

3 Procedimento Experimental

O presente capítulo descreve a metodologia adotada no trabalho, desde a confecção dos corpos de prova até os ensaios executados.

A princípio, seriam produzidos corpos de prova para os diferentes ensaios nas proporções de 8 e 14 % de polpa refinada e 8 e 14 % de polpa não refinada. Na prática, a confecção de corpos de prova entalhados com polpa não refinada tornou-se inviável, pois na desfôrma dos corpos de prova havia quebra dos mesmos. Foram feitas várias tentativas de contornar o problema sem alterar as condições estipuladas, mas nenhuma das tentativas foi capaz de solucionar o problema.

3.1. Produção dos compósitos

Este trabalho dá continuidade à dissertação de mestrado de Dos Anjos (2002), assim utilizou-se o método Hatschek, em escala laboratorial, aprimorado por Dos Anjos (2002) e por Rodrigues para a confecção dos compósitos. Por este método obtêm-se espécimes de pequena espessura (placas), no entanto os corpos de prova necessários para os ensaios propostos precisam ser robustos, logo se utilizaram placas ainda úmidas como matéria prima.

3.1.1. Dispersão da polpa seca

Para utilização da polpa é necessário dispersá-la em água, tendo em vista que o transporte desde a fábrica até o laboratório da PUC-Rio causou aglutinação dos filamentos. Essa dispersão foi realizada na proporção de 1 grama de polpa para cada 100 ml de água, utilizando um agitador mecânico (adaptado por uma furadeira com uma haste inserida no lugar da broca conforme mostrado na Figura 3-1), operada a uma velocidade de 2000 rpm. A dispersão foi realizada por 10

minutos, e em seguida a mistura foi peneirada (peneira nº 100), e acondicionada em sacos plásticos armazenados na geladeira.



Figura 3-1 Equipamento utilizado para a dispersão da polpa.

3.1.2. Moldagem das placas

O compósito produzido é composto exclusivamente de cimento (CP2E), polpa de bambu e água.

As fibras da polpa úmida foram dispersas no mesmo equipamento utilizado para a sua dispersão durante aproximadamente 5 minutos e em seguida foi adicionado o aglomerante de tal forma que sempre se obtenha um licor com teor de 25% a 30% em massa de material sólido (cimento + polpa). Este licor foi misturado por mais 5 minutos e em seguida transferido rapidamente para a câmara de moldagem de dimensões 120 x 120 x 100 mm. A câmara foi submetida a uma subpressão em sua face inferior através do acionamento de uma bomba de vácuo. Devido à sucção, utiliza-se sobre a tela da câmara uma manta de poliéster (geotêxtil da marca BIDIN OP 40) e papel de filtro quantitativo, evitando a perda do material sólido. Quanto à água succionada, esta foi armazenada em um recipiente adaptado à bomba.

Para uma melhor regularização da superfície da placa, aplicou-se 60 golpes em toda a sua superfície com um soquete metálico. A sucção foi aplicada durante aproximadamente 5 minutos, resultando numa placa com superfície sólida. A Figura 3-2 mostra o aparato utilizado.



Figura 3-2 Câmara de moldagem e recipiente e bomba.

3.1.3. Moldagem dos corpos de prova cilíndricos

Espécimes cilíndricos foram moldados a partir de placas obtidas conforme apresentado em 3.1.2 com o intuito de caracterizar melhor o comportamento à compressão desse material. Logo após a retirada das placas da câmara, estas foram quebradas em pedaços e colocadas dentro de um molde cilíndrico de 50 x 100 mm como mostra a Figura 3-3, em aproximadamente quatro camadas as quais foram adensadas com 60 golpes para homogeneizar o material e dar-lhe a forma cilíndrica.

Após os golpes os moldes foram levados para a máquina de prensagem, onde com o auxílio de um cilindro de aço foi aplicada uma pressão de 3 MPa durante 5 minutos (Figura 3-3), a pressão aplicada e o tempo de aplicação foi o mesmo utilizado por Dos Anjos (2002). A prensagem foi realizada para retirar o excesso de água que restou nas placas após a sucção e que tenha sido absorvida pela polpa. Este procedimento proporciona um material mais compacto e com menos vazios em comparação com o material sem compactação onde a água que não reage com o cimento é eliminada pela evaporação.

Em seguida os corpos de prova, ainda nos moldes, foram acondicionados em sacos plásticos, mantendo a umidade constante e evitando a perda de água para o ambiente. Após 24 horas, faz-se a desfôrma e a cura por imersão durante 27 dias.

Antes de ensaiar os corpos de prova, foi necessário fazer uma inspeção nos mesmo, onde normalmente foi necessário fazer regularização das faces para que estas ficassem niveladas e sem rebarbas (que eventualmente adquiridas na compactação do material). Para o acabamento do corpo de prova utilizou-se uma lixa 80 acoplada numa lixadeira de cinta (Figura 3-4).

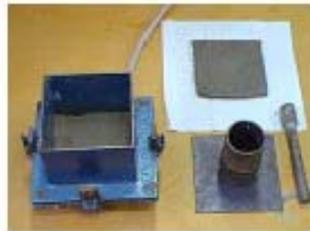


Figura 3-3 Moldagem e compactação dos corpos de prova cilíndricos.

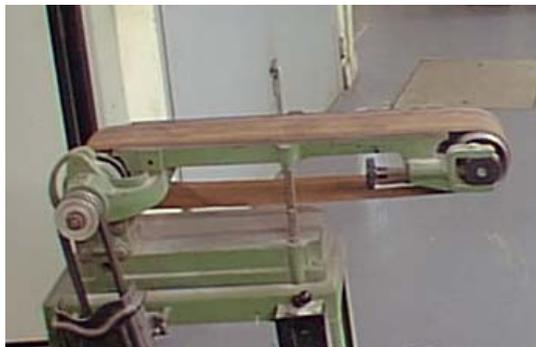


Figura 3-4 Lixadeira de cinta.

3.1.4.

Moldagem dos corpos de prova prismáticos para flexão

Para levantar dados sobre a tenacidade e a resistência à flexão, foram utilizados corpos de prova prismáticos, entalhados ou não, com dimensões de (300 x 50 x 45) mm. Nos corpos de prova de flexão com entalhe, adotou uma razão $a/W = 1/2$, onde a é a profundidade do entalhe e W a largura do corpo de prova. O entalhe escolhido foi do tipo reto com arredondamento na ponta e foram estabelecidos os valores de 0,5; 1,5 e 2,4 mm para os raios de curvaturas da ponta.

As fôrmas de madeira, desenvolvidas por Fujiyama (1997) e utilizadas nesse trabalho (Figura 3-5), são compostas por quatro laterais e o fundo, sendo que uma das laterais apresenta um macho de acrílico para a confecção do entalhe. Todas as partes foram encapadas com papel contact, protegendo a madeira da umidade e permitindo sua reutilização nas diversas moldagens. Por fim, as laterais são parafusadas ao fundo do molde e uma camada de vaselina é aplicada na paredes internas da fôrma inclusive no macho, facilitando a desfôrma.

O procedimento de moldagem das placas é repetido da maneira descrita em 3.1.2. As placas assim obtidas foram quebradas em pedaços e então colocadas dentro de um molde prismático, num total de aproximadamente oito camadas as quais foram adensadas manualmente. Após os golpes os moldes foram levados para a máquina de prensagem, onde com o auxílio de um punção de aço foi aplicada um pressão de 3 MPa durante 5 minutos (Figura 3-6). Os demais procedimentos de cura e armazenamento foram os mesmos utilizados para os corpos de prova de compressão. A inspeção e padronização das formas dos corpos de prova também são válidos para os corpos de prova prismáticos.

Tem-se que ressaltar que as fôrmas possuem altura de 50 mm, mas devido a compactação do material, houve uma redução de mais ou menos 5 mm na altura dos mesmos.



Figura 3-5 Molde prismático com entalhe.

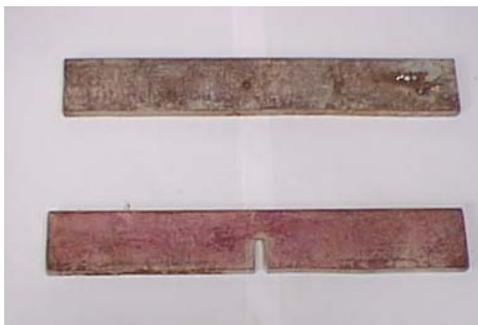


Figura 3-6 Detalhe dos punções para compactação do corpos de prova.

3.1.5. Moldagem dos corpos de prova prismáticos para impacto

Os corpos de prova para este ensaio têm uma forma prismática e de dimensões (20 x 20 x 150) mm. O procedimento de moldagem dos prismas para flexão descrito em 3.1.4 foi adotado até o ponto de cura. Após a cura, os corpos de prova foram cortados em uma serra circular nas dimensões citadas (Figura 3-7.) e acabados em lixadeira de cinta.



Figura 3-7 Serra circular para corte e detalhe do corpo de prova.

3.2. Ensaios

3.2.1. Ensaio de compressão

Foram realizados ensaios de compressão em espécimes do compósito de cimento reforçado com polpa nas porcentagens de 8 % e 14 % de polpa refinada e não refinada. O principal objetivo deste ensaio foi à determinação do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson do conjugado.

Foram ensaiados três espécimes para cada propriedade sendo todos instrumentados com *strain gage* tipo L para a determinação das curvas tensão versus deformação axial, lateral e volumétrica. As deformações axiais (ε_a) e laterais (ε_l) foram lidas diretamente dos extensômetros, já a deformação volumétrica, ε_v , foi calculada através da relação 3-1.

$$\varepsilon_v = \varepsilon_a + 2\varepsilon_l \quad (3-1)$$

O coeficiente de Poisson, ν , foi calculado segundo a equação 3-2.

$$\nu = \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_a} \quad (3-2)$$

O módulo de elasticidade, E , foi calculado considerando a lei de Hooke, dada pela equação 3-3.

$$\sigma_a = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [(1-\nu)\varepsilon_a + \nu(2\varepsilon_l)] \quad (3-3)$$

onde σ_a é a tensão axial calculada a partir da carga aplicada.

3.2.2. Ensaio de Flexão

3.2.2.1. Ensaio de flexão em corpos de prova sem entalhe

O principal objetivo deste ensaio é comparar o comportamento à flexão dos materiais utilizados. Para tanto o ensaio de flexão em três pontos (Figura 3-8) foi executado numa máquina Instron 5500R com uma velocidade de deslocamento do travessão de 1mm/min, obtendo-se a carga aplicada em função do deslocamento do travessão.

Com base nas curvas carga-deslocamento obtidas nos ensaios juntamente com as características geométricas dos corpos de prova, foi possível determinar a resistência do compósito à flexão (σ_c) e o módulo de elasticidade na flexão (E), conforme as equações 3-4 e 4-5.

$$\sigma = \frac{3PL}{2BW^2} \quad (3-4)$$

Sendo P a carga máxima atingida, L (270 mm) o vão entre os apoios, B e W espessura e largura dos corpos de prova, respectivamente.

$$E = \frac{mL^3}{4BW^3} \quad (3-5)$$

onde m é a inclinação da curva carga-deflexão, já corrigida conforme o procedimento apresentado 2.6.1.



Figura 3-8 Ensaio de flexão para corpos de prova sem entalhe.

3.2.2.2.

Ensaio de flexão em corpos de prova com entalhe

Neste ensaio procura-se observar a influência da geometria do entalhe no início da fissuração, bem como conhecer o comportamento (deformação) do material logo em frente da ponta do entalhe. Para tanto foi utilizado um extensômetro na ponta do mesmo (Figura 3-9), objetivando medir as deformações locais naquela região.



Figura 3-9 Ensaio de flexão para corpos de prova com entalhe.

Para o cálculo da resistência à flexão utiliza-se a relação 3-4 variando apenas a dimensão referente à largura dos espécimes, que com o entalhe fica reduzida à metade do seu valor original.

A colocação do entalhe visa proporcionar a concentração de tensões na proximidade de sua ponta, e utilizando a relação 3-6 a seguir pode-se expressar a tensão máxima na ponta, $\sigma_{máx}$, como:

$$\sigma_{máx} = K_{\sigma} \sigma_N \quad (3-6)$$

onde K_{σ} é o fator de concentração de tensões e σ_N a tensão nominal.

No que se refere a estimativa da integral J , foi feita à partir da área sob a curva carga deslocamento através da equação 2-14.

3.2.3. Ensaio de impacto

O ensaio de impacto seguiu o procedimento do ensaio de impacto Charpy, com as diferenças ficando por conta da não utilização do entalhe e da adoção de diferentes dimensões dos corpos de prova, Figura 3-10. O ensaio foi dividido em duas etapas. A primeira foi a verificação da filosofia do ensaio, onde utilizaram-se corpos de prova de várias seções quadradas e mediu-se a energia de fratura. Verificou-se que a energia por unidade de área era a mesma, assim sendo

poderíamos adotar um corpo de prova com seção maior que a utilizada no ensaio Charpy sem modificar o significado físico do teste. Adotou-se a seção quadrada de 20 x 20 mm, e executou-se o ensaio para os teores de polpa programados. A utilização desta seção foi simplesmente adotada pela facilidade na confecção dos corpos de prova, tendo vista que em seções menores, 10 x 10 mm, a confecção dos corpos de prova era dificultada pela quebra freqüente dos mesmos.



Figura 3-10 Ensaio de impacto.

3.2.4. Análise fractográfica e microestrutural

Utilizando-se o microscópio eletrônico de varredura (MEV), do laboratório do CETEM, e uma Lupa estereográfica, do laboratório de Geotecnia da PUC-Rio, foi possível visualizar a superfície de fratura dos corpos de prova.

As amostras foram preparadas a partir dos espécimes ensaiados na flexão e no impacto.

Para a análise fractográfica no MEV, as amostras foram cortadas (2 x 2) cm recobertas com uma fina camada de ouro antes de serem examinadas. Vale lembrar que, como as amostras são altamente higroscópicas, foram necessárias 24 horas para a obtenção do vácuo na deposição do ouro e mais 12 horas no MEV. Já para a utilização da lupa, as amostras foram examinadas e fotografadas sem nenhuma preparação prévia.