

VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA  
UBERLÂNDIA - JULHO DE 2002

COMPÓSITOS À BASE DE RESÍDUOS VEGETAIS E CIMENTO PORTLAND

**Antonio L. Beraldo** (beraldo@agr.unicamp.br), **Ana C. de Arruda**, **Augusto C. Stancato**, **Carlos A.P. Sampaio**, **Orlando P. Fernandes Filho**, **Vânia M. Leonel**

Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Agrícola

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi o de avaliar tecnicamente a adequação de diversas matérias-primas de origem vegetal na busca de um compósito à base de cimento Portland. Resíduos de serraria, provenientes do processamento mecânico de quatro espécies de madeira (*Pinus caribaea*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis* e *Dinizia excelsa*) e de uma espécie de bambu (*Bambusa vulgaris*), foram combinados com dois tipos de cimento Portland, a saber, CP III-40-RS e CP-V-ARI. As partículas vegetais foram submetidas a diversos tratamentos: natural, lavado em água quente, em soluções diluídas (5%) de cal e soda cáustica, com uso de aceleradores (cloreto de cálcio e sulfato de alumínio) e com a mineralização (silicato de sódio a 5% e sulfato de alumínio a 20%), além da combinação de alguns desses tratamentos. O desempenho do compósito foi avaliado através de ensaios não destrutivos (propagação de onda ultra-sônica) e de compressão simples. Os resultados indicaram a grande influência da constituição química da matéria-prima vegetal na qualidade do compósito; em algumas situações estudadas, inclusive, não ocorreu a pega do aglomerante. O uso do cimento CP-V-ARI mostrou-se, na maior parte dos casos, mais adequado do que o cimento CP-III-40-RS.

**Palavras-chave:** resíduos, compósitos, cimento Portland, ensaios

VEGETABLE WASTE PORTLAND CEMENT COMPOSITE

**ABSTRACT:** The scope of this work was to evaluate technically vegetable raw-material performance in the search of a wood-Portland cement composite. Wood process residues from four species (*Pinus caribaea*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis* e *Dinizia excelsa*) and a bamboo specie (*Bambusa vulgaris*) were mixed with two Brazilian Portland cement (type III and type V). Physical and chemical treatments were applied to wood particles as: natural, hot water extraction, lime and caustic soda solutions, additives (calcium chloride and aluminum sulfate) and coating process (sodium silicate – 5% and aluminum sulfate – 20% solutions). Composites performance were evaluated by non-destructive method (ultrasonic speed wave propagation) and by compression test. Results showed the influence of wood chemical compounds on cement setting, but in some treatments the binder setting did not occurs. Type V, a very quick setting cement, was less influenced by wood extractives than type III cement.

**Keywords:** residues, composites, Portland cement, test

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações atuais refere-se à destinação adequada que deve ser dada aos diversos resíduos gerados pelos diferentes setores produtivos da sociedade moderna. Nesse contexto insere-se a agroindústria, pois ela tornou-se um polo muito importante na geração de resíduos, os quais, na maior parte dos casos, ao serem eliminados geram grandes transtornos ambientais. Por outro lado, a exploração desenfreada dos recursos minerais, sobretudo visando suprir o mercado da construção civil com os agregados (areia e brita) contribui de forma acentuada para a degradação ambiental.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso de fibras vegetais, como reforço de matrizes frágeis, data de longo tempo. Na fabricação de tijolos de adobe, por exemplo, os egípcios já se utilizavam desse recurso, visando minimizar a presença de fissuras no material. Atualmente, em alguns laboratórios brasileiros vêm sendo desenvolvidos projetos propondo o uso de fibras de sisal e de coco, principalmente, no reforço de matrizes cimentícias (AGOPYAN, 1993).

As fibras vegetais, como reforço de matrizes frágeis, despertaram o interesse dos pesquisadores devido às suas características particulares: disponibilidade de uma matéria-prima de baixo custo, a qual, além disso, é renovável, modificação das propriedades da matriz (após a fissuração), leveza do material e isolamento termo-acústico (CARVALHO e BERALDO, 2000).

Porém, grande parte dessas possíveis vantagens do compósito pode vir a ser totalmente anulada pela ocorrência de um fenômeno- a incompatibilidade química entre a matéria-prima vegetal e o aglomerante. Esse fato levou diversos pesquisadores a buscar soluções que evitassem ou minimizassem o efeito deletério sobre a matriz, causado por determinadas substâncias químicas presentes na madeira (ou em outro vegetal), denominadas genericamente de extrativos.

Embora algumas matérias-primas vegetais se combinem melhor com o cimento, quase como uma regra geral, torna-se necessário efetuar determinados tratamentos que consigam melhorar a compatibilidade química entre esses dois constituintes principais do compósito. Tais tratamentos baseiam-se em dois procedimentos atuantes sobre as partículas vegetais:

- imobilização das substâncias químicas, através do recobrimento por uma película protetora (oleosa ou salina);
- extração dessas substâncias pela ação de soluções aquosas (efeito da temperatura, duração do tratamento e pH).

Por outro lado, pode-se analisar o fenômeno da incompatibilidade química pela vertente da matriz. Ou seja, deve-se buscar um tipo de aglomerante que seja mais adequado, ou menos sensível, à combinação com a matéria-prima vegetal. Desse modo, pode-se utilizar o cimento aluminoso (pouco disponível no Brasil) ou, então, um cimento de pega rápida (por exemplo, o CP-V-ARI), largamente utilizado na fabricação de pré-moldados. Outros autores recomendam matrizes nas quais o pH seja diminuído, de forma que se consiga aumentar a durabilidade do compósito (JOHN e AGOPYAN, 1993).

De uma forma resumida, em uma abordagem preliminar sobre a viabilidade de utilização de determinada matéria-prima vegetal, deve-se analisar o seu comportamento, quando utilizada

em sua forma natural, e, a seguir, proceder aos tratamentos adequados, ou buscar uma combinação entre eles, que consiga melhorar o desempenho do compósito.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

**3.1 Matérias-primas-** foram obtidas em diferentes fontes:

- *Eucalyptus grandis*- fornecido pela International Paper- Mogi Guaçu – SP. Tratava-se de material proveniente do abate de uma árvore de 3 anos, da qual se utilizou apenas a região basal;
- *Eucalyptus tereticornis*- coletado em serraria de Taubaté – SP, com idade superior a 20 anos;
- *Bambusa vulgaris* – cortado no Campus da Unicamp, Campinas – SP, com idade superior a 5 anos;
- *Pinus caribaea* – fornecido pela indústria Faber Castell, situada em São Carlos – SP. O material era proveniente de serraria situada em Prata – MG, sendo o resíduo proveniente de árvores com mais de 30 anos;
- *Dinizia excelsa* – coletado em serraria de Brotas – SP, com idade superior a 50 anos.

**3.2 Preparação das partículas vegetais-** efetuou-se o processamento em máquina agrícola, seguido de um peneiramento, após o qual foram selecionadas partículas passantes na peneira 2,40 mm.

**3.3 Tratamentos químicos-** avaliou-se o efeito de diferentes tratamentos: natural (testemunha), com uso de aceleradores (cloreto de cálcio e sulfato de alumínio – 3% em relação à massa de cimento), lavado (água quente – 2h a 80 °C, em soluções diluídas a 5% de cal e de soda cáustica) e mineralizado (silicato de sódio a 5% e sulfato de alumínio a 20%).

**3.4 Traço das misturas-** para avaliar o efeito das cinco matérias-primas vegetais sobre as duas matrizes (CP-III-40-RS e CP-V-ARI) procurou-se fixar o consumo de cimento em 680 kg/m<sup>3</sup>. Embora esse consumo seja muito elevado, tornando-se próximo daquele normalmente empregado na argamassa armada, optou-se por esse procedimento pois determinadas matérias-primas altamente inibitórias não permitiriam verificar a influência de determinados tratamentos efetuados sobre o comportamento mecânico do compósito.

A mistura era efetuada manualmente obedecendo à seguinte seqüência: colocação do cimento e da madeira (ou do bambu) e, após a homogeneização, adicionava-se a água. O traço (em massa) adotado foi 1 : 0,375 : 0,75 (cimento : madeira : água).

**3.5 Moldagem e desmoldagem dos corpos-de-prova-** três corpos-de-prova cilíndricos (100 mm de altura e 50 mm de diâmetro) por tratamento foram confeccionados. A mistura foi compactada com espátula em fôrmas metálicas previamente untadas com óleo desmoldante. Após 24 h procedeu-se à desmoldagem.

**3.6 Cura e secagem dos corpos-de-prova-** os corpos-de-prova foram medidos, pesados e colocados em sacos plásticos durante 7 dias (cura úmida). Após esse período, os mesmos foram postos a secar ao ar livre.

**3.7 Curva de secagem-** efetuou-se diariamente a pesagem dos corpos-de-prova para avaliar a umidade dos mesmos ao longo do período de armazenamento. Considerou-se, conforme foi verificado experimentalmente, que durante a primeira semana de cura (em saco plástico) não ocorreria diminuição na massa dos corpos-de-prova.

**3.8 Ensaio não destrutivo-** diariamente mediu-se o tempo de propagação de ondas ultrassônicas através do comprimento do corpo-de-prova. Para tal, lançava-se mão do equipamento Ultrasonic Tester BP – 7 (Steinkamp), com sensores de seção exponencial e frequência de ressonância de 45 kHz.

**3.9 Ensaio de compressão simples-** ao final do período de secagem os corpos-de-prova foram ensaiados à compressão simples. Aplicou-se a norma NBR 7215, no que se refere aos procedimentos de capeamento e cálculo da tensão de ruptura. O ensaio, com duração de 3 minutos, foi conduzido em uma máquina de ensaios Solotest, com capacidade de 5 t. Observou-se, conforme relatado pela literatura, ruptura dúctil do compósito.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na apresentação dos resultados serão adotadas siglas correspondentes às cinco matérias-primas vegetais utilizadas: **AP** (*D. excelsa*), **BV** (*B. vulgaris*), **ET** (*E. tereticornis*), **EG** (*E. grandis*) e **PC** (*P. caribaea*) e aos dois tipos de cimento (tipos **III** e **V**). Na figura 1 apresenta-se o aspecto do compósito Pinus-cimento. Embora a madeira seja 1/3 da mistura (em massa), nota-se que ela predomina em superfície (e em volume), transmitindo ao compósito propriedades de isolamento termo-acústico. Na figura 2 apresenta-se o resultado da análise de variância (1% de significância) da resistência à compressão simples. Nota-se que o tipo de cimento foi significativo (exceção feita ao AP e ao BV) e, sobretudo, o tipo de tratamento adotado.



Figura 1- Compósito Pinus-cimento

Fonte	AP	BV	ET	EG	PC
Cimento	ns	ns	s	s	s
Tratamento	s	s	s	s	s
Cim*Trat	s	s	ns	s	s

Figura 2- Análise de variância

##### 4.1 Efeito da espécie vegetal

Os resultados globais obtidos não permitiram delinear o tratamento mais indicado para cada espécie (figura 3). Desse modo, optou-se por apresentá-los de acordo com os tratamentos efetuados.

Duas espécies vegetais mostraram-se altamente inibitórias às duas matrizes empregadas. Os compósitos à base de bambu (**BV** – *B. vulgaris*) e de Angelim pedra (**AP** – *D. excelsa*) não apresentaram sequer a formação de uma estrutura mínima, pois impediram totalmente a passagem da onda ultra-sônica. Tal fato foi confirmado pela completa desagregação dos corpos-de-prova durante o capeamento. As duas espécies de eucalipto forneceram os melhores resultados, sobretudo o **EG**, quando combinado com o cimento CP-V-ARI. O *P. caribaea* (**PC**) mostrou-se moderadamente inibitório ao cimento CP-III-40-RS (figura 4).

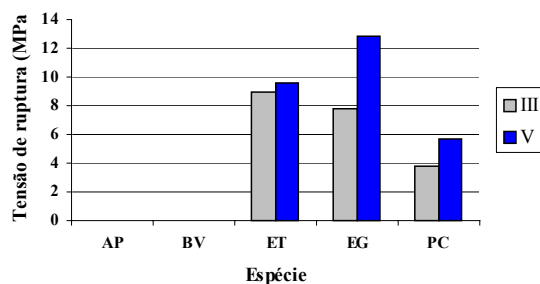
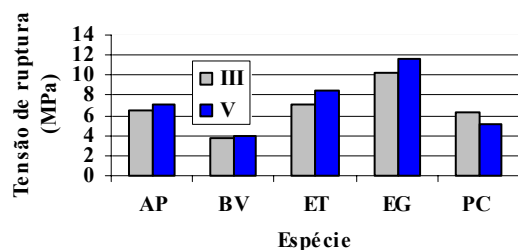


Figura 3- Médias globais para os dois tipos de cimento Figura 4- Efeito da espécie vegetal

#### 4.2 Efeito do uso de aceleradores

- **Cloreto de cálcio-** a madeira **AP** ainda se mostrou totalmente inibitória aos dois tipos de cimentos utilizados. O bambu (**BV**), embora tenha indicado sensibilidade à ação do cloreto de cálcio combinado com o cimento **V**, ainda forneceu resultados insatisfatórios. As demais madeiras apresentaram ganhos significativos em resistência (figura 5).

-**Sulfato de alumínio-** a madeira **AP** ainda apresentou resultados insatisfatórios, embora, pela primeira vez, tenha indicado pequena sensibilidade à ação do sulfato de alumínio combinado com o cimento tipo III (figura 6). O bambu (**BV**) mostrou-se sensível à ação desse acelerador, enquanto que o *P. caribaea* (**PC**) mostrou-se indiferente à ação dos dois tipos de aceleradores.

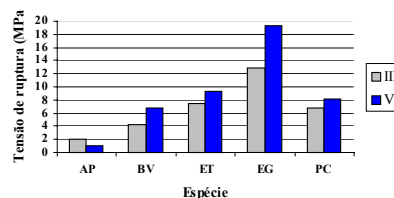
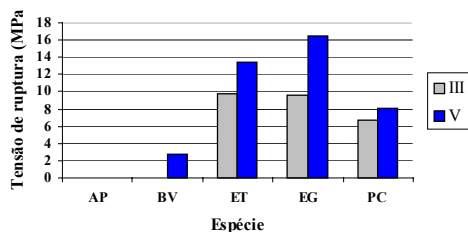


Figura 5- Adição de 3% de cloreto de cálcio Figura 6- Idem (sulfato de alumínio)

-**Mineralização-** esse tipo de tratamento apresentou resultados controversos. Se, por um lado, o bambu (**BV**) e, sobretudo, o Angelim pedra (**AP**) mostraram ganhos significativos de resistência à compressão simples, as madeiras de reflorestamento, por sua vez, foram afetadas negativamente (figura 7). Mesmo a melhor combinação- *E. grandis* com o cimento tipo V, mostrou redução da resistência em cerca de 50%, quando confrontada com os tratamentos à base de aceleradores.

#### 4.3 Efeito da lavagem

- **Água quente-** a lavagem das partículas vegetais possibilita a extração de componentes nocivos à pega do cimento. Trata-se de um tratamento proposto para fornecer compatibilidade química às espécies mais problemáticas, tais como, no presente trabalho, o bambu e o Angelim pedra (figura 8). Por outro lado, para espécies moderadamente inibitórias ou que sejam compatíveis com o cimento, o método pode vir a não ser adequado, pois percebe-se um efeito negativo na resistência à compressão, provavelmente devido à migração

de substâncias para a superfície das partículas vegetais. Esse tratamento, no entanto, não foi capaz de proporcionar condições para que ocorresse a pega do cimento tipo III, quando foi utilizado o bambu como matéria-prima.

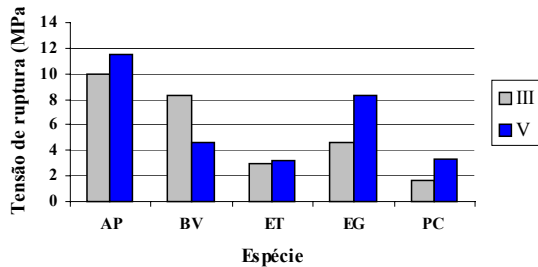


Figura 7- Efeito da mineralização

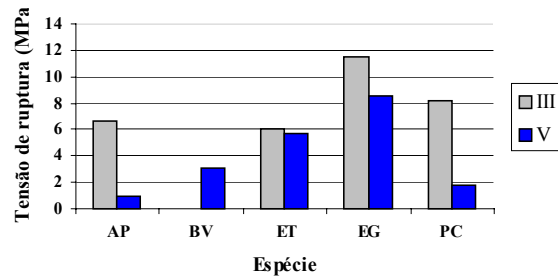


Figura 8- Efeito da lavagem

- **Água quente e adição de cloreto de cálcio**- a madeira *D. excelsa* (AP) mostrou-se sensível à combinação dos dois tipos de tratamentos fornecendo, inclusive, o valor mais elevado de resistência à compressão simples, quando foi combinada com o cimento tipo V (figura 9).

- **Água quente e adição de sulfato de alumínio**- tanto o bambu como o *D. excelsa* (AP), esta última sobretudo quando foi combinada com o cimento tipo V, mostraram a adequação no uso de tal tratamento. Ressaltou-se, igualmente, o desempenho do *E. grandis* (EG), quando foi combinado com o cimento tipo III (figura 10).

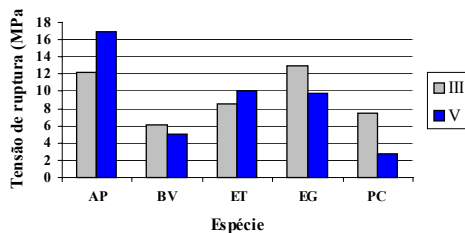


Figura 9- Lavagem e 3% de cloreto de cálcio

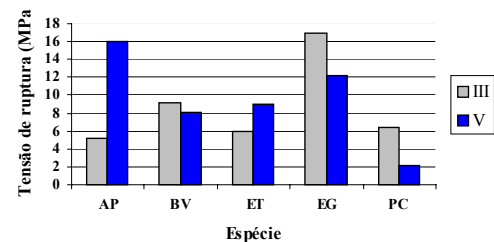


Figura 10- Idem (sulfato de alumínio)

-**Solução de cal**- as madeiras de reflorestamento mostraram um comportamento mais homogêneo, tendo apresentado tensão de ruptura média em torno de 8,0 MPa (figura 11). Para o bambu, no entanto, os resultados foram decepcionantes; a *D. excelsa* (AP), por sua vez, apresentou tensão média de 15,0 MPa.

-**Solução de soda cáustica**- apenas as madeiras *E. grandis* (EG) e *P. caribaea* (PC) mostraram-se moderadamente sensíveis a esse tipo de tratamento (figura 12). Para as demais, o tratamento foi nitidamente menos eficiente do que os outros tipos de lavagem (exceção feita ao bambu, apresentado na figura 8).

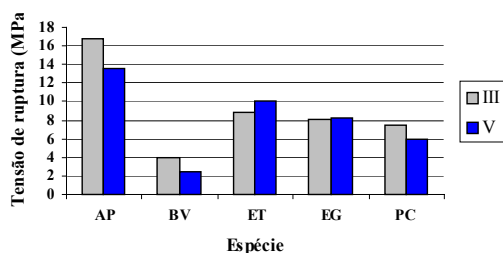


Figura 11- Efeito da lavagem em solução de cal (5%)

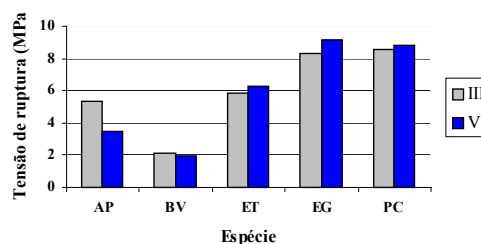


Figura 12- Idem (soda cáustica)

#### 4.4 Avaliação do comportamento do compósito através de ensaio não destrutivo

Devido à grande quantidade de figuras que seriam necessárias para ilustrar o comportamento das diferentes combinações entre as matérias-primas vegetais e os dois tipos de cimento, optou-se por apresentar apenas dados relativos à madeira *P. caribaea*. Observou-se, no entanto, que as demais madeiras mostraram um comportamento similar.

##### - evolução da velocidade em função da idade do corpo-de-prova

Na figura 13 apresenta-se a variação da velocidade de propagação da onda ultra-sônica através de corpos-de-prova de *P. caribaea* e cimento tipo III, para os tratamentos Natural (N) e com soda cáustica (S). Observou-se que, em ambos os tratamentos, a evolução da velocidade apresentou um aspecto similar. A taxa de aumento da velocidade (aceleração) foi muito elevada nos primeiros dias, tendendo a estabilizar após um curto período de tempo (de 5 a 7 dias), após o qual, o instrumento de medida do tempo de propagação não mais conseguia mostrar diferenças significativas entre os valores obtidos.

##### - correlação entre a velocidade de propagação da onda ultra-sônica e a resistência à compressão simples

Na figura 14 apresenta-se a estimativa da tensão de ruptura em função da velocidade de propagação da onda ultra-sônica. Foram combinados dados dos tratamentos Natural, Natural e cloreto de cálcio e Natural e sulfato de alumínio, com os dois tipos de cimento. Buscou-se, dessa forma, aumentar a amplitude dos valores da velocidade (e da tensão de ruptura). Os resultados indicaram a possibilidade de se ajustar um modelo de curva de potência, ou até mesmo linear.

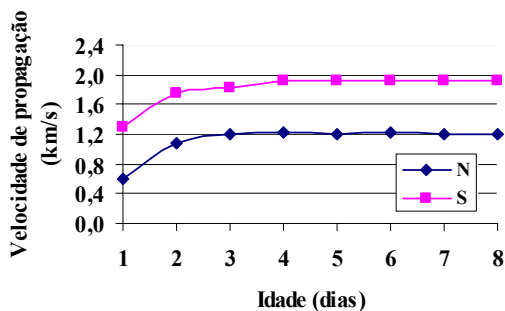


Figura 13- Evolução da velocidade da onda

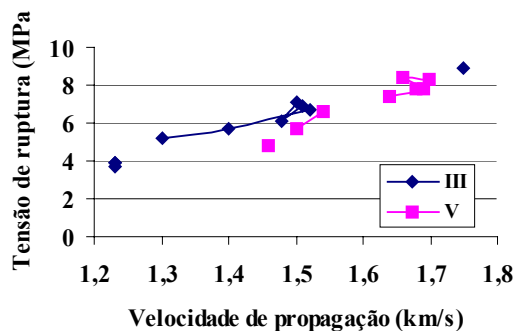


Figura 14- Estimativa da tensão de ruptura

## 5. CONCLUSÕES

Baseado nas condições nas quais se desenvolveu o presente trabalho e nas características dos materiais utilizados pôde-se concluir que:

- as madeiras de reflorestamento têm comportamento mais uniforme quando empregadas na fabricação de compósitos à base de cimento Portland;
- na maior parte dos casos estudados, o cimento tipo V (alta resistência inicial) mostrou-se mais tolerante à ação dos extrativos contidos nas madeiras e, desse modo, mostrou-se mais indicado para utilização em processos industriais;
- várias composições permitiram obter compósitos com grande potencial de utilização em construções, sobretudo em estruturas secundárias;
- a utilização do método não destrutivo de propagação de ondas ultra-sônicas permitiu acompanhar a etapa de endurecimento dos compósitos, além de se mostrar adequado para estimar sua resistência à compressão simples.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOPYAN V. (1993). O emprego de materiais fibrosos na construção civil. Anais do Simpósio Internacional Sobre Materiais Reforçados Com Fibras Para a Construção Civil, São Paulo, 1993, São Paulo, EPUSP, p.11-25.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR 7215 – Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão, método de ensaio. Rio de Janeiro.
- CARVALHO J.V.; BERVALDO A. L. (2000). Efeito de variáveis nas características de compósito eucalipto-cimento. Anais do XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2000, SBEA, UFCE. CD-ROM.
- JOHN V. M.; AGOPYAN V. (1993). Materiais reforçados com fibras vegetais. Anais do Simpósio Internacional Sobre Materiais Reforçados Com Fibras Para a Construção Civil, São Paulo, 1993, São Paulo, EPUSP, p.29-38.