

USO DE RESÍDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO NA CONFEÇÃO DE TIJOLOS DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO

Rânfler José Luan Rodrigues Soler (*), Rogério Simões Guilherme Júnior, Evanice Souza Lelis, Victória Santos Pereira, Raul Tadeu Lobato Ferreira

* Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Universitário do Araguaia, ranflersoler@gmail

RESUMO

Os padrões de consumo insustentáveis, somados à geração e ao descarte inadequado de resíduos, geram acúmulos e efeitos deletérios ao meio ambiente. O setor construtivo gera resíduos em todas as etapas do seu processo produtivo, e esses resíduos quando não são tratados de forma adequada podem causar problemas ambientais como contaminação do solo, do ar e de águas superficiais ou subterrâneas. Dentro desse contexto, se torna relevante o desenvolvimento e o estudo de técnicas e materiais de construção sustentáveis. O resgate e o aperfeiçoamento das técnicas de construção com terra se mostram como uma possibilidade para o desenvolvimento sustentável da indústria da construção civil, não só por diminuir a geração de resíduos durante o processo construtivo, mas também por possibilitar o reaproveitamento dos resíduos gerados pelo próprio setor construtivo e por outros setores. Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho mecânico de tijolos de adobe de solo-cimento com a incorporação de resíduo de poliestireno expandido obtido através do processamento de embalagens que seriam descartadas de forma inadequada. Para tanto, foram feitos ensaios de resistência à compressão com blocos produzidos a partir da mistura de solo-cimento com os teores de 0,00%, 0,125%, 0,25% e 0,50% de resíduo de poliestireno expandido após 7 dias de cura; avaliação da perda de resistência à compressão dos blocos em condição próxima à saturação; e ensaios de retração. A incorporação de resíduo de poliestireno expandido na matriz de solo-cimento promoveu uma redução na densidade dos blocos, entretanto, essa incorporação resultou em perdas significativas de resistência à compressão simples.

PALAVRAS-CHAVE: adobe, solo-cimento, resíduo, poliestireno expandido, sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O setor construtivo é um grande consumidor de matérias-primas naturais. Estima-se que 20% a 50% dos recursos naturais consumidos pela sociedade são utilizados pela indústria da construção civil. Esse significativo impacto ambiental da construção civil tem levado diversos países a adotarem políticas ambientais específicas para o setor. Dentre essas políticas pode-se destacar: a reutilização de recursos, utilização de recursos renováveis, redução do consumo de recursos e proteção ao meio ambiente. A incorporação de resíduos na produção de materiais além de auxiliar na redução dos impactos ambientais pode possibilitar a obtenção de materiais com melhores características técnicas em diversas áreas (JOHN, 2001).

Uma das alternativas para redução dos impactos ambientais do setor construtivo é o recurso às técnicas construtivas sustentáveis, dentre as quais pode-se citar o adobe. Os adobes são tijolos de terra crua, que se apresentam como uma técnica construtiva de baixo custo, que oferece isolamento térmico e acústico, consome matéria-prima abundante, não exige mão de obra especializada e possibilita grande variedade de formas e tamanhos. Nos últimos anos tem se observado o estudo do uso de resíduos sólidos reciclados para o melhoramento das propriedades dos adobes (MORETT, 2003; NEVES, 2004; CORRÊA et al., 2006; ROTONDARO, 2011).

Apesar de não ser um material poluente, o poliestireno expandido (EPS) leva mais de 100 anos para se decompor, e por ser muito volumoso, acaba ocupando grandes espaços em aterros sanitários e vazadouros por muito tempo. Algumas empresas ainda realizam a queima de grandes quantidades do material a fim de realizar o descarte do produto, o que polui o ar e agrava os problemas de aquecimento global (BALBO; TOSTA, 2012). Neste âmbito, o reaproveitamento do EPS se torna uma alternativa sustentável de grande valia.

O poliestireno expandido é um material composto por 98% de ar e 2% de carbono e hidrogênio. O setor construtivo é o principal campo de reaproveitamento desse material, fazendo uso em diversas finalidades, como: enchimento de lajes e fôrmas para concreto, componente de lajes, isolante térmico, concreto leve, agregado em tijolos, forros isolantes e decorativos, isolante acústico, juntas de dilatação, entre outros (TESSARI, 2006). Dentro desse contexto, o presente trabalho se propõe em estudar as propriedades de tijolos de adobe de solo estabilizado com cimento, com a incorporação de resíduo de poliestireno expandido obtido através do processamento de embalagens que seriam descartadas de forma inadequada, visando obter um bloco construtivo mais leve e que se enquadre nos conceitos de sustentabilidade.

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o desempenho mecânico de tijolos de adobe de solo-cimento com a incorporação de resíduo de poliestireno expandido obtido através do processamento de embalagens que seriam descartadas de forma inadequada. Para tanto, foram feitos ensaios de resistência à compressão com blocos produzidos a partir da mistura de solo-cimento com os teores de 0,00%, 0,125%, 0,25% e 0,50% de resíduo de poliestireno expandido após 7 dias de cura, avaliação da perda de resistência à compressão dos blocos em condição próxima à saturação, e ensaios de retração.

METODOLOGIA

MATERIAIS

Solo

O solo utilizado foi coletado no ano de 2017 em um local próximo às margens do contorno viário que liga as rodovias BR-070 e BR-158, próximo à MT-100, localizado no município de Pontal do Araguaia-MT. Após a coleta, o solo foi peneirado, descartando a fração pedregulho, e armazenado. De acordo com Schweig et al. (2018), trata-se de um solo granular classificado como areia siltosa ou argilosa. A Figura 1 apresenta a localização do ponto de coleta do solo.



Figura 1: Local de retirada do solo. Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

Cimento

O aglomerante utilizado neste trabalho foi o cimento Portland composto com pozolana (CP II-Z 32), devido sua disponibilidade na região. Tendo em vista a classificação do solo apresentada por Schweig et al. (2018) e seguindo os teores recomendados pela Associação Brasileira de Cimento Portland (2004), o melhor teor de cimento para as misturas é de 7% em relação à massa seca de solo.

Resíduo de poliestireno expandido

O resíduo de poliestireno expandido foi obtido através da coleta de embalagens de eletrodomésticos, que seriam descartadas incorretamente. As embalagens foram coletadas, higienizadas e processadas utilizando um liquidificador. A fim de obter uma boa dispersão das partículas, o processamento do resíduo foi feito em várias etapas com pequenas quantidades de material. Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados cerca de 350 gramas de poliestireno expandido processado. Para a caracterização do material foi feita a análise granulométrica pela lavagem do resíduo processado nas peneiras de abertura de 19,00, 9,50, 4,75, 2,36, 2,00, 1,40 e 0,30 mm.

CONFECÇÃO DOS BLOCOS DE ADOBE

Foram produzidos quatro grupos de blocos de adobe. O Quadro 1 apresenta as características dos grupos de blocos que foram produzidos. Os blocos confeccionados foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão.

Quadro 1: Misturas para confecção dos blocos. Fonte: Arquivo pessoal (2021)

Nomenclatura	Composição		
	Solo (%)	Cimento (%)	Poliestireno expandido (%)
Mistura 0	100	7,0	0,0
Mistura 1	100	7,0	0,125
Mistura 2	100	7,0	0,25
Mistura 3	100	7,0	0,50

O processo de produção dos blocos foi adaptado do roteiro de Buson (2009), em que primeiramente umidifica-se as paredes da betoneira com água, adiciona-se a mistura de solo com cimento e resíduo de EPS realizada previamente (Figura 2a), e por último, acrescenta-se água à mistura em pequenas quantidades, até que se atinja uma consistência plástica. Os blocos foram moldados no chão recoberto com uma lona plástica utilizando um molde vazado com dimensões de 12 cm de largura, 24 cm de comprimento e 7 cm de altura. O processo consiste na colocação de pequenas quantidades da massa preparada no molde, com o devido cuidado para que não haja vazios (espaços não ocupados pela massa) (Figura 2b). O molde deve estar previamente untado com óleo lubrificante para facilitar o desenforme. Após preencher a fôrma completamente, é realizado o nivelamento, retirando o excesso de massa e garantindo uma superfície lisa na face superior do bloco. Por fim, o molde é levantado verticalmente para realização do desmolde. A cura dos blocos foi realizada ao ar, em temperatura ambiente, em local protegido das intempéries. Ao final do período de cura a massa e o volume dos corpos de prova foram aferidos, para posteriormente se analisar a densidade dos blocos. A densidade dos blocos foi calculada dividindo a massa pelo volume.



Figura 2: Etapas do procedimento de confecção dos blocos: (a) mistura prévia de solo, cimento e resíduo de EPS; (b) moldagem dos blocos. Fonte: Arquivo pessoal (2021).

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O ensaio de resistência à compressão simples foi conduzido com o objetivo de verificar o efeito que a adição de resíduo de EPS tem na resistência à compressão do bloco em relação aos blocos de adobe de solo-cimento sem nenhum tipo de adição. A preparação dos corpos de prova se deu pelo capeamento da face superior do tijolo com argamassa de cimento após o período de cura de 7 dias. Conforme proposto por Silva (2015) e Schweig et al. (2018), a argamassa produzida para este fim possui traço de 1:2, com umidade de 25%, e aplicada com espessura máxima de 3 mm. Este procedimento teve como objetivo garantir o paralelismo das faces comprimidas.

Após um período de 24 horas, para a cura da argamassa, colocou-se o bloco de forma centralizada no prato da máquina de ensaio à compressão. Duas placas metálicas foram utilizadas para transferir a carga ao corpo de prova de modo uniforme. As amostras foram submetidas à verificação da resistência à compressão, com uma velocidade de carregamento de 50 mm/min. Nesse procedimento foram avaliados 5 blocos de cada mistura após um período de cura de 7 dias.

A resistência à compressão dos blocos também foi avaliada em uma condição crítica. Aos 7 dias de cura, cinco blocos de cada mistura, foram capeados e submetidos a 24 horas de imersão em água à temperatura ambiente, após a cura da argamassa. Nesse procedimento também foram utilizadas placas metálicas para transferência uniforme da carga aplicada

pela máquina de ensaio, e a velocidade de carregamento também foi de 50 mm/min. Nas duas situações, a resistência à compressão média dos blocos de cada grupo foi definida pela média simples de cinco determinações.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os valores de resistência foram tratados estatisticamente através da análise de variância (ANOVA), teste de comparações múltiplas de médias (teste Tukey), e teste T Student utilizando o software gratuito Paleontological Statistics (PAST) versão 3.22. A ANOVA foi feita com o objetivo de verificar a existência de diferenças significativas entre as misturas com diferentes teores de resíduo de EPS, o teste Tukey foi aplicado com o intuito de identificar quais composições apresentaram diferença significativa.

O teste T Student, que foi conduzido presumindo variâncias diferentes entre as misturas, foi aplicado para verificar a existência de diferença significativa entre a resistência à compressão média dos blocos submetidos e não submetidos ao período de imersão em água. Como a hipótese tem como base a diferença de médias, a análise dos dados por esse tratamento foi feita considerando um teste bicaudal.

Na análise da existência de diferenças significativas entre as composições foram levantadas duas hipóteses: a hipótese nula, que considera não haver diferença entre as médias, e a hipótese alternativa, em que nem todas as médias são iguais. Em todas as análises foi considerado satisfatório o nível de significância (p) de 5%. Se $p \leq 5\%$, a hipótese nula é rejeitada, indicando a existência de diferença significativa entre as médias, e se $p > 5\%$, não existem diferenças significativas.

ENSAIO DE RETRAÇÃO

O ensaio de retração foi realizado com as misturas 1, 2 e 3, conforme os procedimentos propostos por Buson (2009), sendo adaptados da metodologia proposta pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CEPED, 1999 *apud* BUSON, 2009). Nesse ensaio, a mistura é considerada adequada quando, na análise dos resultados, não apresentar trincas nem retração superior à 2 centímetros. O procedimento consiste no preparo de uma massa de consistência similar à do adobe que deve ser acondicionada na caixa de ensaio, que apresenta dimensões internas de 3,5 cm de altura, 8,5 cm de largura e 60 cm de comprimento. A Figura 3 representa o processo de acondicionamento da mistura na caixa de ensaio. Após o período de cura de 7 dias, verifica-se a existência de fissuras e trincas, e é feita a medição da retração do material na direção de maior dimensão da caixa, com precisão de 1 mm.



Figura 3: Disposição das misturas na caixa do ensaio de retração. Fonte: Arquivo pessoal (2021).

RESULTADOS OBTIDOS

Ao processar o poliestireno expandido foi possível notar uma variação no tamanho das partículas. Essa variação nas dimensões das partículas foi avaliada através da análise granulométrica por lavagem. As partículas retidas em cada peneira são mostradas na Figura 4. A partir da pesagem da fração de partículas retidas em cada peneira, foi possível traçar a curva granulométrica do resíduo, que pode ser observada na Figura 5. Nota-se que há um desenvolvimento quase vertical da curva, indicando desta forma, uma graduação uniforme.



Figura 4: Partículas do resíduo de poliestireno expandido retidas em cada peneira.
Fonte: Arquivo pessoal (2021).

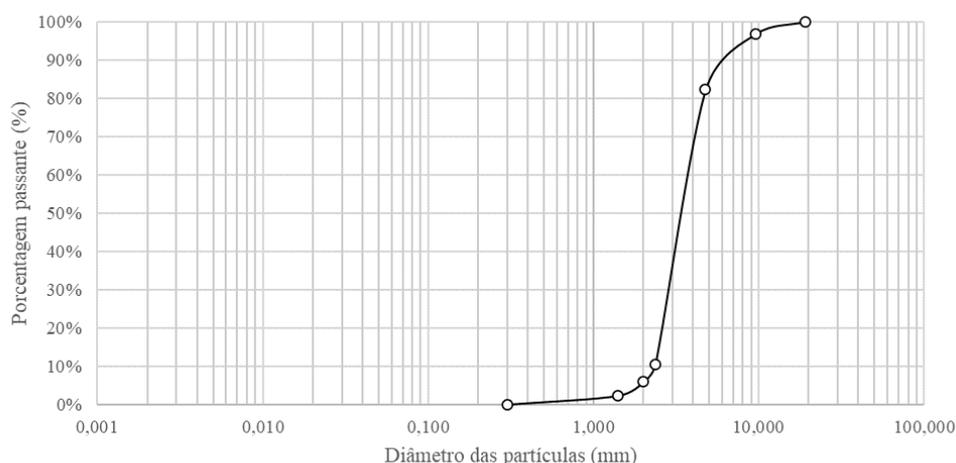


Figura 5: Curva granulométrica do resíduo de poliestireno expandido. Fonte: Arquivo pessoal (2021).

Os valores médios de resistência à compressão simples dos tijolos de adobe de solo-cimento confeccionados com diferentes teores de resíduo de poliestireno expandido são apresentados na Figura 6. De modo geral, no que diz respeito à resistência à compressão, a incorporação do resíduo de EPS não foi benéfica. A resistência de todos os blocos contendo resíduo em sua composição ficou abaixo da resistência dos blocos de referência (mistura 0). Aos 7 dias de cura, as misturas, 1, 2 e 3 apresentaram, respectivamente, uma perda de resistência de 67%, 63% e 85% em relação à mistura 0.

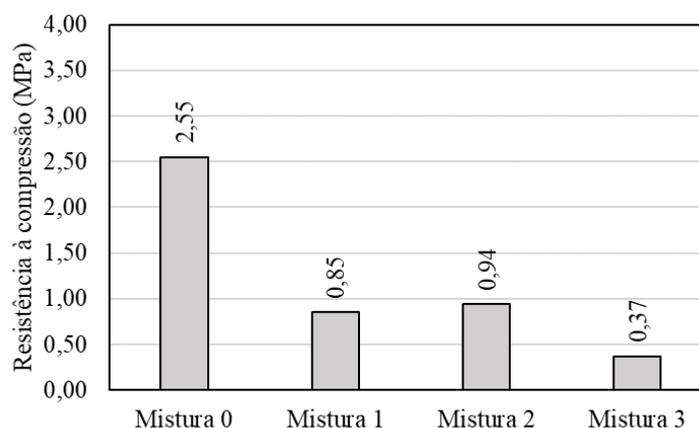


Figura 6: Resistência à compressão simples média aos 7 dias de cura. Fonte: Arquivo pessoal (2021).

Através da ANOVA, foi possível observar que existe diferença significativa entre as quatro composições analisando a resistência à compressão simples dos blocos ($p < 0,05$). Através do teste Tukey foi possível observar que todas as misturas contendo resíduo de EPS diferem-se significativamente da mistura de referência. Ainda nesta análise, verifica-se que as misturas 1 e 2 não possuem diferenças significativas entre si, enquanto a mistura 3 se difere significativamente de todas demais.

Os valores médios de resistência à compressão simples dos tijolos de adobe após 24 horas de imersão em água, são apresentados na Figura 7, juntamente com os valores médios de resistência à compressão simples dos blocos não submetidos à imersão em água, para comparação.

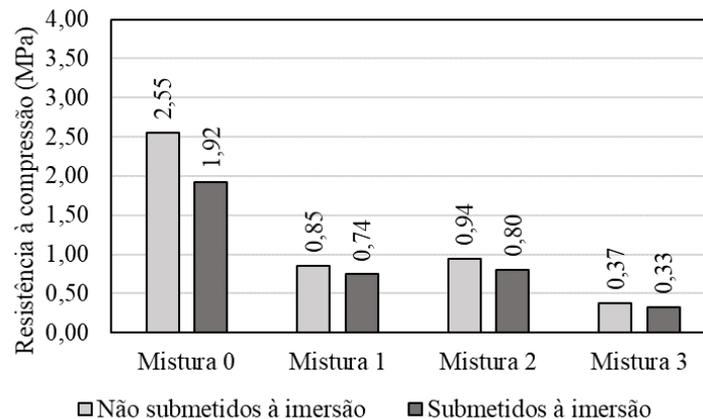


Figura 7: Resistência à compressão simples média aos 7 dias de cura após 24 horas de imersão em água.
Fonte: Arquivo pessoal (2021).

Após a imersão em água, os blocos das misturas 0, 1, 2, e 3, apresentaram uma redução na resistência à compressão simples de 25%, 13%, 15%, e 11%, respectivamente. De acordo com o teste T, todas essas perdas de resistência à compressão são significativas ($p < 0,05$). Através da ANOVA, foi possível observar que existe diferença significativa entre as quatro composições analisando a resistência à compressão simples após 24 horas de imersão em água ($p < 0,05$). Através do teste Tukey foi verificado que existem diferenças significativas entre a mistura de referência (mistura 0) e todas as demais misturas. Ainda nesta análise, verificou-se que a mistura 3 se diverge significativamente das demais misturas, e as misturas 1 e 2 não apresentam diferenças significativas entre si.

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que a adição de resíduo de EPS afetou negativamente a resistência à compressão dos blocos. A composição contendo o maior teor de poliestireno expandido (0,50%) apresentou o menor valor de resistência e as maiores perdas de resistência em relação à mistura de referência. Os blocos da mistura 3 submetidos e não submetidos ao processo de imersão em água apresentaram uma perda de resistência em relação à mistura 0 de 83% e 85%, respectivamente.

O ensaio de retração pelo método da caixa não apresentou resultados satisfatórios para todos os traços avaliados (misturas 1, 2 e 3). A mistura 3 apresentou uma trinca com abertura de aproximadamente 3 mm, a mistura 2 também apresentou uma trinca, com abertura da ordem de 1 mm, e a mistura 1 apresentou uma fissura cuja abertura não pode ser determinada. A Figura 8 mostra o aspecto das misturas ao fim do período de 7 dias de cura.

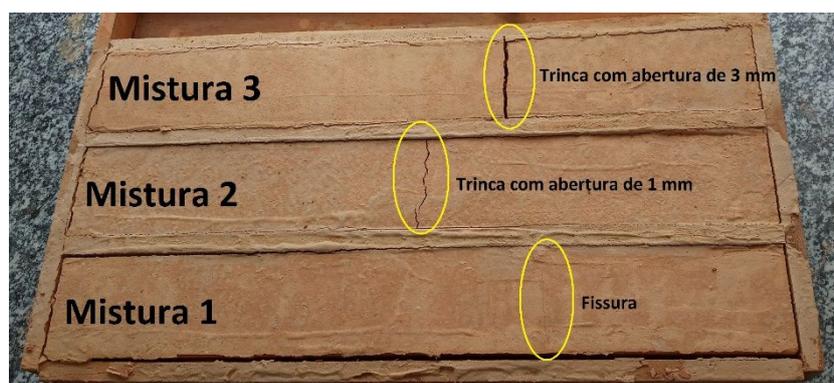


Figura 8: Aspecto final das amostras para análise de retração. Fonte: Arquivo pessoal (2021).

No estudo desenvolvido por Novato (2019), conduzido com o mesmo solo utilizado no presente trabalho, apesar da autora ter observado retrações admissíveis, observou a formação de trincas na mistura de solo com 7% de cimento (CP II-Z 32). As fissuras e trincas observadas podem estar associadas tanto ao teor de cimento utilizado, como às condições de cura (MIELI, 2009). Por terem apresentado trincas, as misturas 2 e 3 são consideradas inadequadas para o uso em elementos construtivos de acordo com o CEPED (1999 apud BUSON, 2009). Por apresentar uma retração média (6 mm) inferior ao valor máximo admissível recomendado pela literatura (20 mm), apesar da fissuração, somente a mistura 1 apresenta potencial de utilização em elementos construtivos.

Com base na massa e no volume dos corpos de prova aos 7 dias de cura, se observa que os blocos das misturas 0, 1, 2 e 3 apresentam uma densidade média de 1,81, 1,55, 1,53, e 1,16 g/cm³, respectivamente. A redução da densidade dos blocos com a incorporação de EPS deve-se ao fato de o poliestireno expandido ser constituído majoritariamente de ar, fazendo com que a densidade dos compósitos diminua à medida que o teor de EPS na composição aumenta. Esse fato beneficia não só a redução de carregamentos na estrutura das edificações como também aspectos relacionados ao conforto térmico e acústico. Por outro lado, esta incorporação de ar nas misturas de solo-cimento através do EPS, trouxe consequências negativas relacionadas ao desempenho mecânico dos blocos, reduzindo a resistência à compressão simples com o aumento do teor de resíduo na mistura.

CONCLUSÕES

A inserção do resíduo de poliestireno expandido tinha como principal hipótese a diminuição do peso dos blocos, sendo este um fator interessante para o uso dos tijolos de adobe em construções, pois quanto menor a carga proveniente de alvenaria, menor é o custo com a estrutura. Essa redução de peso foi de fato verificada, entretanto, a incorporação do resíduo de EPS resultou em uma perda de resistência à compressão de até 86% para a mistura 3, além de trincas no ensaio de retração. A mistura 1 se destaca em relação às demais composições com resíduo de EPS por ter apresentado o melhor desempenho no ensaio de retração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). **Dosagem das Misturas de Solo-cimento – Normas de Dosagem e Métodos de Ensaio**. São Paulo, 2004.
2. Balbo, T. D.; Tosta, Y. F. Análise da opinião do consumidor em relação ao descarte de EPS e seus impactos ambientais. **Revista Ciências do Ambiente online**. v. 8, p. 22-27, 2012. Disponível em: <http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/nova/index.php/be310/article/view/308/239>. Acesso: 21 de setembro 2021.
3. Buson, M. A. **Kraftterra: Desenvolvimento e Análise Preliminar do Desempenho Técnico de Componentes de Terra com a Incorporação de Fibras de Papel Kraft Provenientes da Reciclagem de Sacos de Cimento para Vedação Vertical**. 2009. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
4. Correa, A. A. R., Teixeira, V. H., Lopes, S. P., Oliveira, M. S. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do adobe (tijolo de terra crua). **Ciência e Agrotecnologia**. v. 30, p. 503-515, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542006000300017&lng=pt&nrm=iso. Acesso: 24 de abril 2021.
5. John, V. M. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. In: Cassa, J. C. S., Carneiro, A. P., Brum, I. A. S (Org.). **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção**. Salvador: EDUFBA, Caixa Econômica Federal, 2001. 312 p.
6. Mieli, P. H. **Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil**. 2009. Projeto de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
7. Morett, H. T. **A importância da inserção dos sistemas construtivos de solo-cimento no processo de industrialização da construção**. 2003. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
8. Neves, C. M. M. Resgate e atualização do construir com terra: O projeto PROTERRA. **Anais... I Conferência latino-americana de construção sustentável & X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. São Paulo, 2004.
9. Novato, F. G. C. A. **Tijolos de adobe de solo-cimento com adição de resíduo de recapagem de pneus**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Mato Grosso, Barra do Garças, 2019.
10. Rotondaro, R. Adobe. In: Neves, C.; Farias O. B. (Org.). **Técnicas de construção com terra**. Bauru: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011.

11. Schweig, E. O., Ferreira, R. T. L., Rezende, G. B. M., Aquino, V. B. M., Christoforo, A. L., Lahr, F. A. R. Adobe Soil-Cement Bricks Reinforced with Recycled Kraft Paper Fibers. **International Journal Of Materials Engineering**, v. 8, p. 101-108, 2018.
12. Silva, B. A. **Estudo de Misturas Solo-cimento Agregado Reciclado de Telhas Cerâmicas para Fabricação de Blocos para Alvenaria**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.
13. Tessari, J. **Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006..