

## Estudo Preliminar do Desempenho Físico e Mecânico de Argamassas Confeccionadas com Resíduo de Pinus spp

### Preliminary Study of the Physical and Mechanical Behavior of Mortars Made With Pinus spp. Residues

Matheus Henrique Alves

[Matheus.henrique.alves@outlook.com](mailto:Matheus.henrique.alves@outlook.com)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Adalberto Matoski

[adalberto@utfpr.edu.br](mailto:adalberto@utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

#### RESUMO

Este estudo analisou o comportamento físico e mecânico de argamassas reforçadas com resíduos de Pinus spp., empregando-se teores de 0%, 10%, 15% e 20% de resíduo em relação a massa de cimento. Os resultados indicaram que a adição de Pinus spp. propicia uma diminuição significativa da massa específica seca e índice de vazios das argamassas ( $p < 0,01$ ). Não houve diferença significativa no índice de vazios da composição contendo 20% de resíduo ao comparada com a composição com 15%. Não foi observada uma influência significativa do teor de resíduo na absorção das composições, o que pode estar associado ao processo de mineralização e distribuição granulométrica do resíduo e a alta absorção de água de amassamento do mesmo, onde este último pode levar a hidratação tardia do cimento. Também, devido à diminuição do calor de hidratação, há uma redução na propagação de fissuras na matriz cimentícia das composições contendo resíduo. Quanto a resistência à compressão axial, não houve queda expressiva da resistência à compressão para adições de até 15% de Pinus spp. Os resultados sugerem que, para este estudo, um teor de Pinus spp. de 15% seja efetivo na redução da massa específica seca e do índice de vazios das argamassas, sem que ocorra queda significativa de resistência à compressão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cimento. Madeira. Resíduos. Celulose. Pinus spp.

#### ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the physical and mechanical behavior of mortars reinforced with Pinus spp. residues. Four different compositions of mortars were tried, varying only the percentage of Pinus spp. substitution: 0%, 10%, 15% and 20% in relation to cement weight. The results showed that the residue addition leads to a significant decrease in the dry density and porosity of the mortars ( $p < 0,01$ ). There was no significant difference in the porosity of the composition containing 20% of residue when compared to the composition with 15%. Furthermore, there was no significant influence of the residue content in the water absorption of the compositions, which can be related to the mineralization process and particle-size distribution of the residue and its high water absorption, where the latter might have induced a delayed cement hydration. Moreover, the residue addition possibly contributed to reduce the hydration heat of the compositions thus reducing microcracking formation. Regarding compressive strength, there was no expressive reduction in the compressive strength of the compositions containing up to 15% of residue. Hence, the results indicate that a content up to 15% of Pinus spp. is effective to reduce the dry density and porosity of the mortars without affecting significantly its compressive strength.

**KEYWORDS:** Cement. Wood. Residues. Cellulose. Pinus spp.

#### INTRODUÇÃO

**Recebido:** 31 ago. 2018.

**Aprovado:** 04 out. 2018.

**Direito autoral:**

Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.





Os compósitos cimento-madeira (CCM) vêm sendo amplamente estudados por conta de seu apelo ecológico e elevado potencial construtivo, podendo ser utilizados em uma variedade de aplicações, como painéis cimentícios (MATOSKI; RIBEIRO, 2016), blocos de vedação (SOTO IZQUIERDO et al., 2017) e componentes de cobertura (DARSANA et al., 2016). A adição de resíduos de madeira na matriz cimentícia diminui o consumo de agregados minerais e aglomerantes, propiciando também a redução da densidade do compósito (ACHOUR; GHOMARI; BELAYACHI, 2017), o que facilita o seu manuseio e aplicação e diminui os custos de processamento. Ainda, há incrementos consistentes na resistência ao impacto e diminuição da propagação da microfissuração na matriz cimentícia (HWANG et al., 2016).

A principal desvantagem dos CCM reside na incompatibilidade química entre o cimento e a madeira, pois o ambiente alcalino da matriz cimentícia atua na fragilização da estrutura celular da madeira, aumentando sua porosidade e elevando sua capacidade de absorção de água, além de gerar extrativos solúveis em água que são inibidores da pega do cimento e, portanto, prejudiciais para a resistência do compósito (WEI; MA; THOMAS, 2016), sendo recomendável a utilização de materiais pozolânicos e aditivos aceleradores de pega.

Dessa forma, este trabalho visa analisar o comportamento físico e mecânico de argamassas mediante a substituição parcial do cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV – ARI) por farinha de Pinus spp. com origem e granulometria controlada, visando sua adequabilidade ao setor da construção civil.

## METODOLOGIA

A Figura 1 a seguir apresenta a composição granulométrica do resíduo utilizado, de acordo com os limites da NBR 7217/1987. O módulo de finura (MF) do resíduo foi de 1,59 e sua massa específica absoluta e aparente foram, respectivamente, 0,968 g/cm<sup>3</sup> e 0,296 g/cm<sup>3</sup>, determinadas a partir da adaptação da NBR NM 52/2002. A absorção de água em 24h do resíduo foi de 279,4%, de acordo com a NBR NM 30/2001.

Foi utilizado agregado miúdo artificial com MF de 2,35, massa específica  $\rho = 2,69$  g/cm<sup>3</sup> e absorção de água em 24h de 9,60%. O cimento utilizado foi o cimento Portland de Alta- Resistência Inicial (CPV – ARI), com massa específica absoluta de 3,09 g/cm<sup>3</sup>. Para reduzir a incompatibilidade entre o cimento e o resíduo, em todas as composições optou-se por utilizar 15% de Metacaulim ( $\rho = 2,56$  g/cm<sup>3</sup>) e 4% cloreto de cálcio ( $\rho = 2,15$  g/cm<sup>3</sup>), relativos a massa de cimento.

Foram moldados 12 corpos de prova cilíndricos (5x10cm) para cada composição, de acordo com as especificações da NBR 1215/1996, sendo 3 destes utilizados para determinação da massa específica seca, índice de vazios e absorção de água após 72h de ensaio, conforme a NBR 9778/1987. Quanto a resistência à compressão axial, foram ensaiados 3 corpos de prova de cada composição para as idades de 3, 7 e 28 dias de cura ambiente. Os consumos dos materiais empregados na confecção dos corpos de prova podem ser observados no Quadro 1 abaixo:

Quadro 1 – Propriedades e consumo dos materiais utilizados nas composições

Composição	Consumo em Massa Seca (g)				
	Pinus spp.	Agregado Miúdo	CPV - ARI	Metacaulim	Cloreto de Cálcio
C-0 (Referência)	0,0	2406,0	1200,0	180,0	48,0
C-10	109,3	2205,5	1100,0	165,0	44,0
C-15	149,1	2005,0	1000,0	150,0	40,0
C-20	179,0	1804,5	900,0	135,0	36,0

Fonte: Autoria própria (2018)

O diagnóstico dos dados foi realizado com base na análise de variância (ANOVA) seguida de teste Tukey para comparações entre médias, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### PROPRIEDADES FÍSICAS

A Tabela 1 abaixo apresenta os resultados médios obtidos para as propriedades físicas de cada composição:

Tabela 1 – Resultados médios obtidos para as propriedades físicas.

Composição	Absorção de Água (72h)		Índice de Vazios (72h)		Massa Específica Seca (72h)	
	Média (%)	CV (%)	Média (%)	CV (%)	Média (g/cm <sup>3</sup> )	CV (%)
C-0	14,51	0,87	27,01 <sup>a</sup>	1,28	1,87 <sup>a</sup>	0,70
C-10	14,00	0,19	24,66 <sup>a</sup>	0,26	1,75 <sup>b</sup>	0,41
C-15	13,46	3,95	23,29 <sup>b</sup>	3,00	1,73 <sup>b</sup>	1,24
C-20	14,17	12,42	23,48 <sup>b</sup>	10,21	1,66 <sup>c</sup>	2,32

\* Letras diferentes denotam diferenças significativas ao nível de confiança de 95%.

Fonte: Autoria própria (2018).

Com base na Tabela 1, observa-se um comportamento bastante atípico das absorções médias das argamassas, que foram menores para as composições C-15 e C-20 ao comparadas com a composição referência C-0. Esperava-se uma absorção de água maior para as composições com resíduo de Pinus spp. devido à alta absorção de água do resíduo. De fato, a partir da análise de variância ANOVA verifica-se que a quantidade de resíduo de Pinus spp. na composição das argamassas não possui influência significativa na absorção do compósito ( $p = 0,59$ ). Semelhante à análise de absorção de água, nota-se uma atipicidade das argamassas com relação ao índice de vazios, onde este foi menor para as composições contendo resíduo de Pinus spp. Devido à baixa massa específica absoluta e aparente das fibras, esperava-se um aumento no índice de vazios conforme o aumento da adição de fibras na composição. A análise de variância ANOVA mostrou correlação significativa entre a quantidade de resíduo e o índice de vazios das composições ( $p < 0,01$ ). O teste Tukey de comparações entre médias (Tabela 1) identificou que o índice de vazios da composição C-20 é significativamente menor ao comparado com as composições C-0



e C-10, ao passo que o índice de vazios da composição C-15 não possui diferença significativa se comparada com C-20.

Como os corpos de prova foram ensaiados aos 28 dias de cura, é possível que o processo de mineralização das fibras tenha influenciado na diminuição do índice de vazios e da absorção da argamassa. Também, de acordo com Souza et al. (2017), a absorção de água pela fibra vegetal durante o processo de mistura do compósito atua na hidratação tardia dos aglomerantes, o que pode contribuir para o selamento de poros e microfissuras na matriz cimentícia, reduzindo assim a absorção de água da mesma. Ainda, como a composição C-0 possui elevado consumo de CPV – ARI (Quadro 1), de alta reatividade, durante o processo de mistura e cura é gerado um elevado calor de hidratação, provocando uma fissuração excessiva da matriz cimentícia e consequente aumento do seu índice de vazios e absorção de água. A adição de fibras vegetais já vem sendo amplamente relatada na literatura como benéfica para a redução da propagação de microfissuras na matriz cimentícia (HWANG et al., 2016; SILVA; MOBASHER; FILHO, 2009), o que pode estar relacionado com a menor absorção e menor índice de vazios das composições com Pinus spp. deste estudo. Ainda, como a composição C-0 é mais trabalhável que as demais composições, a incorporação de ar durante a mistura e moldagem pode ter sido maior ao comparada com as demais composições. Também, a distribuição granulométrica uniforme do resíduo contribui para a obtenção de argamassas de maior compacidade (Figura 1).

Como esperado, a análise ANOVA mostrou elevada significância do teor de Pinus spp. na massa específica seca média de cada composição ( $p < 0,01$ ) indicando uma diminuição apreciável da massa específica conforme o aumento no teor de Pinus spp. Verifica-se que todas as composições com resíduo de Pinus spp. mostraram significativa redução da massa específica seca média ao comparadas com a composição de referência C-0 apresentando reduções médias de 11,23%, 7,49% e 5,88% para as composições C-20, C-15 e C-10, respectivamente. Não houve apreciável redução da massa específica seca da composição C-15 em relação à composição C-10, ao passo que a redução foi expressiva entre as composições C-20 e C-15 (Tabela 2).

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A Tabela 2 abaixo apresenta os resultados médios obtidos para a resistência à compressão axial aos 3, 7 e 28 dias de cura ambiente.

Tabela 2 – Resultados médios obtidos para as propriedades mecânicas.

Composição	Resistência à Compressão 3 dias		Resistência à Compressão 7 dias		Resistência à Compressão 28 dias	
	Média (%)	CV (%)	Média (%)	CV (%)	Média (g/cm <sup>3</sup> )	CV (%)
C-0	13,98 <sup>a</sup>	2,81	23,47 <sup>a</sup>	8,33	26,20	9,74
C-10	15,06 <sup>a</sup>	7,58	19,86 <sup>a</sup>	15,83	22,64	10,64
C-15	12,69 <sup>b</sup>	5,07	19,08 <sup>a</sup>	8,83	21,58	9,13
C-20	9,63 <sup>c</sup>	6,28	14,40 <sup>b</sup>	12,09	20,94	9,94

\* Letras diferentes denotam diferenças significativas ao nível de confiança de 95%.

Fonte: Autoria própria (2018).



Observa-se pela Tabela 2 que aos 3 dias, o compósito de referência C-0 apresentou menor resistência à compressão axial ao comparado com a composição C-10. Possivelmente, como a composição C-0 possui elevado consumo de cimento e, por se tratar de uma idade de cura precoce, o elevado calor de hidratação do cimento e a alta relação água/aglomerante podem ter levado a uma incorporação de ar excessiva e ter ocasionado microfissuras na matriz cimentícia. Como a composição C-10 possui 10% de *Pinus spp.*, é provável que as fibras tenham absorvido parte da energia dissipada pelas reações de hidratação do cimento, diminuindo a ocorrência de fissuras ao longo da matriz cimentícia. Conclusões semelhantes foram obtidas por Lima (LIMA, 2009) para CCM ensaiados aos 3 dias.

Ao analisarmos os resultados de resistência a compressão para cada idade, aos 3 dias a análise ANOVA mostrou boa correlação entre o teor de resíduo e a resistência a compressão axial ( $p < 0,01$ ). Ainda, o teste Tukey para 3 dias apontou que a composição C-20 teve significativa redução de resistência à compressão ao comparada com as composições C-15, C-10 e C-0, havendo também queda de resistência expressiva de resistência da composição C-15 em relação à composição C-10. Aos 7 dias, também houve elevada correlação entre o teor de resíduo e a resistência à compressão axial ( $p < 0,01$ ), onde somente a composição C-20 apresentou redução significativa de resistência à compressão ao comparada com a composição C-0. No entanto, não houve significância do teor de *Pinus spp.* na resistência à compressão características das composições ensaiadas aos 28 dias ( $p = 0,10$ ).

## CONCLUSÃO

A adição de *Pinus spp.* na composição das argamassas propicia queda significativa na massa específica seca e índice de vazios das mesmas. Os resultados sugerem que um teor de *Pinus spp.* de até 15% em relação a massa de cimento seja efetivo na redução da massa específica seca e na diminuição do índice de vazios das argamassas, sem que haja queda de resistência à compressão característica significativa.

## REFERÊNCIAS

ACHOUR, A.; GHOMARI, F.; BELAYACHI, N. Properties of cementitious mortars reinforced with natural fibers. **Journal of Adhesion Science and Technology**, v. 31, n. 17, p. 1938–1962, 2017.

DARSANA, P. et al. Development of Coir-fibre Cement Composite Roofing Tiles. **Procedia Technology**, v. 24, p. 169–178, 2016.

HWANG, C. L. et al. Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites. **Construction and Building Materials**, v. 127, p. 984–992, 2016.



LIMA, A. J. M. **Utilização de Resíduos de Pinus spp e Materiais Cimentícios Alternativos na Produção de Blocos para Alvenaria Estrutural**. 2009. 303 f. Universidade Federal do Paraná, 2009.

MATOSKI, A.; RIBEIRO, R. S. Evaluation of the acoustic performance of a modular construction system: Case study. **Applied Acoustics**, v. 106, p. 105–112, 2016.

SILVA, F. DE A.; MOBASHER, B.; FILHO, R. D. T. Cracking mechanisms in durable sisal fiber reinforced cement composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 31, n. 10, p. 721–730, 2009.

SOTO IZQUIERDO, I. et al. Sisal fiber reinforced hollow concrete blocks for structural applications: Testing and modeling. **Construction and Building Materials**, v. 151, p. 98–112, 2017.

SOUZA, L.; SOUZA, L.; SILVA, F. Autogenous healing capability of natural curauá textile reinforced concrete. **Procedia Engineering**, v. 200, p. 290–294, 2017.

WEI, J.; MA, S.; THOMAS, D. G. Correlation between hydration of cement and durability of natural fiber-reinforced cement composites. **Corrosion Science**, v. 106, p. 1–15, 2016.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo fomento ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica (PIBIC), à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo auxílio financeiro e ao Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC) da UTFPR pela concessão das instalações e laboratórios necessários para a realização das análises e testes pertinente.

