

## AVALIAÇÃO DE COMPÓSITOS BIOMASSA VEGETAL-CIMENTO MODIFICADOS POR POLÍMERO

**Lia Lorena Pimentel**

Engenharia civil, doutoranda do programa de Pós-Graduação em Construções Rurais e Ambiente da Faculdade de Engenharia Agrícola / Unicamp.  
lialp@agr.unicamp.br

**Gladis Camarini**

Professora Doutora da Faculdade de Engenharia Civil / Unicamp.  
camarini@fec.unicamp.br

### RESUMO

A utilização de cimentos especiais, adições minerais e químicas na produção de concretos e argamassas, com o objetivo de alterar suas propriedades físico-químicas, é cada vez mais freqüente, visando melhorar o desempenho desses materiais em relação à durabilidade. Este trabalho teve por objetivo analisar o comportamento físico e mecânico de compósitos biomassa vegetal-cimento modificados com polímeros. Foram utilizadas dispersões de polímeros de base acrílica e a base de estireno butadieno. Determinou-se o teor de sólidos dos látex poliméricos, e realizaram-se ensaios de determinação do tempo de início de pega para dosagens de 5%, 10% e 15% de polímero sólido em relação à massa de cimento (relação P/C). Essas determinações resultaram nas dosagens ótimas de 5% e 10% para látex à base de SBR e 5% e 15% para látex de base acrílica. Observaram-se as seguintes propriedades do compósito: absorção total e por capilaridade, as resistências mecânicas à compressão simples e à tração por compressão diametral e a velocidade de propagação de onda ultra-sônica. Os resultados obtidos permitiram concluir que a utilização de polímeros pode vir a melhorar a durabilidade dos compósitos biomassa vegetal-cimento, uma vez que reduz sensivelmente suas propriedades de transferência.

### ABSTRACT

Special Portland cement, chemical and mineral additions used for concrete and mortar production have the purpose to modify its physical and chemical properties. This is important to improve their performance and their durability. The aim of this work was to observe the physical and mechanical performance of vegetal fiber-cement composites modified by polymers. For this, it was used dispersions of acrylic polymer and styrene-butadiene polymer. It was determined the solid content for all polymers used. Setting time was determined to observe the polymer influence on this property. The results showed that the best performances were the addition of 5% and 10% of SBR latex, by weight of cement, and 5% and 15% of acrylic latex, by weight of cement. The composite properties observed were total absorption by immersion and absorption by capilarity, compressive strength, tensile strength by brazilian test, and ultrasonic wave determination. The tests results showed that the use of latex polymer could improve the performance and the durability of vegetal fiber-cement composites when compared to the conventional mortar because of the improvement of its transfer properties.

## INTRODUÇÃO

Compósitos biomassa vegetal - cimento (CBVC) podem ser utilizados para as mais diversas finalidades em vista de suas características especiais, tais como, baixa massa específica, isolamento térmico, resistência ao fogo, impermeabilidade e resistência mecânica que, embora não seja tão alta quanto à do concreto, não chega a ser desprezível.

As utilizações mais comuns do CBVC são na fabricação de: painéis anti-ruído, revestimentos, forros, vedação de equipamentos industriais, pisos e blocos não-estruturais.

Produtos à base de aglomerantes inorgânicos e madeira começaram a ser produzidos a partir da década de 30, sob forma de painéis leves de madeira e magnésita. O desenvolvimento da tecnologia para a utilização de resíduos de madeira com aglomerantes orgânicos efetuou-se mais rapidamente do que a utilização dessa matéria-prima vegetal com aglomerantes minerais (BERALDO, 1997).

Atualmente, devido ao encarecimento dos aglomerantes orgânicos e à proibição da utilização do amianto em alguns países, pesquisas sobre a viabilidade da utilização de compósitos biomassa vegetal-cimento voltaram a ser desenvolvidas. Outro fator que impulsiona a ampliação dessa linha de pesquisa é a preocupação com o meio ambiente, buscando-se, por meio da utilização de resíduos provenientes da agroindústria, minimizar o gasto de

energia para a produção de elementos construtivos e evitar danos ao meio ambiente causados pela queima desses resíduos.

Em todo o mundo esses fibrocimentos alternativos já fazem parte de programas de transferência tecnológica, especialmente no que se refere aos sistemas de cobertura de baixo custo (GRAM et al, 1994) (SAVASTANO, 2000).

O surgimento dos concretos modificados com polímeros ocorreu na Inglaterra, em 1923, quando a primeira patente foi criada por Cresson, com a adição de borracha natural ao concreto para aplicação em calçamentos. Durante a década de 20 apareceram as primeiras publicações e outras patentes usando borracha natural. Na década de 30, o alemão Rodwell utilizou pela primeira vez um látex sintético em concreto, o látex de acetato de polivinila. Nas décadas de 40 e 50 continuaram aparecendo outros polímeros na Europa e no Japão, onde, em 1978, ocorreu a primeira publicação de norma de ensaio. Hoje, a norma japonesa é a mais completa sobre concretos modificados com polímeros (CESTARI, 2001).

Existem três classes principais de concretos utilizando polímeros: o concreto impregnado por polímero, quando, após o endurecimento, o concreto de cimento Portland recebe impregnação de resina polimérica; concreto modificado por polímero, quando o polímero é empregado na forma de uma dispersão em água (látex), com a água de amassamento no

processo de mistura do concreto; e o concreto polímero – neste caso, o aglomerante é uma resina polimérica, podendo o cimento Portland ser empregado como filler ou não.

Neste trabalho se optou pelo uso da técnica do concreto modificado com látex. A utilização dessa técnica visa melhorar propriedades como ligação entre o concreto e o substrato, melhorar a resistência ao impacto, à penetração de água e sais dissolvidos e a ação de congelamento e degelo (ACI, 1997).

A indústria Faber Castell, situada em São Carlos – estado de São Paulo, gera com a produção de lápis uma quantidade de aproximadamente 2,16 mil t/mês de resíduos, constituídos basicamente por partículas de *Pinus caribaea*, madeira de reflorestamento utilizada pela indústria.

A opção pelo uso desse tipo de resíduo foi definida pela diminuição no número das possíveis variáveis que influenciam na questão da incompatibilidade química entre biomassa vegetal e o cimento, como a padronização da idade de corte e da granulometria do resíduo, regular em cada etapa de fabricação. Além disso, não ocorre mistura entre as espécies.

O desenvolvimento de compósitos biomassa vegetal-cimento passa por uma série de questões básicas a serem solucionadas: a necessidade de um estudo geoeconômico para verificar a potencialidade do resíduo como matéria-prima para fabricação de compósitos; minimizar a incompatibilidade química entre o resíduo e a matriz cimentícia;

fazer com que o elemento construtivo atenda às especificações físicas e mecânicas e de durabilidade de elementos construtivos similares existentes no mercado. Este trabalho visou, com a adição de polímeros, melhorar a durabilidade das fibras e, conseqüentemente, do compósito.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados foram os agregados formados pelas partículas de *Pinus caribaea*, e pela areia lavada, de rio. O aglomerante empregado foi o cimento Portland de alta resistência inicial; CP V-ARI, da marca CIMINAS. Os polímeros utilizados foram o látex de base acrílica e o látex à base de estireno butadieno, ambos marca FOSROC-REAX.

### Agregado vegetal e mineral

O resíduo vegetal e a areia natural tiveram suas curvas granulométricas determinadas conforme recomenda a NBR 7217 (1987). No entanto, o resíduo vegetal não foi avaliado como o agregado mineral, pois suas partículas

não apresentam grãos arredondados como os agregados convencionais.

O resíduo vegetal utilizado tinha partículas curtas e de cor avermelhada devido ao processo químico de impregnação da madeira com parafina e corante.

A Figura 1 apresenta a curva granulométrica das partículas do resíduo vegetal.

A análise granulométrica do agregado mineral é apresentada na Figura 2.

Segundo a NBR 7211 (1983), que estabelece limites granulométricos para o agregado miúdo em função das porcentagens retidas acumuladas, esse material pode ser classificado como areia média.

### Polímeros

Os polímeros empregados no trabalho experimental foram de base acrílica (CHAPIX AR) e à base de estireno-butadieno (CHAPIX SBR) da marca FOSROC-REAX. Esses produtos são facilmente encontrados no mercado e foram caracterizados pela determinação do teor de sólidos. O ensaio foi executado secando a amostra do látex até constância de massa à temperatura de 100 °C. Esse

procedimento foi adaptado do ACI548.3R (1997) a indicar três temperaturas e tempos de secagem. Os valores obtidos foram de 20% para o CHAPIX AR (base acrílica) e de 13% para o CHAPIX SBR (base estireno butadieno).

Para a determinação do consumo de polímero em relação à massa de cimento foram adotados valores iniciais de 5, 10, e 15%. Com o objetivo de avaliar as porcentagens mais adequadas, determinaram-se os tempos de início de pega das pastas com esses teores, para observar se havia interferência do teor de látex nessa propriedade. O procedimento foi baseado na NBR 11581 (1991) para a determinação do tempo de início e fim de pega. Com o teor de sólidos de cada um dos látex fez-se a correção da relação água/cimento (a/c) da mistura. A água da pasta de consistência normal para o cimento CP V ARI foi de 29,5%.

Como ocorreu um atraso no tempo de início de pega de 60 minutos para a utilização de 15% de látex à base de SBR, optou-se por trabalhar, nesse caso, com dosagens inferiores, ou seja, de 5% e 10%. Para o látex de base acrílica se trabalhou com dosagens de 5% e 15%.

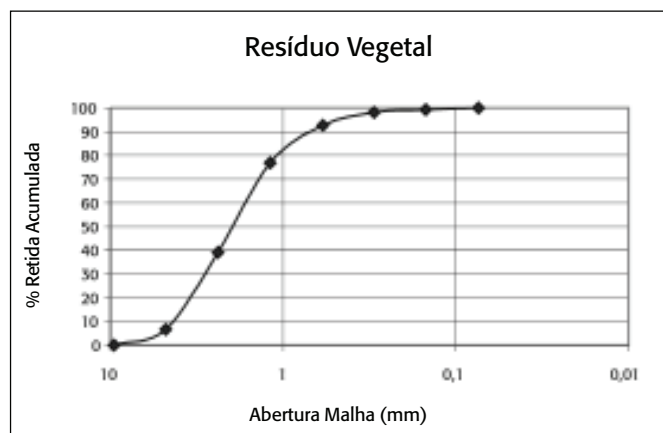


Figura 1 – Distribuição granulométrica – Resíduo vegetal  
Fonte: Autoras

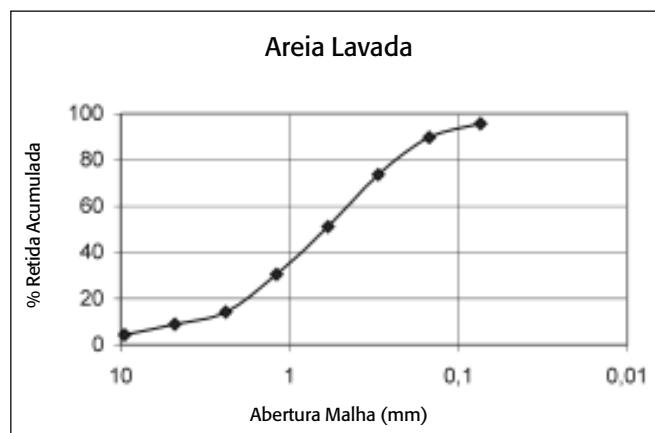


Figura 2 – Distribuição granulométrica do agregado mineral  
Fonte: Autoras

Fator	Misturas experimentais	Nomenclatura
Tratamento químico	Testemunho	T
	CHAPIX ACR - 5%	ACR5
	CHAPIX ACR - 15%	ACR15
	CHAPIX SBR - 5%	SBR5
	CHAPIX SBR - 10%	SBR10

Quadro 1 – Nomenclatura das misturas experimentais

## METODOLOGIA

### Misturas experimentais

Definiu-se pela utilização da proporção de mistura em massa 1:1:0,15 (cimento: areia: resíduo) e relação a/c = 0,63. Essa proporção foi escolhida em função de já ter sido empregada em trabalho anterior (PIMENTEL, 2000), visando ao aproveitamento do mesmo resíduo. A nomenclatura empregada para identificar as misturas está detalhada no Quadro 1.

A mistura dos materiais foi executada, manualmente, em cuba de aço inoxidável. Primeiro misturaram-se o cimento e a areia natural. Após a homogeneização desses materiais adicionaram-se as fibras de madeira, realizando-se nova homogeneização. Finalmente, após a mistura dos materiais secos, adicionou-se a água previamente misturada ao látex.

### Moldagem, cura e ruptura dos corpos-de-prova

A cura e ruptura dos corpos-de-prova tiveram como referência a norma NBR 7215 (1996). A moldagem dos corpos-de-prova foi efetuada em três camadas, compactadas com golpes de espátula de 2 cm de largura e 1 mm de espessura. Esse procedimento foi utilizado de forma a permitir a ligação

entre as camadas pelo posicionamento das fibras, o que não ocorreria com o uso do soquete normatizado. O processo de cura consistiu em, imediatamente após a moldagem, colocar as fôrmas em câmara úmida por um período de 24 horas. Após esse período, os corpos-de-prova foram desmoldados e permaneceram em câmara úmida até atingirem a idade de 7 dias. A partir dessa idade a cura prosseguiu ao ar livre até que os corpos-de-prova atingissem as idades de ensaio.

Os corpos-de-prova foram ensaiados à compressão axial, aos 7 e 28 dias de idade, em máquina universal de ensaios, marca VEB Werkstoffprüfmaschinen, do Departamento de Máquinas Agrícolas da FEAGRI – Unicamp.

A resistência à tração foi determinada por compressão diametral, segundo NBR 7222 (1994), para corpos-de-prova com idade de 28 dias.

### Absorção

Aos 21 e aos 56 dias de idade os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de absorção total, conforme a NBR 9778 (1987) e ao ensaio de absorção por capilaridade com a determinação dos índices de resistência à penetração de água e sorção, determinados conforme procedimentos estipulados no manual CYTED (1998), no que concerne ao ensaio de

argamassa. Os corpos-de-prova foram secos em estufa até constância de massa; em seguida, sua face lateral foi impermeabilizada. Após a secagem do impermeabilizante, os corpos-de-prova foram dispostos sobre suportes que permitiam o contato da água com a face inferior do mesmo. O nível de água foi mantido constante em 1 cm acima da face inferior do corpo-de-prova. O coeficiente de absorção por capilaridade (K) foi calculado como sendo:

$$k = \frac{(A - B)/S}{\sqrt{T}} \quad (\text{g/cm}^2 \cdot \text{s}^{1/2}) \quad (1)$$

Onde:

A = Massa do corpo-de-prova depois de determinado período de tempo (g);

B = Massa do corpo-de-prova seco (g);

S = Área da seção transversal do corpo-de-prova (cm<sup>2</sup>);

T = Tempo do ensaio (s).

O coeficiente de resistência à penetração da água (M) foi calculado como sendo:

$$M = \frac{T}{Z^2} \quad (\text{h/mm}^2) \quad (2)$$

Onde:

T = Tempo do ensaio (h);

Z = Profundidade de penetração da água (mm).

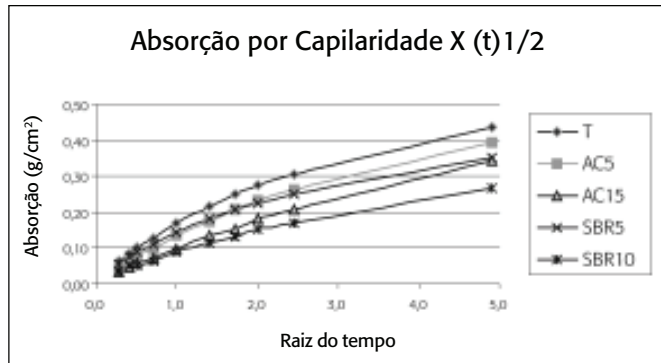


Figura 3 – Resultados de absorção por capilaridade em função da  $\sqrt{t}$  para 28 dias  
Fonte: Autoras

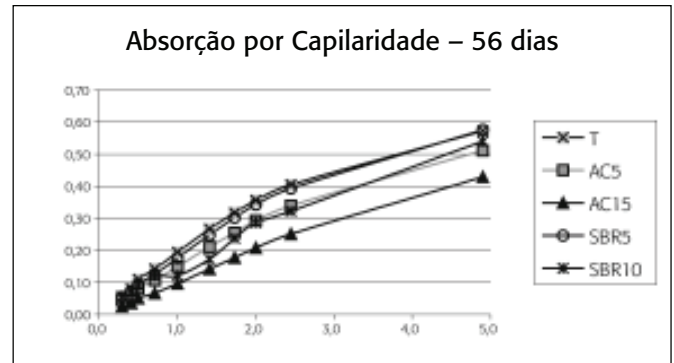


Figura 4 – Resultados de absorção por capilaridade em função da  $\sqrt{t}$  para 56 dias  
Fonte: Autoras

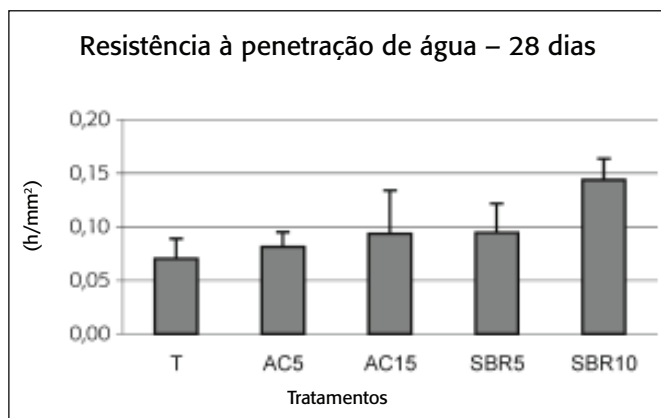


Figura 5 – Resultado de resistência à penetração de água em função do tratamento  
Fonte: Autoras

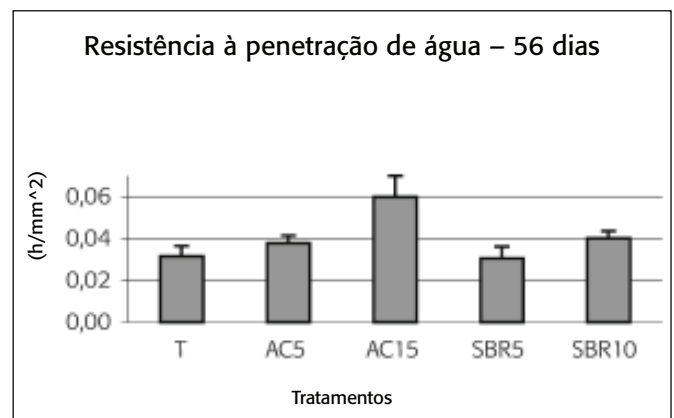


Figura 6 – Resultado de resistência à penetração de água em função do tratamento  
Fonte: Autoras

A Sorção capilar (S) (capacidade de ascensão da água por capilares de pequeno diâmetro) foi calculada como sendo:

$$S = \frac{1}{\sqrt{M}} \quad (\text{mm/h}^{1/2}) \quad (3)$$

Onde:  
M = Coeficiente de resistência à penetração de água ( $\text{h/mm}^2$ )

### Ultra-som

Na medição do tempo de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova cilíndricos, utilizou-se o equipamento Ultrasonic Tester, modelo BP-7, da STEINKAMP, com transdutores exponenciais com frequência de ressonância de 45 kHz. Mediu-se o tempo de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova, no sentido longitudinal, antes de submetê-los aos ensaios para a determinação das resistências à compressão axial e à tração por compressão diametral. Assim, procurou-se observar a existência de correlação entre

os resultados dos ensaios (tensões de ruptura) e os resultados obtidos no ensaio de ultra-som (velocidade de propagação da onda).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Absorção

Com relação ao ensaio de absorção por imersão, não se observaram diferenças significativas na capacidade de absorção entre as misturas empregadas no trabalho experimental. A média da absorção foi de 14,03%.



Figura 7 – Aspecto dos corpos-de-prova em função do tratamento; da esquerda para a direita os corpos-de-prova seguem a seguinte ordem de tratamento: SBR10, SBR5, AC15, AC5, T  
Crédito: Autoras

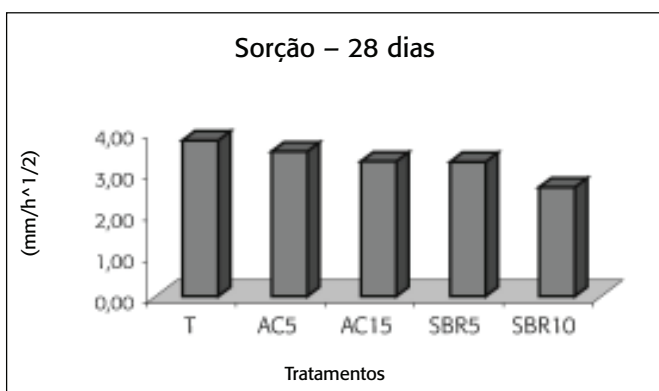


Figura 8 – Resultados de sorção  
Fonte: Autoras

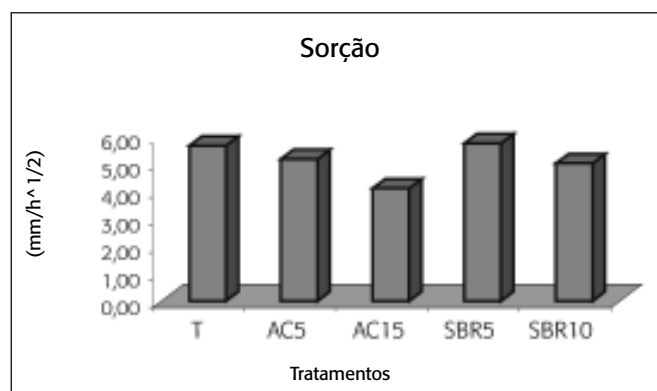


Figura 9 – Resultados de sorção – 56 dias  
Fonte: Autoras

Cumprir ressaltar que esse valor está abaixo do valor máximo normalizado para blocos e artefatos de concreto (20%).

Os resultados do ensaio de absorção capilar em função da raiz quadrada do tempo ( $\sqrt{t}$ ) para a média das repetições de cada tratamento são apresentados na Figura 3. Observou-se que o tratamento com látex à base de estireno butadieno a 10% apresentou a menor capacidade de absorção.

Após 56 dias de idade, observou-se uma perda na capacidade de impermeabilização, tanto para as argamassas tratadas com látex como

para a argamassa testemunho, como pode se observar no gráfico da Figura 4.

A resistência à penetração de água foi significativamente superior para o compósito modificado com 10% de látex à base de estireno butadieno, conforme se pode observar na Figura 5 para a média das repetições à idade de 21 dias.

Após 56 dias, a resistência à penetração da água reduziu para todas as argamassas, porém a que sofreu menor redução foi a argamassa tratada com 15% de látex acrílico (AC15), como se pode observar na Figura 6.

A Figura 7 apresenta a fotografia das seções dos corpos-de-prova após ensaio de absorção por capilaridade.

Segundo os critérios de avaliação do CYTED (1998), concreto com sorção capilar até 6 mm/ $\sqrt{h}$  pode ser utilizado em ambientes medianamente severos. Os valores obtidos para as argamassas em estudo variaram de 2,64 a 3,78 para a idade de 21 dias. A Figura 8 apresenta os resultados dos valores de sorção.

Após 56 dias, a sorção aumentou para todas as argamassas, porém a que sofreu menor alteração foi a argamassa tratada com 15% de látex acrílico (AC15), como se pode observar na Figura 9.

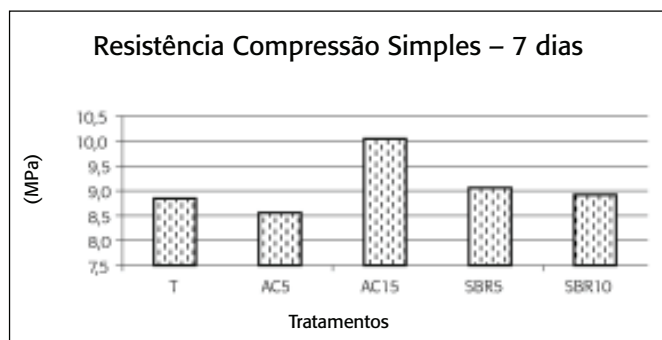


Figura 10 – Valores de resistência à compressão em função do tratamento do compósito  
Fonte: Autoras

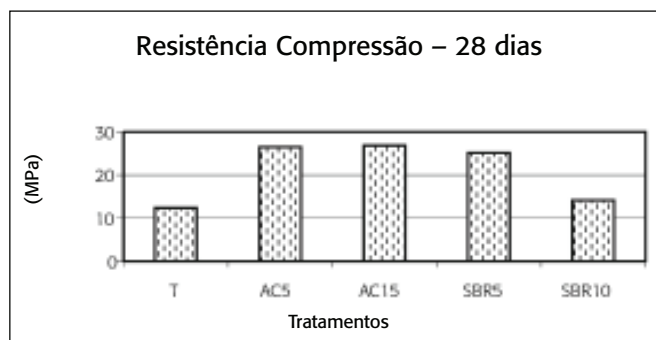


Figura 11 – Valores de resistência à compressão, em função do tratamento do compósito  
Fonte: Autoras

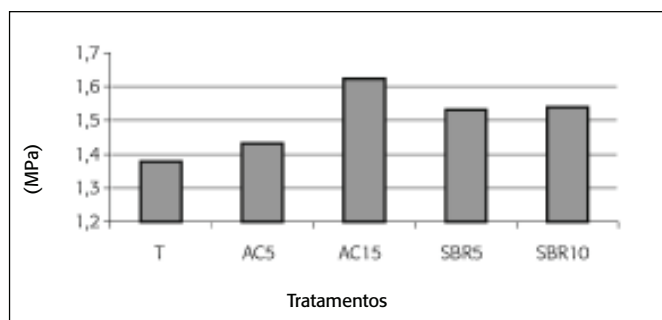


Figura 12 – Valores de resistência à tração por compressão diametral, em função do tratamento do compósito  
Fonte: Autoras

### Resistência mecânica

Aos 7 dias de idade notou-se melhora da resistência apenas para o tratamento com 15% de látex acrílico, conforme pode ser observado na Figura 10.

Os melhores resultados de resistência aos 28 dias foram obtidos para os tratamentos de base acrílica e de SBR na dosagem de 5%; a resistência média para estes tratamentos é da ordem de 26 Mpa (Figura 11).

Observou-se pequena superioridade da resistência à tração por compressão diametral para o tratamento com látex acrílico a 15%. A Figura 12 apresenta os resultados desse ensaio.

### Ultra-som

Os resultados obtidos com a velocidade de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova foram relacionados com as propriedades mecânicas obtidas com os diversos tratamentos dos compósitos biomassa vegetal polimérica.

Os valores obtidos de  $R^2$  calculados para uma regressão linear estão listados no Quadro 2 e indicaram não haver correlação entre a velocidade e a resistência à compressão e a resistência à tração por compressão diametral.

Esforço	Idade (dias)	Tratamento	$R^2$
Compressão simples	7	T	0,000006
		AC5	0,328
		AC15	0,114
		SBR5	0,637
		SBR10	0,005
Compressão simples	28	T	0,029
		AC5	0,116
		AC15	0,00001
		SBR5	0,265
		SBR10	0,081
Tração por compressão diametral	28	T	0,209
		AC5	0,049
		AC15	0,022
		SBR5	0,179
		SBR10	0,499

Quadro 2 – Resultados da regressão linear

## ANÁLISE E CONCLUSÕES

A partir das condições nas quais se desenvolveu o presente trabalho, as análises permitiram concluir que a utilização de polímeros em compósitos biomassa vegetal-cimento pode vir a melhorar a durabilidade destes compósitos, assim como vem contribuindo para a durabilidade do concreto. Esse resultado é possível devido à capacidade de reduzir sensivelmente sua permeabilidade. O ensaio de absorção por capilaridade mostrou-se mais sensível para a determinação das propriedades de transferência do que o ensaio de absorção por imersão.

A resistência à compressão foi melhor para argamassas tratadas com 5 e 15% de látex de base acrílica, e para a argamassa tratada com 5% de látex à base de estireno butadieno.

A partir desses resultados preliminares, observa-se que a adição de polímeros aos compósitos biomassa vegetal-cimento apresentou resultados interessantes. No entanto, pesquisas mais aprofundadas são necessárias para avaliar o desempenho desses compósitos, tanto macro como microscopicamente. Nesse sentido, ensaios de envelhecimento natural e

acelerado, a utilização de microscopia óptica e eletrônica de varredura deverão ser executados para avaliar mais detalhadamente a durabilidade do compósito e da fibra vegetal utilizada.

## BIBLIOGRAFIA

ACI 548.3R-95. *Manual of concrete practice*. EUA: American Concrete Institute, Part 4, p. 1-48, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. *NBR 7211 Agregados para concreto, especificação*, Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 5p.

\_\_\_\_. *NBR 7217 Agregados: Determinação da composição granulométrica, método de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987, 3p.

\_\_\_\_. *NBR 9778 Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água ou imersão – índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987, 3p.

\_\_\_\_. *NBR 11581 – Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega Método de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 1991, 5p.

\_\_\_\_. *NBR 7222 – Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, Método de Ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 1994, 3p.

\_\_\_\_. *NBR 7215 Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão,*

*método de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 1996, 8p.

BERALDO, Antonio Ludovico. Compósitos Biomassa Vegetal-Cimento. In: SIMPÓSIO SOBRE MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS PARA CONSTRUÇÕES RURAIS, Campina Grande, UFPB, Editores Romildo Dias Toledo Filho, José Wallace Barbosa do Nascimento, Khosrow Ghavami, 1997, p. 01-48.

CESTARI, Daniel. *O efeito da adição do copolímero vinil veova em argamassas de revestimento*. 2001. 154p. Dissertação (Mestrado) FEC – Universidade de Campinas, Campinas, SP, 2001.

CYTED, *Manual de inspeccion, evaluacion y diagnostico de corrosion en estructuras de hormigon armado*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo. p. 28 - 47, 1998.

GRAM, H; CUT, P. *Directives pour le controle de qualite*. St. Gallen: SKAT/BIT, Serie Pedagogique TFM/TVM, Outil 23, p. 69, 1994.

PIMENTEL, L. P. *Telhas onduladas à base de cimento Portland e resíduos de Pinus caribaea*. 2000. 67p. Dissertação (Mestrado) FEAGRI – Universidade de Campinas, Campinas, SP, 2000.

SAVASTANO, H. J., PIMENTEL, L. L. Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. *Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental*, Campina Grande PB, DEAg / UFPB, v. 4, n. 1, p. 103-110, 2000.