

3. Metodologia Experimental

3.1. Materiais utilizados

Para a produção dos espécimes foi utilizado um solo proveniente do distrito de Vila de Cava, no município de Nova Iguaçu - Rio de Janeiro. As razões da escolha do local de extração do solo levaram em conta as necessidades habitacionais da região e adjacências (Belford Roxo, Duque de Caxias e São João de Meriti) que formam uma área extremamente pobre no Estado do Rio de Janeiro (ver Apêndice A). Esta ação é justificada, uma vez que, se tem por objetivo futuro a recomendação de soluções habitacionais (sustentáveis) para a região. O solo extraído foi inicialmente denominado de solo 1. Adições de areia lavada foram necessárias e a esta nova configuração denominou-se solo 2.

Dois tipos de fibras vegetais foram utilizadas (curauá e sisal), com comprimento de 25 e 35 mm. As fibras de sisal foram adquiridas em loja de material de construção. Assim, as condições de beneficiamento, armazenamento e exposição são desconhecidas. As fibras de curauá são do mesmo lote das utilizadas por Picanço (2005). Cabe observar que as fibras estiveram acondicionadas por 3 (três) anos em sacos plásticos, em ambiente não controlado, sujeito à ação de insetos, fungos, variações de umidade e temperatura. As condições de extração e enriquecimento também não são conhecidas.

O aglomerante utilizado foi o CII-32F (cimento Portland com filler), marca Mauá, comercialmente vendido em lojas de materiais de construção. A água é proveniente da rede de abastecimento da cidade do Rio de Janeiro.

3.2.

Características físicas, químicas e mineralógicas dos solos

Os ensaios de classificação física dos solos seguiram os procedimentos adotados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

NBR 7181/1984 – Solo – Análise granulométrica;

NBR 6459/1984 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez;

NBR 7180/1984 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade;

NBR 6508/1984 – Solo – Determinação da massa específica aparente;

NBR 7182/1986 – Solo – Ensaio de compactação.

Os ensaios de classificação química realizados foram os de complexo sortivo, pH e ataque sulfúrico. Nessas análises apenas os minerais secundários como argilominerais, óxidos cristalinos de ferro e de alumínio e amorfos são decompostos. Esses minerais são os representantes principais das frações finas dos solos e principais responsáveis por sua atividade. Pelo ataque sulfúrico determinam-se os teores de óxidos de sílica, alumínio, ferro e titânio expressos em g/kg; enquanto que o complexo sortivo se refere à presença de cátions trocáveis existentes nos solos, expressos em cmol_c/kg (BRANT, 2005). A análise química foi realizada no Centro Nacional de Pesquisa de Solos CNPS/EMBRAPA e a metodologia experimental segue como o estabelecido pelo manual de métodos de análise de solos da Embrapa (1979).

A análise mineralógica tem a finalidade de identificar os argilominerais que constituem a fração argilosa do solo e foi realizada por Difratomia de Raios-X (DRX), que consiste basicamente na incidência de um feixe de Raio-X monocromático na amostra, o feixe difratado é expresso através de picos que se destacam da linha de base, registrados num difratograma que relaciona intensidades de difração obtidas em ângulos 2θ . A DRX permite identificar todas as espécies cristalinas contidas numa amostra, geralmente com porcentagem em peso não inferior a 1%. O instrumento utilizado na realização destes ensaios foi um difratômetro de marca SIEMENS, modelo D5000, que operou com emissão de feixe de radiação de Raios-X, varrendo a faixa angular (2θ) de 3° a 80° com passo de 0,02s, tempo de coleta por passo de 1s e temperatura de 25°C . Os ensaios foram realizados no Laboratório de Difração de Raios-X do Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio.

3.3. Características físicas das fibras vegetais

3.3.1. Geometria das fibras

A transferência de esforços da matriz para o reforço fibroso que determinará o comportamento do compósito resultante é influenciada, entre outros, pelo comprimento e diâmetro das fibras (AGOPYAN e SAVASTANO, 2003). Assim, é importante e necessária a avaliação destes parâmetros. Neste estudo foram adotados dois comprimentos de fibra (25 mm e 35 mm). O diâmetro das fibras avaliado é a média de 25 medições. As fibras foram secas ao ar, escolhidas aleatoriamente e analisadas em dois pontos distintos ao longo do comprimento, totalizando 50 pontos de medição. Um fissurômetro foi utilizado na estimativa do diâmetro. O fissurômetro é uma lupa para medição de fissuras com aumento de 10x, com escala graduada de 10 mm e precisão de 0,01 mm.

3.3.2. Teor de umidade

Para medir o teor de umidade natural as fibras primeiramente foram mantidas ao ar livre por 5 dias, seu peso ao ar (P_{ar}) foi determinado em balança eletrônica com precisão de 0,01 g. Posteriormente as fibras foram colocadas em estufa a uma temperatura entre 105-110°C por 24 horas, e pesadas novamente (P_{est}). A umidade natural foi estimada utilizando a equação 1.

$$H = \frac{P_{ar} - P_{est}}{P_{est}} \cdot 100\% \quad (1)$$

3.3.3. Peso específico

O peso específico das fibras foi medida utilizando o frasco de Chapman. Adotando-se a metodologia de Picanço (2005), as fibras foram cortadas com comprimento médio de 30 mm e secas em estufa até constância de peso. Por constância de peso entende-se duas pesagens consecutivas, espaçadas de 2 horas,

que não apresentem variação maior que 0,1%. Dentro do frasco de Chapman colocou-se 400 ml de água e 50 g de fibras. As fibras são deixadas imersas em água, por 24 horas, antes de ser efetuada a leitura do volume de água deslocada. Este procedimento é necessário para que a água ocupe o lugar dos vazios das fibras (figura 21). A equação 2 permitiu a estimativa do peso específico, onde P_{est50} equivale a 50g de fibras secas em estufa e L é a leitura feita no frasco de Chapman.

$$\gamma = \frac{P_{est50}}{L - 400} \quad (2)$$

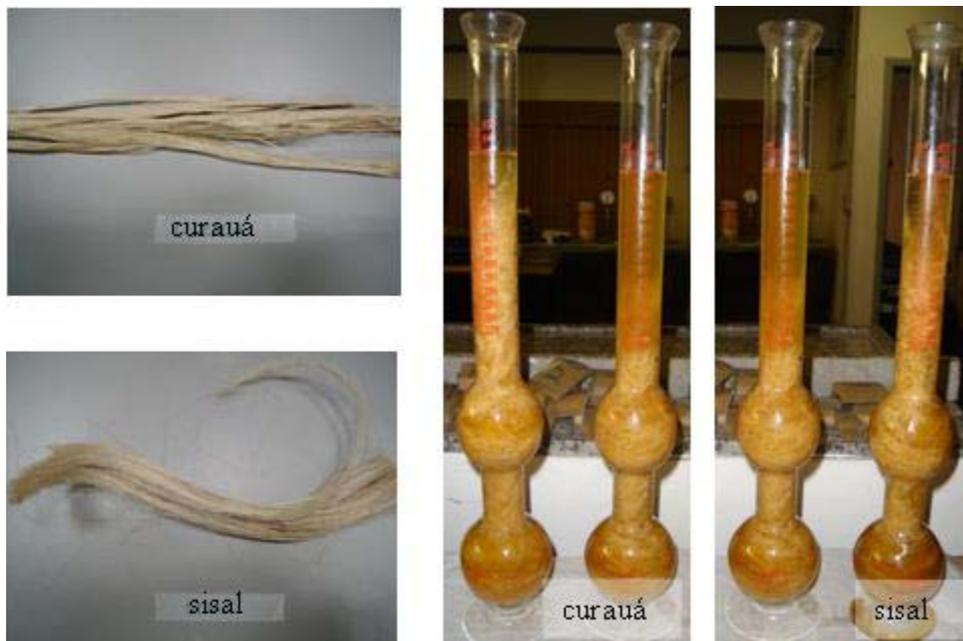


Figura 21. Determinação do peso específico das fibras vegetais.

3.3.4. Absorção d'água

O procedimento para a obtenção do índice de absorção d'água (I_{abs}), segue como realizado por Toledo Filho (1997). As fibras secas em estufa por 24 horas, a uma temperatura entre 105 e 110°C, são pesadas em balança eletrônica e posteriormente embebidas em água. O peso úmido é obtido em seguidos intervalos de tempo, 5 min, 15 min, 30 min, 60 min, 120 min e depois em períodos de 24 horas.

A equação 3 é utilizada para medir a capacidade de absorção d'água das fibras. P_{est} representa o peso da fibra seca em estufa e P_{um} o peso úmido (após imersão).

$$I_{abs} = \frac{P_{um} - P_{est}}{P_{est}} \quad (3)$$

O ensaio é realizado com a aplicação de papel absorvente para a retirada do excesso de água das fibras antes da pesagem. Em decorrência da ausência de especificações quanto à taxa de absorção mínima e máxima do papel absorvente e conjecturando que esta taxa pode influenciar significativamente no ensaio, extraíndo além da água em excesso, surgiu a necessidade da realização (desenvolvimento) de um ensaio que dispensasse o uso do papel.

Na metodologia desenvolvida, as fibras são cortadas e coladas pela extremidade em pequenas placas de alumínio (figura 22a). A cola utilizada foi o Sikadur 32 gel. Após a secagem da cola, as placas com fibras foram levadas à estufa, entre 105 e 110°C, até a obtenção de constância de peso e no mínimo por 24 horas. As placas são pesadas e fixadas em um varal posicionado sob uma superfície líquida, de modo que as fibras vegetais fiquem integralmente imersas em água (figura 22b). Durante o ensaio a temperatura da água variou entre 23,2°C e 23,8°C. Em seguidos intervalos de tempo as placas são retiradas, agitadas para remover o excesso de água e então pesadas em balança eletrônica com precisão de 0,01 g.

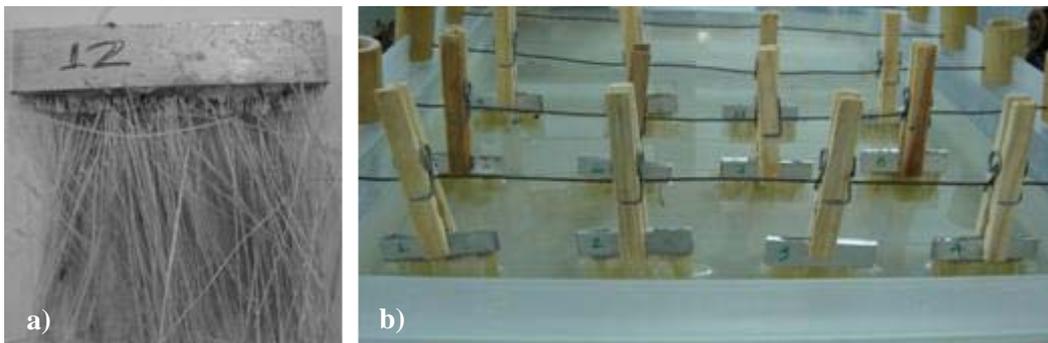


Figura 22. Procedimento experimental desenvolvido. a) fibras coladas nas placas de alumínio; b) varal posicionado sob uma superfície com água.

3.4. Preparação e ensaio dos corpos de prova

Nesta pesquisa, um dos parâmetros fundamentais, para a produção de espécimes representativos, é o controle da umidade durante a compactação. Assim, o primeiro passo foi o de determinar as curvas de compactação para os solos estudados. Convencionalmente, o ensaio para a determinação da curva de compactação é o ensaio normal de Proctor. Padronizado pela ABNT (1986), o ensaio consiste na compactação de uma amostra de solo dentro de um recipiente cilíndrico em camadas, sob a ação de um número determinado de golpes com um soquete de peso determinado, a uma altura também normatizada. O ensaio é repetido para diferentes teores de umidade, determinando-se, para cada um deles, o peso específico aparente. Com os dados obtidos, traça-se a curva $\gamma_s = f(h)$ – curva da densidade pela umidade –. A umidade ótima (h_{ot}) corresponde ao peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{s,max}$). A energia de compactação desse ensaio é de aproximadamente $6 \text{ kg.cm/cm}^3 \approx 0,6 \text{ MPa}$. Evidentemente, se a energia de compactação for outra, obter-se-ão valores diferentes de h_{ot} e $\gamma_{s,max}$. Sabe-se que à medida que a energia de compactação aumenta, o teor de umidade ótima decresce com o crescimento da densidade seca máxima.

Como referido, as máquinas utilizadas para a produção de Blocos de Terra Comprimida, aplicam, através de um sistema de alavanca, um carregamento quase estático, assim, para a moldagem de amostras representativas de blocos comprimidos, é necessário que a compactação seja realizada nestas condições. Baseando-se no trabalho de Mesbah et al (1999), amostras cilíndricas foram moldadas, e o procedimento de compactação segue como descrito abaixo.

Os moldes utilizados são de uso comum para a moldagem de espécimes de argamassa (50x100 mm), porém, para a determinação das curvas de compactação, houve a necessidade de adaptações nos moldes de aço. As figuras 23a,b ilustram o molde e a guia utilizada. Para ambos (molde e guia), foi indispensável o reforço com anéis de aço, para que pudessem suportar o carregamento a que seriam submetidos. A colocação de um anel de borracha na guia foi para evitar que, durante a compactação, a mistura fosse expelida pela abertura no molde.

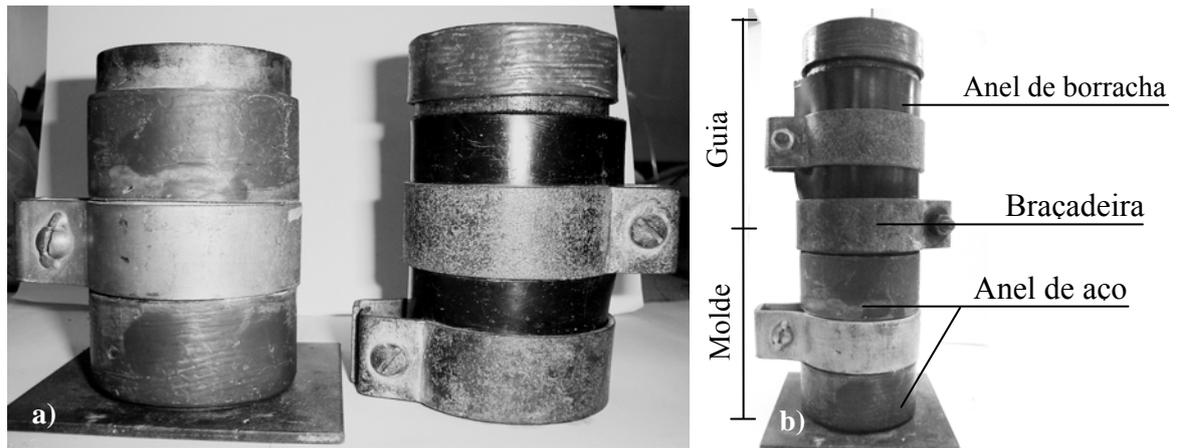


Figura 23. Moldes utilizados para confecção dos compósitos (ABNT, 1994a). a) detalhe das adaptações necessárias; b) molde+guia.

O procedimento experimental consistiu na deposição do material (solo + água) dentro do molde e guia e posterior posicionamento na máquina de ensaios e aplicação do carregamento (figura 24). O equipamento utilizado é uma EMIC, modelo DL-3000, com capacidade de carga de 30 kN. Estabelecido o primeiro ponto da curva de compactação, os demais pontos são obtidos de maneira análoga, a exceção da quantidade de água, que varia entre 2 e 3%. Após o carregamento o espécime é nivelado, retirado do molde e pesado. São extraídas três amostras de solo, pesadas e levadas à estufa por 24 horas, a uma temperatura de 105°C.



Figura 24. Máquina universal de ensaios utilizada para a compactação.

A massa úmida do espécime compactado (P_u) e o volume (V) permitem a determinação do peso específico aparente úmido (γ_u), através da equação 4. Computada a umidade na compactação, o peso específico aparente seco é então determinado pela equação 5.

$$\gamma_u = \frac{P_u}{V} \quad (4)$$

$$\gamma_s = \frac{\gamma_u \cdot 100}{100 + h} \quad (5)$$

A quantidade de água utilizada na moldagem dos espécimes correspondeu à umidade ótima obtida nos ensaios de compactação estática. Na preparação dos compósitos, o solo e o cimento são combinados (em estado seco) em um Mixer por 1 minuto, 70% da água é adicionada aos poucos durante os 2 minutos seguintes. As fibras vegetais são adicionadas lentamente com as mãos, cuidando para a manutenção de uma mistura homogênea (MESBAH et al, 2004). Após a adição das fibras vegetais o restante da água (30%) é adicionado. O processo completo de mistura é finalizado em 7 minutos. A mistura úmida permanece em saco plástico lacrado para evitar a perda de umidade para o meio e é utilizada no prazo máximo de 1 hora. O total produzido por vez foi o equivalente para a moldagem de 6 (seis) corpos de prova. A massa úmida é depositada no molde, e então posicionada com a guia no equipamento para compactação. O embolo anexado à máquina de ensaios, compacta o solo a uma velocidade de 65 mm/s, tal qual a velocidade de compactação das máquinas manuais de tijolos. Após a compactação e extração, os espécimes são classificados e levados à câmara climática (25°C e UR 90%) permanecendo até o dia do ensaio.

Os ensaios mecânicos realizados foram o de compressão simples e compressão diametral, segundo regulamenta a ABNT (1994b, 1994c), além do ensaio de absorção d'água (ABNT, 1984e). Foi utilizada uma máquina de ensaios, marca CONTENCO, com aquisição automática dos dados de cargas e deslocamento, usando-se uma célula de carga com capacidade de 50 kN e um LVDT (Linear Variable Differential Transducers) com escala de 1" (25,4 mm) e precisão de 1,27mm, posicionado sob o prato da prensa (Figura 25). Baseado nas

recomendações da ABNT (1994b), os ensaios foram executados com velocidade de carregamento de 0,55 MPa/s, continuamente e sem choques.

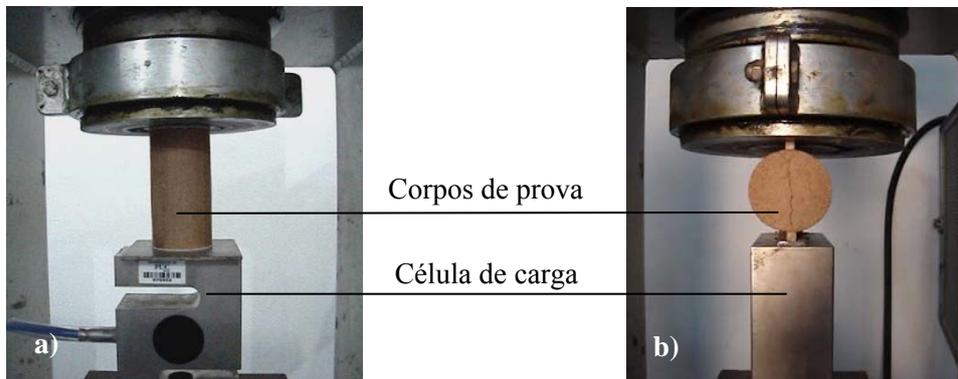


Figura 25. Máquina e instrumentação utilizada nos ensaios. a) ensaio de compressão simples; b) ensaio de compressão diametral.

Os ensaios avaliaram a influência da estabilização mecânica, física e química nas matrizes de solo. A fração de cimento nas misturas variou de 4% e 6%, em peso de solo seco. A escolha foi baseada nas considerações de Barbosa et al (1997). Segundo os autores, para solos argilosos é desejável um teor de cimento não inferiores a 6%. Para solos arenosos é indicado no mínimo 4%.

Na adição das fibras vegetais, foi analisada, durante o processo de compactação, a influência do comprimento e da variação volumétrica das fibras sob compressão simples e compressão diametral, além da análise da influência do reforço fibroso na porosidade do compósito. A escolha da fração volumétrica das fibras (0,5 e 1%) aliou o conhecimento teórico com o prático. Experimentações prévias indicaram que o equipamento disponível, somente permitiria uma homogeneização adequada, para misturas com volume de fibra inferiores a 1%. Guimarães (1990) comenta que a porção volumétrica depende da técnica de processamento utilizada para a mistura e do tipo de fibra.

Alguns espécimes foram instrumentados com extensômetros elétricos, tanto à compressão simples quanto à compressão diametral. Os equipamentos foram posicionados na metade da altura dos corpos de prova, nas direções longitudinal e transversal, conforme ilustrado nas figuras 26 e 27.

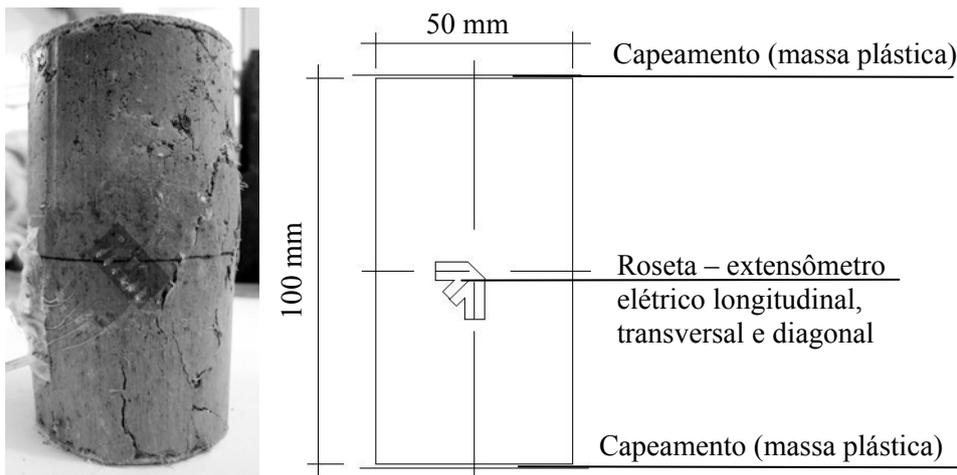


Figura 26. Fixação dos extensômetros elétricos (ensaio de compressão simples).

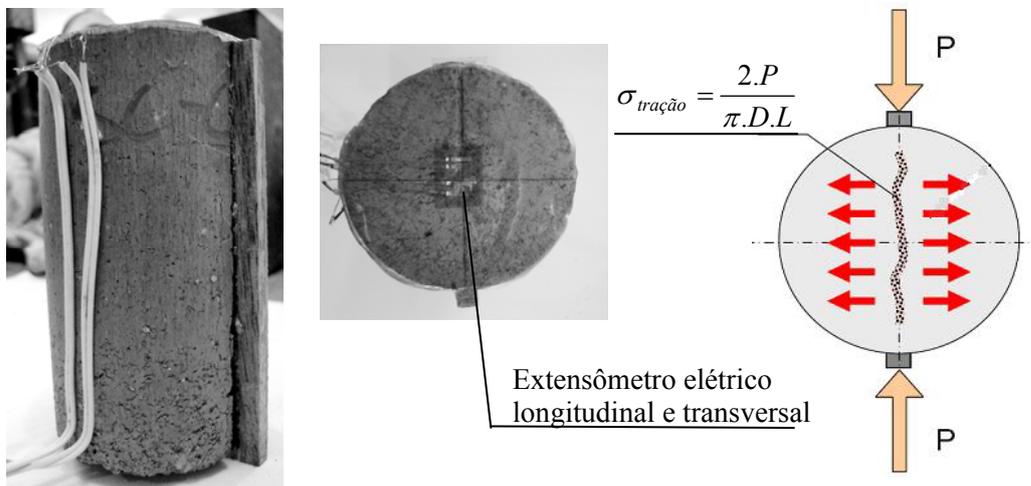


Figura 27. Fixação dos extensômetros elétricos (ensaio de compressão diametral).

3.4.1 Nomenclatura dos corpos de prova

Das combinações de aglomerante, do tipo, do comprimento e da adição volumétrica das fibras vegetais, para cada solo, têm-se dez compósitos distintos. A nomenclatura adotada para o solo argiloso é C e para o solo arenoso é S. O sistema de denominação das demais variáveis segue como descrito abaixo. O primeiro termo determina o tipo de solo (C ou S), o segundo é referente à quantidade de cimento, 4 e 6% (4C e 6C), os números subsequentes indicam o comprimento da fibra (25 e 35 mm), o par de letras identifica o tipo de fibra, FS para sisal e FC para curauá, por fim, a seqüência é finalizada com a fração volumétrica adicionada (0,5 e 1%). Como exemplo, o compósito C6C35FC1

indica solo argiloso com 6% de cimento, com fibras de Curauá de 35 mm de comprimento adicionados 1%, em peso de solo seco.

A influência do período de cura também foi analisada para os 7, 14, 28 e 35 dias, denotado como 7D, 14D, 28D e 35D respectivamente, assim, ao final da designação de cada corpo de prova é indicado seu tempo de cura. A decisão por um ensaio em período mais longo (35 dias) é decorrente da constatação de que as presenças de hemicelulose, lignina e açúcares, entre outras substâncias, são comprovadamente inibidoras do desenvolvimento das propriedades resistivas das matrizes cimentícias. Assim, é de interesse que se prolongue o tempo de cura para além do convencional, conforme apontado nos estudos de Venuat (1983, apud SARMIENTO e FREIRE, 1997), Swamy (1990) e Ramakrishna e Sundararajan (2005).