

AVALIAÇÃO DE SOLO-CIMENTO REFORÇADO COM FIBRAS DO COCO DE BABAÇU PARA PRODUÇÃO DE TIJOLO MODULAR ECOLÓGICO

Oliveira, C.R.; A.A. Rabelo; Fagury Neto, E.; Pimentel, M.P.M.; Alves, E. O.; Soares, M.S.;

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais

Folha 17 Quadra 04 Lote Especial; 68505-080 – Marabá-PA

clelia.rib@hotmail.com

RESUMO

O desenvolvimento sustentável com utilização de energia limpa se torna a cada dia uma exigência para as indústrias. Este trabalho avaliou as características de tijolos solo-cimento reforçados com fibras da palma coco de babaçu. Foram coletadas diferentes amostras de solo e após caracterizadas preliminares, foi avaliado o reforço preparando-se dois traços de 7/1 e 10/1 com teores de 0%, 0,3% e 0,6% de fibras de coco babaçu e caracterizadas segundo as idades de 7, 14 e 28 dias através dos ensaios de resistência à compressão, absorção de água e de durabilidade. Os resultados indicaram que adições de 0,3 e 0,6% de fibras para os traços 7/1 e 10/1 melhoraram a resistência à compressão. Os ensaios de resistência à compressão e absorção de água indicaram que os melhores resultados foram com o teor de fibra de 0,30% com traço 7/1 e 0,60 para traço 10/1. Neste aspecto, a melhor composição, traço e custo foi o para 10/1 com 0,6 % de fibra.

Palavras-chave: solo-cimento; reforço; fibras de coco babaçu.

INTRODUÇÃO

A construção civil em todo território nacional passa por um momento de crescimento que por consequência a aquisição de materiais do setor também aumentou. Diante dessas circunstâncias a busca pelo desenvolvimento sustentável,

emprego viável de novas ferramentas, reciclagem de resíduos fazem com que novos materiais de elevado desempenho sejam amplamente pesquisados.

O solo-cimento é um material alternativo que está plenamente de acordo com os princípios de sustentabilidade pode ser definido como um produto endurecido resultante da cura de uma mistura homogênea compactada de solo, cimento, água e eventualmente aditivos, em proporções requeridas que garante boa resistência mecânica e durabilidade ⁽¹⁾.

O processo construtivo do solo-cimento é muito simples. Apresentam boas condições de conforto, comparáveis às construções de alvenarias de tijolos e ou blocos cerâmicos, não oferecendo condições para a instalação e proliferação de insetos nocivos à saúde pública, atendendo às condições mínimas de habitabilidade ⁽²⁾. É caracterizado por possuir baixo custo e não produzir danos ambientais pode ser uma alternativa viável para diminuir o custo na construção civil e conseqüentemente na construção de casas populares.

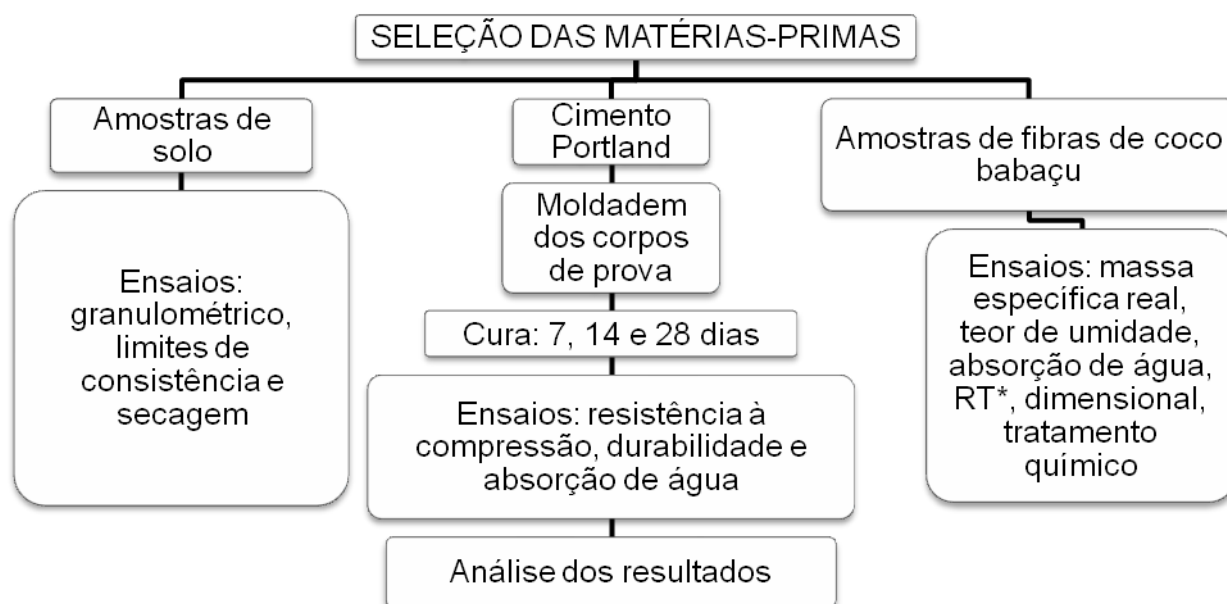
O foco deste estudo é avaliar o comportamento físico-químico e mecânico das matérias-primas locais para confecção de solo-cimento em corpos de prova cilíndricos para produção de tijolos modulares com variação nos teores de cimento e adição de fibras de coco babaçu. Os mesmos foram submetidos aos ensaios de compressão, absorção de água e durabilidade por secagem e molhagem. Os ensaios foram realizados de acordo com o tempo de cura e as normas relacionadas com a pesquisa proposta.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para execução deste trabalho foi realizado as seguintes etapas demonstrado na Figura 1:

Foram coletadas sete amostras de solos de áreas distintas e utilizada outra amostra já estudada no laboratório (AS1- Barro Bom). Cada amostra de solo recebeu uma identificação como Amostra de Solo – AS (AS1 a AS8). As amostras foram submetidas aos seguintes ensaios preliminares: análise de distribuição de tamanho de partículas, retração de secagem, limite de consistência, fases mineralógicas por difração de raios X, e classificação segundo a norma ABNT 12253/1992 ⁽³⁾ para determinação do teor de cimento. Conhecidas as propriedades

dos solos escolheu-se aquele que melhor se adequou ao propósito de estudo de acordo com normas existentes.



*Resistência à tração.

Figura 1 - Fluxograma para confecção dos corpos de prova solo-cimento-fibra.

O ensaio de granulometria por peneiramento foi realizado segundo as prescrições da ABNT NBR 7181/1984 ⁽⁴⁾, utilizando as peneiras com malhas ABNT nº 16, 30, 70, 100, 140 e 200.

A determinação dos limites de consistência ou limites de Atterberg (limite de liquidez e limite de plasticidade) dos solos foi realizada conforme as normas NBR 6459/1984 e NBR 7180/1984 ^(5,6).

O cimento utilizado foi o CP II F-32 por apresentar características favoráveis para o bom desempenho do tijolo solo-cimento e pela fácil disponibilidade. Este cimento é composto de silicatos de cálcio, alumínio, ferro, sulfato de cálcio e fíller carbonático.

As fibras de coco de babaçu (*Orbignyda. Phalerata*) foram adquiridas pelas quebradeiras de coco babaçu integrante do Movimento Interestadual das Quebradeiras de Coco Babaçu - MIQCB em São Domingos do Araguaia/PA. As fibras foram retiradas da região do epicarpo e mesocarpo e diminuídas na faixa de 15 a 20 mm no comprimento. Em seguida, foram tratadas com solução NaOH 0,1N por 2 h, lavadas e secadas em estufa por uma hora. Posteriormente, foi determinada a massa específica real, teor de umidade e absorção de água das fibras tratadas e

não tratadas e submetidas ao ensaio de tração da fibra não tratada em máquina universal de ensaios EMIC DL10000/Software Tesc versão 3.05.

Os corpos de prova foram moldados em molde cilíndrico com 52,9 mm de diâmetro por 94,7 mm de altura e prensados (prensa hidráulica TIL MARCON – 15 t) com uma pressão de 2,21 MPa. A moldagem seguiu a norma da ABNT NBR 12024/1992 ⁽⁷⁾ adotando-se o método “A”, utilizando 100% do material passante na peneira nº 4 (4,8 mm), tendo sido adotados os traços 7/1 e 10/1. A mistura é composta por solo, cimento Portland, 10% de água e fibras de coco babaçu tratadas quimicamente. Os teores utilizados são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 - Proporção das matérias-primas utilizadas em % peso.

TRAÇO SOLO-CIMENTO	TEOR DE SOLO (%)	TEOR CIMENTO (%)	TEOR DE FIBRAS (%)		
7/1*	87,50	12,50	0	0,3	0,6
10/1	90,91	9,09	0	0,3	0,6

*Tantas partes de solo para uma de cimento.

Para cada traço foram 18 corpos de prova para cada teor de fibra, e outros dois lotes de 27 foram destinados aos ensaios de resistência a compressão, absorção de água e ensaio de durabilidade por molhagem e secagem para idade de 7 dias de cura para cada traço/composição. Os ensaios foram realizados nos corpos de prova de acordo com o tempo de cura de 7, 14 e 28 dias.

Após a moldagem, os corpos de prova foram mantidos em caixa de isopor com o intuito de tornar o ambiente propício a cura completa, sem perda de umidade, e após as 6 h de cura foram molhados 3 vezes ao dia durante 7 dias.

O ensaio de durabilidade por molhagem e secagem foi realizado em três corpos de prova para cada composição (traço/teor de fibra) e idade de 7 dias de cura. Determinou-se a variação de umidade e volume, assim como a perda de massa em corpos de prova previamente selecionados. Para isto foi registrado o volume inicial após desmoldagem e após 7 dias de cura. Após imersão em água por 5 h, verificou-se massa e volume, seguindo-se de secagem em estufa a 70 °C durante 42 h com nova verificação. Realizada 18 escovações com escovas de cerdas metálicas de modo paralelo ao eixo longitudinal e 4 paralela as suas bases, repetiu-se as etapas de imersão, secagem e escovação mais cinco vezes até

completar 6 ciclos de 48 h cada. Ao final desta fase foram realizados os cálculos de variação de umidade, variação de volume e a perda de massa dos corpos de prova.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 2 e 3 apresentam as curvas de distribuição granulométrica e faixa de plasticidade das amostras dos solos estudados.

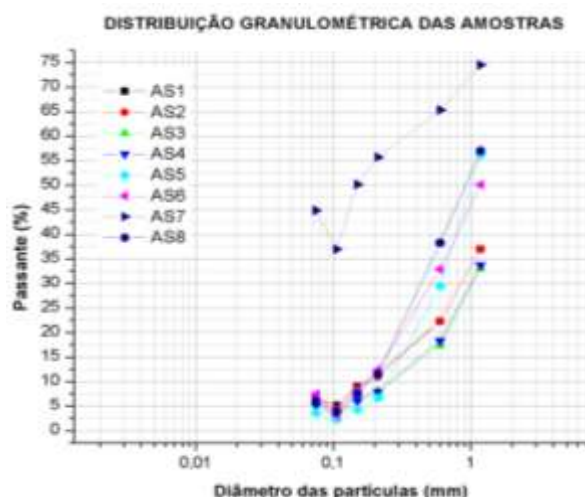


Figura 2 – Curvas de distribuição granulométrica das amostras de solo.

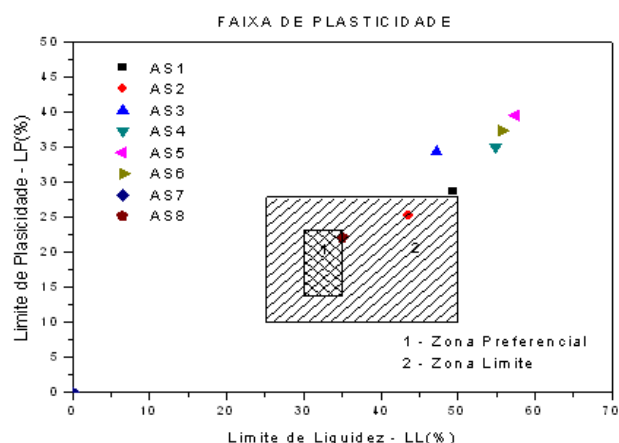


Figura 1 - Faixa de plasticidade das amostras de solo coletadas.

As porcentagens que passaram na peneira ABNT Nº 4 (4,8 mm) para todas as amostras de solo foram 100% e enquanto a AS1, AS2, AS3, AS6 e AS7 apresentaram 10 a 50% de massa passante na peneira ABNT nº 200 (0,0075 mm), conforme as especificações da norma ABNT NBR 10833:1989. As amostras AS4, AS5 e AS8 tiveram massa passante < 10%, conforme se pode verificar na Figura 1.

Analisando a Figura 3 apenas as amostras AS2 (Zona Limite) e AS8 (Zona Preferencial) se enquadraram dentro da região hachurada, regiões de trabalho aceita para solo-cimento. Diante destes resultados o solo selecionado para compor a composição solo-cimento-fibra foi a AS8.

Os resultados de resistência á compressão para o traço 7/1 e 10/1 são apresentados nas Figuras 4 e 5, de acordo com idade de cura, traço e teor de fibra. O comportamento dos corpos de prova com adição de 0,3% e 0,6% fibras de coco babaçu obtiveram melhores resultados em relação ao solo-cimento convencional. Os valores de resistência à compressão com adição de fibras na idade de 28 dias de

cura apresentaram-se, na ordem de 6,06, 8,39 e 7,25 MPa, respectivamente, 0%, 0,3% e 0,6% de fibra. O que satisfaz as condições de utilização após a idade de 28 dias, que corresponde a média dos valores de resistência à compressão igual ou maior que 2,0 MPa, e valores individuais iguais ou maiores que 1,7 MPa exigido pela norma da ABNT NBR 10834/1994. Contudo, o traço 7/1 com 0,3% de fibra apresentou o melhor resultado de resistência aos 28 dias.

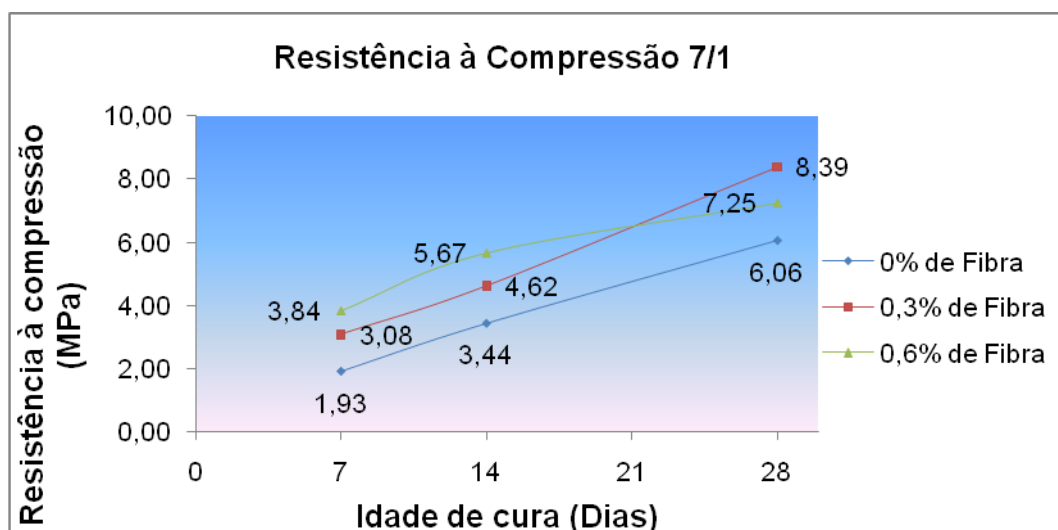


Figura 4 - Resistência à compressão traço 7/1 com 7, 14 e 28 dias de cura.

Com o aumento do teor de fibra há um aumento considerável na resistência à compressão. Vários são os mecanismos que podem explicar este fenômeno, tais como: as fibras transferem esforços para o solo, provocando uma redistribuição de tensões e, portanto, deformações no interior do solo. Esse resultado é positivo, pois quanto maior for a interação entre a interface destas duas fases melhor será o resultado. A condutividade hidráulica é favorecida com a adição das fibras, uma vez que há um aumento na permeabilidade, sendo maior esse aumento quanto maior a quantidade de fibras, assim as reações de hidratação do cimento serão efetivadas.

A fibra, com alta absorção de água, reteve a água da mistura, não deixando tanta água disponível para ser perdida para o meio, por secagem, aumentando assim a resistência. A água retida pelas fibras pode promover uma espécie de cura interna do solo com o cimento, favorecendo o ganho de resistência.

Os valores de resistência à compressão para o traço 10/1 com adição de fibras na idade de 28 dias de cura apresentaram-se, na ordem de 2,24 MPa, 2,99 MPa e 4,02 MPa, respectivamente, 0%, 0,3% e 0,6% de fibra, podem ser verificados na

Figura 5. O que satisfaz as condições de utilização após a idade de 28 dias, que corresponde a média dos valores de resistência à compressão igual ou maior que 2,0 MPa, e valores individuais iguais ou maiores que 1,7 MPa exigido pela norma da ABNT NBR 10834/1994. No entanto, esses valores são inferiores se comparado com o traço 7/1.

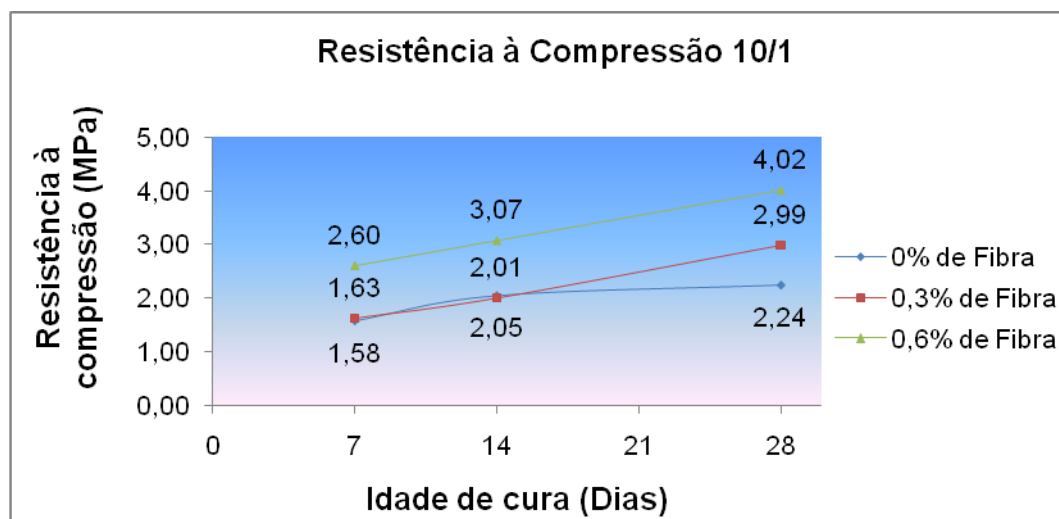


Figura 5 - Resistência à compressão traço 10/1 com 7, 14 e 28 dias de cura.

Em relação à fratura pode-se observar, no ensaio de resistência à compressão, um aumento da ductilidade das amostras de solo-cimento pós-fissuração, em relação à matriz. Mesmo após a fissuração da matriz as fibras mantiveram as faces das fissuras unidas, não permitindo, assim, a perda da continuidade do material e evitando sua fratura catastrófica. Isso vem mostrar o papel das fibras como elementos capazes de promover maior capacidade de deformação, o que pode contribuir para o aumento da tenacidade do material e uma capacidade, mesmo que progressivamente diminuída, de suporte de carregamento, após a fissuração da matriz.

Os resultados apresentado na Figura 6 mostram valores de absorção de água dos corpos de prova incorporados com 0%, 0,3% e 0,6 % de fibra de coco babaçu para o traço 7/1 de acordo com idade de cura e teor de fibra. Observa-se que a absorção de água em geral está enquadrada no limite exigido pela NBR10834/1994 onde a média é $\leq 20\%$ e o valor individual superior a 22%. Na idade de 7 dias de cura a absorção de água foi maior do que as outras idades, diminui na idade de 14

dias e sofre um aumento na última idade. A composição para este traço que apresentou melhor comportamento foi com adição de 0,3% de fibra.

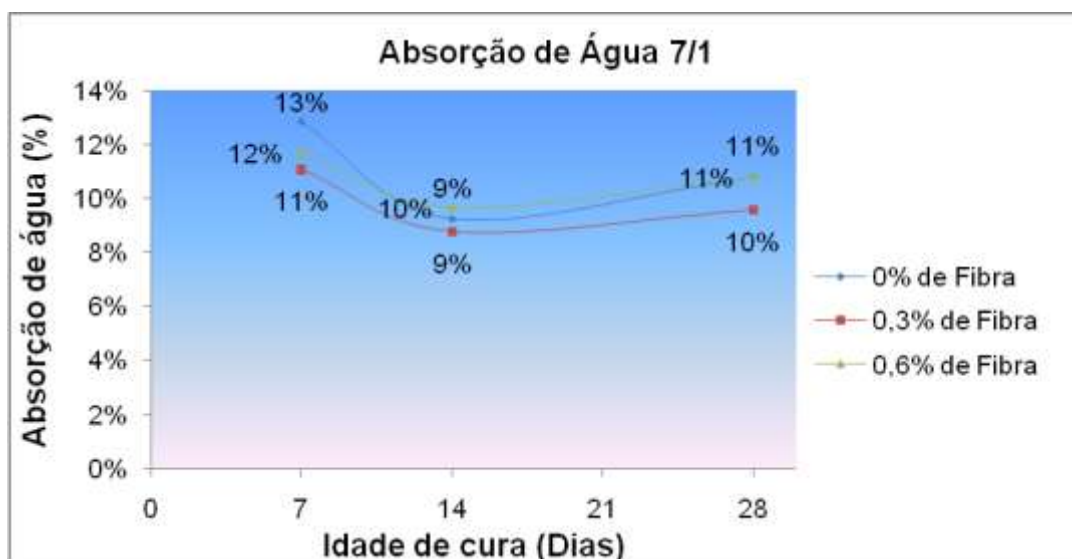


Figura 6 - Absorção de água traço 7/1 com 7, 14 e 28 dias de cura.

Na Figura 7 estão contidos os valores de absorção de água dos corpos-de-prova incorporados com 0%, 0,3% e 0,6 % de fibra de coco babaçu para o traço 10/1 de acordo com idade de cura e teor de fibra. A absorção de água também sofreu um acréscimo na idade de 7 dias, houve uma diminuição com 14 dias de idade e aumento na última idade. Todos os resultados estão conformes à NBR10834/1994. A composição que apresentou melhores resultados foi com o teor de 0,6% de fibra.

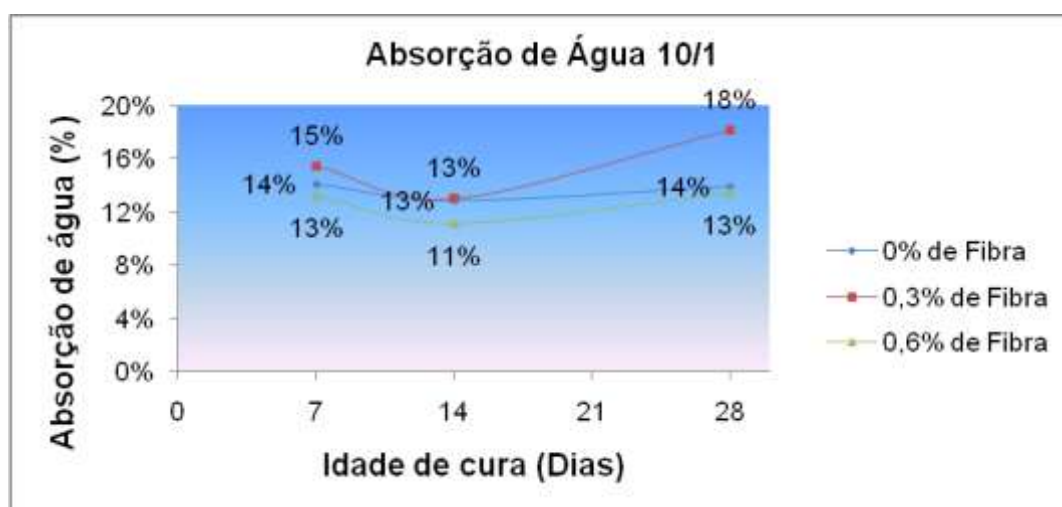


Figura 7 - Absorção de água traço 10/1 com 7, 14 e 28 dias de cura.

O aumento da absorção de água na última idade pode ser explicado por uma possível fragilização da fibra pelo processo de mineralização, resultante da migração de produtos de hidratação, especialmente o hidróxido de cálcio, para a cavidade central, paredes e vazios da fibra, onde cristalizam. Outra possibilidade é a formação de defeitos com aumento de vazios durante a secagem, ou ainda, a absorção da água presente na fibra pela matriz solo-cimento para dar prosseguimento nas reações de hidratação gerando espaços vazios entre a fibra e solo-cimento, favorecendo a maior absorção de água.

De acordo com norma ABNT NBR 13553/1996 a variação de volume, após o sexto ciclo do ensaio de durabilidade por molhagem e secagem, deve ser igual ou inferior a 1% e a perda de massa não deve ser superior, levando em consideração a classificação do A-2-6, a 10%.

As Figuras 8 e 9 indicam os valores de variação de volume durante os 6 ciclos do ensaio de durabilidade para os traços 7/1 e 10/1 e devidos teores de fibra. A variação de volume ao 6º ciclo foi superior a 1% nos corpos de prova com adições de fibra para o traço 7/1. As sucessivas molhagens e secagens podem ter gerado defeitos na interface matriz-fibra, devido à capacidade de absorção de água das fibras, retração durante a secagem e absorção de água pela matriz solo-cimento.

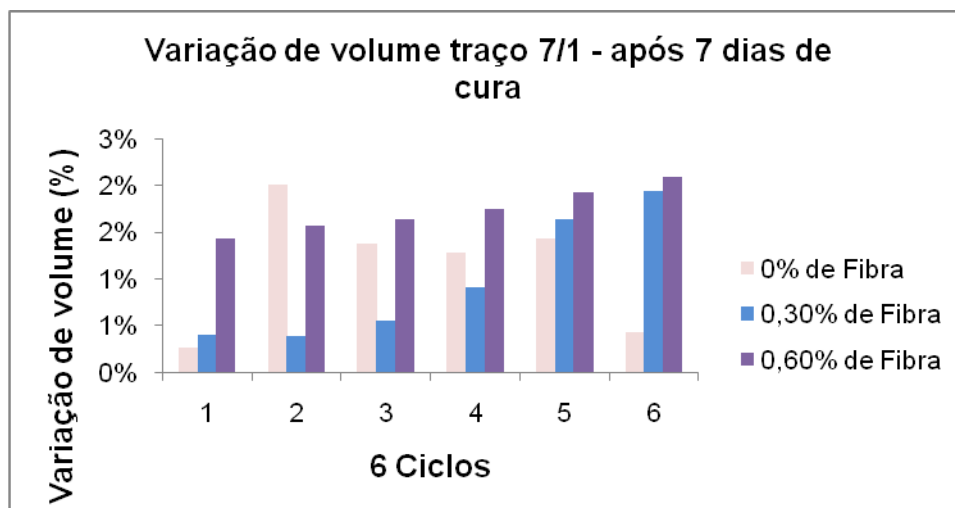


Figura 8 - Variação de volume traço 7/1 com diferentes teores de fibra.

No traço 10/7 nenhuma composição atendeu as especificações expressas na norma, todas tiveram variação de volume superior a 1%, entretanto a variação de volume foi mais significativa na composição sem adição de fibra, isto pode ser

explicado pelo baixo teor de cimento, impossibilitando a hidratação e reação da calgerada com os argilominerais.

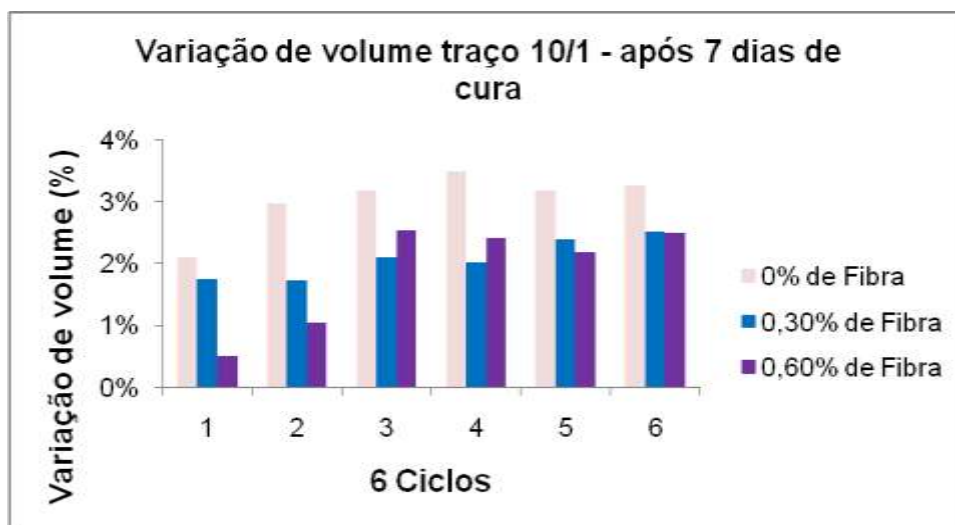


Figura 9 - Variação de volume traço 10/1 com diferentes teores de fibra.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização das matérias-primas utilizadas para execução deste trabalho foi possível determinar o melhor solo a ser incorporado no solo-cimento levando em consideração a distribuição granulométrica, os limites de consistência, fases mineralógicas e a retração por secagem, sendo escolhido o solo AS8 por ser o mais adequado para processos de estabilização com cimento Portland.

As fibras de coco babaçu apresentaram elevado potencial para aplicações como reforço em solo-cimento e elevaram a resistência à compressão dos mesmos atuando como elementos de reforço, reagindo como obstáculos à propagação de fissuras.

Os corpos de prova atenderam as condições mínimas de resistência à compressão e absorção de água aos 28 dias de idade para os diferentes teores de cimento e fibra.

O aumento gradativo do teor de cimento melhorou significativamente o desempenho mecânico das misturas de solo-cimento-fibra, sendo que as combinações com 0,3% de fibra levaram aos maiores valores de resistência à compressão simples para o traço 7/1 e 0,6% para o traço 10/1.

Os resultados dos ensaios de absorção de água também se enquadraram nas especificações exigidas pelas normas brasileiras. No traço 7/1 a composição mais adequada foi a de 0,3% de fibra e para o traço 10/1 foi a 0,6% de fibra.

Os resultados de resistência à compressão e absorção de água foram melhores para o teor de fibra de 0,3% 7/1 e 0,6% 10/1. Neste aspecto, a melhor composição, traço e custo foi o traço 10/1 com 0,6% de fibra.

Os resultados do ensaio de durabilidade em relação à porcentagem de perda de massa e variação de volume foram superiores ao recomendado pela norma para as composições com fibra do traço 7/1 e todas as composições do traço 10/1. Vale ressaltar, que os resultados de durabilidade foram comparados com os valores dispostos na ABNT NBR 13553/1996 para aplicações de solo-cimento em paredes monolíticas, e não para uma norma voltada para produção de tijolo.

Os resultados obtidos neste estudo permitiram concluir que o material à base de solo-cimento-fibra possui indicativos que o qualificam para o uso na construção civil, mais precisamente para produção de tijolo modular destinado para habitações, e atende aos requisitos de desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural.** NBR 13553. Rio de Janeiro, 1996. 2p.
- [2] KOLLING, E. M. **Avaliação físico-mecânica de traços de solo-cimento constituídos com solo argiloso.** UTFPR, Pato Branco/PR, 2010. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/index.php/sicite/2010/paper/.../836/555>>. Acesso em: 02/05/11.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Solo-cimento – dosagem para emprego como camada de pavimento.** NBR 12253. Rio de Janeiro, 1992. 4p.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos.** NBR 12024. Rio de Janeiro, 1992. 5p.

- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Solo: análise granulométrica – método de ensaio.** NBR 7181. Rio de Janeiro, 1984. 13p.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Solo: determinação do limite de liquidez – método de ensaio.** NBR 6459. Rio de Janeiro, 1984. 6p.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Solo: determinação do limite de plasticidade.** NBR 7180. Rio de Janeiro, 1984. 3p.

APPRAISAL OF SOIL-CEMENT REINFORCED WITH BABASSU COCONUT FIBER FOR ECOLOGICAL MODULAR BRICK PRODUCTION

ABSTRACT

Sustainable development with use of clean energy becomes day by day a requirement for industries. This study evaluated the characteristics of soil-cement bricks reinforced with fibers of babassu coconut palm. Various samples were collected and after preliminary characterization, the reinforcement was evaluated preparing two traces of 7/1 and 10/1 with 0%, 0.3% and 0.6% babassu fiber concentrations and evaluated according to the ages of 7, 14 and 28 through the compressive strength tests, water absorption and durability. The results indicate that with 0.3 and 0.6% fiber additions and traces of 7/1 and 10/1 improved compressive strength. The compressive strength and water absorption tests indicated that the best results were with 0.3% of fiber content with trace 7/1 and 0.6 for trace 10/1. In this regard, the best composition, trace and the cost was to 10/1 with 0.6% fiber.

Keywords: soil-cement, reinforcement; babassu coconut fibers.