



Caracterização mecânica de laminados cimentícios esbeltos reforçados com fibras de sisal

Paulo R. L. Lima¹, Romildo D. Toledo Filho², Koji J. Nagahama¹ & Eduardo M. Fairbairn²

RESUMO

Com a proibição progressiva do uso de fibras de asbesto na fabricação de laminados à base de cimento, novos produtos têm sido desenvolvidos para suprir esta demanda do setor construtivo. A utilização de fibras de sisal como substituto ao asbesto, além de ser uma proposta ecológica tem grande importância socioeconômica, pois agregará valor a um produto cultivado com sucesso no semi-árido nordestino. Produziram-se, neste trabalho, placas laminadas com matriz de argamassa reforçadas com fibras longas de sisal. Ensaios de flexão em três pontos foram realizados com o objetivo de se estudar a influência da adição de fibras (3%), do número de camadas (2 e 3), da orientação das camadas (0 e 90°) e da pressão de moldagem (0 e 2 MPa) sobre o comportamento à flexão dos laminados. Os resultados indicam que a adição de fibras de sisal aumentou, para todos os casos estudados, a capacidade de absorver energia, a resistência à flexão pós-fissuração e a deflexão última do material. Os laminados reforçados com 3% de fibras de sisal, distribuídas em três camadas ortogonais à direção do carregamento e submetidos à pressão de moldagem de 2 MPa, apresentaram o melhor comportamento mecânico.

Palavras-chave: argamassa de cimento, compósitos, resistência a flexão

Mechanical characterization of cement-based thin-walled laminates reinforced with sisal fibre

ABSTRACT

Because of hazards to human and animal health, the use of asbestos and its products is being prohibited all around the world and academic institutions and fibre cement producers have been engaged in intensive research to find asbestos-free cement products. The application of natural fibres such as sisal to replace asbestos fibres can bring economical and ecological benefits due to their availability, low cost, low consumption of energy and suitability to the semi-arid area of the Northeast of Brazil (where not many plants can grow). In this paper, cement-based laminates reinforced with continuous sisal fibre were produced. Three point bending tests were carried out to evaluate the influence of addition of fibre (3%), number of layers of reinforcement (2 and 3), fibre orientation (0 and 90°) and moulding pressure (0 and 2 MPa) on the flexural behaviour of the laminate. The results indicate that the fibre addition increased the toughness and post-cracking flexural strength of all composites studied. The laminate reinforced with 3% of sisal fibre arranged in three parallel layers and moulded at a compression pressure of 2 MPa presented the best mechanical behaviour.

Key words: mortar, composites, flexural behaviour

¹ PPGCEA/UEFS, BR 116, km 03, CEP 44031-460, Feira de Santana, BA. Fone: (75) 3224-8357. E-mail: lima.prl@uefs.br

² PEC/COPPE/UFRJ, Centro de Tecnologia, CP 68506, CEP 21945-970, Rio de Janeiro, RJ. Fone: (21) 2562-8479. E-mail: toledo@coc.ufrj.br

INTRODUÇÃO

Componentes laminares para construção civil são conhecidos desde o século XVIII quando, na Áustria, Ludwing Hatschek produziu placas de cimento e asbesto e fez com que o cimento amianto se tornasse o principal compósito utilizado na construção civil. Devido ao progressivo banimento da fibra de asbesto, fibras naturais e manufaturadas são testadas e novos processos de fabricação são desenvolvidos para preencher essa lacuna do mercado de produtos laminares à base de cimento (Coutts, 1988; Banthia et al., 1994; Paramasivam et al., 1994; El Debs & Naamann, 1995; Savastano Júnior et al., 2000; Toledo Filho et al., 2002). Os estudos já realizados demonstram que o asbesto não poderá ser substituído por outro tipo de fibra sem penalizar algumas das propriedades dos compósitos, tais como aderência química fibra-cimento e alta resistência mecânica; destaca-se, no entanto, que a utilização de algumas fibras manufaturadas ou vegetais propicia a obtenção de placas menos frágeis que as de cimento amianto o que origina, por exemplo, maior resistência ao impacto (Banthia et al., 1994); o objetivo passa a ser, portanto, desenvolver produtos que atendam às demandas de resistência e durabilidade para aplicações específicas na construção civil ou rural.

A utilização de chapas pré-moldadas obtidas a partir do aproveitamento de fibras e resíduos vegetais, vem sendo discutida no Brasil desde a década de 1980 (Ghavami & van Hombeeck, 1982; CEPED, 1982; Beraldo et al., 1991; Toledo Filho, 1997) visando, sobretudo, seu emprego sob a forma de painéis de vedação e de cobertura. O objetivo principal era o aproveitamento dos resíduos agroindustriais e a redução do custo de transporte e fabricação, visto que há possibilidade de fabricação dos produtos nas regiões produtoras das fibras; além disso, os materiais fabricados com a utilização de fibras vegetais e seus derivados conseguem reduzir a condutividade térmica das placas gerando maior conforto térmico nas construções rurais para criação animal (Padilha et al., 2001).

Outro fator importante relacionado à utilização da fibra de sisal na fabricação de laminados, reside no seu baixo custo, disponibilidade e pela possibilidade de agregar valor a um dos poucos produtos agrícolas que se desenvolvem satisfatoriamente na região semi-árida do Brasil. O aumento da demanda de mercado por esta fibra se refletirá na melhoria das condições de vida da população e, mesmo, na redução do processo de desertificação, que vem afligindo parte desta região (MCT, 2003). Um dos principais limitadores do uso da fibra em matrizes à base de cimento tem sido a deterioração precoce da fibra vegetal pelos produtos de hidratação do cimento; no entanto, estudos recentes têm demonstrado que este problema pode ser resolvido com a utilização de adições pozolânicas na matriz melhorando, inclusive, a resistência mecânica do produto final (Lima et al., 2003; Toledo Filho et al., 2003; Lima, 2004).

Desenvolveram-se e se avaliaram experimentalmente, neste trabalho, placas laminadas, formadas por matriz à base de cimento e reforço principal em fibras longas de sisal, com o objetivo de avaliar o seu comportamento sob um carrega-

mento que simule situações de uso comum em uma edificação. Ensaios de flexão em três pontos foram realizados, aos 28 dias de idade, com o objetivo de se estudar a influência da fração volumétrica de fibras (3%), do número de camadas (2 e 3), da orientação das camadas (0 e 90°) em relação às cargas de flexão e da pressão de moldagem (0 e 2 MPa) sobre o comportamento mecânico de placas laminadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Materiais utilizados

Produziram-se os laminados utilizando-se uma matriz de argamassa com traço, em massa, de 1:1 (cimento:areia), fator água-cimento de 0,3 e adição de 0,5% de superplastificante à base de naftaleno sulfonado (relação massa de sólidos do superplastificante/massa de sólidos de cimento); empregou-se cimento Votoran CP III – 40, com densidade de $3,0 \text{ g cm}^{-3}$ e área superficial medida por fisissorção (BET multiponto, com N_2) de $0,2974 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$; utilizou-se areia quartzosa de rio com módulo de finura 2,37 e massa específica de $2,64 \text{ g cm}^{-3}$, disponível comercialmente, além de fibras longas de sisal, fornecidas pela Associação dos Pequenos Agricultores do Município de Valente (APAEB), produzidas na Bahia e cortadas com comprimento de 400 mm. As fibras de sisal apresentaram densidade de $0,90 \text{ g cm}^{-3}$, módulo de elasticidade da ordem de 19,3 GPa e resistência a tração média de 577 MPa (Toledo Filho, 1997). Um volume de 0,5% de fibras curtas (25 mm) foi usado como reforço secundário, randomicamente distribuído na matriz, para controle da micro fissuração.

Métodos de produção

Para produção dos laminados foram fabricados moldes metálicos com dimensões internas de 400 x 400 mm, cujo fundo era furado (Figura 1) de forma a permitir a saída de água durante a moldagem e vibração, a qual era realizada externamente por uma mesa vibratória. Para evitar a perda de finos do cimento, o fundo era forrado com um geotêxtil e um filtro de papel.

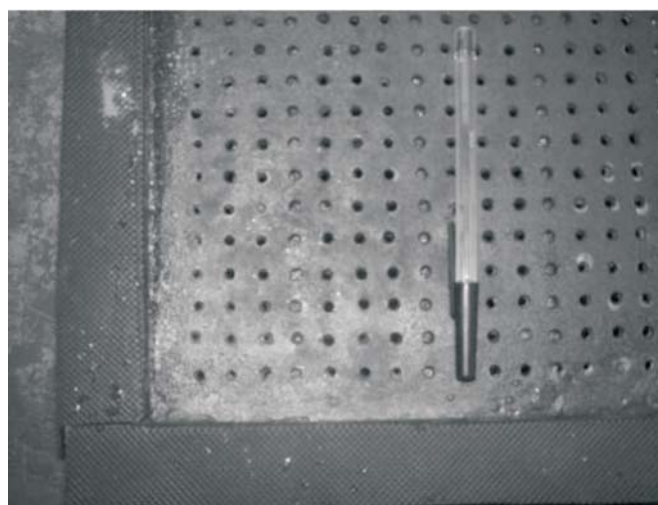


Figura 1. Detalhes do molde

Os laminados foram produzidos nas seguintes etapas: i) lançamento de uma camada de argamassa com 5 mm de espessura, reforçada com 0,5% de fibras curtas, na parte inferior do molde (Figura 2A); ii) uniformização da espessura da camada com um rolo plástico e iii) colocação manual da primeira camada de fibras longas (Figura 2B). Novamente era passado um rolo para que a fibra imergisse na argamassa, seguido de iv) lançamento e vibração de nova camada de argamassa. Os passos i) a iv) foram repetidos até que todas as camadas tivessem sido lançadas.

A.



B.



Figura 2. Produção do compósito: (A) lançamento da primeira camada de argamassa no molde metálico; (B) colocação da camada de fibra longa

Após o lançamento da última camada de argamassa, os corpos-de-prova eram levados até a prensa, para serem submetidos a pressão de moldagem; para garantir a distribuição homogênea de tensão sobre todo o laminado, a amostra era prensada entre duas placas de aço de 30 mm de espessura (Figura 3A); a pressão de moldagem foi de 2 MPa, aplicada em dois ciclos, conforme diagrama pressão-tempo, apresentado na Figura 3B; após a prensagem, os laminados foram

mantidos sobre a placa de aço, cobertos com pano úmido, durante 24 h, após as quais eram curados em água, até a idade de 28 dias, em um tanque de cura com temperatura de 25 ± 1 °C. As dimensões finais dos laminados, após a pressão de moldagem, foram aproximadamente 420 x 420 mm e espessura média de 13 mm caracterizando-se, então, como placas esbeltas, já que a menor dimensão lateral é maior que vinte vezes a espessura. A largura da placa foi reduzida para 400 mm em equipamento de serra adiantada e o comprimento foi mantido em 420 mm.

A.



B.

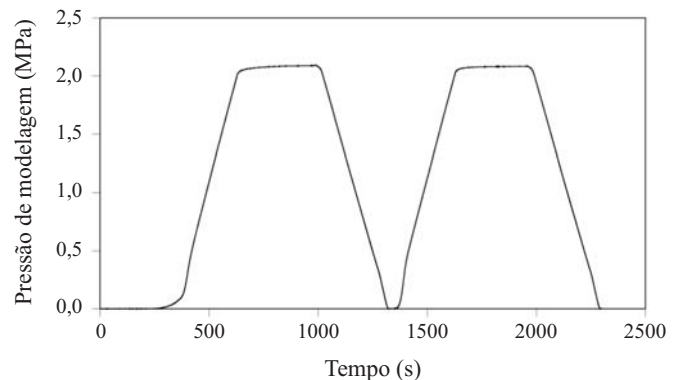


Figura 3. Prensagem do laminado: (A) amostra entre as placas de aço; (B) relação pressão-tempo

Programa experimental

O programa experimental, estabelecido para avaliar a influência da adição de fibras, do número de camadas de fibras longas e da orientação dessas camadas em relação ao carregamento na flexão (0° e 90°), está apresentado na Tabela 1.

Foram moldados laminados com duas camadas de fibras longas alinhadas ortogonalmente ao carregamento (L2), com três camadas alinhadas ortogonalmente ao carregamento (L3), e com duas camadas alinhadas ortogonalmente ao carregamento e uma alinhada paralelamente ao carregamento (L21). A Figura 4 apresenta os desenhos esquemáticos dos laminados L21 e L3. Placas de argamassa (M), sem fibra longa, e laminados sem pressão (L21S) foram moldados para servir como referência.

Tabela 1. Características dos laminados produzidos

Laminado	Espessura (mm)	Número de camadas	V_f (%)	Orientação* (graus)	Pressão (MPa)
M	11,5	-	-	-	2
L2	13,6	2	2,9	90	2
L3	14,3	3	2,8	90	2
L21	13,6	2	1,9	90	2
		1	1,0	0	
L21S	14,8	2	1,8	90	0
		1	0,9	0	

* 0° – fibras paralelas à carga; 90° – fibras ortogonais à carga

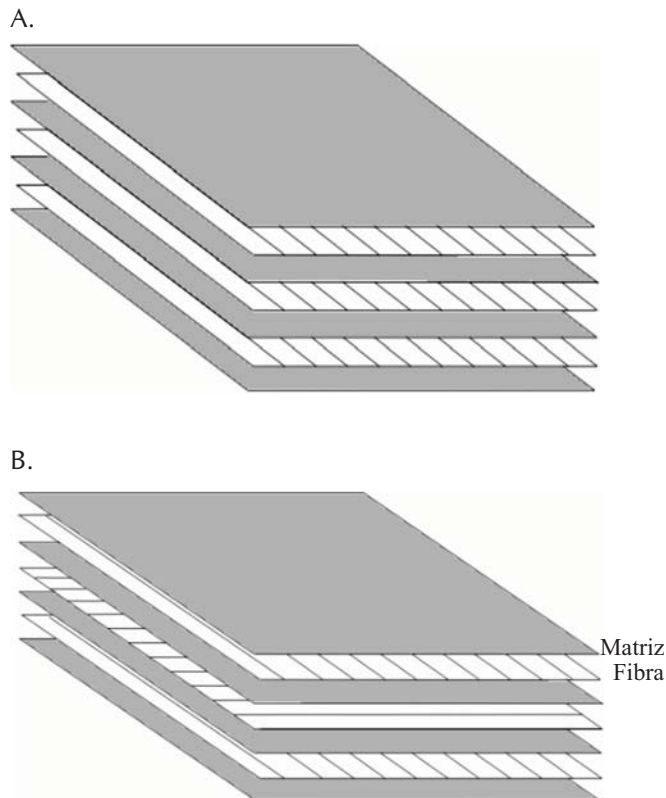


Figura 4. Distribuição das camadas nos laminados: (A) L3; (B) L21

O reforço principal foi dosado para um volume de fibras longas de cerca de 3%, independentemente do número de camadas, admitindo-se que a espessura total do laminado seria 13 mm; no entanto, apesar do controle do volume de material durante a moldagem, o processo de prensagem alterou, de forma diferenciada, a espessura das placas. Durante o processo de aplicação de pressão, ocorreram expulsão de água (Figura 5A) e redução da espessura da placa, ainda em estado fresco, como mostra a Figura 5B, que apresenta o deslocamento do atuador da máquina de ensaio durante a prensagem das placas M e L2.

Para a placa M sem fibras, verifica-se um deslocamento residual do atuador de cerca de 3,0 mm, enquanto para a placa L2 foi de cerca de 2,0 mm. A matriz se apresentou mais compressível que o laminado com fibra, com maior expulsão de água durante a prensagem e com redução da espessura da placa no estado fresco, como pode ser avaliado na Tabela 1, quando em comparação com os laminados compósitos.

A.



B.

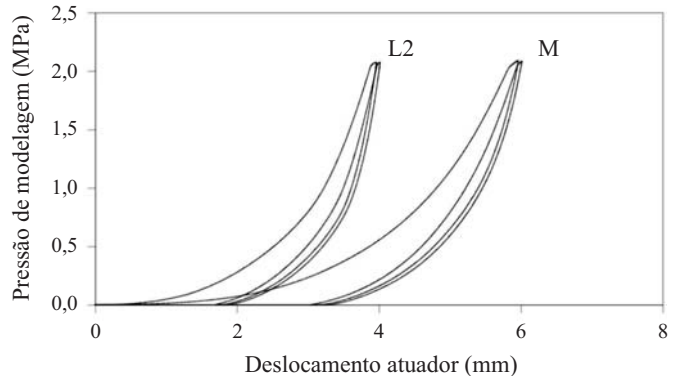


Figura 5. Redução da espessura durante a prensagem: (A) expulsão de água da placa; (B) relação pressão-deslocamento do atuador

A variação na espessura das placas alterou o volume de fibras dosado inicialmente. Para permitir uma comparação real dos resultados, a fração volumétrica de fibras (V_f) foi recalculada para cada laminado, após a medição da sua espessura final, utilizando-se a equação apresentada por Naaman (2000), a saber:

$$V_f = \frac{N \cdot W_f}{e \cdot \rho_f} \quad (1)$$

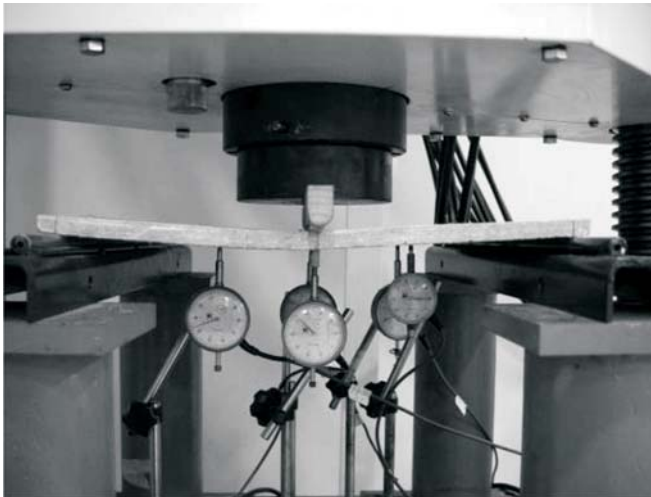
onde N é o número de camadas, W_f o peso unitário de cada camada por unidade de área, e a espessura do elemento e ρ_f a densidade da fibra de sisal.

Desta forma e embora a fração volumétrica nominal tenha sido de 3%, a fração volumétrica teórica de reforço variou entre 2,7 e 2,9%.

Método de ensaio

A configuração do ensaio de flexão em três pontos está baseada nas indicações da norma NBR 5641 (ABNT, 1977) “Chapas estruturais de cimento amianto – determinação da resistência a flexão”, e seu objetivo é avaliar o comportamento de placas de fibrocimento esbeltas sob carregamento. Realizaram-se ensaios com vão de 400 mm e carregamento linearmente distribuído no meio do vão, como mostra a Figura 6.

A.



B.

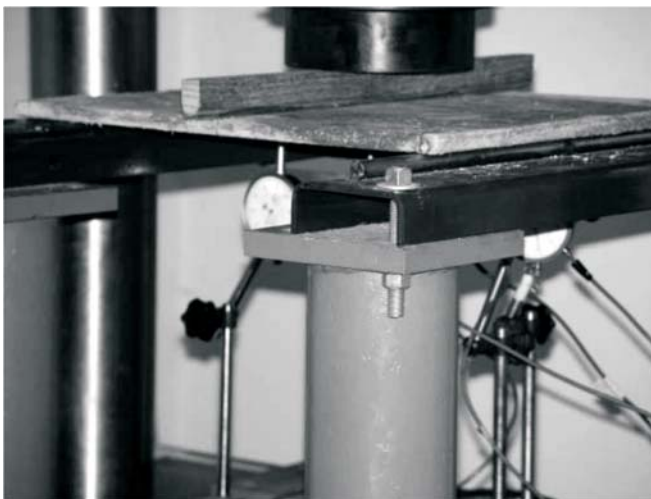


Figura 6. Vista frontal (A) e lateral (B) do dispositivo do ensaio de flexão

O ensaio foi realizado em uma prensa Shimadzu, com controle de deslocamento a uma taxa de 0,5 mm min⁻¹. Para medição das deflexões, empregaram-se cinco deflectômetros (relógios comparadores), sendo que apenas a leitura no meio da placa foi analisada neste trabalho. Os sinais obtidos pelos deflectômetros eram condicionados e adquiridos automaticamente por um sistema de aquisição de sinais, a uma taxa de cinco leituras por segundo, de forma a se obter, com precisão, a carga e o deslocamento correspondente à primeira fissura dos laminados.

Tabela 2. Resultados do ensaio de flexão

Laminado	P _f (CV) kN (%)	δ _f (CV) mm (%)	FCS MPa	σ _b MPa	T _n kN mm	P*				
						P ₁ *	P ₂ *	P ₃ *	P ₆ *	P ₁₂ *
M	1,0 (4,8)	0,7 (14,4)	11,4	-	0,9	0,4	-	-	-	-
L2	1,3 (4,6)	0,5 (24,3)	10,5	8,3	10,2	0,8	0,6	0,7	0,7	0,5
L3	1,3 (11,4)	0,7 (11,8)	9,6	10,4	18,3	0,9	0,9	1,1	1,0	1,2
L21	1,3 (25,3)	0,6 (25,1)	10,5	8,7	12,3	1,0	0,6	0,7	0,8	0,6
L21S	1,4 (-)	0,5 (-)	9,6	7,4	7,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,5

CV – coeficiente de variação

A partir das curvas carga-deflexão, os parâmetros seguintes foram calculados para a avaliação da eficiência do reforço:

- i. Módulo de ruptura ou resistência de primeira fissura (FCS), correspondente à carga de primeira fissura, calculada com a equação elástica de tensão, dada por:

$$FCS = \frac{M \cdot y}{I} \tag{2}$$

Para o cálculo das placas biapoiadas, com carga no meio do vão, tem-se

$$M = \frac{P_f \cdot L}{4}, \quad y = \frac{e}{2}, \quad I = \frac{b \cdot e^3}{12},$$

P_f é a carga correspondente à primeira fissura, L o vão livre e b a largura da placa.

- ii. Máxima tensão pós-fissuração (σ_b) – tensão “aparente” determinada a partir da carga máxima resistida pelo compósito após a primeira fissura através da fórmula de flexão elástica dada pela Eq. 2;
- iii. Tenacidade (T_n) – energia absoluta definida como a área sob a curva carga-deflexão. Neste trabalho, o valor de tenacidade foi obtido para uma deflexão de 12 mm.
- iv. Relação entre cargas, P* = P_n/P_f, dada pela norma belga NBN B15-238 (IBN, 1992), em que P_n é a carga a uma deflexão δ_n. Foram adotadas, neste trabalho, deflexões δ_n iguais a 1, 2, 3, 6 e 12 mm de forma a tentar descrever o comportamento total da curva carga-deflexão.

Após o ensaio de flexão amostras dos compósitos foram extraídas e analisadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV), usando-se imagem de elétrons retroespalhados, para se avaliar seu modo de ruptura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados experimentais

A partir das curvas experimentais carga versus deflexão, foram calculados os resultados médios de carga de primeira fissura (P_f), com sua respectiva deflexão (δ_f) medida no centro da placa, de resistência de primeira fissura (FCS) e da máxima tensão pós-fissuração (σ_b), os quais são apresentados na Tabela 2. Encontram-se também os valores de tenacidade (T_n) e a relação entre cargas P*. Os valores foram obtidos de duas amostras por mistura, com exceção do laminado L21S que teve apenas uma amostra avaliada. Encontra-se, entre parênteses, o coeficiente de variação, em percentagem, das propriedades medidas experimentalmente.

Curvas de tensão versus deflexão de uma das amostras avaliadas são apresentadas na Figura 7.

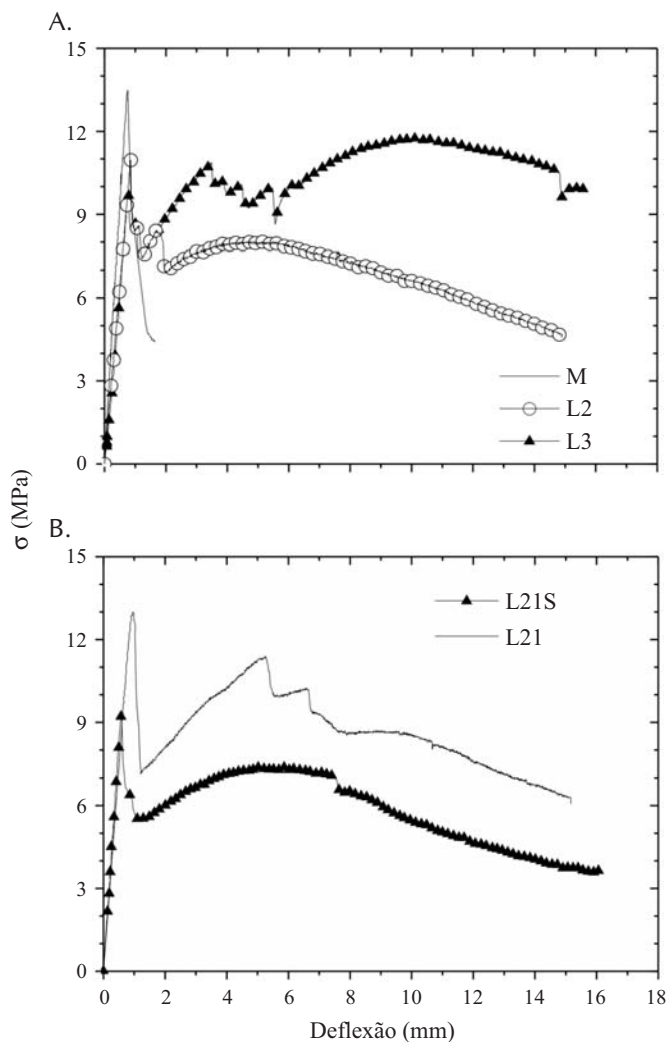


Figura 7. Curva típica tensão-deflexão para as placas: (A) M, L2 e L3; (B) L21 e L21S

Influência da adição de fibras

Analisando-se os valores apresentados na Tabela 2, observa-se que todos os compósitos laminados reforçados com fibras de sisal apresentam redução da resistência de primeira fissura (FCS), quando comparados com a matriz, a qual variou de 8,0%, para o laminado L2, a 15,8%, para os laminados L3 e L21S. A maior resistência de primeira fissura da matriz está diretamente associada à sua melhor compactação durante o processo de prensagem, o que pode ser comprovado pela menor espessura da placa M (Tabela 1) quando comparada com as demais. O resultado é um material mais denso, com menor porosidade e, conseqüentemente, mais resistente. É oportuno observar que, neste caso, a maior compactação corresponde também à expulsão de uma quantidade maior de água da mistura (Figura 5A), o que acarreta em uma redução do fator água-cimento e aumento da resistência da matriz.

Após a fissuração, no entanto, enquanto a matriz apresenta uma queda brusca de resistência, a presença das fibras nos laminados compósitos ligando as partes fissuradas, conduz à manutenção de parte da resistência, conseguindo manter as placas coesas. A máxima tensão pós-fissuração para

as misturas reforçadas com cerca de 3% de fibras de sisal variou de 7,4 a 10,4 MPa.

O comportamento pós-fissuração pode ser melhor avaliado pela análise do índice P^* , mostrado na Tabela 2, que indica a capacidade portante residual dos compósitos com o aumento da deflexão. Observa-se, para uma deflexão de 2 mm (índice P_2^*), que a matriz já não apresenta resistência residual, refletindo seu frágil comportamento. Os compósitos, por outro lado, apresentam comportamento aproximadamente elasto-plástico. Em geral, imediatamente após a fissuração da matriz, ou seja, durante o processo de transferência de tensões entre matriz e fibra, ocorre redução na capacidade resistente do laminado devido à baixa tensão de aderência entre a fibra de sisal e a matriz de cimento (Toledo Filho, 1997; Lima, 2004) e ao menor módulo de elasticidade da fibra de sisal. Para deflexões maiores, a presença das fibras de sisal propicia aumento na resistência dos compósitos. O laminado L3, por exemplo, apresenta, para uma deflexão de 12 mm, um valor de P^* de 1,2, ou seja, a capacidade portante é de cerca de 20% maior que sua carga de fissuração.

Além da elevada resistência pós-fissuração, os laminados também apresentam alta capacidade de absorver energia. A matriz, por exemplo, mostra um índice T_n de 0,9 kN mm enquanto o laminado L3 indica um valor de 18,3 kN mm, o que representa um acréscimo de mais de 20 vezes na tenacidade.

Influência do número de camadas

A comparação entre os resultados do ensaio de flexão para laminados com duas camadas de fibras (L2) e três camadas de fibras (L3) demonstra que, até o surgimento da primeira fissura, não ocorreu diferença significativa no comportamento dos dois laminados, com o laminado L2 apresentando um valor de resistência de primeira fissura (FCS) superior (cerca de 8%) ao do laminado L3.

Após a fissuração se nota, no entanto, o melhor comportamento do laminado reforçado com três camadas, com maior carga pós-fissuração para todas as deflexões medidas, maior resistência pós-fissuração σ_b (cerca de 25%) e maior tenacidade T_n (cerca de 78%). As curvas tensão-deflexão apresentadas na Figura 7 demonstram que embora ambos os laminados apresentem comportamento pós-fissuração com ganho de resistência, o laminado L2 inicia o processo de perda de resistência (amolecimento) já a partir de uma deflexão de cerca de 6 mm, enquanto o laminado L3 aumenta sua resistência até uma deflexão de 10 mm. Este fato está associado à melhor distribuição do reforço do laminado L3 ao longo da sua espessura. Enquanto o material sob flexão está no regime elástico, a camada de fibras localizada no meio da espessura está isenta de tensões mas, com a fissuração, esta camada começa a ser tensionada, passando a contribuir efetivamente para a resistência do laminado, melhorando o seu comportamento global.

Influência da orientação das camadas

Os resultados obtidos indicam que o laminado L21 apresenta um valor de resistência de primeira fissura (FCS) aproximadamente igual à do laminado L3. Após a fissuração, o laminado L3 apresenta maior resistência para

deflexões maiores (índices P_2^* P_3^* P_6^* P_{12}^* na Tabela 2), maior resistência pós-fissuração σ_b (cerca de 20%) e maior tenacidade T_n (cerca de 48%), sendo este comportamento associado à melhor distribuição do reforço com relação ao carregamento.

Ao se comparar o comportamento do laminado L21 com o do laminado L2, verifica-se que a presença da terceira camada de reforço, apesar de ortogonal à direção do esforço de tração (paralela ao carregamento), contribuiu para um aumento de cerca de 20% na tenacidade expressa pelo índice T_n . Os índices P^* também indicam o melhor comportamento pós-fissuração do laminado L21. Os índices FCS e σ_b não variaram significativamente.

Influência da pressão de moldagem

A aplicação de pressão durante a moldagem de materiais à base de cimento tende a aumentar sua resistência devido ao aumento da compacidade da mistura. Analisando-se os resultados obtidos para as placas L21 e L21S, moldadas com pressão e sem pressão, respectivamente, constata-se um aumento de cerca de 9% na resistência de primeira fissura (FCS), de 17% na máxima resistência pós-fissuração (σ_b) e de 62% na tenacidade na flexão (T_n).

Observando-se as curvas tensão-deflexão apresentadas na Figura 7, vê-se que, embora ambos os laminados apresentem um comportamento pós-fissuração elasto-plástico com endurecimento, o laminado L21 apresenta tensão aparente sempre superior à do laminado correspondente não-prensado, indicando que houve uma melhoria na aderência fibra-matriz com a prensagem.

Modo de ruptura dos laminados

Quando o laminado é submetido a carregamento, dá-se a transferência de tensões da matriz de argamassa para o reforço fibroso que, com a fissuração da matriz, passa a resistir aos esforços solicitantes. A fissuração se inicia ao redor da fibra, como mostra a micrografia apresentada na Figura 8, retirada de uma amostra após a ruptura.

Com o aumento do carregamento, ocorreu propagação

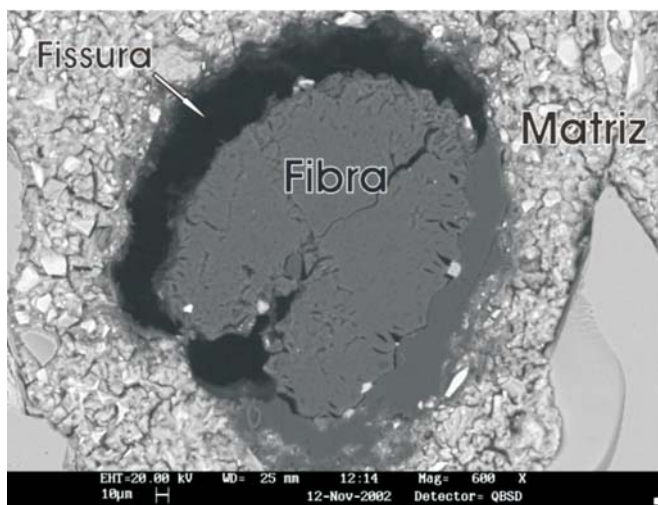
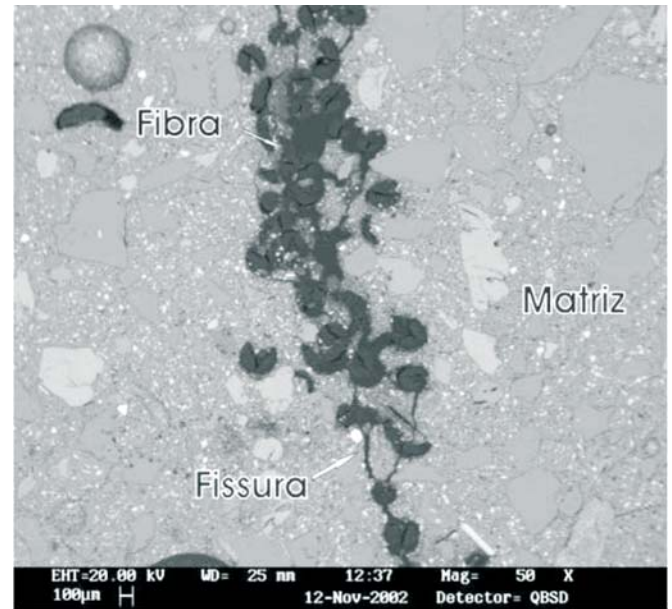


Figura 8. Fissuração interna ao redor da fibra após ensaio do laminado

das fissuras pela matriz ao longo da camada de reforço (Figura 9A). Externamente, a fissuração das placas laminadas aconteceu ao longo do eixo de carregamento no meio do vão e depois se propagou próximo a este eixo (Figura 9B), devido à transferência de tensões da matriz para o reforço.

A.



B.

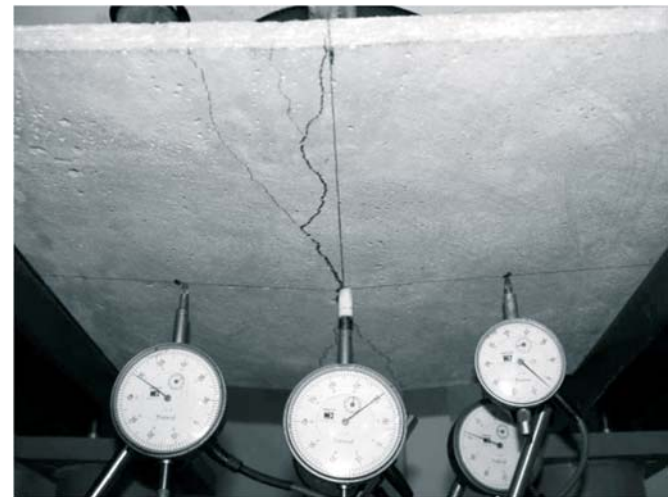


Figura 9. Fissuração da matriz ao longo da camada de reforço: (A) internamente; (B) externamente

O padrão de fissuração observado para os vários laminados ensaiados é apresentado na Figura 10, notando-se que, para a placa M, sem reforço, dá-se o surgimento de uma única fissura ao longo do eixo central da placa, na linha do carregamento. Para as placas L2 e L21 a fissuração se desenvolveu em forma de Y. Para o laminado L3, que apresenta melhor comportamento mecânico pós-fissuração, observa-se uma fissuração generalizada ao longo da superfície inferior da placa.

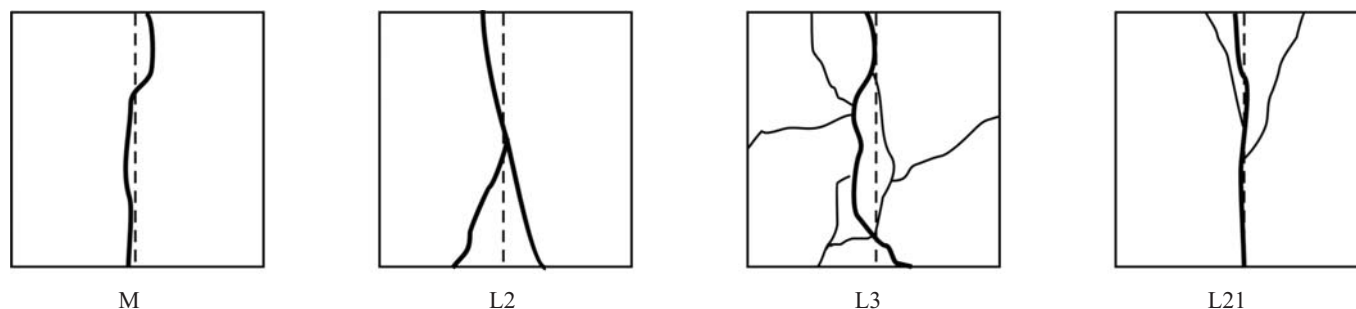


Figura 10. Fissuração típica dos vários tipos de placas

CONCLUSÕES

1. Além de resistente, o produto com fibra mostrou-se até 20 vezes mais tenaz que a placa de matriz, reduzindo a fragilidade, o que pode melhorar o comportamento sob impacto ou cargas dinâmicas.

2. Verificou-se uma redução na resistência de primeira fissura com a adição de fibras e um incremento da deformação de ruptura devido ao surgimento de múltipla fissuração da placa.

3. A distribuição das fibras em três camadas e a aplicação de pressão durante a moldagem permitiram a produção de um laminado com melhor distribuição de reforço e maior aderência fibra matriz, verificada pela maior distribuição de fissuras e maior capacidade portante.

4. Os resultados apresentados indicam, portanto, que é possível se obterem compósitos laminados com elevadas resistência à flexão, deformação de ruptura e tenacidade utilizando-se fibras longas de sisal como elemento de reforço.

AGRADECIMENTOS

À FAPERJ e ao CNPq pelo apoio financeiro.

LITERATURA CITADA

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5641 Chapas estruturais de cimento amianto: Determinação da resistência à flexão, Rio de Janeiro: ABNT, 1977, 2p.
- Banthia, N.; Chokri, K.; Mindess, S.; Ohama, Y. Fibre reinforced cement based composites under tensile impact. *Advanced Cement Based Materials*, v.1, n.3, p.131-141, 1994.
- Beraldo, A. L.; Nääs, I. A.; Freire, W. J. *Construções rurais: Materiais*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1991, 65p.
- CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Bahia. Utilização de fibras vegetais no fibro-cimento e no concreto-fibra. Rio de Janeiro: BNH-DEPEA, 1982, 72p.
- Coutts, R. S. P. Wood fibre reinforced cement composites. In: *Natural Fibre Reinforced Cement and Concrete*, 1988, London. Anais... London: Edited by R.N.Swamy, Blackie and Son Ltd, 1988. p.1-62.
- El Debs, M. K.; Naaman, A. E. Bending behaviour of mortar reinforced with steel meshes and polymeric fibers, *Cement and Concrete Composites*, England, v.17, n.4, p.327-338, 1995.
- Ghavami, K.; van Hombeeck. Application of coconut husk as an insulating material In: *Symposium on Building Climatology*, 1982, Moscow. Anais... Moscow: CIB, 1982. p.1-10.
- IBN – Insitute Belge de Normalisation, NBN B 15 238 Essais des betons reforce de fibres – essai de flexion sur éprouvettes prismatiques. Brussels: IBN, 1992, 9p.
- Lima, P. R. L. Análise teórica e experimental de compósitos reforçados com fibras de sisal. Rio de Janeiro: PEC/COPPEDEC/UFRJ, 2004. 263p. Tese Doutorado
- Lima, P. R. L.; Toledo Filho, R. D.; Gonçalves, J. P.; Farbairn, E. M. R.; Neumann, R. Influence of calcined-clay on the flexural behaviour of sisal fibre reinforced mortar composites submitted to accelerated aging. In: *Composite in Constructions*, 2003, Cosenza. Proceedings... Cosenza, 2003. p.227-233.
- MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. Convenção sobre mudança do clima, desertificação. http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/desert.htm. 23 Jul. 2003.
- Naaman, A. E. *Ferrocement & laminates cementitious composites*. Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000. 372p.
- Padilha, J. A. S.; Toledo Filho, R. D.; Lima, P. R. L.; Joseph, K.; Leal, A. F. Argamassa leve reforçada com polpa de sisal: Compósito de baixa condutividade térmica para uso em edificações rurais. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.21, n.1, p.1-11, 2001.
- Paramasivam, P.; Fwa, T. F.; Lau, C. M., Bending behaviour of concrete sections with thin cement composite overlay for pavement application. In: Balaguru, P. (editor). *ACI SP146 – Thin Reinforced concrete products and systems*. Detroit: ACI, 1994. p.91-110.
- Savastano Junior, H.; Warden, P. G.; Coutts, R. S. P. Brazilian waste fibres as reinforcement for cement based composites. *Cement and Concrete Composites*, England, v.22, n.5, p.379-384, 2000.
- Toledo Filho, R. D. *Natural fibre reinforced mortar composites: experimental characterisation*. Rio de Janeiro: DEC-PUC-Rio/DEC-Imperial College, 1997. 483p. Tese Doutorado
- Toledo Filho, R. D.; Ghavami, K.; England, G. L. Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability. *Cement and Concrete Composites*, v.25, n.2, p.185-196, 2003.
- Toledo Filho, R. D.; Ghavami, K.; Lima, P. R. L. Flexural toughness of sisal and coconut fibre reinforced cement mortar composites In: *Fourth International Symposium on Natural Polymers and Composites*, São Pedro, 2002. Anais ... São Pedro: UNESP, 2002, p.465-472.