

Avaliação de blocos maciços de solo – cimento com adição de substrato de coco para uso em pavimentos

Catharine Pereira Brandão
Universidade Federal da Bahia – Brasil
cathebrandao@gmail.com

Marília Zachow
Universidade Católica do Salvador – Brasil
mszachow@gmail.com

Miriam Carvalho
Universidade Católica do Salvador – Brasil
mfcmachado@gmail.com

ABSTRACT

Among many advantages of using soil-cement, the most relevant is the environmental impacts reduction, since its manufacturing process occurs through the hydration reactions of the cement and soil compaction at its point of stability, dispensing the burning. The addition of fibers could provide a weightless, more ductile and toughness composite material. The objective of this work is to develop a new composite material using coconut substrate added to the soil with a 20% cement content for conformation of a block and use as semi-permeable pavement layer. The blocks after molding were submitted to the study of simple compression strength at 7, 14 and 28 days, as well as to water absorption and wetness and drying durability tests. It has been found that the block with 20% cement and 2% of substrate presents better surface abrasion conditions, it is more ductile and toughness, although its resistance is below the typical values found in concrete blocks used for light traffic (35MPa).

Key-words: Soil-cement; Coconut Fibers; Pavement.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as vantagens da utilização do solo-cimento, a mais relevante é a redução dos impactos ambientais, uma vez que seu processo de fabricação se dá através das reações de hidratação do cimento e com o solo compactado em seu ponto de estabilidade, dispensando a queima (CEPED, 1984). Quanto à fibra de coco, esta é um material biodegradável facilmente adquirido na região nordeste do Brasil, em cidades litorâneas, e quando adicionada à mistura pode de gerar respostas satisfatórias do produto final quanto à ductibilidade e leveza (MARTINS, 2013).

Comparados aos blocos convencionais cerâmicos, os blocos de solo-cimento ajudam na redução de emissão de gases tóxicos, CH₄ (metano), CO₂ (dióxido de carbono) e CO (monóxido de carbono), devido à supressão do processo de queima. Além disso, geram maior permeabilidade quando utilizados como camada de revestimento, se comparados com os revestimentos asfálticos e de concreto (GRANDE, 2003; SOUZA *et al.*, 2008; TARQUI *et al.*, 2012; CARVALHO *et al.*, 2016).

Materiais compósitos são definidos como aqueles oriundos da combinação de dois ou mais materiais diferentes em propriedades físicas, químicas e mecânicas com interface distinta e a

finalidade da criação de um terceiro material multifásico e com características específicas para a aplicação desejada (CALLISTER, 2002). A fase matriz, que no material estudado neste trabalho é o solo-cimento possui algumas funções principais, como: unir as fibras, atuar como meio em que uma tensão será transmitida e distribuída pelas fibras, proteger as fibras contra danos superficiais causados por abrasão mecânica e por reação química com ambiente (BRANDÃO, 2015).

Tarqui *et al.* (2010) e Carvalho *et al.* (2016) obtiveram bons resultados de resistência e durabilidade com a aplicação de solo com teor de areia maior que 45% em avaliações laboratoriais e de campo com a mistura de solo-cimento para aplicações em pavimento de tráfego leve como camada de revestimento. Ferrari *et al.* (2014) confeccionaram blocos de solo-cimento com adição de cinzas de bagaço de cana de açúcar.

O objetivo desse trabalho é desenvolver um novo material compósito utilizando substrato do coco adicionado ao solo com teor de 20% de cimento, para conformação como bloco para camada de revestimento de pavimento semi-permeável.

2. REVISÃO

Para produção de solo-cimento o solo arenoso é o mais adequado, pois estabilizam com menor teor de cimento, mas ainda assim cerca de 30% de argila deve fazer parte da composição deste solo, gerando maior coesão, impedindo perda de resistência depois de moldado devido às intempéries (CARVALHO, 2016). Os solos considerados adequados para utilização na pavimentação são classificados segundo a H.B.R. (*Highway Research Board*) nas classes A1, A2, A3 ou A4, que apresentem 100% de material passando na peneira com abertura de 76 mm e no máximo 45% retido na peneira com abertura de 4,8 mm, de acordo a NBR 12253 (ABNT, 2012).

O teor de umidade é tão importante quanto à porcentagem de cimento, influenciando expressivamente no alcance da resistência. A umidade desejada na estabilização do solo e que fará parte do processo de hidratação do cimento é equivalente à umidade ótima de compactação (Wót). O processo de homogeneização contribui para que o cimento hidrate suficientemente (CEPED, 1984).

3. METODOLOGIA

Os materiais utilizados nesse estudo foram: solo, areia, cimento, água e substrato de coco. O cimento foi do tipo CP II Z – 32, obtido em sacos de 50 kg. O substrato do coco úmido foi adquirido em sacos de 1 kg de empresa situada em Camaçari-Ba, que indica que seu produto não contém componentes químicos na mistura, sendo resultado final do processo de moagem do coco (**Figura 1**).

Figura 1. Substrato de coco.



Fonte: Autor, 2018.

3.1 Caracterização do solo

Estudos geotécnicos foram realizados no solo, como: ensaio de análise granulométrica (NBR 7181:2017), limite de liquidez (NBR 6459:2016), limite de plasticidade (NBR 7180:2016), massa específica dos grãos (NBR 6508:1984) e a compactação do solo, conforme NBR 7182 (ABNT, 2016) em energia de Proctor normal.

3.2 Caracterização da fibra

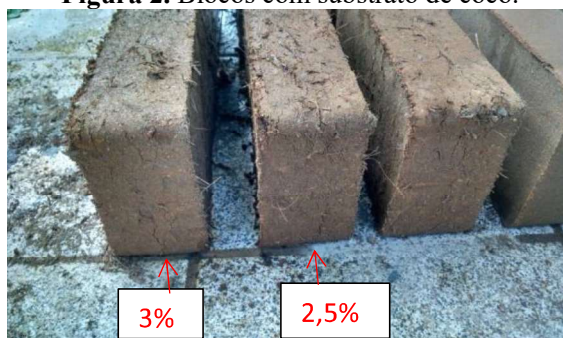
O substrato de coco foi seco ao ar por 15 dias e foi determinada sua umidade higroscópica. Através do peneiramento em agitador mecânico, foi definida a constituição do substrato, que possui diferentes granulometrias de carga e tamanhos de fibras.

3.3 Mistura

Foi realizada estabilização com 20% de cimento em relação à massa seca de solo corrigido, solução baseada no desempenho obtido por Tarqui *et al.* (2012) e Carvalho *et al.* (2016). A fibra de coco foi dosada para mistura em teor de 2%, sendo 1% composto do que passou na peneira #4 (abertura de 4,8mm) e 1% composto de fibras longas de, em média, 3,5 cm de comprimento.

As características mínimas da mistura são descritas pela NBR 8491 (ABNT, 2012), NBR 8492 (ABNT, 2012) e a NBR 12253 (ABNT, 2012), que determinam que o teor do cimento da mistura para pavimento deve ser o menor teor analisado quando a resistência à compressão simples alcançar 2,1 MPa. Com base nisso, foram definidas, inicialmente, misturas com 2%, 2,5% e 3% de substrato de coco. Entretanto, após moldagem dos blocos com adição de 2,5% e 3% do substrato de coco, estes apresentaram fissuras superficiais em excesso (**Figura 2**) e, por isso, seguiu-se com o teor de 2%.

Figura 2. Blocos com substrato de coco.



Fonte: Autor, 2018.

3.4 Ensaio de resistência à compressão

Após o período de cura de 7, 14 e 28 dias, 3 blocos maciços para cada idade foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão, seguindo orientações da NBR 10836 (ABNT, 2012), utilizando a prensa hidráulica manual PC 100 da marca Zeloso.

3.5 Ensaio de absorção de água e durabilidade

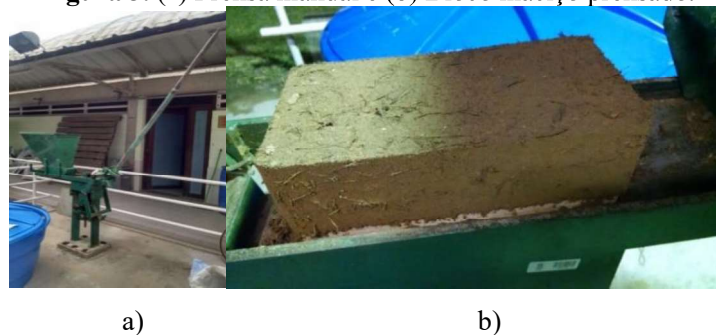
Nesse ensaio, utiliza-se uma escova, através da qual a força de 15N é aplicada para a verificação da perda de massa por abrasão superficial. O procedimento do ensaio de absorção de água segue a

NBR 13555 (ABNT, 2012) e o ensaio de durabilidade por molhagem e secagem, segue a NBR 13554 (ABNT, 2012), permitindo avaliar a perda de água e variação volumétrica produzidos pelos 6 ciclos de molhagem e secagem em amostras sem adição de fibra (referência) e com fibra (Coco2%).

3.6 Conformação dos blocos

Para moldagem de blocos maciços com dimensões de 12,5 x 25 cm utilizou-se a prensa manual V2 da Vimaq Prensas, apresentada na **Figura 3**. A conformação do bloco ocorreu conforme procedimento do CEPED (1984), NBR 10833 e NBR 10834 (ABNT, 2012). Após destorroar o solo seco ao ar livre, este foi peneirado em peneira de malha de 4,8 mm e pesado. O solo e a areia foram misturados, depois o cimento, realizando-se a homogeneização e por fim, distribuindo a água. Para confirmar a umidade, retirou-se uma porção da mistura, apertando-a com força até deixar marca dos dedos e, em seguida, soltou-se com cerca de 1 m de altura sobre uma superfície rígida para verificar se esfarela, caso isso não ocorra, a mistura está com excesso de umidade. Ao final, a fibra foi acrescentada e novamente a mistura foi uniformizada.

Figura 3. (a) Prensa manual e (b) Bloco maciço prensado.



Fonte: Autor, 2018.

Os blocos devem ficar em superfície plana, empilhados em altura de até 1,5 m, com lotes para ensaios em 7, 14 e 28 dias. Deverão ser umedecidos (curados) pelo menos uma vez ao dia, conforme NBR 12024 (ABNT, 2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização de estudos geotécnicos, o solo referência denominado “Solo 0” apresentou 69% de finos, índice de plasticidade de 34% e massa específica dos grãos de 2,823 g/cm³. A correção granulométrica do Solo 0, realizada conforme a *American Association of State Highway Officials* (AASHTO) foi necessária para enquadrá-lo na classificação A4 da H.R.B. Observa-se na **Tabela 1**, que foi necessário uma estabilização com areia, para adequá-lo quanto ao teor de finos indicado pela literatura e viabilizar o seu uso, passando a ser identificado como “Solo 1”.

Tabela 1. Análise de granulometria do solo referência e estabilizado.

| | Argila | Silte | Areia fina | Areia média | Areia grossa | Pedregulho | Solos Finos | Solos Grossos |
|---------------|--------|-------|------------|-------------|--------------|------------|-------------|---------------|
| SOLO 0 | 49% | 20% | 16,0% | 12% | 3% | 0% | 69% | 31% |
| SOLO 1 | 23% | 12% | 25% | 33% | 7% | 0% | 35% | 65% |

Fonte: Autor, 2018.

Após caracterização e estabilização granulométrica do Solo 0, foram realizados os mesmos ensaios de caracterização para o Solo 1. Em seguida, fez-se o ensaio de compactação na energia de Proctor Normal para determinar a umidade ótima ($W_{ót}$) do solo estabilizado, que apresentou umidade de 16,40%. Com isso, calculou-se a quantidade de cada material para produção da mistura, obtendo-se o que se apresenta na **Tabela 2**.

Tabela 2. Definição da quantidade de materiais.

| | POR BLOCO | PARA 10kg |
|-------------------------------------|-----------|-----------|
| SOLO ÚMIDO (g) | 2.000,00 | 8.000,00 |
| UMIDADE HIGROSCÓPICA (%) | 2,54% | |
| MASSA DE ÁGUA INICIAL (g) | 50,80 | |
| UMIDADE ÓTIMA (%) | 16,40% | |
| MASSA DE ÁGUA ADICIONADA (L) | 270,16 | 1.080,64 |
| SOLO SECO (g) | 1.949,20 | |
| FIBRA - 2% (g) | 38,98 | 155,94 |
| CIMENTO - 20% (g) | 389,84 | 1.559,36 |
| MASSA TOTAL (g) | 2.648,18 | 10.795,93 |

| | |
|--|--------------|
| SOLO ÚMIDO: MISTURA COM 4kg de Solo 0 e 4kg de Areia | |
| BLOCO SEM FIBRA (MASSA TOTAL) | 10.640,00 kg |

Fonte: Autor, 2018.

Observa-se que para a dosagem de água e uniformização eficiente, foram calculados 1300 l de água para blocos sem fibra (referência) e 1400 l de água na dosagem dos blocos com substrato ajustado para a produção com cerca de 10 kg de solo.

4.1 Caracterização da fibra

Após secagem por 15 dias, fez-se o peneiramento do substrato de coco em agitador mecânico. Esse procedimento permitiu identificar o tamanho de fibra e de carga em suas diferentes granulometrias existentes no substrato, conforme **Figura 4**.

Figura 4. Resultado do peneiramento do substrato de coco.



Fonte: Autor, 2018.

Na **Tabela 3**, tem-se a caracterização de substrato de coco através do peneiramento, sendo a peneira de abertura de malha de #16 a mais importante para decisão.

Tabela 3. Caracterização do substrato de coco.

| | #4 (4,8mm) | #10 (2mm) | #16 (1,2mm) | FUNDO DA PENEIRA | TOTAL |
|-------------------------------|--------------------|--------------|----------------|---------------------------------|---------|
| MATERIAL RETIDO | Massa (g) | | | | |
| | 31,02 | 14,95 | 59,10 | 144,40 | 249,47 |
| | % Retido | | | | |
| | 12,43% | 5,99% | 23,69% | 57,88% | 100,00% |
| MATERIAL QUE PASSA | #4 (4,8mm) | #10 (2mm) | #16 (1,2mm) | UMIDADE HIGROSCÓPICA | |
| | Massa (g) | | | | |
| | 218,45 | 203,50 | 144,40 | 21,79% | |
| | % que passa | | | | |
| | 87,57% | 81,57% | 57,88% | | |

Fonte: Autor, 2018.

As fibras que fazem parte da composição do substrato foram avaliadas quanto ao comprimento e as amostras selecionadas aleatoriamente apresentaram comprimento médio de 3,5 cm.

4.2 Mistura

Após a conformação do compósito, verificou-se que houve redução de em média, 8% da massa do bloco com adição de substrato de coco (Coco2%), apresentada na **Tabela 4**.

Tabela 4. Massa dos blocos maciços referência e com fibras.

| Bloco | Massa média (g) |
|------------------|-----------------|
| Sem fibra (ref.) | 3.472,92 |
| Coco2% | 3.199,65 |

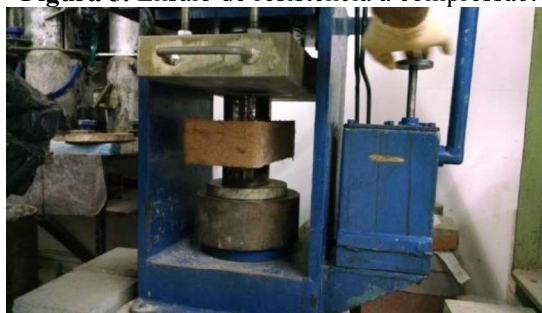
Fonte: Autor, 2018.

A maior leveza obtida para o material compósito Coco2% é consequência da redução da massa específica, e é característica importante para facilitar o transporte e manuseio durante a produção e uso.

4.3 Ensaio de resistência à compressão

Depois de submersos em água por 4 horas e após secagem superficial, os blocos foram posicionados na prensa com sua maior face junto ao elemento de transmissão de carga para a realização do ensaio de resistência à compressão, apresentado na **Figura 5**.

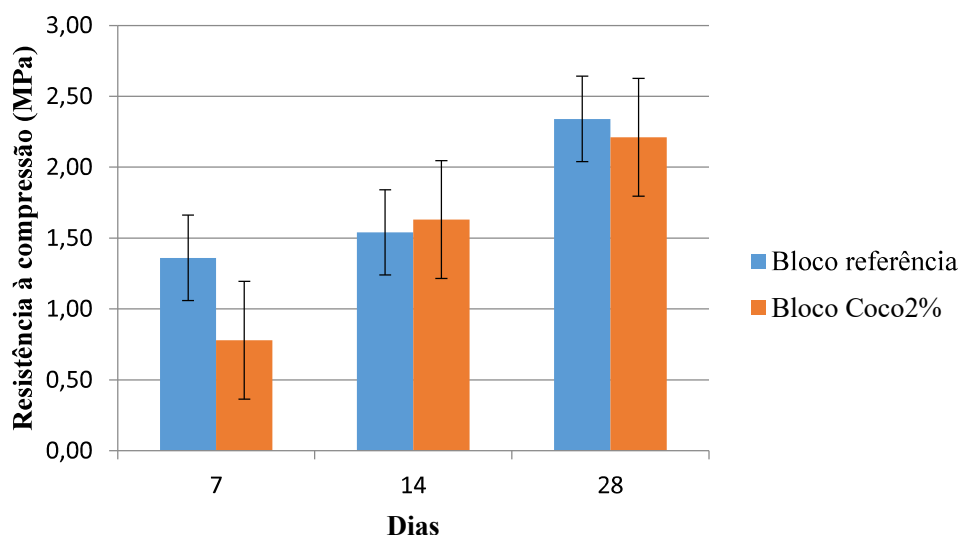
Figura 5. Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autor, 2018.

Como resultado do ensaio de compressão simples, tem-se que os blocos maciços de solo-cimento sem substrato alcançaram 1,36 MPa para 7 dias, 1,54 MPa para 14 dias e 2,34 MPa para ruptura em 28 dias. Já os blocos com adição de substrato de coco apresentaram resistência de 0,78 MPa para 7 dias, 1,63 MPa em 14 dias e 2,21 MPa para 28 dias, conforme **Gráfico 1**.

Gráfico 1. Resistência à compressão dos blocos.



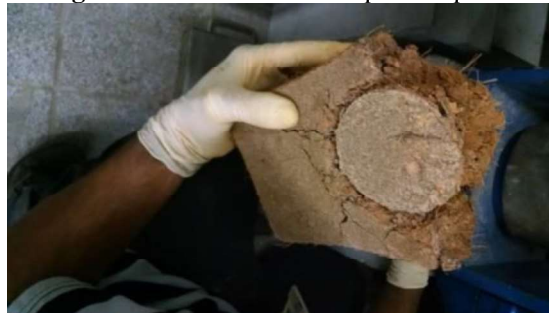
Fonte: Autor, 2018.

A resistência à compressão obtida para o bloco referência e bloco Coco2% aos 28 dias foram acima do mínimo definido normativamente de 2,1 MPa, mas ambos estão abaixo da resistência definida por Tarqui *et al.* (2012) e Carvalho *et al.* (2016) para o bloco referência, isso pode ser motivado por dispersões no processo de mistura, no processo de conformação ou por presença de impurezas nos materiais.

Pode-se verificar que não houve um aumento da resistência alcançada pelos blocos com adição de fibras em relação aos blocos referência. Entretanto, os blocos com adição do substrato do coco não entraram em colapso após a abertura da primeira fissura decorrente do carregamento, pois as fibras passaram a receber o carregamento, alterando, assim, a forma de ruptura, passando de um comportamento frágil para um comportamento dúctil. Isto tem o efeito de aumentar o trabalho de fratura, que é definido como tenacidade. Não foi calculada, neste trabalho, a tenacidade do novo

material desenvolvido, mas observado seu comportamento durante o ensaio. Na **Figura 6** tem-se o aspecto do bloco com adição de substrato de coco após a ruptura.

Figura 6. Bloco com fibra após a ruptura.



Fonte: Autor, 2018.

4.4 Ensaio de absorção de água e durabilidade

Quanto à umidade, houve uma variação de, em média, 7% para os blocos referência e 9% para os blocos com substrato, esse incremento da absorção deve-se a presença da fibra natural, que absorve uma parcela de água e gera maior porosidade no compósito. A **Figura 7** representa o ensaio de absorção de água, em que é possível ver bolhas de ar desprendendo-se dos blocos.

Figura 7. Ensaio de absorção de água.



Fonte: Autor, 2018.

Com o ensaio de durabilidade foi possível verificar, na fase de imersão em água, uma variação de volume de 9,65% para os blocos referência e 11,21% para os blocos com substrato de coco. Com o ensaio de abrasão superficial foi possível determinar que houve em uma perda de massa de 23,06% para os blocos referência e 20,03% para os blocos com adição das fibras, conforme **Figura 8**.

Figura 8. Blocos após abrasão superficial.



Fonte: Autor, 2018.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

Observou-se que a adição de substrato de coco nos blocos maciços de solo-cimento não gerou aumento na resistência, mas o comportamento do bloco indica que houve o incremento da ductilidade e de tenacidade do material em relação ao bloco de referência. Desse modo, os blocos sem substrato romperam de forma abrupta, enquanto os blocos com ação de fibra, após o carregamento máximo, permanecem unidos pela fibra.

Verificou-se ainda que a resistência aos 28 dias atende ao mínimo normativo para aplicação em camada de pavimento correspondente a 2,1 MPa, apesar de ser inferior à resistência de 35MPa alcançada para blocos de concreto. A adição de fibras não aumentou a carga suportada, pois a presença do substrato pode estar interferindo na hidratação do cimento e retardando a estabilização, já que a fibra do coco absorve a água e a retira da mistura.

O ensaio de absorção de água e durabilidade por molhagem e secagem mostrou que a variação de volume do bloco com substrato foi maior, mas a perda de massa foi menor que a do bloco referência. Contudo, as fibras que ficaram concentradas na superfície do bloco, se desprendem com facilidade durante o processo de abrasão.

Sendo assim, conclui-se que a adição de substrato de coco não gerou significativa modificação de resistência, porém melhorou o desempenho quanto à abrasão superficial, à ductilidade e tenacidade e gerou redução da massa específica. Esse material é uma potencial solução econômica e sustentável para a produção local e independente na construção. Entretanto, há necessidade de maior investigação de suas propriedades e comportamento para aplicação deste como camada de revestimento de pavimentos para tráfego leve e semi-permeável.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Preparação de amostras de solo e ensaio de caracterização. Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 6508: Determinação da massa específica dos grãos – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 6459: Determinação do limite de liquidez – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 7182: Ensaio de compactação – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 8491: Tijolo de solo-cimento. Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 8492: Tijolo maciço de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica. Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____.NBR 10834: Bloco de solo-cimento sem função estrutural. Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____.NBR 10836: Bloco de solo-cimento sem função estrutural – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____.NBR 12024: Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos — Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____.NBR 12253: Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento. Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____.NBR 13554: Solo-cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____.NBR 13555: Solo-cimento – Determinação da absorção d'água. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

BRANDÃO, C. P. **Compósito com matriz de gesso e reforço de manta de sisal**. 2015. Dissertação – Departamento de Construção e Estruturas. Escola Politécnica, Salvador, Bahia, 2015.

CARVALHO, M.; RAMOS, F.; ZEGARRA, J.; PEREIRA, C. Evaluacion a lo largo del tiempo de las propiedades mecanicas de los bloques de suelo-cemento utilizados en pavimentos semipermeables. **Revista de Ingeniería de Construcción**. v. 31, 2016, p. 61-70.

CEPED - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento. **Manual de construção com solo - cimento**. São Paulo: ABCP, 1984.

FERRARI, V. J.; SOUZA, A. H. C.; BALTAZAR, H. P.; DOTTO, W.; VIEIRA, NETO, J. G. Tijolos vazados de solo-cimento produzidos com solo da Região do Arenito Caiuá do Paraná. **Ambiente Construído**, v. 14, 2014. p. 131-148. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v14n3/11.pdf>

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. São Carlos: USP, 2003.

MARTINS, C. R. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional : panorama 2014**. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1517- 1329; 184). Aracaju, 2013. 51 p. Disponível em <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 10 de jul. de 2018.

SOUZA, V. P.; TOLEDO, R.; HOLADA, J. N. F.; VARGAS, H. e JUNIOR, R. T. F., Análise dos gases poluentes liberados durante a queima de cerâmica vermelha incorporada com lodo de estação de tratamento de água. **Cerâmica**, n. 54, 2008. 351–355 p. <http://dx.doi.org/10.1590/S036669132008000300013>

TARQUI, J. L. Z.; CARVALHO, M. F., BRANDÃO, C. P. Avaliação da resistência a compressão de misturas de solo-cimento para aplicação em pavimentos de trafego leve. **Anais do XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica** (Cobramseg-ABMS). Porto de Galinhas, 2012.