

COMPORTAMENTO MECÂNICO E TÉRMICO DE PAREDES DE TIJOLOS PRENSADOS DE TERRA CRUA INCORPORANDO RESÍDUOS DE BORRACHA

Normando Perazzo Barbosa

nperazzo@lsr.ct.ufpb.br

Prof. dos Cursos de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, PB, e em Engenharia Urbana da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB

José Wallace Filho

wallace@deag.ufpg.br

Prof. do Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

Elisângela Pereira da Silva

eglisa@yahoo.com.br

Aluno do Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, PB

Antonio Correia Braga

antfilho@yahoo.com.br

Aluno do Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, PB

Resumo

Este trabalho trata da utilização de resíduo de borracha (Etilene Vinil Acetate – EVA), oriundos da fabricação de calçados, em tijolos de terra crua. Fez-se inicialmente ensaios de caracterização dos materiais empregados. Foram testadas combinações solo-borracha com o teor dos resíduos variando de 0 a 50% em relação ao volume de solo. Para o emprego do resíduo que se apresenta em forma de placas adotou-se a trituração em moinho rotativo para produzir partículas menores que 2,4 mm. No caso do resíduo em pó não houve nenhum processo de transformação. Como estabilizante foi usado o cimento em taxas de 6, 8 e 10% em relação ao peso do solo. Foram obtidas as resistências à compressão de tijolos prensados em uma pequena prensa manual, com diversas misturas. Com algumas destas misturas fabricaram-se tijolos com os quais foram moldados quatro painéis com cerca de 1m². Eles foram instrumentados com 5 extensômetros para acompanhamento das deformações e procedeu-se o ensaio de compressão simples. Também foram feitas duas paredes, uma com incorporação de EVA e outra sem, para comparação do desempenho térmico. Os resultados mostram que a medida que se aumenta o teor de EVA a resistência dos tijolos cai sensivelmente. Mais de 20% de incorporação é inconveniente. O comportamento das paredes foi satisfatório, porém com o equipamento utilizado não se consegue grande compactação do solo e por conseguinte as resistências não foram elevadas, porém satisfatórias para muros divisórios não estruturais. Do ponto de vista térmico, mostra-se que a incorporação de apenas 10% de borracha conduziu a uma diminuição de aproximadamente 5 °C em relação a parede de tijolos sem EVA, expostas às mesmas condições de contorno.

Palavras chave

Paredes de terra , resíduos de borracha, tijolos de terra crua, comportamento térmico

Abstract

This work shows results of incorporation of waste from Etilene Vinil Acetate – EVA produced by the local shoes industries in compressed earth blocks. A small press was used. The effect of the EVA on the strength is presented. Four 1 m² walls were tested in a Laboratory to see their behavior under load. Others walls were subjected to thermal analyses. Results shows the incorporating EVA the strength of the blocks goes down and more then 20 % is not recommended. Concerning thermal tests, the use of only ten percent of EVA in the blocks can reduce temperature in almost 5 degrees concerning the side of the wall that do not receive the radiation.

Key words

Compressed earth blocks, earth wall, EVA waste, thermal behavior

Introdução

O Estado da Paraíba, no Nordeste brasileiro, destaca-se no mercado nacional de calçados ocupando o quinto lugar em produção. Algumas dessas indústrias utilizam um tipo de polímero para fabricação de palmilhas e solados de calçados. O destino final dos resíduos gerados parece ser os lixões e aterros clandestinos. Esses resíduos consistem de restos de placas provenientes do processo de corte para fabricação do calçado e de um pó resultante da fase de acabamento. Uma maneira de livrar o meio ambiente desses materiais de todo inconvenientes é a sua incorporação em tijolos de terra crua, daí a elaboração deste trabalho.

Materiais e métodos

O solo utilizado apresentava as propriedades indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 Características do solo empregado

pedregulho	areia	Silte + argila	LL	LP	IP
0,3%	57,2%	42,5%	29%	22%	7%

Através do ensaio de proctor NBR 7182, foi possível determinar a umidade ótima de 16,8 % e a massa específica seca de 1,811g/cm³. O cimento utilizado foi o CP IIZ – 32 que apresenta até 14 % de pozolana. Os resíduos de EVA foram utilizados de duas formas: com granulometria que passa na peneira # 2,4mm e na forma em pó. Foram usadas no solo duas proporções de EVA em pó: 25% e 50% em volume para verificação do que ocorre com os limites de liquidez e de plasticidade. A Tabela 02 indica o resumo dos resultados.

Tabela 2 - Solo com EVA

Solo	EVA	LL	LP	IP
1	25%	24	16	8,0
1	50%	22	-	-

A resistência à compressão foi determinada aos 28 dias, sendo obtida através da divisão da carga de ruptura pela seção transversal do tijolo, descontando a área do furo que correspondia (a cerca de 11% da área bruta).

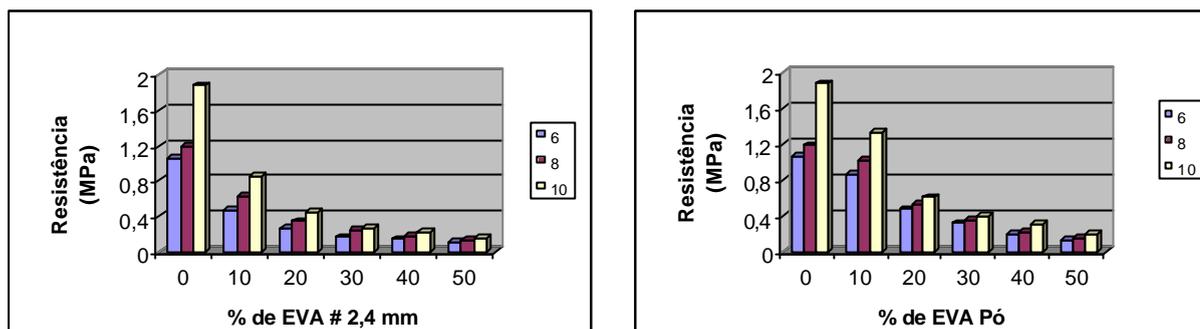
Foram construídas quatro paredes, classificadas de acordo com a mistura solo-cimento-EVA: Parede A: 10% de EVA e 10% de cimento, parede B: 0% de EVA e 10% de cimento, parede C: 10% de EVA e 6% de cimento e parede D: 0% de EVA e 6% de cimento.

Para o ensaio de verificação do comportamento térmico foram elevadas duas paredes uma de tijolos com 10% de EVA e outra sem EVA. Primeiramente verificou-se o comportamento térmico das paredes isoladamente. Depois as paredes foram postas uma atrás da outra, em série devido a dissipação de calor que ocorreu no primeiro ensaio. Para medir as temperaturas foram utilizados termopares conectados a um sistema

de aquisição de dados o datalogger CR 10X, o qual foi programado para coleta de temperatura a cada 5 segundos, sendo retiradas as médias a cada 30 minutos.

Resultados e discussões

A Figura 01 indica a resistência à compressão para os tijolos com EVA# 2,4mm (A) e em pó (B) respectivamente a medida que se varia o teor de borracha.



(A)

(B)

Figura 1 - Influência da porcentagem de cimento e do teor volumétrico de EVA

Observa-se que com EVA que passa na # 2,4mm houve uma diminuição da resistência à compressão dos tijolos maior que no caso em que se utilizou o EVA em pó. A simples adição de 10% de borracha que passa na # 2,4mm em volume faz cair pela metade à resistência dos tijolos. Para o caso do EVA em pó, taxas com 10% em diante conduzem a resistências muito baixas para elementos construtivos.

Estudo das Paredes

As paredes chegam a apresentar alturas diferentes em função da altura dos tijolos: os com borracha sempre eram ligeiramente mais altos. A espessura das paredes era de apenas 10 cm.

Ensaio da primeira parede (10% de EVA e 10% de cimento)

As curvas carga-deformação são vistas na Figura 2. Após o primeiro ciclo de carga correspondente a 18,7 kN/m praticamente não houve deformação residual, esta só aparecendo no segundo ciclo de descarregamento (após 31,5 kN/m). As deformações horizontais só são perceptíveis para cargas superiores à 12,5 kN/m do (primeiro ciclo) correspondente a aproximadamente 1/4 da carga de ruptura. Durante o ensaio observou-se que no primeiro e no segundo ciclo de carregamento e descarregamento não houve aparecimento de fissuras. Estas só foram detectadas a partir do terceiro ciclo quando se atingiu a carga de 37,5 kN/m correspondente a

30 kN. Com a carga de 46,9 kN/m cerca de 37,5 kN iniciou-se o processo de separação da parte superficial de alguns tijolos e a separação da argamassa do tijolo entre a quinta e sexta fiada da parte superior.

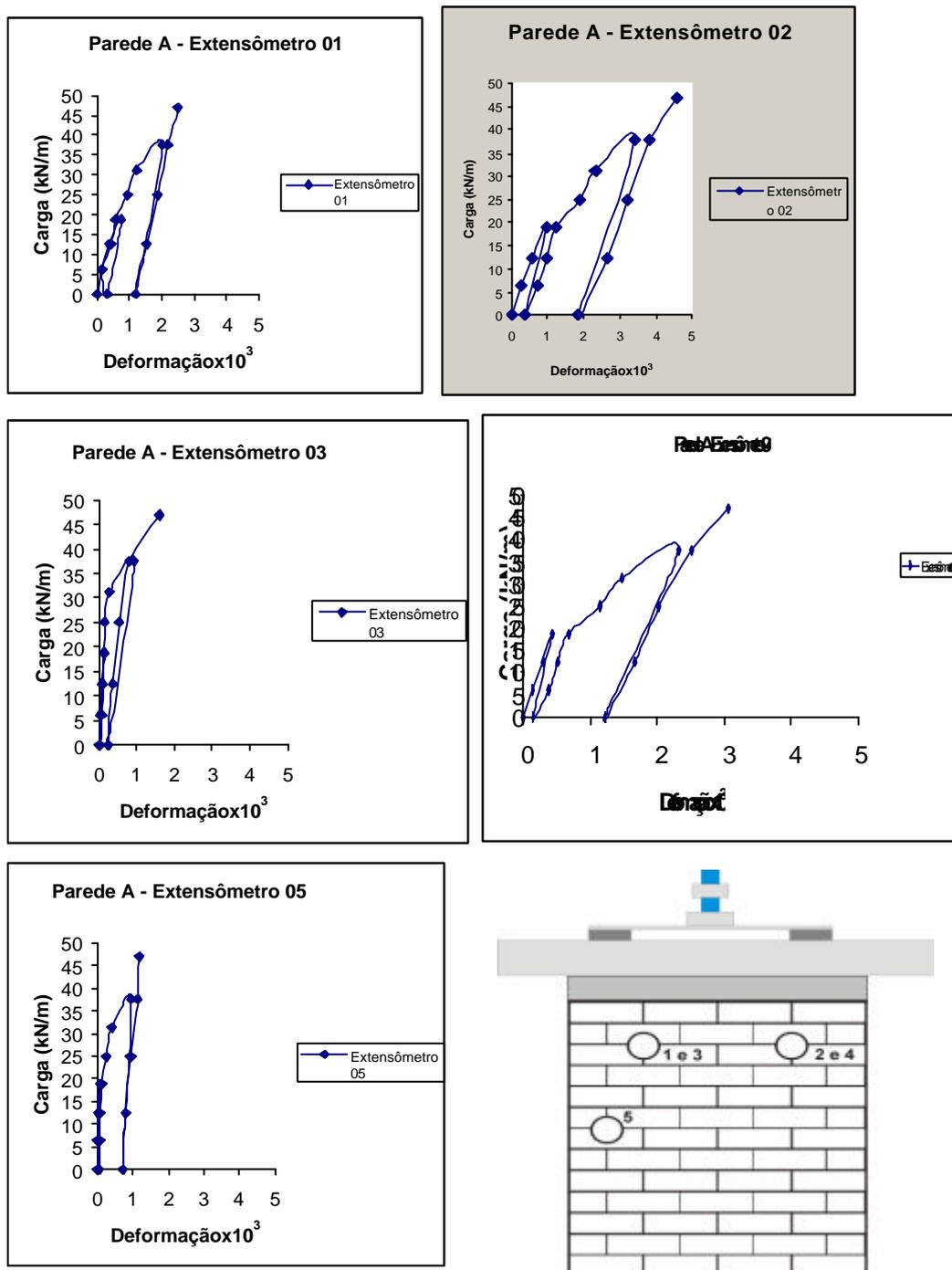


Figura 2 - Curvas carga deformação da parede A (10% de E.V.A com 10% de cimento).
Ensaio da segunda parede (0% de EVA com 10% de cimento).

Praticamente não houve deformação residual após o primeiro ciclo, as curvas do primeiro e segundo ciclo coincidiram. As deformações horizontais só são perceptíveis para cargas superiores a 25 kN/m, que

corresponde a aproximadamente a 1/3 da carga de ruptura. As primeiras fissuras foram vistas a partir de 65 kN/m, com o aumento da carga para 70 kN/m foi possível observar a propagação dessas fissuras até o centro da parede, porém apenas com a carga de 76,25 kN/m foi possível observar a separação entre tijolo e argamassa. É visível a menor deformabilidade desta parede (Figura 3) em relação a primeira que continha borracha.

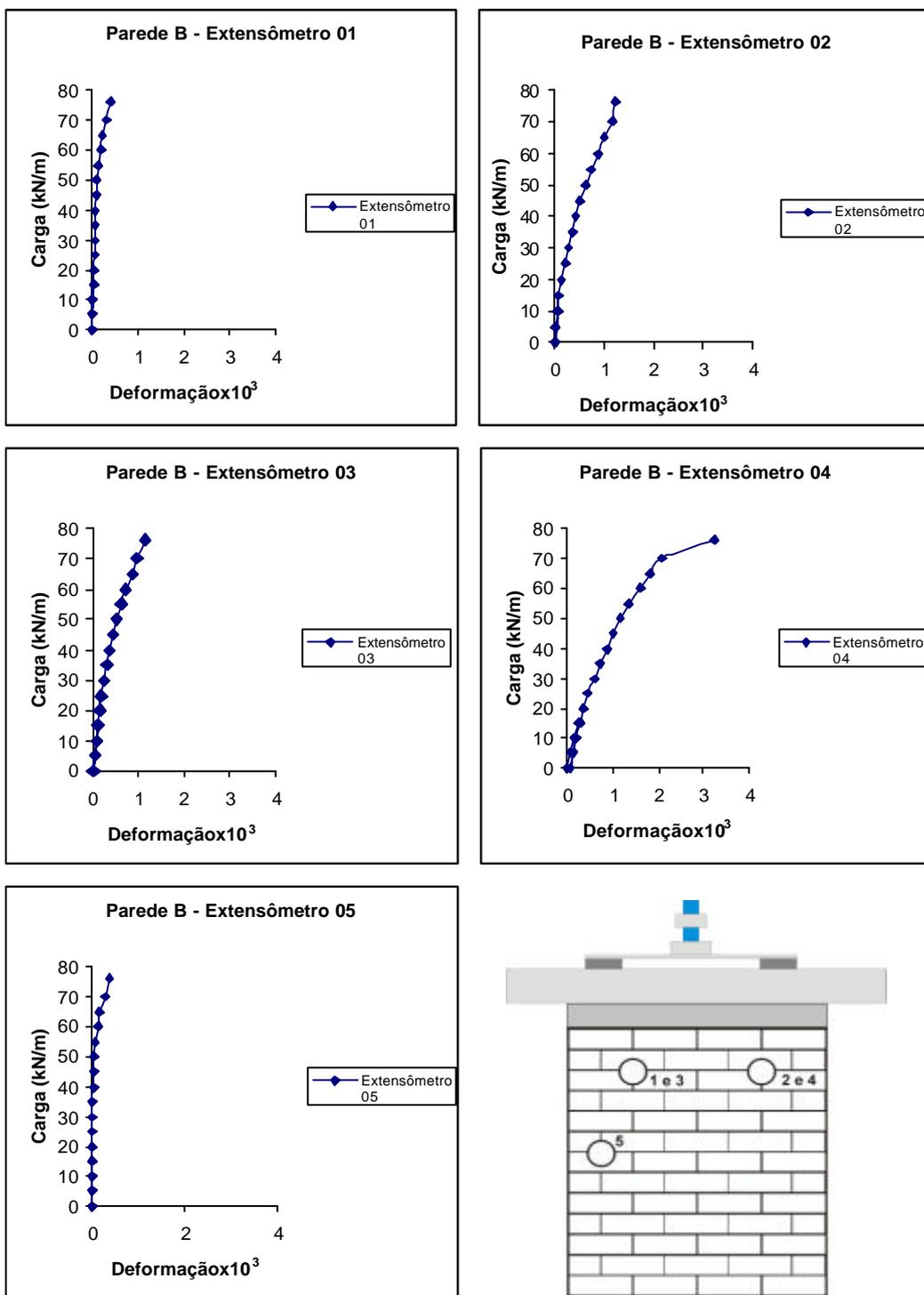


Figura 3 – Curvas carga deformação para parede B (0% de EVA com 10% de cimento).

Ensaio da terceira parede (10% de EVA e 6% de cimento)

Na Figura 4 percebe-se uma menor rigidez em relação à parede anterior. As deformações residuais são maiores. As deformações horizontais são perceptíveis para carga de 3,75 kN/m, correspondente a aproximadamente 1/4 da carga de ruptura. No ensaio foi possível visualizar as primeiras fissuras a partir do segundo ciclo. Elas ocorreram com carga de 15 kN/m. Com o aumento para 18,75 kN/m ocorreram fissuras em mais de um ponto da parede, inclusive com separação entre a argamassa de assentamento e o tijolo na de um ponto da parede, inclusive com separação entre a argamassa de assentamento e o tijolo na parte superior.

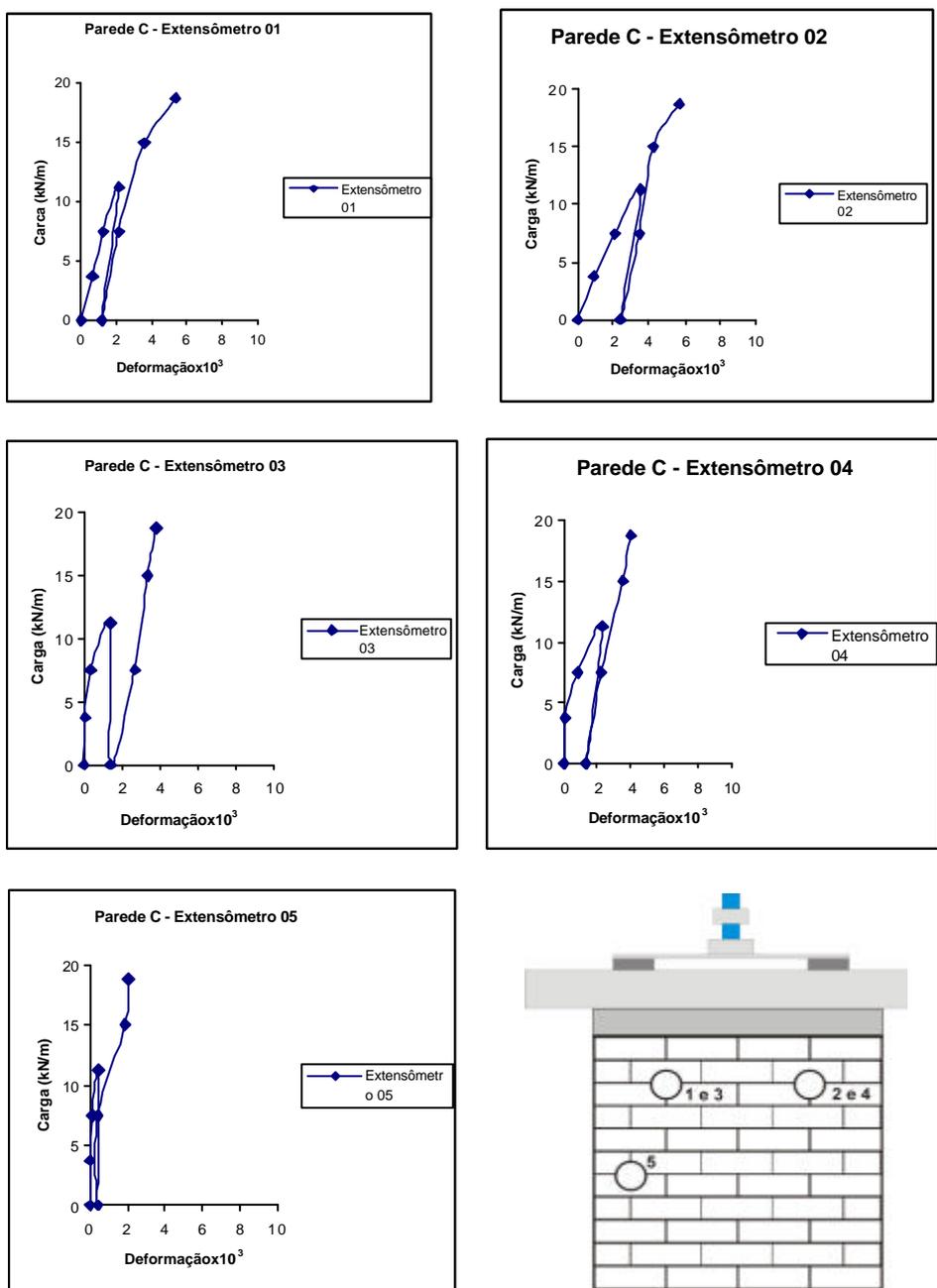


Figura 4 - Curvas carga-deformação da parede C (10% de EVA e 6% de cimento)

Ensaio da quarta parede D (0% de EVA com 6% de cimento)

Para o ciclo de carga correspondente a 15 kN/m não houve deformação residual (Figura 5), estas só apareceram a partir do segundo ciclo de descarregamento após 45 kN/m. As deformações horizontais só são perceptíveis a partir de 20kN/m correspondente a aproximadamente 1/2 da carga de ruptura. O aparecimento de fissuras só foi verificado a partir do terceiro ciclo com carga de 50kN/m correspondente a 40 kN. As primeiras fissuras ocorreram no lado dos extensômetros 02 e 04, que correspondem ao lado da parede que recebeu maior carga.

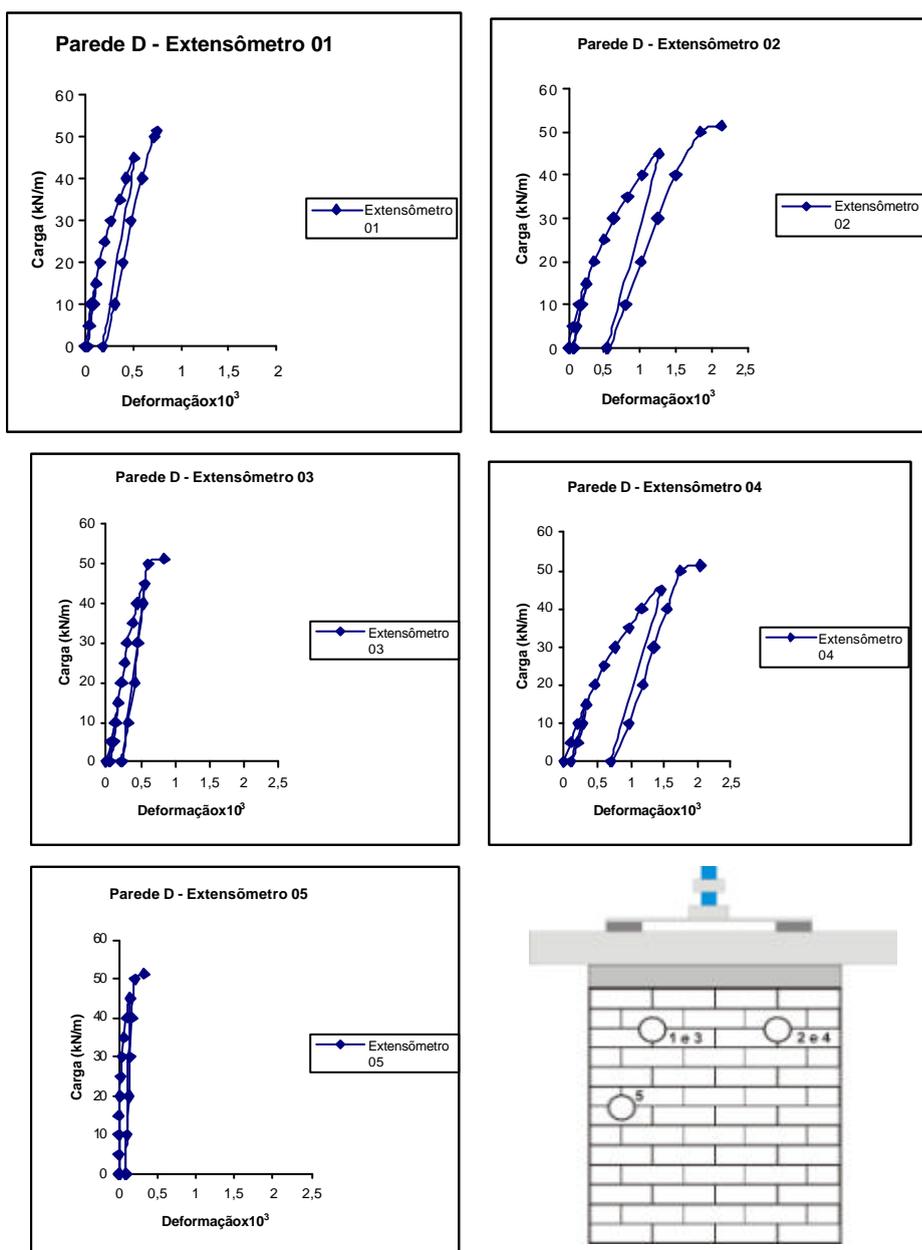


Figura 5 - Curvas carga deformação da parede D (0% de EVA com 6% de cimento).

Comportamento térmico das paredes

Para o ensaio do comportamento térmico foi necessário deixar-se estabilizar o fluxo de calor através das paredes. A partir do segundo dia percebeu-se que a variação de temperatura entre as faces do muro já permanecia constante. Para cada termopar calculou-se a média aritmética das leituras feitas em cada dia. As Figuras 6 e 7 indicam as curvas obtidas nos termopares centrais quando se relacionam as temperaturas médias com o tempo, para as paredes isoladamente sem e com EVA em pó respectivamente. Vê-se também o valor numérico das temperaturas nas faces que recebem radiação (à esquerda), na face posterior (centro) e diferença de entre elas (à direita). Vê-se o ponto central é o que recebe mais radiação com a temperatura chegando a 72,2 °C. Entre os termopares instalados no centro da parede, a diferença de temperatura foi de 29,2 °C. Comparando-se esses valores com os mostrados na Figura 7, observa-se que na face oposta enquanto a temperatura central na parede sem E.V.A chega a 43 °C naquela em que se tem E.V.A incorporado tem-se 38,4 °C, ou seja uma diferença de 4,6 °C. Nos demais pontos a temperatura na parede sem E.V.A foi sempre inferior à daquela sem borracha.

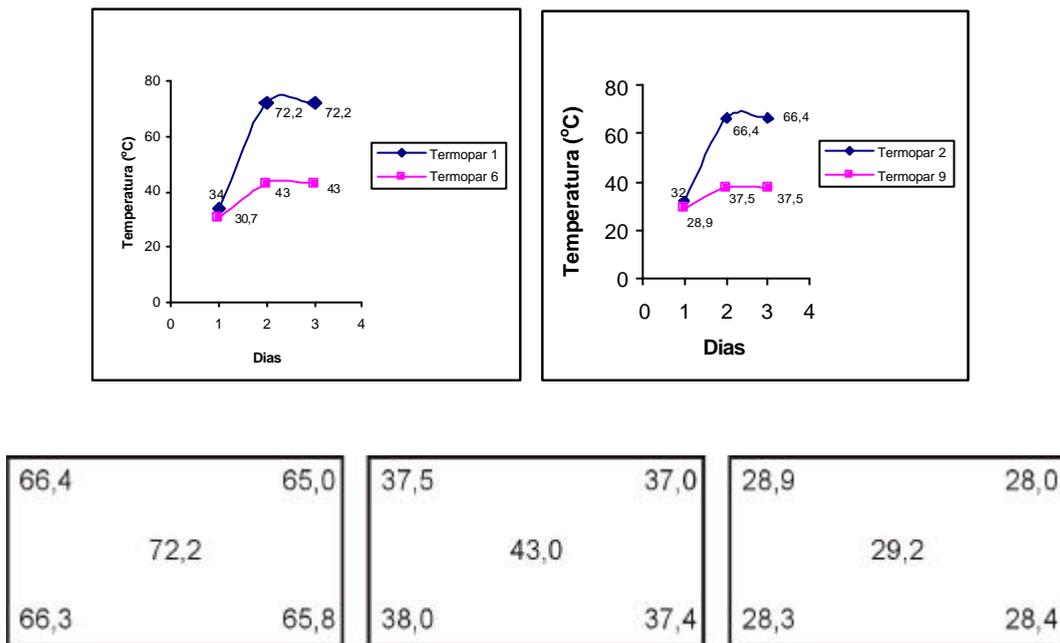


Figura 6 - Temperatura medida em função do tempo de exposição à radiação da parede sem EVA, temperaturas nas faces e diferença de temperaturas entre os pontos opostos na parede.

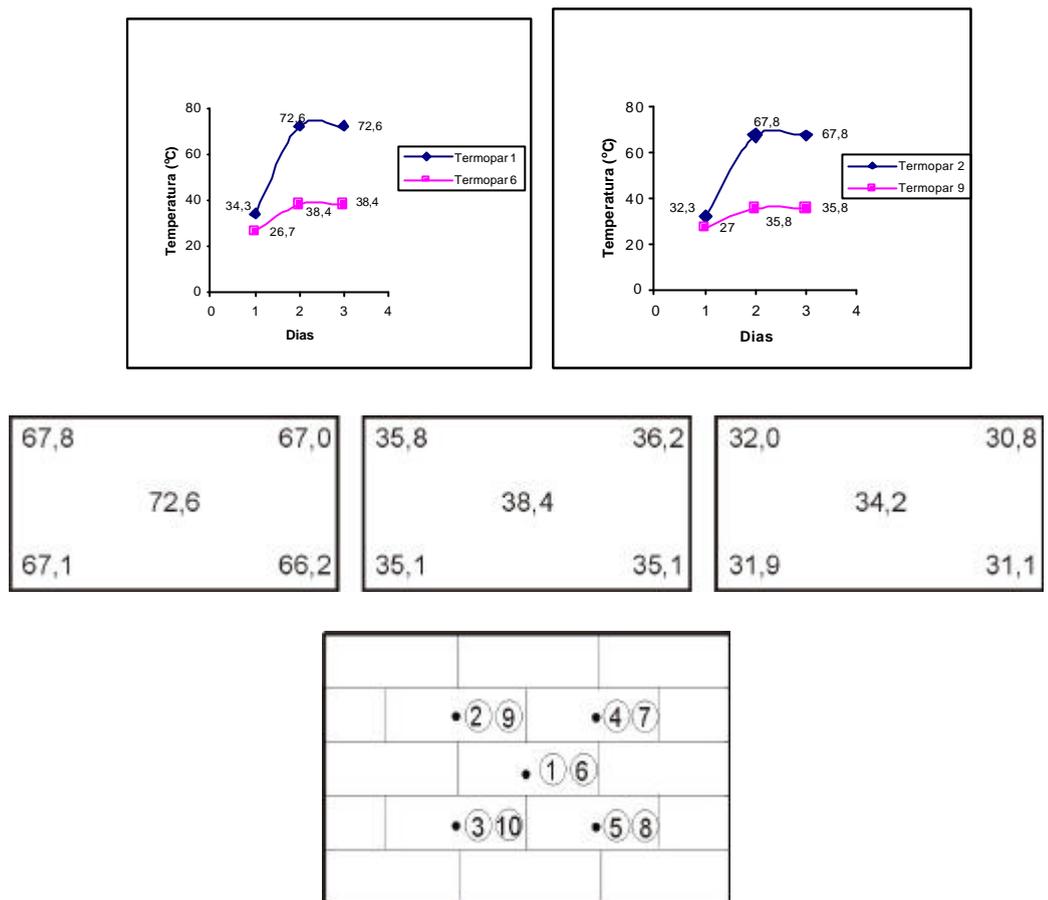


Figura 7 - Temperatura medida em função do tempo de exposição à radiação para parede com EVA, temperaturas nas faces e diferença de temperatura entre os pontos opostos na parede.

Os ensaios apresentados não permitem a obtenção do valor numérico da condutividade térmica das duas paredes, sem e com EVA. No entanto pode-se estabelecer uma relação entre elas. Para tanto, considere-se uma parede submetida a um fluxo de calor constante (Figura 8).

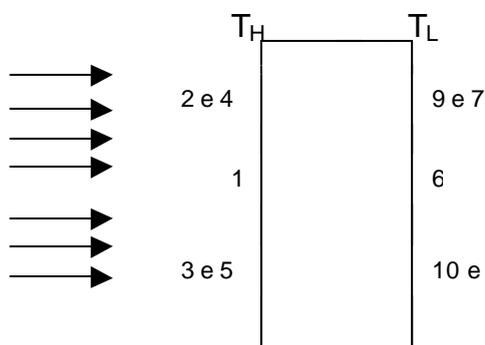


Figura 8- Esquema utilizado para verificação do comportamento térmico nas paredes.

Considerando:

$$\frac{dQ}{dt} = K_1 A_1 \times \frac{(T_{H1} - T_{L1})}{L_1} \quad \text{e} \quad \frac{dQ}{dt} = K_2 A_2 \times \frac{(T_{H2} - T_{L2})}{L_2}$$

Onde:

T_{H1} - Temperatura na face da parede sem E.V.A

T_{L1} - Temperatura na outra face da parede sem E.V.A

K_1 - Condutividade térmica da parede sem E.V.A

A_1 - Área da seção transversal da parede sem E.V.A

L_1 - Comprimento da parede sem E.V.A

T_{H2} - Temperatura na face da parede com E.V.A

T_{L2} - Temperatura na outra face da parede com E.V.A

K_2 - Condutividade térmica da parede com E.V.A

A_2 - Área da seção transversal da parede com E.V.A

L_2 - Comprimento da parede com E.V.A

Admitindo-se as áreas A_1 e A_2 e os comprimentos L_1 e L_2 são os mesmos para ambas as paredes, tem-se para fluxo de calor incidente constante:

$$K_1 (T_{H1} - T_{L1}) = K_2 (T_{H2} - T_{L2})$$

Considerando os termopares 1 e 6 a partir do segundo dia:

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{T_{H2} - T_{L2}}{T_{H1} - T_{L1}} \quad (\text{Eq.1})$$

Logo: $K_1 = 1,21K_2$, ou seja, $K_2 = 0,82K_1$

Portanto, a parede com tijolos incorporando EVA tem menor condutividade térmica.

A Figura 9, indica o esquema que foi utilizado para o teste das paredes em série.

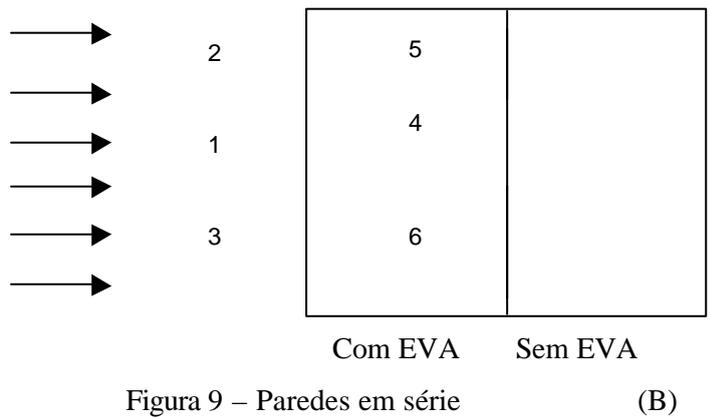
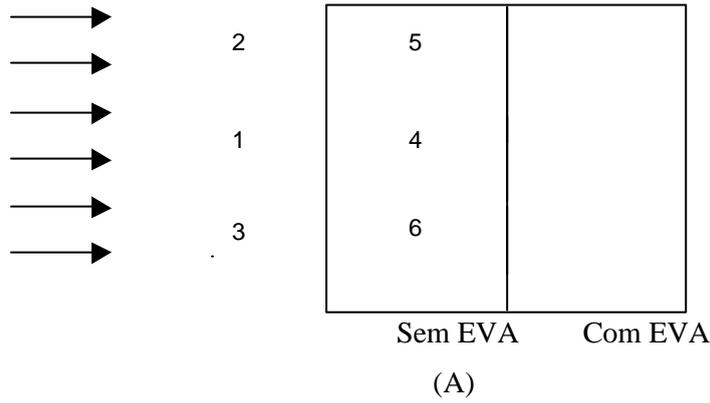
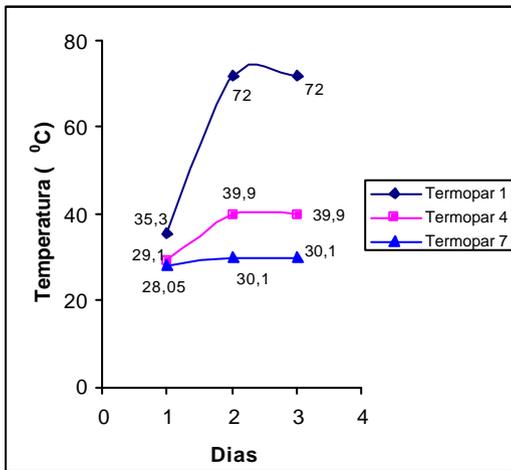
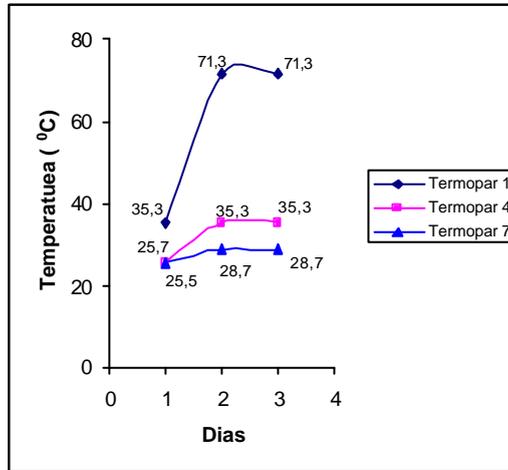


Figura 9 – Paredes em série (B)



(A)



(B)

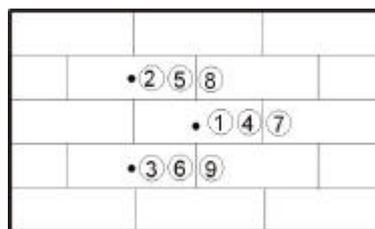


Figura 10 - Temperatura para as paredes em série: (A) Parede sem EVA em série com parede com EVA; (B) parede com EVA em série com parede sem EVA.

Quando a parede com EVA se encontra recebendo radiação entre os termopares 1 e 4 a diferença de temperatura é de 36 °C. Já quando o muro sem EVA está na frente, essa diferença passa a ser de 32,1 °C, ou seja, uma diferença de 3,9 °C, indicando um melhor desempenho térmico para parede com EVA incorporado no tijolo. Aplicando-se a equação 4.1 ao caso das paredes em série, quando se coloca a parede sem EVA recebendo radiação, obtêm-se uma relação $K_2 = 0,89K_1$. Quando ela não recebe radiação direta tem-se: $K_2 = 0,67K_1$. O valor numérico de K, depende do material. Valor elevado indica que ele é bom condutor de calor. Valores de K pequenos correspondem a materiais pouco condutores ou isolantes. Aqui foi feito apenas um ensaio comparativo e em todas as situações vê-se que a condutividade térmica da parede em que se usa os tijolos com EVA é menor.

Considerações finais

Neste trabalho foi estudado o comportamento de tijolos de terra crua incorporando resíduos de borracha, prensados em equipamento de pequena potência. Do que foi verificado pode-se dizer que:

- a incorporação na terra de borracha em grãos da ordem de 2,4 mm é bastante difícil;
- a incorporação do pó de borracha faz diminuir o limite de plasticidade da terra;
- a resistência dos tijolos decai rapidamente à medida que se aumenta o teor volumétrico de resíduo;
- a incorporação da borracha em pó só é recomendável até 20 % do volume da terra;
- o comportamento das paredes submetidas a carregamento no topo foi o esperado, vendo-se que aquelas que tinham borracha incorporada a deformação correspondente a cada nível de carga foi maior, indicando menor módulo de elasticidade;
- das paredes testadas aquela com 6 % de cimento e 10% de EVA não se mostra adequada para funcionar como parede estrutural; as demais, poderiam ser usadas apenas em construção de pequeno porte (cumprir lembrar que os muros em questão tinham apenas 10 cm de espessura!);
- a incorporação de 10% de EVA nos tijolos melhora a performance térmica dos mesmos, conduzindo a uma diferença de quase 5 °C em relação a uma parede sem a borracha, quando a temperatura da face que recebe radiação é da ordem de 72 °C.

Acredita-se que em uma prensa de maior potência é possível incorporar quantidades de EVA em pó bem superior aos 10 % aqui indicados. O uso de EVA em tijolos de adobe merece ser também pesquisado.