

## ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PAREDES MONOLÍTICAS DE SOLO ESTABILIZADO A PARTIR DO USO DE MECANIZAÇÃO

MILANI, A. P. S.<sup>1</sup>; YUBA, A. N.<sup>2</sup>; VERALDO, A. C.<sup>3</sup>; PAZ, J. G. S.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eng. Civil, Profa. Dra. Adjunta, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande – MS, (0XX67) 33457478, ana.milani@ufms.br

<sup>2</sup> Arquiteta, Profa. Dra. Adjunta, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande – MS, naguissa@gmail.com

<sup>3</sup> Aluna de Pós-Graduação do curso de Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande – MS, anacarolinaveraldo@hotmail.com

<sup>4</sup> Aluno Graduação de Engenharia Civil, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande – MS, jgabrielsp@gmail.com

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

**RESUMO:** Uma das tecnologias para construção rural tem sido a utilização das paredes monolíticas de solo estabilizado. No entanto, para que tal solução construtiva esteja inserida no contexto de sustentabilidade é necessário o desenvolvimento no processo de produção das paredes com base na redução do desperdício e no ganho da produtividade. Sendo assim, o objetivo foi avaliar a produtividade da construção de paredes monolíticas de solo estabilizado, sendo analisado a influência do tipo de fôrma e de mecanização no processo de produção, bem como no desempenho das paredes. Para tal, foi realizado estudo de caso durante a execução da residência-protótipo para assentamentos rurais de MS, sendo realizadas medições das etapas de montagem e desmontagem das fôrmas; dosagem, homogeneização, lançamento e compactação; desforma; acabamento, materiais e equipamentos utilizados; mão-de-obra e tempo de execução; bem como análise sobre a percepção dos usuários. Foram moldados corpos de prova para verificação do desempenho físico-mecânico e durabilidade das paredes. Desta forma, permitiu-se o apontamento de melhorias para o processo de produção das paredes de solo estabilizado, sendo destacados efeitos significativos na produtividade e no desempenho final do produto a partir da aplicação de mecanização.

**PALAVRAS-CHAVE:** taipa, solo-cimento, resistência mecânica, produtividade

### ANALYSIS OF THE PRODUCTION OF STABILIZED RAMMED EARTH WALLS USING PROCESS MECHANIZATION

**ABSTRACT:** One of the technologies for rural construction has been the use of stabilized rammed earth walls. However, such a constructive solution that is inserted in the context of sustainable development is required in the production of the walls on the basis of process and waste reduction in the gain in productivity. Thus, the objective was to evaluate the productivity of the construction of stabilized rammed earth walls, and analyzed the interference of the type of mold and mechanization in the production process as well as the performance of the walls. To this end, a case study was carried out during the execution of residence prototype for rural settlements of MS, measurements of the stages of assembly and disassembly of molds taking place, dosing, mixing, release and compression; deformation; finish materials and equipment used; hand labor and runtime, and analysis of the users' perception. Specimens were molded to check the physical-mechanical performance of the walls. Thus, it permitted the appointment of improvements to the production process of stabilized rammed earth walls, being featured significant effects on productivity and end product performance from the application of mechanization.

**KEYWORDS:** rammed earth, cement-soil, strength, productivity.

## INTRODUÇÃO

A partir da década de 70, com a necessidade de suprir o déficit habitacional brasileiro, observou-se o surgimento de novos sistemas construtivos como alternativas aos produtos e processos tradicionais até então utilizados, visando principalmente à racionalização e industrialização da construção (GONÇALVES et.al, 2000).

A construção civil moderna passa por um processo de industrialização, ela sai da era do trabalho informal e que em princípio era realizado por pequenas empresas, para a organização de linhas de produção, trabalhadores bastante especializados e empresas de grande porte com sistemas implantados de qualidade e produtividade. Tal cenário exige dos profissionais e métodos envolvidos o desenvolvimento das tarefas em menores prazos e com resultados finais satisfatórios, evitando-se os chamados retrabalhos. Essa configuração da construção civil está inserida em um processo mundial que visa não apenas o conforto dos usuários das edificações produzidas, a engenharia e a arquitetura, vem buscado otimizar os sistemas e processos construtivos para que estas consumam uma quantidade menor de energia e produzam menores resíduos, em sua fase de construção, utilização e demolição.

Não longe da construção civil, a construção rural passa pelos entraves da distribuição dos materiais de construção que após a aquisição é realizada nos assentamentos rurais da mesma forma que é realizada na cidade, implicando em perdas durante o transporte, pelas más condições das estradas de acesso, além da própria distância percorrida, contribuindo para o encarecimento dos materiais de construção; assim como muitas construções rurais aguardam longos períodos pela entrega dos materiais de construção, dadas as dificuldades de cumprimento das entregas pela sobrecarga na logística dos fornecedores. Esse déficit demanda uma avaliação do potencial de produção atual e futuro dos materiais mais solicitados na produção dessas habitações rurais.

Indo de encontro com estas premissas, o resgate da terra como material alternativo tem-se mostrado um caminho promissor, visto que a eliminação do processo de queima do solo (argila) para produção de tijolos cerâmicos diminui significativamente o lançamento de CO<sub>2</sub> na atmosfera, além, também, do material terra caracterizar-se como um elemento propulsor de tecnologias apropriadas para assentamentos rurais. Para a melhoria do comportamento do solo quanto à sua aplicação em obras de engenharia, diversos produtos estão sendo utilizados como agentes estabilizadores, assim como processos de misturas, homogeneização, lançamento, adensamento e compactação tem-se sido investigado para a melhoria da resistência à compressão simples, do módulo de deformação, capacidade de carga, rigidez, compacidade e consistência, expansão e contração, resistência ao desgaste e resistência à erosão e durabilidade.

Em estudos de Heise et al. (2012) houve a análise do desempenho técnico-construtivo das paredes de taipa a partir da inserção das etapas de mecanização da homogeneização da mistura de solo estabilizado, do uso de compactador pneumático para o adensamento do material solo-cimento em fôrmas. Foi observado pelos referidos autores que o processo de produção mecanizado se mostrou eficiente, mas ainda sim é possível executar uma obra sem o emprego de equipamentos mecanizados. Ressaltaram que é notável que a mecanização do processo da paredes de taipa melhore os aspectos da velocidade da produção, do esforço de trabalho e da qualidade do acabamento, deixando assim todos os agentes envolvidos (construtor, mão de obra e usuário), no processo de produção, satisfeitos.

Logo, estudos que possam viabilizar o uso da mecanização dos processos construtivos em construções rurais pode institucionalizar uma nova lógica de produção na qual a sustentabilidade e a inovação tecnológica caminham juntas, ou seja, o desenvolvimento de novas técnicas construtivas e o estudo de novos materiais que buscam a manutenção das condições do ambiente em que vivemos para as gerações futuras.

## MATERIAL E MÉTODOS

Com o intuito de avaliar a produtividade e as características do material proveniente do método construtivo de paredes monolíticas de solo estabilizado foi construído no campus da Cidade Universitária da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, localizado em Campo Grande – MS, uma residência rural protótipo, sendo o principal material em estudo o solo estabilizado com cimento e microfibras de polipropileno compactado.

No processo construtivo foi utilizada mão de obra experiente em construções convencionais em alvenaria, porém inexperientes em construções com terra. Esta opção teve a finalidade de realizar transferência de tecnologia para o público-alvo moradores de assentamento rurais. O solo utilizado na construção das paredes monolíticas foi retirado das proximidades do local de execução do projeto e caracterizado como solo arenoso A2 com propriedades adequadas para estabilização com o cimento Portland CII E32. A tecnologia aplicada ao processo construtivo de paredes monolíticas foi a substituição das fôrmas deslizantes de chapas de madeirite estruturadas com sarrafos e parafusos (MILANI et al., 2008) pela utilização de fôrmas metálicas treliçadas com fechamento por chapas de madeirite plastificados, sendo este tipo de fôrma para suportar as tensões de compactação mecanizada do material solo estabilizado, como pode ser visto nas FIGURA 1 e FIGURA 2.

**FIGURA 1. Fôrma – estrutura treliça.** bem como propiciar qualidade e durabilidade no produto final, ou seja, paredes lisas, com mínimo necessário de juntas de dilatação, sem “bicheiras” e microfissuras, locais aos quais podem ser propícias para ocorrência de patologias.



FIGURA 1. Fôrma – estrutura treliça.



FIGURA 2. Fôrma - fechamento madeirite.

## DESCRIÇÃO DA CONSTRUÇÃO RESIDÊNCIA-PROTÓTIPO

A edificação possui 52,45 m<sup>2</sup> de área construída, sendo as paredes monolíticas autoportantes com 20 cm de espessura e construída sobre a fundação rasa de radier e baldrame, ambos de concreto usinado com adição de macrofibra de polipropileno, tendo como base solo compactado e 7 cm de brita 1. Com o intuito de amenizar o desgaste da parede monolítica, ou também chamada de parede de taipa, por contato direto com a água proveniente de precipitações e/ou limpezas domésticas, foi definido que o baldrame teria seção transversal de 10 cm de altura e 20 cm de espessura.

Feita a cura da fundação, iniciou-se o processo de montagem das fôrmas treliçadas e em seguida o encaixe da primeira camada de chapas de madeirite. A construção da parede se iniciou pela limpeza do radier e polvilhamento de uma fina camada de cimento, em seguida o lançamento de uma camada de 20 cm da mistura no estado solto de solo-cimento-fibras-água e a compactação mecanizada do mesmo dentro das fôrmas. Esse procedimento foi repetido até que faltassem poucos centímetros para o preenchimento completo do madeirite, quando foi acrescida outra chapa,

repetindo as etapas anteriores de lançamento e compactação até ser atingida a altura necessária da residência, a qual tem-se o pé-direito de 2,80 m. Não foi adotado o procedimento de ranhuras entre camadas. A cobertura do protótipo foi constituída por estrutura de madeira com fechamento de telhas metálicas tipo “sanduíche” com isolamento de camada de isopor.

Para a compactação do solo-cimento foi utilizado um compactador pneumático, conforme orientações de Heise et al. (2012), visto que com intuito de ganhar produtividade, o serviço foi efetuado sempre pelo mesmo operador. O ponto ideal de compactação ou o bom grau de compactação foi avaliado pelo operador, sendo verificada a seguinte situação: quando não era mais observado o desprendimento de solo-cimento e o impacto do compactador não marcava significativamente o solo compactado, era o momento ideal para finalização da camada.

Foram utilizados dois traços para o preparo do solo-cimento utilizado nas paredes, com volumes medidos em baldes de 10 litros, o primeiro com proporções de 12 baldes de solo para 1 balde de cimento – Traço 1:12 em volume, utilizado somente na construção da primeira parede (P01), como pode ser observada a ordem de execução na FIGURA 3, e o segundo traço de mesma proporções porém com a adição de 200 g de microfibras de polipropileno, utilizado para a construção das demais paredes – Traço 1:12 com adição de 1,4% de microfibras em relação a massa do cimento. A quantidade de água foi estimada de acordo com o ensaio de Proctor (NBR 7182, ABNT 1986), a qual a umidade ótima deste solo-cimento compactado é 12%. Para a obra, a quantidade de água utilizada por traço era inicialmente de 1 balde de água para cada 12 baldes de solo, e gradativamente foi adicionando-se pequenas quantidades de água para se atingir o teor ótimo de água, sendo utilizado o teste do “bolo” para tal avaliação. Este procedimento foi adotado devido a variação da umidade higroscópica do solo no momento do preparo, e também pela adição de microfibras, a qual diminuiu a trabalhabilidade da mistura solo-cimento-água.

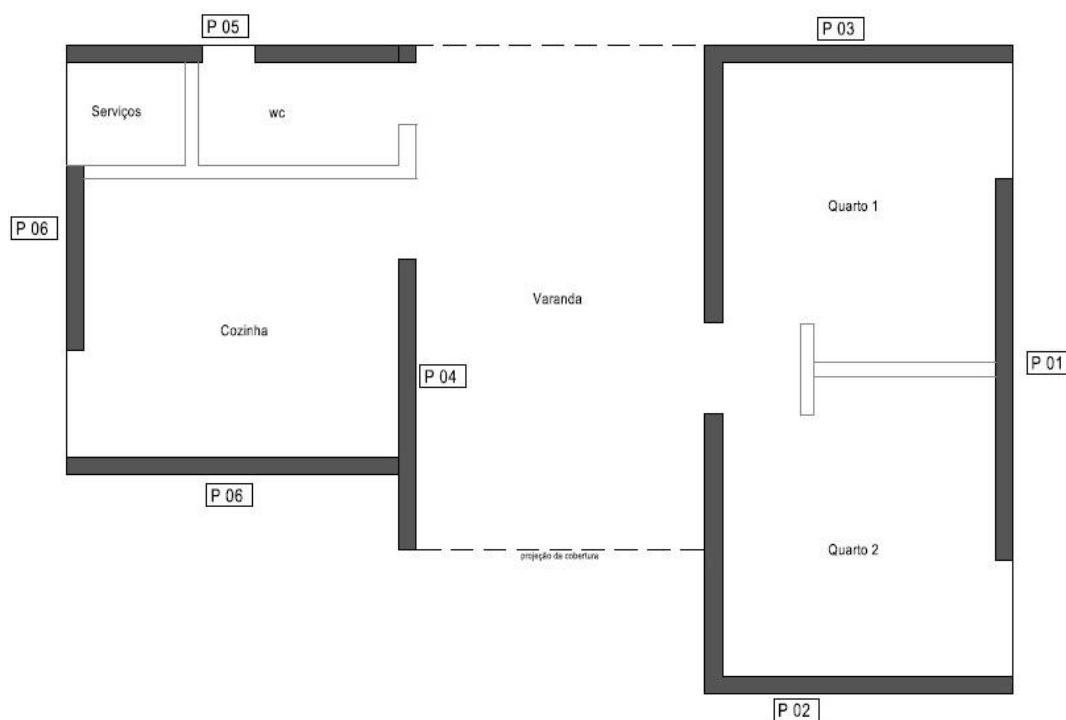


FIGURA 3. Planta baixa do projeto com a ordem de execução das paredes.

Durante o processo construtivo foram avaliadas três distintas maneiras de mecanização para preparação, homogeneização e lançamento da mistura solo-cimento-água e solo-cimento-fibras-água.

- Avaliou-se o uso de um misturador orbital, esse equipamento no momento da mistura apresentou dificuldades em homogeneizá-la, levando o material para as paredes do mesmo, logo não foi utilizado no processo.
- Foi utilizada uma betoneira estacionária convencional de 400 litros para o preparo e homogeneização da mistura durante o processo construtivo das quatro primeiras paredes, o carregamento do material até as fôrmas foi feito através de baldes de 10 litros.
- Foi utilizado um conjunto de máquinas composto por: uma peneira rotativa ( FIGURA 4), um misturador hexagonal, um triturador e esteiras transportadoras ( FIGURA 5) durante o processo construtivo das paredes P05 e P06. A peneira rotativa deveria ter sido utilizada para o peneiramento prévio do solo com o intuito de eliminar resíduos orgânicos e aglomerados, porém seu uso foi inviabilizado pelo entupimento da sua malha pelo solo úmido. Nesse processo, o preparo e homogeneização da mistura foram realizados no misturador hexagonal, transportado até o triturador por esteiras rolantes e lançado nas fôrmas através de baldes de 10 litros.

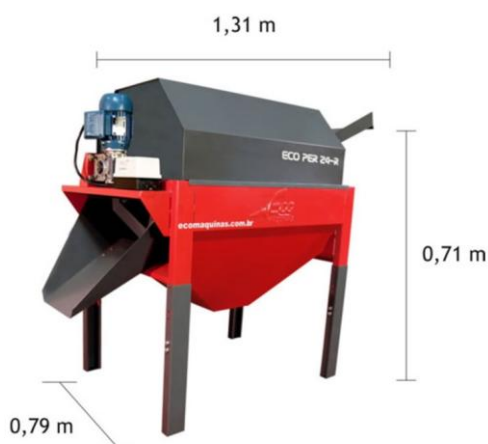


FIGURA 4. Peneira rotativa.



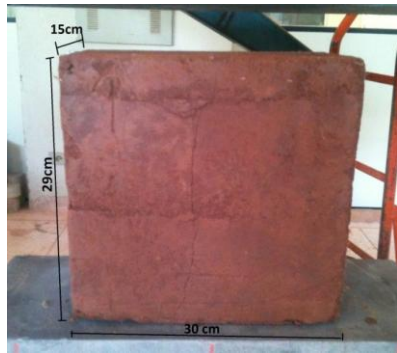
FIGURA 5. Misturador (A), esteiras (B), triturador (C).

## DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DAS PAREDES

Para a verificação do desempenho físico-mecânico das paredes monolíticas de solo estabilizado foram analisadas as influências de três variáveis no comportamento físico-mecânico do material, sendo elas, o uso de ranhuras entre as camadas que compõe o corpo de prova, a adição da microfibras e o método de preparação e homogeneização da mistura de solo-cimento-fibra-água.

Para isso, foram moldados 18 corpos de prova em formato de blocos retangulares, com intuito de representar as características físico-mecânicas das paredes. Vale ressaltar que os blocos foram confeccionados in loco, em fôrma de madeirite plastificado com dimensões internas aproximadas de 15 x 30 cm e altura de 29 cm, como pode ser observado na FIGURA 6; e deixados em cura na câmara úmida até o momento de serem submetidos aos ensaios laboratoriais.

Foram aplicados os ensaios de compressão simples conforme as disposições da NBR 8949 (ABNT, 1985) e ensaio de absorção de água de acordo com a NBR 13555 (ABNT, 1996) aos 120 dias de idade, sendo este período adotado devido a maioria das reações físico-químicas de estabilização da mistura solo-cimento terem ocorrido (MILANI et al., 2008).



(a)



(b)

FIGURA 6. Corpo de prova no ensaio de compressão simples (a e b).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de massa específica aparente seca dos tratamentos de solo-cimento e de solo-cimento-fibra não apresentaram diferenças significativas entre si, sendo os resultados em torno do valor de  $2,100 \text{ g/cm}^3$ .

O desempenho físico-mecânico do material solo-cimento-fibras foi analisado a partir dos resultados da TABELA 1, sendo ensaiados três corpos-de-prova para cada tratamento.

TABELA 1. Resultados de ensaios físico-mecânicos dos corpos de prova de solo-cimento-fibra.

	SR/CF/ B	CR/CF/ B	SR/CF/ M	CR/CF/ M	SR/ SF/ M	CR/SF/ M
<b>Tensão média (MPa)</b>	<b>1,60</b>	<b>3,65</b>	<b>4,31</b>	<b>3,34</b>	<b>2,77</b>	<b>2,54</b>
Desvio padrão	0,123	0,946	0,618	0,847	0,480	0,197
Coef. de variação	7,65%	22,80%	14,34%	25,34%	17,33%	7,76%
<b>Absorção água (%)</b>	<b>22,34</b>	<b>15,82</b>	<b>18,07</b>	<b>9,25</b>	<b>10,62</b>	<b>11,04</b>
Desvio padrão	2,65	2,61	0,26	Erro	0,92	1,22
Coef. de variação	11,86%	16,52%	1,42%	Erro	8,65%	11,04%

*CR e SR - com ranhuras e sem ranhuras; CF e SF- com microfibras de polipropileno e sem microfibras de polipropileno; B - uso da betoneira para preparo da mistura; M – uso do misturador e triturador para preparo da mistura.*

Mesmo procurando garantir a fidelidade dos corpos de prova com as paredes do protótipo ocorreu um erro na moldagem dos corpos de prova SR/CF/B devido à inexperiência dos operadores e um erro na execução do ensaio de absorção de água do corpo de prova CR/CF/M, o que conseqüentemente, apresentaram resultados muito divergentes dos demais, sendo excluídos da análise comparativa de desempenho do material.

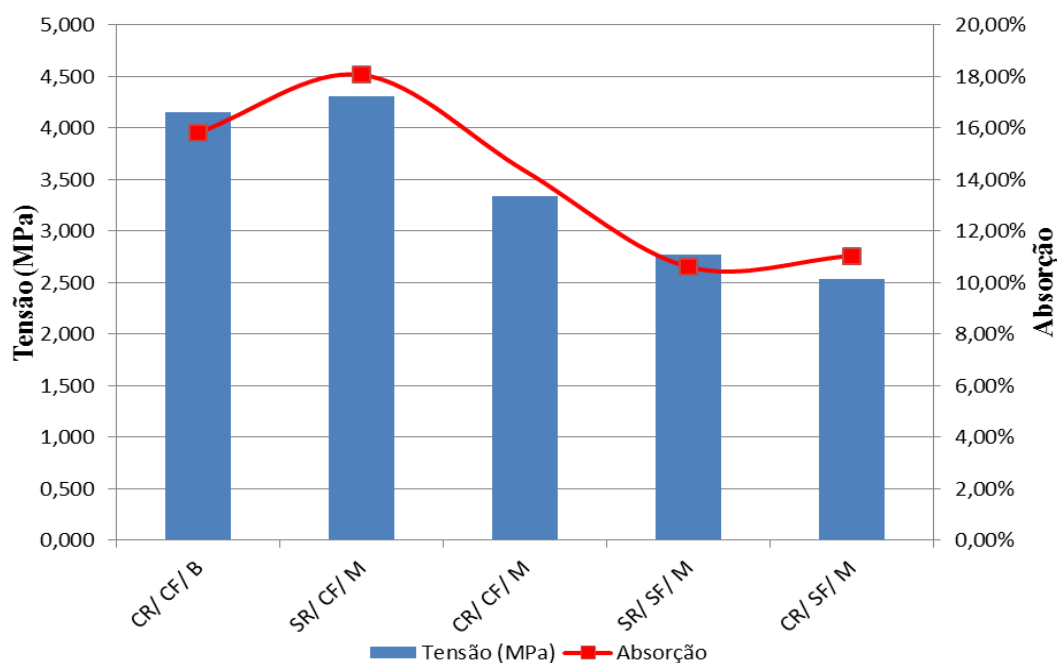


FIGURA 7. Valores de resistências a compressão simples dos corpos de prova e capacidade de absorção de água dos tratamentos de solo-cimento-fibras.

Como pode ser observado na FIGURA 7, não foi constatada nenhuma relação direta entre o uso de ranhuras entre as camadas compactadas na resistência do material, conseqüentemente podemos afirmar que esse procedimento não traz alterações mecânicas significativas para esse tipo de processo construtivo. Porém, foi notado que as misturas de solo-cimento com microfibras obtiveram maiores valores de capacidade de absorção de água e valores de resistência à compressão simples, em média, 36% maiores que as misturas de solo-cimento sem microfibras. Acredita-se que isso ocorreu porque a adição das fibras no solo-cimento acarretou em maior área superficial sem preenchimentos com produtos de cimentantes (reações da hidratação do cimento) e conseqüentemente, em uma mistura fisicamente com maior capacidade de absorver água. Em contrapartida, a adição de fibra melhorou mecanicamente o comportamento da mistura solo-cimento, acreditando-se que o papel de “pontes” das microfibras com o solo estabilizado proporcionou uma melhora na capacidade de absorção de energia, tornando o material mais dúctil.

Do ponto de vista estrutural, as misturas de solo-cimento e solo-cimento-fibras apresentaram um bom desempenho físico-mecânico, sendo que todos os tratamentos atenderam aos requisitos especificados pela norma NBR 8492 (ABNT, 2012), ou seja, resistências à compressão simples mínima de 2 MPa e capacidade de absorção máxima de 20%, aos 7 dias de idade.

Em relação a mecanização aplicada no processo de produção das paredes monolíticas foi contabilizado o tempo gasto para execução de 1 m<sup>2</sup> de parede, considerando uma equipe de mão de obra de quatro operários e as etapas de montagem das fôrmas, preparo da mistura, homogeneização - tipo de maquinário, lançamento, adensamento por compactação mecanizada da mistura, e desfôrma.

A FIGURA 8 demonstra o processo de construção da parede com o uso do equipamento betoneira, a qual apresentou produtividade de 48 minutos/m<sup>2</sup> de parede construída, e uma boa homogeneização da mistura, formando somente alguns aglomerados de solo, que não influenciaram significativamente na resistência mecânica do material (TABELA 1). Ao se utilizar o conjunto composto por misturador, esteira e triturador, obteve-se uma produtividade de 60 minutos/m<sup>2</sup> de parede construída, descrita na FIGURA 9, e uma melhor mistura dos componentes, pois o material apresentou-se totalmente homogêneo e solto, todavia, mesmo aparentando uma melhor qualidade que o material preparado na betoneira, depois de compactado e aplicado os ensaios laboratoriais, ambos tratamentos obtiveram características mecânicas semelhantes, ou seja, a variável estudada

tipo de método de preparação e homogeneização da mistura de solo-cimento-fibra-água não influenciou significativamente nas características físico-mecânicas do produto final.

Ao comparar a produtividade dos processos contrutivos avaliados nesse estudo, observou-se que o uso da betoneira para o preparo e homogeneização dos materiais e o balde para carregamento e lançamento nas fôrmas se mostrou até 12min/m<sup>2</sup> mais eficiente do que o conjunto de equipamentos misturador hexagonal, esteira e triturador. Realizando uma comparação entre o método convencional de construção de taipa utilizado por Milani et al. (2008), ou seja, uso de fôrmas de madeirite estruturas com sarrafos, preparo e homogeneização da mistura com enxadas e compactação com pilão, obteve-se a produtividade de 90min/m<sup>2</sup>, podendo, então, observar um ganho de produtividade em até 42min/m<sup>2</sup>.

### Produtividade betoneira h/m<sup>2</sup>

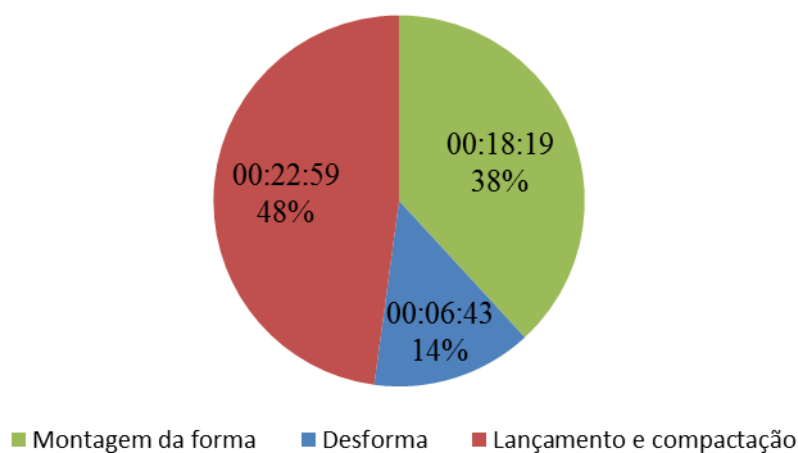


FIGURA 8. Processo produtivo das paredes utilizando a betoneira.

### Produtividade misturador h/m<sup>2</sup>

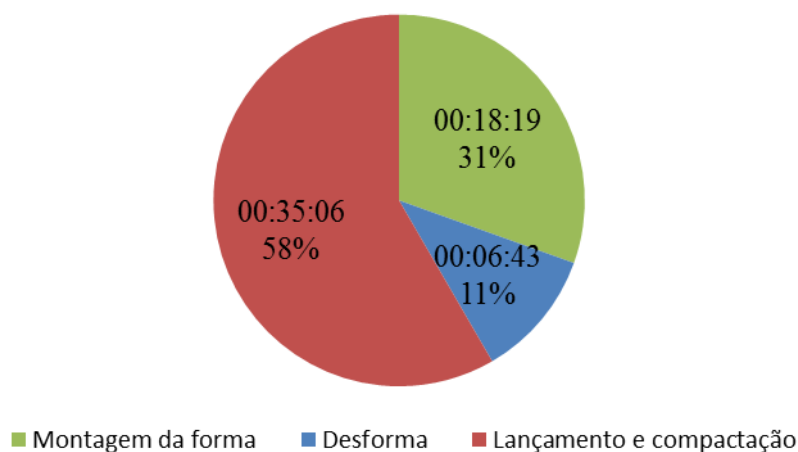


FIGURA 9. Processo produtivo das paredes utilizando misturador, esteira e triturador.



## CONCLUSÕES

O estudo mostrou uma melhora significativa no comportamento mecânico das paredes monolíticas de solo estabilizado utilizando microfibras de polipropileno. Destaca-se, também, que as ranhuras entre as camadas de solo compactado não influenciaram na resistência à compressão simples das paredes e que o uso do equipamento betoneira se mostrou mais adequado no processo construtivo quando comparado com a aplicação do conjunto de maquinários - misturador, esteira e triturador, devido a melhor produtividade e o bom desempenho físico-mecânico do produto final.

Ressalta-se a necessidade de estudos futuros sobre a dosagem e a influência do uso de fibras de polipropileno nas demais características das paredes monolíticas de solo estabilizado, bem como o estudo custo-benefício da inserção de maior contingente de mão-de-obra e de energia gasta com o uso da mecanização. É necessário lembrar as limitações desse estudo em relação à dosagem de microfibras, ao número de máquinas analisadas e ao porte da obra, tendo em vista que existem inúmeras equipamentações disponíveis no mercado que podem aprimorar a qualidade e aperfeiçoar a produtividade.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182 (1986). Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro. 10 p.

\_\_\_\_\_. NBR 8492 (2012). Tijolo maciço de solo-cimento - Determinação da resistência à compressão e absorção de água. Rio de Janeiro. 4p.

\_\_\_\_\_. NBR 8949 (1985). Paredes de alvenaria estrutural. Ensaio à compressão simples. Rio de Janeiro,. 7p.

\_\_\_\_\_. NBR 12024 (1990): Solo-cimento. Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 5 p.

\_\_\_\_\_. NBR 13555 (1996). Solo - ensaio de absorção. Rio de Janeiro. 8p.

Gonçalves, O.M.; John, V.M.; Picchi, F.A.; Sato, N.M.N. (2000). Normas técnicas para avaliação de sistemas construtivos inovadores para habitação. Coletânea Habitare, vol. 3. Normalização e Certificação na Construção Habitacional.

Heise, A. F.; Minto, F. C. N.; Hoffmann, M. V. Proposta de contribuição para análise do desempenho técnico-construtivo das paredes de taipa de pilão. Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil. Anais...Fortaleza. 2012.

Milani, A.P.S; Bertocini, S.R.; Freire, W. J. Estudos para viabilizar o uso do material solo-cimento-cinza de casca de arroz na construção de paredes monolíticas. Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil. Anais...Maranhão. 2008.