

# INFLUÊNCIA DOS RESÍDUOS DE DICOTILEDÔNEAS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE COMPÓSITOS CIMENTO-MADEIRA

*Alexandre Martins de Lima\**

## RESUMO

No presente trabalho de pesquisa analisou-se o efeito da presença de resíduos de madeira provenientes de argamassas à base de cimento Portland. As partículas de madeira empregadas na presente pesquisa são resíduos de várias espécies de dicotiledôneas, coletados em serrarias da Zona Metropolitana de Belém. Adotou-se no programa experimental a secagem em estufa como único tratamento para os resíduos. O aporte inicial da pesquisa foi o levantamento do referencial teórico como suporte para o programa experimental. Em seguida, os materiais constituintes do compósito foram caracterizados segundo métodos prescritos pelas Normas Brasileiras; e, depois de homogeneizados, foram conduzidos ensaios no estado fresco. Os ensaios no estado endurecido foram conduzidos de forma tal que a característica mecânica observada para a avaliação do efeito dos referidos tratamentos foi a resistência à compressão. Os resultados de tensão na compressão indicaram que os resíduos utilizados são bastante inibitórios à hidratação da matriz de cimento, bem como influenciam negativamente na resistência à compressão.

**Palavras-Chave:** Resíduos. Compósito. Cimento. Compressão.

## ***INFLUENCE OF DICOTILEDONEAE RESIDUES IN TENSILE STRENGTH OF WOOD-CEMENT COMPOSITES***

### **ABSTRACT**

*In the present research work the effect of the presence of coming wood residues was analyzed in mortars the base of cement portland. The employed wood particles in the present research are residues of several hardwood species, collected at sawmills of the Metropolitan Area of Belém. It was adopted in the experimental program the drying in greenhouse as only treatment for the residues. The initial contribution of the research was the rising of the theoretical references as support for the experimental program. Soon afterwards, the constituent materials of the composite were characterized according to methods prescribed by the Brazilian Norms; and after having homogenized, rehearsals were driven in the fresh state. The rehearsals in the hardened state were driven in a such way that the mechanical characteristic observed for the evaluation of the effect of*

\* Arquiteto e Urbanista - UFPA. Msc. em Engenharia Civil - PPGEC-UFPA. Doutorando do Programa de Desenvolvimento Sustentável no Trópico Úmido – PDTU-NAEA-UFPA (alexandre\_lima@unama.br). Bolsista da FIDESA

*the referred treatments was the resistance to the compression. The tension results in the compression indicated that the used residues inhibits to the hydration of the cement head office, as well as they influence the resistance negatively to the compression.*

**Keywords:** Residues. Composites. Cement. Compression.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de biomassa vegetal permeou o desenvolvimento da grande maioria das sociedades humanas, mesmo naquelas em que a situação geográfica não era favorável a sua obtenção. Em verdade, o uso deste insumo data de muito tempo. A historiografia é pródiga em evidenciar que os povos egípcios já utilizavam fibras, como a palha e o papiro, para reduzir a presença de fissuras em tijolos de adobe e torná-los mais resistentes e leves. No cenário contemporâneo nacional, a biomassa vegetal encontra grande aplicabilidade, como na construção civil (em fôrmas para concreto, pontaletes, escoras, peças estruturais das mais variadas ordens, revestimento de parede, piso e forro, esquadrias etc.), e na indústria moveleira (mobiliários de sala, dormitórios, cozinhas etc.).

Nas indústrias de beneficiamento das madeiras extraídas (serrarias, indústrias moveleiras e indústrias de transformação) o baixo nível de aproveitamento do material é preocupante, pois a média de rendimento das serrarias gira em torno de 50% em volume, e o restante é transformado em resíduos, tornando-se verdadeiros transtornos para a operacionalidade nos pátios de serrarias e empresas madeireiras (UHL *et al*, 1991). A despeito deste quadro geral não muito favorável ao reaproveitamento dos resíduos de madeira, atualmente no Brasil, trabalhos desenvolvidos por pesquisadores como Beraldo *et al* (1996) e Savastano (2000) apontam a possibilidade de uso da madeira mesmo na forma de resíduo.

Com efeito, o resíduo de madeira pode ser utilizado para fabricação de painéis prensados, ou mesmo como reforço, quando associado a aglomerantes minerais (SARMIENTO e FREIRE, 1996). Quando esta associação de fibras ou partículas de madeira é feita com uma matriz de cimento Portland, produz-se um material compósito comumente denominado cimento-madeira. O compósito cimento-madeira é um dos poucos materiais estruturais efetivamente resistentes a incêndios e à degradação por influência do meio ou por ação de xilófagos, uma vez que a matriz cimentante envolve a parte frágil, que é a madeira. Seu peso relativamente mais baixo e suas capacidades como isolante termo-acústico (características oriundas, basicamente, dos vazios encontrados nos lumens das células vegetais) tornam este material potencialmente atraente ao uso na construção civil, seja para uso em painéis divisórios, placas, enchimentos, telhas, ou mesmo em argamassas.

Contudo, mesmo apresentando potencial de uso, para se obter uma boa interação entre a biomassa vegetal e o aglomerante, é de fundamental importância considerar não só a espécie botânica dos resíduos, sua morfologia, arquitetura, comportamen-

tos físicos e químicos, mas também o tipo de cimento utilizado. Assim, nos últimos anos, pesquisas, produção e utilização de compósitos à base de resíduos de madeira têm sido fomentadas no Brasil, proporcionando avanço notável no desenvolvimento deste novo material, já que o interesse neste compósito não é mais tão restrito ao âmbito científico-acadêmico. Partindo destas condições de contorno, o presente trabalho atenta para o potencial aproveitamento dos resíduos de madeiras da Região Amazônica, através da verificação da depreciação no comportamento mecânico à compressão do compósito cimento-madeira.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 AGLOMERANTE MINERAL

O aglomerante mineral utilizado no presente programa experimental é, segundo a NBR 11578 (ABNT, 1991), classificado como cimento Portland composto com pozolana (CP II – Z), com mediana resistência a sulfatos, da classe de resistência à compressão 32, que representa a resistência mínima à compressão que o aglomerante atinge, em MPa, aos 28 dias de idade. O cimento utilizado apresenta-se de conformidade com a NBR 11578.

### 2.2 RESÍDUO (MADEIRA)

Os resíduos de madeira foram coletados em pátio de marcenaria da zona metropolitana de Belém, especificamente no bairro do Guamá, em três grandes sacas plásticas de 50kg. Os resíduos produzidos pelas máquinas são dispostos em montes desordenados ao longo da própria área de trabalho, fazendo com que os resíduos produzidos sejam variegados, tanto por espécie quanto por sua granulometria. Os resíduos coletados foram classificados nos Laboratórios da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA-PA), e as espécies encontradas estão apresentadas na tabela 1.

**Tabela 1:** Relação das espécies botânicas dos resíduos coletados (EMBRAPA, 2005).

<b>Espécies Nome Científico</b>	<b>Espécies Nome Vulgar</b>
<i>Simarouba Amara</i>	Marupá
<i>Euxilophora Paraensis</i>	Pau-amarelo
<i>Hymenolobuim cf. Excelsum</i>	Angelim-pedra
<i>Cedrela Odorata</i>	Cedro
<i>Astronium sp.</i>	Muiracatiara
<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba
<i>Diploptropis sp.</i>	Sucupira
<i>Nectandra Rubra</i>	Louro-rosa
<i>Sextonia Rubra</i>	Louro-vermelho

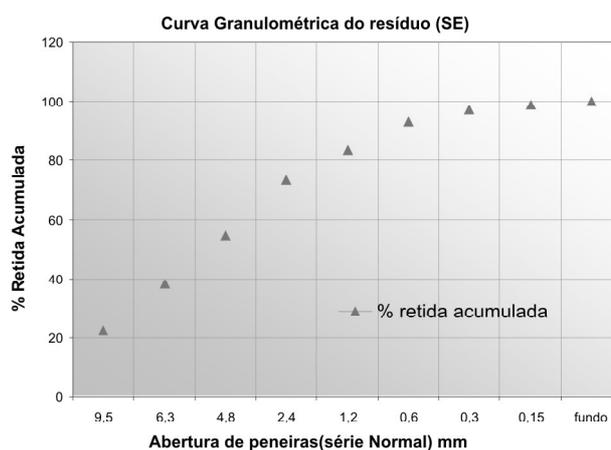
Após coleta e classificação, os resíduos foram secos em estufa por 24 horas sob temperatura controlada de 90°C, como pode ser visto na figura 1. Este tipo de tratamento tem por finalidade básica diminuir a quantidade de água, e eventualmente alguma parcela dos extrativos presentes nos lumens celulares dos resíduos, de forma tal que seu teor de umidade tenha atingido seu ponto de equilíbrio. Após secagem em estufa, procedeu-se sua caracterização granulométrica, observada pela tabela 1, e sua curva granulométrica, observada na figura 2.



**Figura 1:** Retirada do resíduo de madeira da estufa após secagem sob temperatura controlada.

Distribuição granulométrica do resíduo de madeira seco em estufa (SE)										
Amostra: 100 g										
Abertura de peneira Série Normal (mm)	9,5	6,3	4,8	2,4	1,2	0,6	0,3	0,15	Fundo de peneira	total
Massa retida	22,21	15,92	16,44	18,65	10,02	9,89	4,02	1,87	0,98	100
% Retida	22,21	15,92	16,44	18,65	10,02	9,89	4,02	1,87	0,98	100
% Passante	22,21	84,08	83,56	81,35	89,98	90,11	95,98	98,13	99,02	
% acumulada		38	55	73	83	93	97	99	100	
Massa unitária: 0,071kg/dm <sup>3</sup>						Teor de Umidade: 12,6%				

**Tabela 2:** Distribuição granulométrica do resíduo de madeira após secagem em estufa.



**Figura 2:** Curva granulométrica do resíduo de madeira seco em estufa (SE).

### 2.3 AREIA

O programa experimental da presente pesquisa utilizou uma areia oriunda do município de Ourém, distante aproximados 140 km da cidade de Belém; a mesma foi fracionada em sacos de 25kg e conduzida ao Laboratório de Engenharia Civil da UFPA. Os ensaios de caracterização da areia estão apresentados na tabela 3, bem como suas respectivas normas.

**Tabela 3:** Resultado dos Ensaio de Caracterização da areia utilizada no programa experimental.

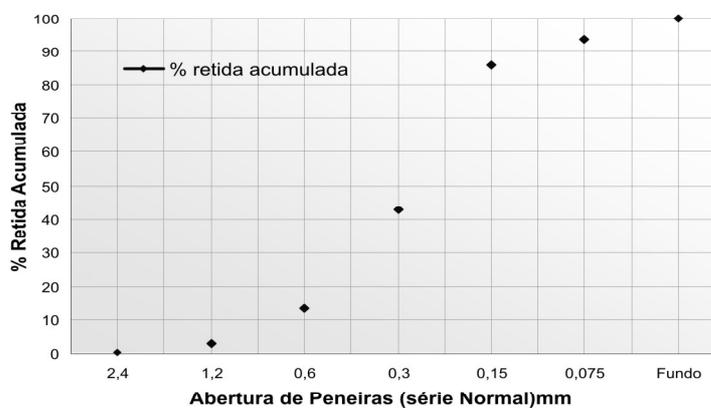
<b>Ensaio de Caracterização – Areia de Ourém-PA</b>	
Módulo de finura NBR 7217 (ABNT, 1987)	<b>2,30</b> Areia fina
Massa específica NBR 9776 (ABNT, 1987)	<b>2,65 kg/dm<sup>3</sup></b>
Massa unitária NBR 7251 (ABNT, 1982)	<b>1,52 kg/dm<sup>3</sup></b>
Umidade crítica NBR 6467 (ABNT, 1987)	<b>2,95%</b>
Teor de resíduo orgânico NBR 7220 (ABNT, 1987)	<b>Aceitável</b>

A caracterização granulométrica da areia está apresentada na tabela 4, e a curva granulométrica pode ser vista na figura 3.

**Tabela 4:** Granulometria da areia proveniente de Ourém-PA.

<b>Granulometria da areia proveniente de Ourém-PA</b>									
Abertura de peneira Série Normal (mm)	Amostra: 1000 g				Módulo de finura (NBR 7217): 2,30			Fundo de peneira	Total
	2,40	1,20	0,60	0,30	0,150	0,075			
Massa retida	3,24	27,42	103,84	291,71	434,49	75,52	63,78	1000	
% retida individual	0,32	2,74	10,38	29,17	43,45	7,55	6,38	100 %	
% passante	99,68	97,26	89,62	70,83	56,55	92,45	93,62	-	
% retida acumulada	0,00	3,00	13,00	43,00	86,00	94,00	100	-	

**Curva Granulométrica da Areia de Ourém (PA)**



**Figura 3:** Curva granulométrica da areia utilizada no programa experimental.

## 2.4 ADITIVO

O aditivo utilizado no programa experimental é uma tipologia de acelerador sem cloretos, formulado para acelerar o tempo de pega e aumentar as resistências iniciais e finais de concretos e pastas de cimento; o aditivo utilizado apresenta, conforme especificação do fabricante, densidade de 1,39 a 1,43 g/cm<sup>3</sup>.

## 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para os ensaios preliminares com o compósito cimento-madeira, foi necessário, em primeira instância, estabelecer as proporções dos materiais constituintes. Para tanto, a pesquisa com compósito cimento-madeira desenvolvida por Fonseca e Lima (2002) apresentou vasto referencial, principalmente no que se refere à necessidade de uso de aditivo acelerador e adição de madeira em massa, em substituição a igual massa de areia. A tabela 5 apresenta as proporções adotadas para os materiais constituintes do compósito.

**Tabela 5:** Resumo da composição dos traços moldados

Composição dos traços moldados				
Denominação	Traço	Teor de adição de resíduos de madeira (% massa areia)	Relação a/c	Teor de aditivo sem cloreto (% massa cimento)
TP – traço piloto	1:2,5	-	0,54	0,485
SE – traço com tratamento de secagem em estufa	1:2,5	2,5%	0,54	0,485

Para cada um dos traços considerados foram moldados 6 conjuntos com 4 corpos de prova cada, e cada conjunto foi rompido em idades específicas de 1, 3, 7, 14, 21 e 28 dias. A moldagem dos CPC's de 50mm x 100mm, para execução dos ensaios destrutivos dos compósitos no ensaio endurecido, foi realizada de acordo com a NBR-7215 (ABNT, 1996); foi utilizado o processo de cura úmida, por imersão dos corpos de prova em solução de água e cal. O rompimento dos corpos de prova foi feito aos 28 dias de idade, com capeamento de enxofre.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Para melhor analisar a depreciação no comportamento à compressão dos compósitos cimento-madeira, fez-se necessária a confecção de uma mistura de referência, fixando variáveis como quantidade de aditivo, traço e relação a/c, que também foram empregadas na mistura cimento-madeira. A tabela 6 mostra as tensões de ruptura para os corpos de prova moldados com o traço TP. A tabela 7 mostra a tensão média de ruptura para cada data de rompimento.

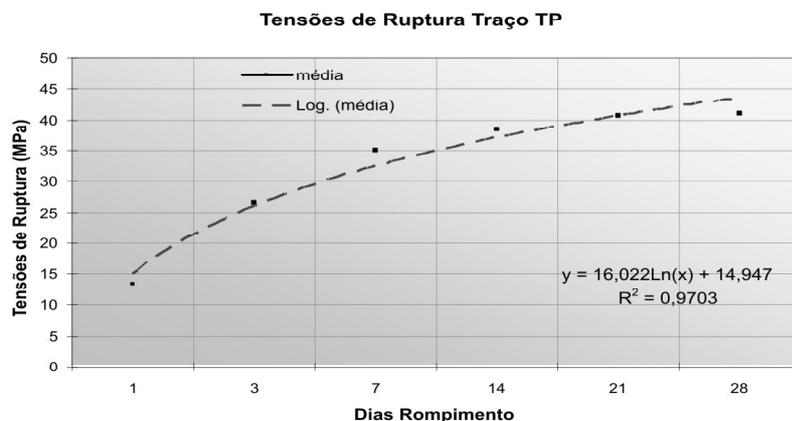
**Tabela 6:** Valores das tensões de ruptura para idades de rompimento da mistura TP.

TP 1:2, com aditivo sem cloreto, relação a/c 0,54						
CPCS	Idades de rompimento / Tensão de Ruptura (MPa)					
	24 horas.	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
1	13,31	24,9	28,41	44,49	39,07	40,28
2	15,10	25,42	37,59	39,52	40,04	39,26
3	12,34	26,88	37,01	30,1	40,68	44,45
4	13,01	28,72	37,12	39,56	43,14	39,99

**Tabela 7:** Valores das médias das tensões de ruptura para idades de rompimento da mistura TP.

Tensão Média de Ruptura para o Traço TP					
TP 1:2, com aditivo sem cloreto, relação a/c 0,54					
24 horas	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
13,44	26,48	35,03	38,42	40,73	41,00

A tabela 8 mostra os valores das tensões de ruptura para a mistura SE, e a tabela 9 mostra a tensão média de ruptura para cada uma das idades de rompimento do traço SE. A figura 4 apresenta o gráfico de tensão de ruptura para a mistura para o traço TP. Observa-se um crescente aumento de resistência durante as primeiras 24 horas de idade, onde o TP já apresenta bom nível de resistência à ruptura. A partir da idade de 21 dias as tensões de ruptura tendenciam a uma estabilização. A média de tensão de ruptura para 28 dias de idade, para o TP, foi de 41,00 MPa, com variância da amostra de 5,49%. O gráfico mostra barras verticais, correspondendo ao desvio padrão dos valores obtidos para cada idade de rompimento.



**Figura 4:** Gráfico de tensão de ruptura para a mistura TP.

O gráfico de tensão de ruptura para o traço TP apresenta uma curva logarítmica que descreve, teoricamente, o comportamento de variação da tensão de ruptura em função das idades de rompimento observado na curva do modelo experimental do fenômeno em questão. A curva logarítmica é o modelo que apresenta maior proximidade com o comportamento de aumento de resistência à compressão observado na argamassa, uma vez que após 28 dias, é possível assumir que o aumento de resistência é ínfimo, o que faz a curva descrever um comportamento relativamente estável.

A tabela 8 mostra os valores das tensões de ruptura para a mistura SE, e a tabela 9 mostra a tensão média de ruptura para cada uma das idades de rompimento do traço SE.

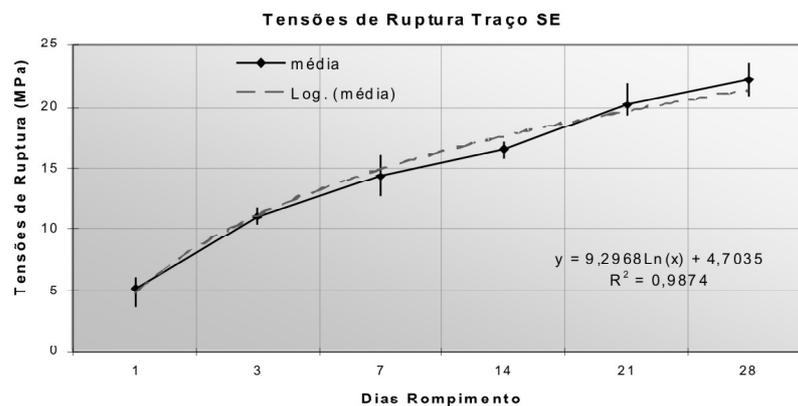
**Tabela 8:** Valores das tensões de ruptura para idades de rompimento da mistura SE.

SE, 1:2, teor de adição por substituição. 2,5%, com aditivo, relação a/c 0,54						
CPCS	Idades de rompimento / Tensão de Ruptura (MPa)					
	24 horas	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
1	6,02	10,47	14,24	15,87	19,27	23,61
2	3,7	10,55	14,47	17,09	19,54	21,62
3	6,13	11,42	16,08	17,21	19,67	22,49
4	4,79	11,82	12,64	16,03	22,01	20,81

**Tabela 9:** Valores das médias das tensões de ruptura para idades de rompimento da mistura SE.

Tensão Média de Ruptura para o Traço SE					
SE 1:2, com aditivo sem cloro, relação a/c 0,54					
24 horas	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
5,16	11,07	14,36	16,55	20,12	22,13

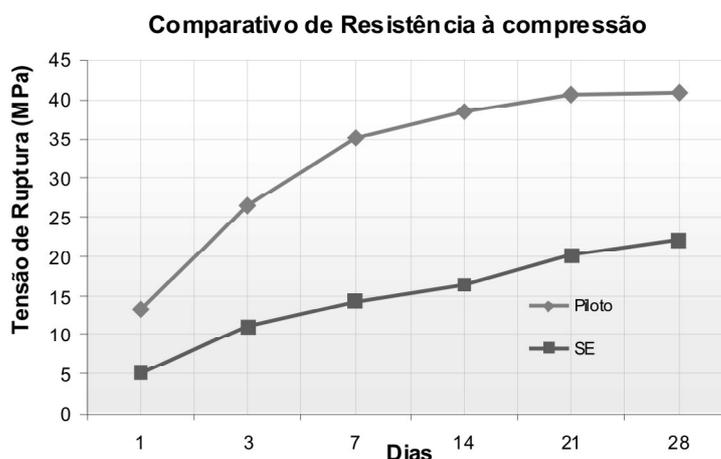
A figura 5 apresenta o gráfico gerado a partir dos valores das tensões de ruptura do traço SE. A curva observada no gráfico mostra o aumento das tensões de ruptura da argamassa compósita, e, o desvio padrão das tensões de ruptura para cada idade de rompimento. A modelagem do fenômeno, como função logarítmica, é bastante próxima do comportamento experimental, o que é ratificado pelo coeficiente de correlação, que atingiu valor próximo à unidade, exceto para as tensões de ruptura aos 14 dias.



**Figura 5:** Gráfico de tensão de ruptura para a mistura SE.

#### 4.2 COMPARATIVO DOS TRAÇOS MOLDADOS

Torna-se mais perceptível, através da figura 6, o efeito nocivo das partículas de madeira na resistência à compressão do compósito, onde se observa existência de duas faixas distintas de comportamento, onde uma faixa concerne ao TP, e a outra, referente ao traço compósito.



**Figura 6:** Gráfico comparativo de tensão de ruptura para os traços moldados.

Existem algumas possíveis razões que explicam a perda de resistência à compressão em compósitos cimento-madeira, geralmente ligadas à absorção de água pelas fibras e partículas e posterior liberação na argamassa. Conforme relatado por Savastano (SAVASTANO et al, 1994), a água, após contato com as fibras ou partículas de madeira, é liberada na matriz de cimento juntamente com extrativos, dentre eles, fenóis, taninos e açúcares, que contribuem sobremaneira para o retardo na reação de pega e endurecimento da matriz.

Esta mesma água, ao ser liberada de volta à matriz, sendo envolvida por uma película de água (efeito parede), aumentando a porosidade da zona de transição, o que favorece o acúmulo de cálcio nesta mesma zona, tornando-a mais frágil e suscetível a fissuras. A referida pesquisa segue verificando que as fibras de maiores dimensões exercem maior atração sobre a água da pasta. Por conseguinte, a relação a/c nas imediações das fibras de maior dimensão é grande, o que aponta para zonas de transição menos densas.

Associado ao exposto existe ainda o fenômeno do enfenamento, causando não só uma sensível variação dimensional nas fibras e partículas de madeira, mas também gerando vazios na matriz, o que reduz sua resistência mecânica. As pesquisas desenvolvidas por Agopyan e Savastano (1998) mostraram que os vazios entre a matriz e as fibras, em conjunto com uma zona de transição porosa e frágil, acabam direcionando a evolução das fissuras em função de sua baixa resistência.

## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 TRAÇO TP

Os resultados obtidos para o traço piloto já eram esperados, pois o comportamento verificado no aumento de tensões de ruptura para o referido traço é bastante característico de argamassas de cimento-areia. O efeito do aditivo acelerador de pega é observado pelos valores de resistência à ruptura nas primeiras idades (1 dia), o que torna esta tipologia de argamassa produzida particularmente atraente à indústria de peças e perfis pré-moldados, uma vez que bons níveis de resistência à ruptura nas primeiras idades aceleram a produção, pois que diminuem o tempo de permanência da peça, ou perfil, em moldes. Os valores observados para as tensões de ruptura aos 28 dias também não se mostraram diferentes do esperado.

### 5.2 TRAÇO SE

Os resultados verificados para o traço compósito SE corroboraram as expectativas da presente pesquisa. Observou-se que o efeito da adição de resíduos foi particularmente nocivo à resistência à compressão. Comparativamente ao traço TP, os valores obtidos para as primeiras idades foram bastante baixos, bem como para a idade de 28 dias, onde a média (22.13 MPa) atingiu valor mais baixo que a média mínima atingida pela argamassa piloto aos 28 dias (32 MPa).

Considerando efeitos negativos observados na resistência à compressão do compósito SE, além da avaliação à compressão ter sido realizada até 28 dias de idade, não proporcionando margem para maiores afirmações sobre o comportamento do compósito, é possível apontar compósito SE como um material alternativo potencialmente utilizável pela construção civil, contribuindo para minimizar os impactos ambientais pelo uso dos resíduos de madeira. Junto com este potencial de uso, vem a possibilidade de redução do consumo de agregado miúdo pela substituição pelos resíduos de madeira, mitigando assim, os impactos ambientais ocasionados por estes resíduos.

O compósito do tipo SE apresenta relativa potencialidade de uso para a produção de peças decorativas e artefatos correlatos que não estejam submetidos a esforços acentuados quando em serviço. Segundo a média das tensões de ruptura observadas aos 28 dias, o traço SE também apresenta relativo potencial para utilização em argamassas de reboco, contrapisos, enchimentos e para a fabricação de bloquetes pré-moldados para revestimento de pisos de baixo tráfego. Contudo, para ratificar tal uso, tornam-se necessários estudos mais específicos, como estudos de durabilidade e resistência à abrasão.

---

## REFERÊNCIAS

---

AGOPYAN, V.; SAVASTANO JUNIOR, H. Fibras naturais para a produção de componentes construtivos. In III Simpósio Ibero-Americano de Telhados para Habitação, 1998, **Anais do III Simpósio Ibero-Americano de Telhados para Habitação**, 1998, p. 11-59.

BERALDO, A. L. et al. Viabilidade de fabricação de compósitos rejeitos de madeiras e cimento Portland (CBC). In: Workshop Reciclagem e Reutilização de Rejeitos como Materiais de Construção Civil, 1996, **Anais do Workshop Reciclagem e Reutilização de Rejeitos como Materiais de Construção Civil**. São Paulo, 1996. p. 77-82.

SARMIENTO, C. S. R.; FREIRE, W. J. Tratamentos aplicados ao bagaço de cana-de-açúcar visando sua utilização para fins de material de construção. In: Workshop Reciclagem e Reutilização de Rejeitos como Materiais de Construção Civil, 1996, **Anais do Workshop Reciclagem e Reutilização de Rejeitos como Materiais de Construção Civil**. São Paulo, 1996. p. 131-136.

SAVASTANO JUNIOR, H., DANTAS, F. A. S.; AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras: correlação entre a zona de transição fibra matriz e propriedades mecânicas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1994.

SAVASTANO JUNIOR, H. **Materiais à Base de Cimento Reforçados com Fibra Vegetal: reciclagem de rejeitos para a construção de baixo custo**. São Paulo, 2000. Tese (Livre Docência). Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

UHL, C. et al. Seleção Predatória. **Revista Ciência Hoje. Especial Amazônia**, Rio de Janeiro, p. 108-115, 1991.