. 3, n. 2, pp. 602-626, 2008.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: *concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova – especificação* Rio de Janeiro, 2008.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: *concreto – ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – especificação*. Rio de Janeiro, 2007.
- [26] MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. São Paulo, Ibracon, 2008.
- [27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: *concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2015.
- [28] VILLAS-BOAS, B. T. *Utilização de cimento Portland e resíduos de Pinus spp para fabricação de blocos vazados de baixa densidade para alvenaria.*, Tese de D.Sc., PPGEF/UFPR, Curitiba, PR, Brasil, 2016.