

A incorporação de fibras de comprimento adequado à matriz de argamassa, material frágil, muda o comportamento desta, dando-lhe ductilidade com a distribuição das fissuras.⁽⁴⁾

É necessário um volume mínimo de fibras para que estas contribuam no acréscimo da resistência dos compostos à tração. Esse volume mínimo é denominado volume crítico⁽³⁾.

A resistência dos compostos aos esforços de tração cresce linearmente com o volume de fibras usado, até atingir um valor limite. Esse valor limite é determinado pela quantidade de fibras que pode ser adicionada de modo a ficar com dispersão uniforme e envolvida pela argamassa⁽⁵⁾.

O volume crítico varia com o comprimento, diâmetro e com o tipo da fibra, e com o método de fabricação usado^(3,5).

Concluindo, as porcentagens de fibras, em volume, que contribuem no acréscimo da resistência à tração da matriz estão compreendidas numa faixa de valores entre o volume crítico, $V_{f(\text{crít.})}$ e o volume limite de fibras, $V_{f(\text{lim.})}$.

As características de cada fibra - módulo de elasticidade, resistência à tração, dimensões - são determinantes para inferir sua contribuição ao fibrocimento: fibras com módulo de elasticidade e resistência à tração altos (amido, carbono) garantem um acréscimo da resistência à tração da matriz⁽³⁾; compostos com fibras de módulo de elasticidade baixos, fibras orgânicas, têm sua resistência ao impacto aumentada devido à fibra suportar grandes deformações⁽⁵⁾. A relação comprimento-espessura da fibra, denominada índice de enfiamento (ver tabela 1) traduz a atuação das fibras na distribuição dos esforços e, conseqüentemente, das fissuras: quanto maior esse índice melhor a aderência fibra-matriz, menor espaçamento e menor diâmetro das fissuras.

3 DESFIBRAMENTO

Dois tipos de desfibramento foram tentados: mecânico e químico. Com o mecânico pretendia-se obter as fibras propriamente ditas, de comprimentos maiores que 2 cm; utilizando um tratamento químico visava-se a extração das microfibras.

Como tratamentos químicos tentou-se a imersão em soluções de soda cáustica

(Na OH) a 20% e de hipoclorito de sódio (Na ClO) a 5%, à temperatura e pressão ambientes. O Na ClO deixou as fibras quebradiças e mudou seu aspecto visual sendo em vista disso, descartado. A soda cáustica na concentração usada, não prejudicou a resistência das fibras (ver figura 1, onde a fibra de coco tratada com Na OH teve acréscimos na resistência e módulo de elasticidade em relação a esses valores obtidos para as fibras no estado natural), entretanto, à temperatura e pressão ambientes não provocou um desfibramento satisfatório, com a obtenção de alguma quantidade de microfibras (no caso do bambu), após 24 horas de imersão na solução, de pedaços de 0,5 cm. Pakotiprapha^(4,9) obteve o desfibramento desejado com Na OH a 20% mas, a 170°C e pressão de 0,83 N/mm², por 6 horas, sendo este o mesmo procedimento utilizado para a obtenção da celulose, processo bastante dispendioso.

Aplicou-se ao bambu um desfibramento mecânico, cortando os colmos em pequenos pedaços, secando-se em estufa e depois martelando-os sem conseguir, entretanto, qualquer resultado, apesar desse ser o procedimento indicado por Pakotiprapha^(4,9) que, aparentemente, não encontrou as dificuldades por nós experimentadas. Tentou-se também a moagem dos pequenos pedaços secos de bambu em moinhos de bolas de aço e não se conseguiu também qualquer resultado. Crê-se, entretanto, que, com a utilização de máquinas desfibradeiras apropriadas, essas dificuldades sejam superadas.

Com o bagaço de cana-de-açúcar tentaram-se tratamentos mecânicos e químicos, não se conseguindo separar fibras ou microfibras do amido que as envolve. Quanto ao sisal, piaçava e fibra de coco, estes são vendidos comercialmente, já desfibrados.

Concluindo, com os tratamentos usados não se conseguiu isolar, em volume suficiente, as microfibras das plantas estudadas. Obtiveram-se na maioria apenas fibras (feixes de microfibras) de comprimentos e índices de enfiamento variados, sendo divididas em dois grupos: as de comprimento $\leq 1,0$ cm, fazendo o papel das microfibras nos compostos, e as de comprimento maiores ou iguais a 3,0 cm.

4 ENSAIOS COM FIBRAS

Os valores do peso específico e das dimensões das fibras estudadas são mostrados na tabela 1.

Quanto à resistência à tração, módulo de elasticidade e alongamento tem-se os valores obtidos na tabela 2. Para a realização destes ensaios foi utilizada a norma ASTM D 3379-75 "Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus for High - modulus Single - filament Materials". Para suporte das fibras utilizou-se papel, segundo o procedimento de ensaio descrito por Barkakaty⁽⁶⁾, sendo usada a cola comercial "Araldite" para colagem da fibra no referido suporte. O ensaio foi realizado numa máquina INSTRON, modelo 1131, com uma célula de precisão de 0,49 N (50 gf).

Através do peso específico real, do peso (determinado numa balança eletrônica com precisão de $0,98 \times 10^{-7}$ N) e da medição do comprimento chegou-se à área da seção transversal de cada fibra.

Os coeficientes de variação elevados mostrados na tabela 2 são devidos às grandes dificuldades encontradas na montagem dos corpos de prova, à variação da quantidade de cola usada e à pouca precisão da célula de carga disponível comparada com o nível de cargas obtido. As curvas tensão x deformação são mostradas na figura 1.

Ensaíram-se fibras de vidro para avaliação do método de ensaio usado, desde que estas fibras já têm as suas características físico-mecânicas definidas.

5 FIBRA VEGETAL-CIMENTO

Cortaram-se as fibras de coco, sisal e piaçava nos comprimentos desejados, sendo as de piaçava moídas posteriormente em moinho de bolas. Na tabela 3 tem-se os comprimentos e porcentagens de fibras utilizados. Devido às dificuldades encontradas no desfibramento não se empregou fibras do bagaço da cana-de-açúcar nos compostos.

Compostos com fibra de vidro, celulose e amianto foram ensaiados, sendo tomados como referência no decorrer do trabalho.

A amostra de celulose utilizada proveio de 80% de bambu mais 20% de folhas.

As misturas foram feitas manualmente, sem utilização de plastificante, encontrando-se dificuldades com os compostos de fibras de 6 cm de comprimento.

Nos compostos com celulose a mistura fibra-água necessária foi uniformiza-

da num dispersor de amostras sendo após acrescentados os outros materiais e feita a mistura manual.

Escolheu-se uma matriz constituída por cimento Portland comum e areia fina (módulo de finura = 1,49 e diâmetro máximo dos grãos = 1,2 mm) em volumes iguais, de acordo com as recomendações da bibliografia consultada^(3,7).

O fator água/cimento foi fixado em 0,43 a partir da trabalhabilidade da argamassa. Em alguns compostos com piaçava usou-se também a/c = 0,38 e nos com celulose só foi possível sua execução com a/c = 0,60, devido ao elevado índice de absorção desse material.

Na moldagem dos corpos de prova para ensaios controlou-se a dosagem por pesagem dos materiais.

5.1 Ensaaios de compressão e flexão

Desmoldaram-se corpos de prova cilíndricos e vigas destinados aos ensaios de compressão e flexão, respectivamente, 24 horas após a moldagem, sendo depois colocados em imersão por mais 6 dias quando então foram ensaiados (ver figuras 2 e 3). Nos ensaios de compressão seguiu-se o método MB-1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Utilizou-se, para os ensaios, uma máquina INSTRON, modelo 1128, de velocidade de deformação constante. Nos ensaios de compressão a precisão foi de ± 981 N (100 Kgf); nos de flexão, 49 N (5 Kgf). Os resultados são mostrados na tabela 3. Nas figuras 2 e 3 tem-se as curvas típicas, sendo escolhidos os corpos de prova com tensões de rotura mais próximos das tensões médias calculadas, considerados representativos de cada grupo ensaiado.

Com os mesmos compostos moldaram-se corpos de prova e vigas, com exceção das vigas armadas com fibras alinhadas, de comprimento igual a 27 cm que não tiveram corpos de prova correspondentes. Na moldagem dessas vigas colocaram-se camadas sucessivas de argamassa e fibras, sendo que a máxima porcentagem, em volume, de fibras conseguida foi de 3,9%.

5.2 Determinação do Peso Específico e da Absorção dos Compostos

Extraíram-se corpos de prova das extremidades não fissuradas das vigas,

sendo os ensaios efetuados segundo o método C 642-69 T da A.S.T.M.

A tabela 3 mostra os resultados obtidos.

5.3 Ensaio de Permeabilidade

Usou-se um método de ensaio sueco, M.I.S. 33 aplicado a concretos, para a verificação da permeabilidade dos compostos.

O método consiste em forçar a passagem de um fluxo d'água sob pressão constante através de corpos de prova.

Devido às diferenças entre as estruturas internas do concreto e da argamassa, os valores mostrados na tabela 3 não são índices de permeabilidade dos compostos, sendo apenas grandezas qualitativas, tomada a matriz como referência.

6 AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS

A inclusão de fibras, vegetais ou não (ver tabela 3), numa matriz de argamassa reduz sua resistência à compressão, sendo isso verificado para os compostos ensaiados. Esse fato, entretanto, era esperado e não prejudica o desempenho dos compostos desde que a resistência à compressão da matriz é muito alta, podendo ser reduzida e, o que se pretende é aumentar sua resistência à flexão.

Nota-se claramente a influência das propriedades físico-mecânicas das fibras (índice de enfiamento, resistência à flexão, módulo de elasticidade, alongamento) no comportamento dos compostos na flexão, comparando os resultados obtidos dos ensaios:

- O coco tem índice de enfiamento baixo assim como o módulo de elasticidade e resistência à tração. Analisando os valores da tabela 3, nota-se que a inclusão dessas fibras praticamente não contribuiu na resistência à flexão desses compostos, independentemente dos comprimentos e volumes de fibras usadas.

As fibras de coco devem ter, portanto, outra função no fibro-cimento que não o aumento da resistência à tração da matriz. Segundo Hannant⁽³⁾ e Walton⁽⁵⁾, fibras orgânicas de baixo módulo de elasticidade

aumentam a resistência ao impacto das matrizes de argamassa, sugere-se, então, a utilização das fibras de coco no fibro-cimento com essa finalidade.

- Depois do bambu, o sisal foi a fibra que apresentou maiores valores para as propriedades físico-mecânicas mencionadas anteriormente. Dentre os compostos estudados, os de sisal-cimento foram os que mostraram resultados mais interessantes, correspondendo aos princípios estabelecidos pelas teorias do fibro-cimento. Houve distribuição dos esforços e, conseqüentemente, distribuição de fissuras (nos compostos com fibras $\geq 3,0$ cm de comprimento); houve acréscimo no módulo de rotura, sendo observado, entretanto, que o volume ideal de fibras deveria estar entre 3% e 7%. 10% de fibras em volume deve ser, provavelmente, maior que o volume limite de fibras devido à redução na resistência à flexão apresentada. Como ilustração, os valores do volume crítico e volume limite para a utilização da fibra de vidro no fibro-cimento são respectivamente 0,4% e 7,0%⁽³⁾, isto é, as porcentagens de fibras, em volume, a serem utilizadas nos compostos com fibra de vidro devem ficar entre os valores 0,4% e 7%. A porcentagem em volume igual a 10%, portanto, é muito alta, justificando a queda nos valores das resistências à flexão.

- Devido às propriedades físico-mecânicas apresentadas pelo bambu, acredita-se que, se fosse conseguido o seu desfibramento, os compostos obtidos com essa fibra apresentariam resultados satisfatórios.

Observando os valores constantes na tabela 3 para os compostos com sisal vê-se que a resistência à flexão destes aumenta quando são usadas fibras de comprimento maiores. Com relação ao alinhamento, nos compostos com fibras de 6,0 cm houve dificuldades na uniformização da mistura, acarretando decréscimo de resistência e dispersão nos resultados dos ensaios. Com as fibras de 3,0 cm não apareceu esse problema. Por outro lado, para fibras de 27,0 cm colocadas alinhadas na mistura, os valores dos módulos de rotura foram os mais altos e a dispersão, pequena. Conclui-se, portanto, que, quando forem utilizadas fibras com comprimentos maiores que 3,0 cm, estas devem ficar alinhadas para que seja garantida a boa eficiência à tração. Ryder⁽⁷⁾ confirma essa conclusão quando diz que o comprimento das fibras a serem utilizadas no fibro-cimento varia entre 1,0 mm e 40,0 mm, podendo ser usadas fibras maiores devendo então ter estas um considerável grau de orientação.