

COLETÂNEA HABITARE

Holmer Savastano Jr. é engenheiro civil pela Universidade de São Paulo – USP (1984). Obteve o título de mestre e doutor em Engenharia Civil também pela USP em 1987 e em 1992, respectivamente. Ainda na USP, em 2000, obteve a livre-docência na Escola Politécnica. No período de 1998 a 1999, esteve em Melbourne, Austrália, no Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) para seu pós-doutorado. Como pesquisador visitante esteve em 2002/2003 na Princeton University, EUA, e, em 1996, na Universidad Central de Venezuela. Atualmente é professor associado e vice-diretor da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP. É orientador na Pós-Graduação da UNICAMP. Atua nas áreas de Materiais e Componentes de Construção, Construções Rurais e Ambiente. É pesquisador-bolsista nível 2C do CNPq.
E-mail: holmersj@usp.br

4.

Sistemas de cobertura para construções de baixo custo: uso de fibras vegetais e de outros resíduos agroindustriais

Holmer Savastano Jr.

Resumo

Compósitos à base de cimento não convencional têm sido alvo de estudos, há mais de 20 anos, de grupo de pesquisadores da Universidade de São Paulo, do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP e, mais recentemente, da Área de Construções Rurais e Ambiente, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP. Propriedades físicas, mecânicas e microestruturais de fibrocimentos com reforço de fibras vegetais, tanto no curto como no longo prazo, são indicativos de sua adequação para uso em construções de interesse social. A escória de alto-forno é um subproduto siderúrgico largamente disponível e, uma vez moída e ativada com materiais alcalinos (cimento Portland, cal e gesso) e/ou termicamente, desenvolve hidratação semelhante ao clínquer. Países tropicais são produtores em potencial de fibras a partir de plantas fibrosas, como sisal, coco e banana. Uma única cooperativa baiana produz 30.000 t/ano de bucha de campo de sisal, que permanece no campo por falta de valor comercial. Uma indústria de polpa celulósica de eucalipto, no Espírito Santo, gera 17.000 t/ano de fibra residual pronta para uso como reforço de matriz inorgânica.

95

Telhas onduladas de 260 x 500 mm podem ser produzidas em indústrias de pequeno porte, com uso intensivo de mão-de-obra e sem necessidade de qualificação prévia, inclusive por meio de autoconstrução. Métodos produtivos para dispersão da fibra em solução aquosa e sua mistura com cimento, seguida de drenagem a vácuo e prensagem, dão origem a placas delgadas de desempenho elevado à flexão. Matriz de escória de alto-forno reforçada com polpa mecânica de sisal residual, obtida por meio desse processo otimizado, manteve mais de 70% de sua resistência mecânica, e até aumentou sua ductilidade, após dois anos de exposição em ambiente de laboratório. Sob a ação das intempéries de clima tropical, a perda de resistência, em dois anos, foi superior a 70% em comparação às idades iniciais, provavelmente por causa da carbonatação e/ou da lixiviação da matriz; já a energia absorvida teve perda de apenas 30% no mesmo período, o que indica a preservação das fibras no meio menos agressivo proporcionado pela matriz sem clínquer.

Os resultados deste trabalho possibilitaram estudos subseqüentes, com enfoque científico, para aprimoramento do desempenho do compósito no curto e no longo prazos. Outros estudos avaliam o conforto térmico de sistemas de cobertura para habitações e instalações para animais. A transferência tecnológica será possível por meio de parcerias com a iniciativa privada, tendo em vista o aprimoramento do processo produtivo para aplicação em conjunto com as matérias-primas alternativas ao cimento-amianto.

1 Introdução

Construção sustentável é um conceito ligado à preocupação crescente em todo o mundo, em vista da escassez de recursos naturais e de energia, geração de resíduos sólidos e emissão de gases. Existe substancial conhecimento de materiais e técnicas que envolvem construção de terra, plantas vegetais e cimento alternativo, e que poderia ser aplicado em construções não convencionais. Entretanto, as especificações de norma são demasiadamente centradas em materiais modernos e, em diversos casos, difíceis de serem observadas em situações específicas de obras rurais ou de habitações para atendimento de necessidades sociais urgentes (PLESSIS, 2001).

Fibras naturais, como reforço de matrizes frágeis à base de materiais cimentícios, têm despertado grande interesse nos países em desenvolvimento, por causa de seu baixo custo, disponibilidade, economia de energia e também no que se refere às

questões ambientais. Segundo Swamy (1990), o emprego dos compósitos em placas, telhas de cobertura e componentes pré-fabricados pode representar significativa contribuição para o rápido crescimento da infra-estrutura desses países.

Também nos países desenvolvidos, o uso de fibrocimentos que utilizam polpa celulósica como reforço tem sido consagrado, graças a constantes aperfeiçoamentos das matérias-primas, processos produtivos com consumo racionalizado de energia e custos de investimento cada vez menores (COUTTS, 1992).

Estima-se que a produção mundial de compósitos cimentícios com reforço de fibras celulósicas, combinadas ou não a fibras plásticas, esteja ao redor de 430 milhões de m² ao ano (HEINRICKS et al., 2000), produção essa localizada, em grande parte, nos EUA e na Europa (Tabela 1).

Área	Fibrocimento			
	Com amianto	Sem amianto	Total	Fração sem amianto (%)
	(milhões de m ² ao ano)			
Ásia e Austrália	610	80	690	12
Europa	100	190	290	66
América Central e do Sul	140	50	190	26
América do Norte	0	100	100	100
África	20	10	30	33
Total	870	430	1300	33

Tabela 1 – Produção mundial de placas de fibrocimento (HEINRICKS et al., 2000)

Atualmente, em diversos países, inclusive no Brasil, há uma crescente tendência de se rever a utilização de amianto crisotila, especialmente no reforço de matrizes de cimento, segmento responsável por mais de 70% do consumo mundial dessa fibra mineral. Como suporte para essa conduta, alegam-se graves problemas de saúde, com incidência preocupante, sobretudo, nos trabalhadores da indústria da construção (GIANNASI; THÉBAUD-MONY, 1997).

Reconhecidamente, o avanço da legislação contrária ao uso do amianto tem sido o principal indutor de novas tecnologias substitutas, as quais, via de regra, têm conseguido manter, com base em soluções tecnológicas inovadoras, a presença dos fibrocimentos no mercado da construção de diversos países. Como existe, no Brasil, uso considerável de fibrocimentos nas coberturas das habitações destinadas à população de baixa renda, em razão do menor custo que outras soluções construtivas (LEE, 2000), torna-se necessário o aprimoramento de uma alternativa durável e tecnicamente compatível com esse mercado consumidor.

O presente trabalho apresenta uma síntese de estudos relacionados com a identificação e a adequação de resíduos, para uso como materiais de construção de baixo custo, conforme registrado em Savastano Jr. et al. (2001), Agopyan et al. (2000), Savastano Jr. et al. (2000c) e Savastano Jr. e Agopyan (1997). No que se refere aos materiais fibrosos, tais estudos abordaram produtos reforçados, esbeltos e moldáveis em painéis para usos múltiplos, como é o caso dos componentes de cobertura (SAVASTANO JR.; AGOPYAN, 1998).

1.1 Justificativas

Apresentam-se diversos impactos previstos pelo presente trabalho no âmbito científico, tecnológico, social e ambiental. É fácil comprovar a necessidade de estudos que contribuam para o aprimoramento dos fibrocimentos no país, tendo por base as matérias-primas disponíveis, as linhas industriais existentes e as nossas peculiaridades climáticas.

1.1.1 Impacto científico

O uso de fibras naturais com matrizes à base de cimento para componentes de cobertura já foi objeto de diversos estudos (GUIMARÃES, 1990; AGOPYAN, 1988).

O presente trabalho propõe ensaios mecânicos e físicos, bem como procedimentos de envelhecimento acelerado, para avaliação adequada do desempenho dos compósitos fibrosos reforçados com fibras de baixo módulo de elasticidade, ao longo de sua vida útil. Estudos da microestrutura do material servem para entendimento e adequação do seu comportamento macroscópico, e contribuem para a otimização dos fibrocimentos à luz da ciência dos materiais.

1.1.2 Impacto tecnológico

A tecnologia de produção é um aspecto fundamental para a viabilidade dos fibrocimentos, em especial no que se refere a matérias-primas, processos e produtos desejados. Já se encontra depositada no Instituto Nacional da Propriedade Industrial a patente “Processo de obtenção de telha de fibrocimento com reforço à base de polpa celulósica, por meio de sucção de água e prensagem, e produtos assim obtidos” (INPI n. 0201204-9).

1.1.3 Impacto social

Telhados de fibrocimento constituem a solução de cobertura mais barata para habitações de interesse social, instalações rurais, galpões industriais e obras de infraestrutura, em comparação a diversos sistemas disponíveis no país com outros tipos de telha (ex.: cerâmicas, aço galvanizado, alumínio e de fibra vegetal em matriz betuminosa - Onduline®).

As indústrias brasileiras de produtos de fibrocimento geram cerca de 10 mil empregos diretos e 200 mil empregos indiretos, com base em dados da Associação Brasileira das Indústrias e Distribuidores de Produtos de Fibrocimento (ABIFibro).

As fibras vegetais não representam qualquer risco à saúde humana, ao longo das diversas etapas do ciclo de vida do material, desde a obtenção da fibra, produção do fibrocimento, instalação, uso, até a demolição da construção, se for o caso.

1.1.4 Impacto ambiental

As fibras celulósicas advêm de fonte renovável e são obtidas a partir de madeira de reflorestamento ou de plantas fibrosas abundantes em regiões de clima tropical.

O emprego de cimentos compostos (com adições de material carbonático, escória de alto-forno e cinza pozolânica) permite a redução no uso de clínquer, com a conseqüente diminuição da energia gasta nos fornos rotativos das fábricas de cimento e na geração de CO₂, o que vem reforçar a importância da reciclagem de resíduos (JOHN; ZORDAN, 2001; CINCOTTO et al., 1990).

A substituição do amianto na fabricação de compósitos por fibras que não apresentam risco à saúde ocupacional é também um benefício importante.

2 Aglomerantes alternativos

Para viabilizar o emprego de fibras vegetais como reforço, são de interesse aglomerantes alternativos, à base de escória granulada de alto-forno, por exemplo, que podem apresentar alcalinidade menor que a do cimento Portland comum (OLIVEIRA, 2000).

2.1 Escória de alto-forno

A escória de alto-forno é subproduto da fabricação do aço, de composição química similar à do cimento convencional. Submetida a resfriamento brusco, ela se torna granulada e apresenta propriedades aglomerantes. O parque siderúrgico nacional produz cerca de 27 milhões de toneladas de ferro-gusa ao ano, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Siderurgia (<http://www.ibs.org.br>, junho de 2002). Cada tonelada de ferro-gusa deixa como resíduo aproximadamente 330 kg de escória. Apenas parte dessa escória é consumida pelas indústrias de cimento, que a empregam como adição, sendo o acúmulo desse resíduo, estimado em cerca de 3 milhões de toneladas ao ano, um problema sério. As siderúrgicas vendem a escória básica granulada por menos de US\$ 10,00 a tonelada (JOHN, 1995).

Agopyan et al. (1990) analisaram escórias de três siderúrgicas nacionais (Cosipa, Usiminas e CSN), todas elas adequadas ao emprego como aglomerante. A hidratação da escória ocorre mais rapidamente em meio aquoso alcalino e/ou sob temperatura elevada. Os agentes que aceleram essa hidratação são o cimento Portland, a cal, a soda cáustica, a gipsita ou uma mistura destes. O melhor resultado do referido estudo foi obtido preparando-se um aglomerante com 88% de escória, 2% de cal hidratada e 10% de gipsita moída. A velocidade de endurecimento não teve relação linear com o teor dos ativadores adicionados. Argamassa na proporção 1:1,5 (aglomerante:areia) em massa, com índice de consistência (*flow table*) de 250 mm no estado recém-misturado, apresentou resistência à compressão axial de 14,4 MPa aos 28 dias de idade.

O presente trabalho empregou cimento de escória básica granulada de alto-forno (composição química na Tabela 2 e fase vítrea igual a 99,5% em massa, determinada por microscopia óptica), procedente da Companhia Siderúrgica Tubarão (CST), Espírito Santo, e moída até finura Blaine média de 500 m²/kg, utilizando-se um moinho laboratorial de cargas esféricas.

Perda ao fogo	1,67	Na ₂ O	0,16
SiO ₂	33,78	K ₂ O	0,32
Al ₂ O ₃	13,11	S ²⁻	1,14
Fe ₂ O ₃	0,51	CaO livre	0,10
CaO	42,47	Resíduo insolúvel	0,53
MgO	7,46	CO ₂	1,18
SO ₃	0,15		

Tabela 2 – Composição química da escória granulada de alto-forno (% em massa) (OLIVEIRA, 2000)

Savastano Jr. et al. (2000b) moeram e testaram pó de granito (mais de 90% em massa passante na peneira de abertura 63 mm) proveniente do processo de britagem para produção de agregados. O *filler* resultante foi usado em conjunto com aglomerante à base de cimento Portland comum e de escória de alto-forno em duas formulações diferentes: 0,75:0,25 e 0,50:0,50 (aglomerante:*filler*). As matrizes obtidas apresentaram comportamento físico e mecânico aceitável para uso em fibrocimento alternativo com reforço de 4% em massa de fibra celulósica. Os melhores resultados dos compósitos foram associados à matriz com 25% de *filler*, com resistência à tração na flexão igual a 13,9 MPa para aglomerante à base de cimento Portland, e energia específica de fratura igual a 0,53 kJ/m² para escória de alto-forno.

3 Fibras vegetais

O estudo sistemático de fibras com finalidade de reforço de matrizes começou na Inglaterra, em 1970. No Brasil, a pesquisa pioneira coube ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (Ceped), Camaçari, Bahia, com início em 1980 (BAHIA, 1985). Agopyan (1991), em seu trabalho a respeito do emprego de fibras vegetais como reforço de matrizes frágeis, relacionou 19 fibras potencialmente úteis para a construção civil.

Savastano Jr. et al. (1998) apresentaram a síntese de visitas realizadas, no período de janeiro a agosto de 1997, com o objetivo de analisar o processo de cultivo, extração, beneficiamento e industrialização de fibras vegetais, tendo em vista a identificação e a quantificação dos resíduos gerados. Foram, ao todo, visitadas 23 empresas e 15 entidades de extensão e/ou pesquisa, assim localizadas:

- Norte do Paraná: regiões produtoras e processadoras de rami (*Boemmiria nivea*);
- Vale do Ribeira, SP: produção de banana cultivar nanicao (*Musa cavendishii*);
- Aracruz, ES: fábrica de polpa de celulose de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) para produção de papel;
- Bahia e Paraíba: produção e processamento da fibra de sisal (*Agave sisalana*) e de algodão (*Gossypium herbaceum*);
- Pernambuco, Sergipe, Ceará e interior de São Paulo: produção de coco (*Cocos nucifera*) e processamento da fibra extraída do fruto;
- Valença, BA: extração e processamento da fibra de piaçava (*Attalea funifera*); e
- Pará: regiões produtoras e processadoras de malva (*Urena lobata*).

A partir das informações obtidas nas viagens técnicas, procedeu-se à classificação dos resíduos, com base nos seguintes critérios de seleção:

- identificação geral da produção agroindustrial geradora de resíduos: caracterização dos produtos principais, região produtora, quantidades produzidas e operações envolvidas;
- identificação dos resíduos: inter-relação com produtos principais, processos e/ou operações;
- quantidade disponível de resíduos: outras opções de uso, com respectivas demandas;
- dispersão espacial dos resíduos gerados: aptidão a soluções regionalizadas e custos de transporte;
- valor de mercado do resíduo; e
- caracterização das matérias-primas e dos compósitos produzidos.

Com base na pesquisa de campo, foram pré-selecionados alguns resíduos, em condições de disponibilidade imediata, para uso na construção civil:

- bucha de campo do sisal – grande disponibilidade e pequeno interesse comercial, além de ser alternativa de complementação de renda para os produtores agrícolas. Existe a necessidade de a fibra passar por limpeza em peneira cilíndrica do tipo gaiola, conforme ilustra a Figura 1;
- bucha de máquina da produção de *baler twine* – fibras isentas de pó residual e produção concentrada em pequeno número de empresas, o que facilita sua utilização. Entretanto, o tratamento utilizado é à base de óleo mineral, o que pode afetar as propriedades mecânicas da fibra e a aderência entre fibra e matriz;

- fibrinhas extraídas do pó residual do coco (Figura 2) – valor de mercado reduzido, com grande possibilidade de produção e aproveitamento atual quase nulo. Entretanto, necessita de separação do pó (cerca de 50% em massa) e secagem;
- rejeito de celulose de eucalipto – valor de mercado quase nulo e grande disponibilidade. Desvantagem: o pequeno comprimento das fibras, inferior a 1 mm.



Figura 1 – Peneira rotativa para separação da bucha verde de sisal (SILVA; BELTRÃO, 1999)



Figura 2 – Resíduo de fibra de coco amontoado

Mais um resíduo também foi considerado de interesse pela sua potencialidade de uso no futuro:

- fibra do pseudocaule da bananeira – grande disponibilidade, podendo ser extraída por processos elementares. Possível fonte alternativa de renda em região de pouco desenvolvimento econômico do estado de São Paulo, e ao mesmo tempo próxima a grandes centros urbanos.

A Tabela 3, elaborada a partir de Savastano Jr. et al. (1997), contém as principais informações de interesse a respeito dos resíduos acima apresentados.

Resíduo fibroso	Bucha verde de sisal	Bucha de <i>baler twine</i> sisal	Fibrinhas de coco	Rejeito de celulose de eucalipto	Banana
Umidade (%)	10	15	32	61	12
Valor de mercado (US\$/t)	Nulo	80	90 (máx.)	15	Nulo
Quantidade e abrangência	30.000 Apaeb	290 Brasil	7.500 Cofib e Diniz	17000 Aracruz	95.000 Vale Ribeira SP
Produto comercial principal	Fibra verde antes da secagem	Fio agrícola (<i>baler twine</i>)	Fibras longas e/ou curtas	Celulose para papel	Fruta de mesa e para indústria
Relação resíduo/prod. principal	300	0,8	200 – 2.880	0,5	8

Legenda: Apaeb Associação dos Pequenos Agricultores do Município de Valente, BA
Cofib Aracaju Fibras Aracaju, SE
Diniz S.A. Aracaju, SE
Aracruz Celulose S.A. Aracruz, ES

Tabela 3 – Alguns resíduos oriundos do processamento de fibras vegetais

3.1 Propriedades físicas dos resíduos

As principais propriedades físicas dos resíduos selecionados foram determinadas e estão listadas na Tabela 4.

As fibras utilizadas no reforço de matrizes à base de cimento (ver item 4) foram picadas com guilhotina do tipo empregado para corte de papel, e seus comprimentos, determinados com o auxílio de uma régua de precisão 0,5 mm. A fibra da polpa de celulose, muito mais curta, teve seu comprimento medido pelo equipamento Kajaani FS-200, um analisador óptico automatizado, usual na determinação de propriedades físicas de fibras com menos de 7 mm de comprimento. Já o diâmetro de todas as fibras foi encontrado por meio de microscópio eletrônico de varredura DSM940A-Zeiss, com as amostras previamente metalizadas com ouro por 120 s num metalizador Balzers Union, MED-010. Os mesmos equipamentos e processo de preparo foram utilizados para obtenção de micrografias dos resíduos pré-selecionados, conforme exposto no item 3.2.

Fibra	Comprimento médio ^a (mm)	Diâmetro médio ^a (μm)	Massa específica real ^b (kg/m ³)	Massa espec. aparente ^b (kg/m ³)	Vol. vazios permeáveis ^b (%)	Absorção máxima ^b (%)
Sisal bucha verde	22,0	187	1.104	280	77,3	201
Sisal bucha <i>baler twine</i>	23,8	204	1.387	400	72,4	151
Coco pó residual	20,6	223	1.165	370	73,1	146
Rejeito polpa eucalipto	0,66	10,9	1.609	230	89,2	643
Banana	19,1	154	1.031	170	84,5	407

^a Desvios padrão da ordem de 50% das médias.

^b NBR-9778.

Tabela 4 – Propriedades físicas dos resíduos fibrosos

3.2 Análise microestrutural

A micrografia da bucha verde de sisal (Figura 3) mostra a fibra recoberta por mucilagem, que pode atuar como retardador da pega de aglomerantes hidráulicos. Também aparecem fibrilas e estrias no sentido longitudinal da fibra. A bucha de *baler twine*, observada na Figura 4, apresenta grande alteração superficial da fibra, em vista dos processos mecânicos e do tratamento com óleo mineral. A fibra de coco (Figura 5) possui formato cilíndrico, estrutura externa fechada e pontuações superficiais, que auxiliam a ancoragem da fibra na matriz. O rejeito de celulose (Figura 6) apresenta morfologia diferenciada, com filamentos semelhantes a fitas retorcidas, provavelmente em decorrência da retração lateral irreversível que se observa nas fibras recicladas (McKENZIE, 1994).

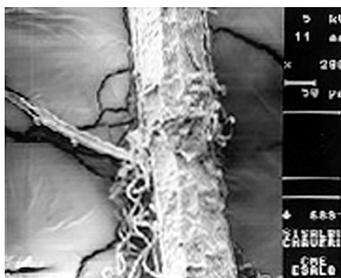


Figura 3 – Bucha verde de campo do sisal

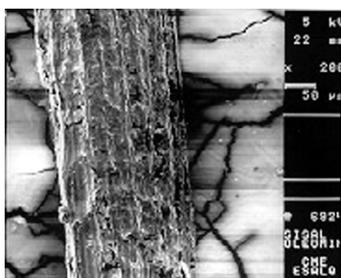


Figura 4 – Bucha de máquina da produção de fio agrícola (*baler twine*)

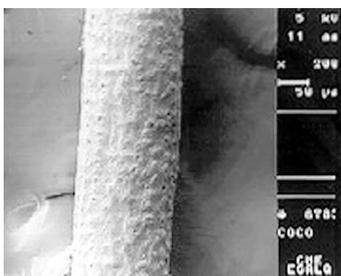


Figura 5 – Fibra do pó residual de coco

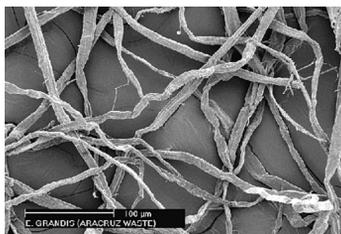


Figura 6 – Rejeito da polpa celulósica de eucalipto

4 Matriz de cimento com reforço de fibra vegetal

Este item traz exemplos de materiais à base de cimento reforçados com fibras naturais, produzidos por meio de processos de baixo custo e com potencial para construções destinadas a áreas de interesse social.

4.1 Telhas de cobertura

Savastano Jr. et al. (1999) desenvolveram telhas de cobertura com base nas formulações indicadas na Tabela 5 e no processo Parry Associates (Reino Unido) para moldagem e adensamento por vibração, com uso intensivo de mão-de-obra (Figuras 7 e 8). A matriz de escória de alto-forno (composição química na Tabela 2) recebeu ativação de fosfogipso (sulfato de cálcio diidratado, composto de SO_3 – 41,3%, CO_2 – 0,26% e água combinada – 18,7%, resíduo de indústria de fertilizantes em Cubatão, SP) e cal hidratada CH-I (mais de 90% em massa de hidróxido de cálcio, classificação conforme a NBR-7175). A relação entre água e aglomerante (x) variou entre 0,40 e 0,48. O teor de fibra foi igual a 2% em massa do aglomerante. As telhas apresentam dimensões de 487 x 263 (medidas do molde plano), espessura média entre 7 e 9 mm, formato similar ao das telhas cerâmicas do tipo Romana, sendo necessárias 12,5 peças/m² de telhado. Após 48 h, as telhas foram retiradas dos moldes e submetidas a cura úmida por sete dias, seguida de cura ao ar em ambiente de laboratório.

Fibra	Escória : fosfogipso : cal : areia ; x	Massa específica ^a (kg/m ³)	Índice de consistência ^b (mm)
Padrão sem fibra (referência)	0,86 : 0,10 : 0,04 : 1,5 ; 0,40	2113	212
Coco pó residual	0,86 : 0,10 : 0,04 : 1,5 ; 0,48	2142	273
Rejeito de polpa de eucalipto	0,86 : 0,10 : 0,04 : 1,5 ; 0,48	2041	173
Sisal (1%) + polpa de eucalipto (1%)	0,86 : 0,10 : 0,04 : 1,5 ; 0,48	2077	201

^a NBR-9833; ^b NBR-7215.

Tabela 5 – Formulações e propriedades da argamassa de escória de alto-forno reforçada com fibras vegetais no estado recém-misturado



Figura 7 – Transferência da telha para molde de formato ondulado



Figura 8 – Telha recém-fabricada sobre molde

Com idades entre 60 e 70 dias a contar da produção, pelo menos 20 telhas de cada uma das três formulações de compósito descritas na Tabela 5 foram submetidas a envelhecimento natural, em Pirassununga, SP (latitude 21°59'S), numa bancada inclinada de 30° em relação à horizontal e voltada para a direção norte (Figura 9). O período de efetiva exposição foi de 16 meses, desde julho de 1998. As principais características climáticas do período foram temperatura média máxima em jan./fev. 99 = 27,3 °C, temperatura média mínima em jul. 98 = 17,6 °C, umidade relativa média máxima em fev. 99 = 86,6%, umidade relativa média mínima em ago. 99 = 54,5% e precipitação média no período = 1.514 mm/ano.



Figura 9 – Bancada de envelhecimento natural no Campus da USP de Pirassununga, SP

Para observação das propriedades mecânicas, adotou-se teste de flexão de três cutelos (vão inferior = 350 mm, velocidade de carregamento = 55 mm/min), adaptado de Gram e Gut (1994), conforme ilustra a Figura 10. Para tanto, adotou-se máquina universal de ensaios Emic, modelo DL-30000, sendo as telhas previamente imersas em água por, pelo menos, 24 h. A finalização do ensaio ocorre ao se constatar redução de 70% da carga máxima de ruptura, para cálculo da energia específica: energia absorvida (área sob a curva carga x deformação) dividida pela área da superfície de fratura conforme Eusebio et al. (1998). As propriedades físicas (empenamento, permeabilidade e absorção de água) foram determinadas de acordo com a norma NBR-13852-2, para telhas de concreto. O ensaio de permeabilidade consistiu em submeter a telha a uma coluna d'água de 250 mm pelo período de 24 horas (Figura 11), seguido da observação de umidade na sua face oposta.

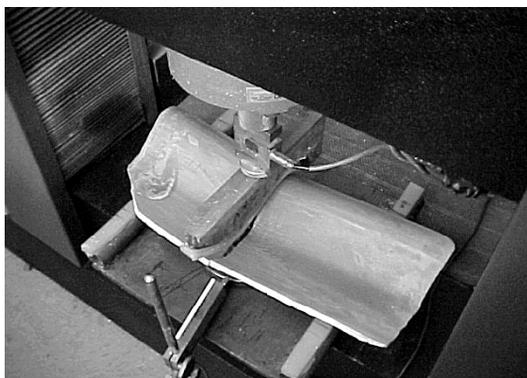


Figura 10 – Teste de flexão de uma telha aos 28 dias de idade

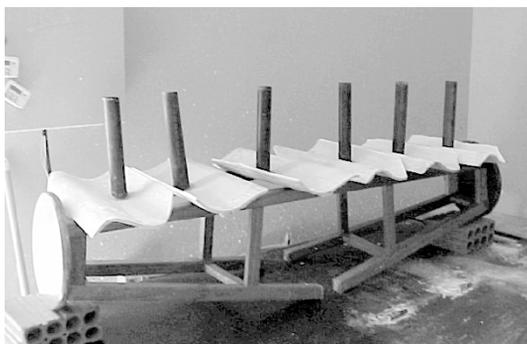


Figura 11 – Ensaio de permeabilidade das telhas

A Tabela 6 apresenta os resultados físicos e mecânicos, estes últimos com coeficientes de variação da ordem de 30%, por causa das características e da distribuição heterogênea das fibras residuais empregadas.

Fibra	Referência sem fibra	Coco		Polpa de eucalipto		Sisal (1%) + eucalipto (1%)	
Relação entre água e cimento	0,40	0,45		0,48		0,50	
Idade (meses)	1	1	16	1	16	1	16
Condição	Cura ao ar	Cura ao ar	Envelhec.	Cura ao ar	Envelhec.	Cura ao ar	Envelhec.
Empenamento (mm)	0,91	1,61	0,52	1,53	0,85	2,43	2,34
Permeabilidade	Sem marcas	Manchas		Manchas		Manchas	
Absorção d'água (% em massa)	14,4	12,6	12,2	14,5	14,5	16,0	15,1
Massa seca (g)	2.101	1.784	1.772	1.640	1.570	1.492	1.541
Carga máxima (N)	697	482	235	587	262	447	237
Energia específica (J/m ²)	405	498	182	565	139	494	137

Tabela 6 – Efeito do envelhecimento nas propriedades das telhas à base de escória de alto-forno

Para as séries ensaiadas aos 28 dias de idade (1 mês na Tabela 6), os resultados para as principais propriedades atenderam aos requisitos sugeridos por Gram e Gut (1994) para produtos similares: (a) o ensaio de permeabilidade não detectou geração de gotas na superfície inferior da telha; e (b) a carga máxima no ensaio de flexão excedeu 425 N, como recomendado para telhas de 8 mm de espessura ensaiadas na condição saturada. Além disso, o empenamento foi inferior a 3 mm, e a absorção d'água não excedeu 20% em massa após imersão por 24 h. A principal vantagem das telhas reforçadas foi o aumento de, pelo menos, 20% da energia absorvida em relação ao padrão sem fibras, o que é importante para se evitar ruptura frágil das telhas durante transporte e instalação, por causa dos esforços dinâmicos envolvidos.

Em estudo similar a respeito de sistemas alternativos de cobertura (RAS TECHNICAL BULLETIN, 1994), argamassas de cimento Portland comum, reforçadas com 1% em volume de fibras de sisal cortadas, mostraram redução de 30% da resistência à tração na flexão, comparada à do padrão sem fibra, aos 14 dias de idade, e um aumento de até três vezes na resistência ao impacto.

Resultados consideravelmente melhores para fibrocimentos poderiam ser esperados pelo uso de polpa celulósica, dispersão das matérias-primas em solução aquosa, drenagem a vácuo e prensagem, como exposto no item 4.2. Em vista da melhoria de desempenho obtida, o aumento no consumo de energia durante tais procedimentos parece justificável, desde que possível sua implementação, tanto tecnológica como economicamente.

Séries ensaiadas após 16 meses de envelhecimento natural mostraram permeabilidade e absorção d'água aceitáveis, próximo do obtido nas séries testadas aos 28 dias de idade. Por outro lado, o desempenho mecânico mostrou considerável piora, com quedas aproximadas de 50% e 70%, respectivamente, de carga máxima e energia absorvida em comparação aos resultados iniciais (Tabela 6).

A perda de resistência à tração na flexão dos materiais à base de escória foi também reportada por outros pesquisadores (WANG et al., 1995; AGOPYAN; JOHN, 1992) e interpretada como conseqüência da evolução do processo de carbonatação da matriz. Na atual pesquisa, a avaliação qualitativa com solução de 2% de fenolftaleína em etanol anidro atestou que os compósitos estavam carbonatados por completo no final do período de envelhecimento.

Outro aspecto relacionado à perda de ductilidade do compósito pode ser a “petrificação” da fibra, conforme exposto em 4.1.1. A formação de produtos

hidratados do cimento nos vazios da fibra pode levar à sua fratura frágil e à reduzida absorção de energia no estágio de pós-fissuração do compósito submetido à flexão. Em estudo similar de fibrocimentos curados ao ar, Bentur e Akers (1989) observaram que a “petrificação” da fibra pode acontecer sob condições favoráveis à carbonatação, provavelmente em razão do pH mais baixo do meio e da maior solubilidade dos produtos de hidratação.

Por outro lado, a carbonatação deveria ser vista como um aspecto favorável à proteção de componentes não celulósicos (lignina, p. ex.) da fibra, contra o ataque alcalino (MARIKUNTE; SOROUSHIAN, 1994), o que parece não ter desempenhado efeito significativo nesta etapa do estudo.

John et al. (1998) também apontaram que variações de volume das fibras, associadas a mudanças no seu teor de umidade, podem gerar danos generalizados na interface fibra–matriz, e assim contribuir para a piora do comportamento mecânico no longo prazo.

4.1.1 Análise da microestrutura do compósito

Fragmentos das telhas produzidas foram analisados em microscópio eletrônico de varredura (MEV) Philips XL-30, usando imagem de elétrons retroespalhados (BSEI, abreviatura para *backscattering electron image*) e espectroscopia de raios X por energia dispersiva (EDS, abreviatura para *energy dispersive X-ray spectroscopy*). Esse tipo de imagem é apropriado para análise de superfícies planas e permite o contraste entre as diversas fases do compósito, pela diferença dos números atômicos: quanto menos denso o material, mais escura a imagem. A análise por EDS permite a rápida obtenção qualitativa da composição química de uma região selecionada (PADILHA; AMBROZIO FILHO, 1985). A preparação dos corpos-de-prova observou recomendações feitas por Savastano Jr. e Agopyan (1999) e envolveu impregnação por resina epóxi, lixamento seguido de polimento da superfície e aplicação a vácuo de camada condutora de carbono.

A Figura 12 ilustra a seção transversal de uma macrofibra de coco em argamassa de cimento de escória. As células individuais aparecem intactas, mas com fissuras radiais intermediárias, como efeito de retração por secagem. A análise pontual por EDS na lacuna central da macrofibra (Figura 13) indica a incidência de diversos elementos químicos provavelmente provenientes de fases relacionadas à matriz de cimento, o que colabora com a suposição de ocorrência do fenômeno de “petrificação” das fibras (BENTUR; AKERS, 1989).

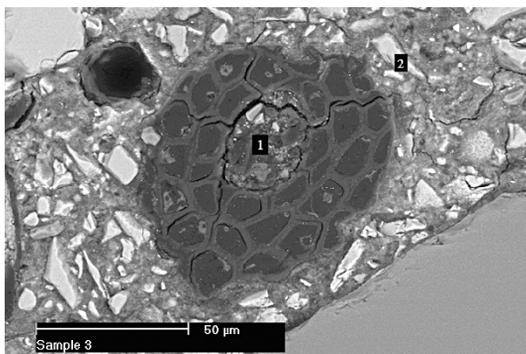


Figura 12 – BSEI de fibra de coco em matriz de escória de alto-forno. Ponto 1: lacuna central da fibra; ponto 2: grão de cimento anidro. Idade de hidratação: 42 dias

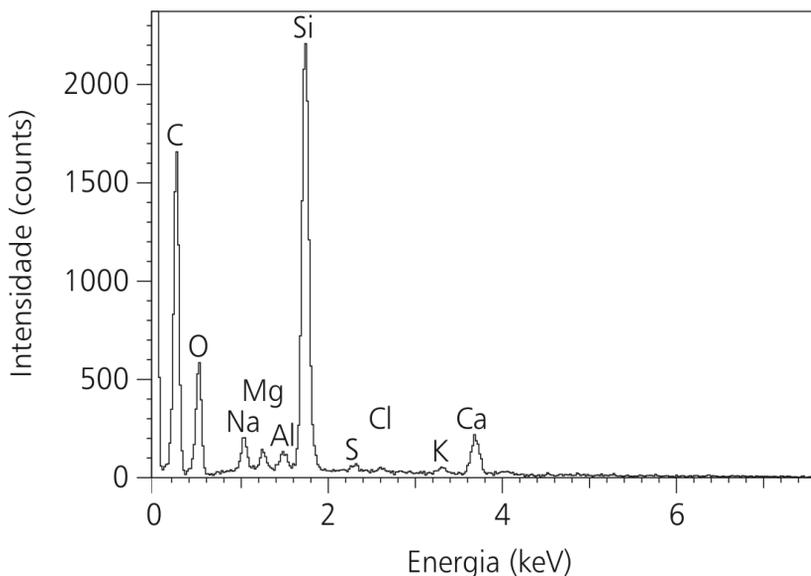


Figura 13 – Análise de EDS da lacuna central da fibra de coco (ponto 1 na Figura 12)

A Figura 14 está relacionada ao ponto 2 da mesma micrografia e mostra o espectro de EDS de um grão anidro de escória (grãos cinza-claros na Figura 12). Embora nenhuma medida quantitativa possa ser inferida dessa análise, os picos registrados correspondem aos componentes principais da escória de alto-forno, conforme exposto na Tabela 2.

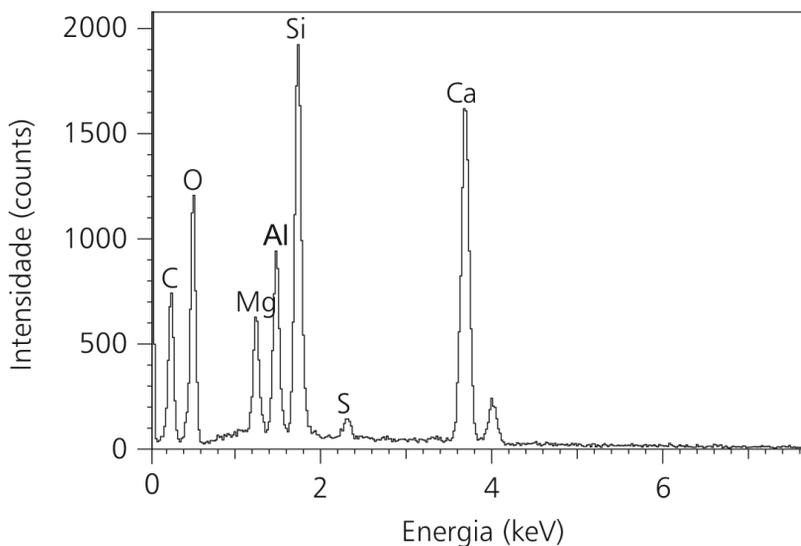


Figura 14 – Análise de EDS de grão anidro de escória (ponto 2 na Figura 12)

4.2 Placas prensadas

Este item apresenta trabalho em parceria com o Forest Products Laboratory – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Austrália. Estudou-se o desempenho de matriz de cimento de escória de alto-forno reforçada com polpas celulósicas provenientes de resíduos fibrosos de sisal, segundo método de produção que simula, em escala laboratorial, o processo Hatschek, usual na indústria de placas de cimento amianto.

A matriz escolhida foi de cimento de escória básica granulada de alto-forno (EAF, Tabela 2), ativada por gipsita (gesso agrícola) e hidróxido de cálcio, segundo a formulação 0,88:0,10:0,02 em massa, nesta mesma ordem.

114

As macrofibras residuais de bucha de campo de sisal (ver item 3) foram submetidas a processo laboratorial de polpação quimiotermodinâmica (CTMP, abreviatura para *chemi-thermomechanical pulping*), conforme detalhado em Savastano Jr. (2000). As principais propriedades físicas da polpa celulósica estão sumarizadas na Tabela 7. A drenabilidade da polpa foi determinada conforme o método Canadian Standard Freeness (CSF), de acordo com a norma australiana AS-1301.206s-88. CSF é uma medida arbitrária associada à taxa inicial de retirada de água da polpa. Comprimento da fibra e teor de finos foram calculados pelo analisador óptico automatizado Kajaani FS-200.

<i>Freeness</i> (ml)	Finos (%)	Comprimento (mm)	Largura (m) ^a	Relação de aspecto
500	2,14	1,53	9,40	163

^a Média de 20 determinações em microscópio eletrônico de varredura.

Tabela 7 – Propriedades físicas da polpa e da fibra de sisal CTMP

Foram produzidas placas de compósito cimentício com dimensões 125 x 125 mm e reforçadas com 8% em massa de polpa, preparadas em laboratório por dispersão das matérias-primas em solução aquosa, drenagem a vácuo do excesso de água e prensagem a 3,2 MPa. Em seguida, realizou-se cura úmida por sete dias e cura ao ar até a realização dos ensaios mecânicos. O teor de fibras baseou-se em níveis ótimos de reforço definidos em etapa anterior do estudo (SAVASTANO JR. et al., 2000a).

Ao se completar o período inicial de cura em ambiente saturado, as placas para ensaio aos 28 dias foram cortadas em corpos-de-prova com dimensões 124 x 40 mm, mantida a espessura original da placa de aproximadamente 6 mm. Esses corpos-de-prova (nove por série) passaram, então, para cura em ambiente controlado de laboratório (temperatura de (23 ± 2) °C e (50 ± 5) % de umidade relativa) até a realização dos ensaios mecânicos e físicos.

Três séries de placas foram submetidas a envelhecimento natural por períodos de até dois anos sob clima temperado ($37^{\circ}49'S$ – Melbourne, Victoria, Austrália) e tropical ($21^{\circ}59'S$ – Pirassununga, SP, Brasil), com condições climáticas expostas na Tabela 8. Séries correspondentes foram mantidas continuamente no ambiente de laboratório pelos mesmos períodos, como padrões de referência. Ao final de cada período de exposição, as placas eram cortadas como descrito previamente, mantidas em laboratório por sete dias e, então, ensaiadas.

Local	Temperatura média (°C)		Umidade relativa média (%)		Precipitação média (mm/ano)
	Máxima / mês	Mínima / mês	Máxima / mês	Mínima / mês	
Melbourne, Vic, AU ^a	25,8 / jan	60 / jan - dez	82 / jun	5,9 / jul	654
Pirassununga, SP, BR ^b	30,1 / jan - fev	63 / ago	77 / jan - fev	9,5 / jul	1.363

Fonte: ^a Bureau of Meteorology, Australia; ^b Academia da Força Aérea, Brasil

Tabela 8 – Médias climáticas

O ensaio de flexão com três cutelos (vão inferior = 100 mm) foi utilizado para determinação da resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade e energia específica de fratura, conforme detalhado por Savastano Jr. (2000).

Compósitos fibrosos não envelhecidos apresentaram resistência à tração na flexão superior a 18 MPa, o que representa aumento de 120% em relação à matriz de escória sem reforço. Como mostrado na Figura 15, dois anos sob envelhecimento externo em clima tropical ou temperado resultaram em considerável perda de resistência, a qual caiu para aproximadamente 5 MPa no ambiente brasileiro. A perda de resistência, tanto em ambiente externo como de laboratório, deve estar relacionada à carbonatação da matriz de escória. Esse mecanismo consome íons cálcio dos produtos hidratados (WANG et al., 1995; TAYLOR, 1997) e causa, assim, o enfraquecimento do compósito. A partir de quatro meses de exposição em ambiente de laboratório, esse efeito tende a estabilizar-se, com resistência em torno de 70–75% da inicial. A maior severidade do envelhecimento natural parece relacionar-se aos danos causados à interface fibra–matriz (SAVASTANO Jr.; AGOPYAN, 1999) bem como à lixiviação da matriz pela água da chuva.

Compósitos com reforço da fibra de sisal CTMP apresentaram módulo de elasticidade igual a 5,9 GPa aos 28 dias de idade, aproximadamente 50% do módulo da matriz sem reforço. Essa redução é associada ao baixo módulo das fibras vegetais e também ao aumento da porosidade em razão da inclusão de ar pelas fibras. O compósito com fibra de sisal teve seu módulo de elasticidade reduzido para o intervalo entre 2,1 e 3,3 GPa, após dois anos de exposição às intempéries ambientais.

A energia específica de fratura é a propriedade da matriz que mais é aumentada pela presença das fibras de celulose. Como mostrado na Figura 16, após envelhecimento em ambiente natural ou em laboratório, os compósitos demonstraram ductilidade similar daquela aos 28 dias, com valor nunca inferior a 0,7 kJ/m². A Figura 17 mostra micrografia da superfície de fratura do compósito com grande incidência de filamentos arrancados, o que justifica o seu comportamento dúctil. A integridade das fibras pode ser entendida pela baixa agressão alcalina promovida pela matriz de escória empregada (OLIVEIRA, 2000). Tolêdo Filho et al. (2000) e Bentur e Akers (1989), no entanto, notaram que compósitos à base de cimento Portland comum, com reforço de fibra vegetal, tornavam-se frágeis com o tempo e propuseram que esse fenômeno estaria diretamente relacionado à petrificação do reforço fibroso no interior da matriz.

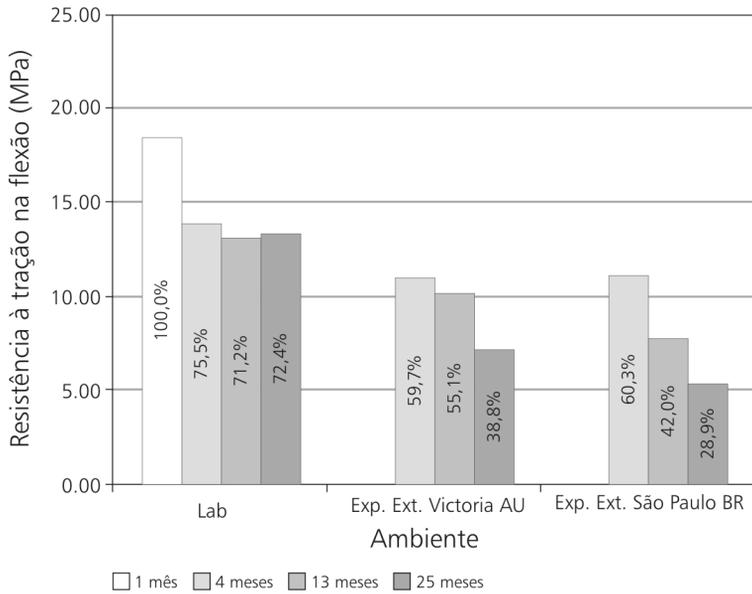


Figura 15 – Resistência mecânica de EAF com sisal CTMP ao longo do tempo em diferentes ambientes

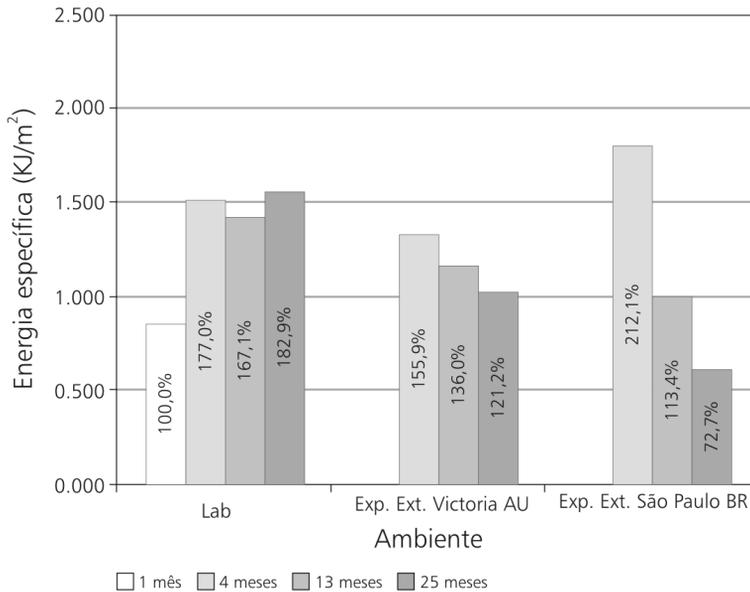


Figura 16 – Energia de fratura de EAF com sisal CTMP ao longo do tempo em diferentes ambientes

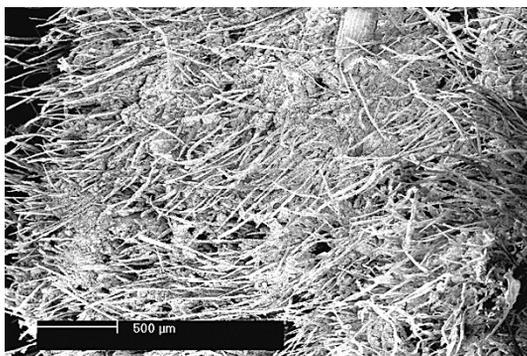


Figura 17 – Escória de alto-forno com reforço de fibra de sisal CTMP após 12 meses sob ação do ambiente em Melbourne, Austrália

5 Comentários adicionais

Os estudos realizados mostram a possibilidade de se produzirem materiais de construção a partir de subprodutos que, se não aproveitados, são entulhos que poluem o ambiente (ar, água e solo). O uso desses resíduos permite a economia de matérias-primas convencionais, muitas vezes extraídas da natureza com riscos de degradação ambiental. A Construção Civil deve estar atenta aos aspectos negativos a ela associados, como o uso de matérias-primas não renováveis, o alto consumo de energia, a geração de entulho e a emissão de gases poluentes. Os problemas associados a materiais convencionalmente usados na construção podem constituir uma boa oportunidade para a proposta responsável de materiais substitutos considerados de maior sustentabilidade. Esse é o caminho seguido pelo presente trabalho, ainda em andamento, na substituição do amianto para produção de telhas e placas prensadas de fibrocimentos no Brasil.

118

Agradecimentos

O estudo apresentado recebeu suporte das seguintes instituições: Fapesp (Programa Pite), Finep (Programa HABITARE), CNPq (Bolsa PQ) e Capes (Procad). O autor agradece, juntamente com a equipe executora, a colaboração dos alunos de graduação Leandro da Cunha (C.U. Moura Lacerda, bolsista FINEP) e Eliane G. Gatto (FZEA, Pibic-CNPq).

Referências bibliográficas

- AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais**. 1991. 204 f. Tese (Livro-Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- AGOPYAN, V. Vegetable fibre reinforced building materials - developments in Brazil and other Latin American countries. In: SWAMY, R. N. (Ed.). **Natural fibre reinforced cement and concrete**. Glasgow: Blackie, 1988. p. 208-42. (Concrete and Technology and Design, 5)
- AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. Durability evaluation of vegetable fibre reinforced materials. **Building Research and Information**, v. 20, n. 4, p. 233-235, 1992.
- AGOPYAN, V.; JOHN, V.M.; DEROLLE, A. Construindo com fibras vegetais. **A Construção São Paulo**, n. 2, p. 17-20, abr. 1990.
- AGOPYAN, V.; SAVASTANO JR., H.; JOHN, V. M. Developments of vegetable fibre reinforced cementitious material in São Paulo. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CONSTRUCTION INTO THE NEXT MILLENNIUM, João Pessoa, 2000. **Proceedings...** João Pessoa, Universidade Federal da Paraíba/University of Sheffield, 2000. p. 90-102.
- BAHIA. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. **Cartilha para fabricação de telhado em argamassa armada**. Rio de Janeiro, BNH, 1985. 25 p.
- BENTUR, A.; AKERS, S. A. S. The microstructure and ageing of cellulose fibre reinforced cement composites cured in a normal environment. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**, v. 11, n. 2, p. 99-109, May 1989.
- CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. Optimization of rice husk ash production. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VEGETABLE PLANTS AND THEIR FIBRES AS BUILDING MATERIALS, 2., Salvador, 1990. **Proceedings...** London, Chapman and Hall, 1990. p. 334-342. (Rilem Proceedings, 7)

COUTTS, R. S. P. From forest to factory to fabrication. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FIBRE REINFORCED CEMENT AND CONCRETE, 4., Sheffield, 1992. **Proceedings...** London, E & FN Spon, 1992. p. 31-47. (Rilem Proceedings, 17)

EUSEBIO, D. A.; CABANGON, R. J.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. The manufacture of wood fibre reinforced cement composites from Eucalyptus pellita and Acacia mangium chemithermomechanical pulp. In: PACIFIC RIM BIO-BASED COMPOSITES SYMPOSIUM, 4., 1998. **Proceedings...** Bogor, Bogor Agricultural University, 1998. p. 428-36.

GIANNASI, F.; THÉBAUD-MONY, A. Occupation exposures to asbestos in Brazil. **International Journal of Occupational and Environmental Health**, Philadelphia, v. 3, n. 2, p. 150-157, 1997.

GRAM, H.-E.; GUT, P. **Directives pour le controle de qualite**. St. Gallen, Skat/ BIT, 1994. 69 p. (Serie Pedagogique TFM/TVM: Outil 23)

GUIMARÃES, S. S. Vegetable fiber-cement composites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VEGETABLE PLANTS AND THEIR FIBRES AS BUILDING MATERIALS, 2., Salvador, 1990. **Proceedings...** London, Chapman and Hall, 1990. p. 98-107. (Rilem proceedings, 7)

HEINRICKS, H.; BERKENKAMP, R.; LEMPFER, K.; FERCHLAND, H.-J. Global review of technologies and markets for building materials. In: INTERNATIONAL INORGANIC-BONDED WOOD AND FIBER COMPOSITE MATERIALS CONF., 7., Sun Valley, 2000. **Proceedings...** Moscow, University of Idaho, 2000. (SHS report)

120

JOHN, V. M. **Cimentos de escória ativada com silicatos de sódio**. 1995. 112 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V.; PRADO, T. A. Durabilidade de compósitos de cimentos e fibras vegetais para telhados. In: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE TELHADOS PARA HABITAÇÃO, 3., São Paulo, 1998. **Anais...** São Paulo, Cytel/USP, 1998. p. 51-9.

JOHN, V. M.; ZORDAN, S. E. Research & development methodology for recycling residues as building materials – a proposal. **Waste Management**, v. 21, p. 213-219, 2001.

LEE, A. **O impacto da substituição do telhado de fibrocimento**. 2000. 11 p. Monografia – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MARIKUNTE, S.; SOROUSHIAN, P. Statistical evaluation of long-term durability characteristics of cellulose fiber reinforced cement composites. **ACI Materials Journal**, v. 91, n. 6, p. 607-616, Nov./Dec. 1994.

McKENZIE, A. W. **A guide to pulp evaluation**. Melbourne: CSIRO, 1994.

OLIVEIRA, C. T. A. **Água do poro de pastas de cimento de escória**. 2000. 162 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PADILHA, A. F.; AMBROZIO FILHO, F. **Técnicas de análise microestrutural**. São Paulo: Hemus, 1985.

PLESSIS, C. D. Doing more, better, with less – A developing country perspective on sustainability through performance. In: CIB WORLD BUILDING CONGRESS: PERFORMANCE IN PRODUCT AND PRACTICE, Wellington, 2001. **Proceedings...** Wellington, Branz, 2001. 8 p. (Plenary session)

RAS Technical Bulletin. **Fibre concrete roofing (FCR) and micro concrete roofing (MCR)**. St. Gallen, Basin, Jan. 1994. 4 p. (Issue nr. 3)

SAVASTANO Jr., H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 2000. 144 f. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SAVASTANO JR., H.; AGOPYAN, V. Fibras Naturais para Produção de Componentes Construtivos. In: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE TELHADOS PARA HABITAÇÃO, 3., São Paulo, 1998. **Anais...** São Paulo, Cytel/USP, 1998. p. 11-27.

SAVASTANO JR., H.; AGOPYAN, V. Microestrutura X desempenho dos compósitos reforçados com fibras vegetais. In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo, 1996. São Paulo, Antac/EP-USP, 1997. p. 153-158.

SAVASTANO JR., H.; AGOPYAN, V. Transition zone studies of vegetable fibre-cement paste composites. **Cement & Concrete Composites**, v. 21, n. 1, p. 49-57, 1999.

SAVASTANO JR., H.; AGOPYAN, V.; NOLASCO, A. M.; PIMENTEL, L. L. Plant fibre reinforced cement components for roofing. **Construction and Building Materials**, v. 13, n. 8, p. 433-438, 1999.

SAVASTANO JR., H.; JOHN, V. M.; CALDAS, A. S. Effect of carbonation on blast furnace slag cement reinforced with cellulose fibre. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITES IN CONSTRUCTION - CCC2001, Porto, 2001. **Proceedings...** Lisse, Balkema, 2001. p. 299-302.

SAVASTANO JR., H.; LUZ, P. H. C.; NOLASCO, A. M. Seleção de resíduos de alguns tipos de fibra vegetal, para reforço de componentes de construção. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., Canela, nov. 1997. **Anais...** Porto Alegre, Antac, 1997. p. 107-12.

SAVASTANO JR., H.; NOLASCO, A. M.; LUZ, P. H. C. Identificação e caracterização de resíduos agroindustriais, para uso na construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: QUALIDADE NO PROCESSO CONSTRUTIVO, 7., Florianópolis, 1998. **Anais...** Florianópolis, Antac/UFSC, 1998. v. 1, p. 885-892.

SAVASTANO JR., H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Brazilian waste fibre as reinforcement for cement based composites. **Cement & Concrete Composites**, v. 22, n. 5, p. 379-384, Oct. 2000a.

SAVASTANO JR., H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Low-cost matrices for cellulose-cement materials. In: CIB SYMPOSIUM CONSTRUCTION & ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, São Paulo, 23-24 Nov. 2000b. **Proceedings...** São Paulo, CIB/PCC-EP-USP, 2000b. CD-ROM, part 2, 10 p.

SAVASTANO JR., H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Sisal mechanical pulps as reinforcement for cement-based materials. In: SUSTAINABLE CONSTRUCTION INTO THE NEXT MILLENNIUM: ENVIRONMENTALLY FRIENDLY AND INNOVATIVE CEMENT BASED MATERIALS, João Pessoa, 2000c. **Proceedings...** João Pessoa: Souza Gráfica e Editora, 2000c. v. 1, p. 278-291.

SILVA, O. R. R.; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio do sisal no Brasil.** Brasília/Campina Grande: Embrapa-SPI-CNPA, 1999.

SWAMY, R. N. Vegetable fibre reinforced cement composites - a false dream or a potential reality? In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VEGETABLE PLANTS AND THEIR FIBRES AS BUILDING MATERIALS, 2., Salvador, 1990. **Proceedings...** London, Chapman and Hall, 1990. p. 3-8. (Rilem Proceedings, 7)

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry.** 2. ed. London: Thomas Telford, 1997.

TOLÊDO FILHO, R. D.; SCRIVENER, K.; ENGLAND, G. L.; GHAVAMI, K. Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. **Cement & Concrete Composites**, v. 22, n. 2, p. 127-143, 2000.

WANG, S.-D., PU, X.-C.; SCRIVENER, K. L.; PRATT, P. L. Alkali-activated slag cement and concrete: a review of properties and problems. **Advances in Cement Research**, v. 7, n. 27, p. 93-102, July 1995.

