



**RÔMULO MARÇAL GANDIA**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO,  
MECÂNICO, TÉRMICO E ENERGÉTICO DE  
ADOBES COM E SEM ESTABILIZAÇÃO**

**LAVRAS-MG  
2017**

**RÔMULO MARÇAL GANDIA**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO, MECÂNICO,  
TÉRMICO E ENERGÉTICO DE ADOBES COM E SEM  
ESTABILIZAÇÃO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola, área de  
concentração em Engenharia  
Agrícola, para a obtenção do título  
de Mestre.

Orientador

Dr. Francisco Carlos Gomes

Coorientador

Dra. Andréa Aparecida Ribeiro Corrêa

**LAVRAS-MG  
2017**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Gandia, Rômulo Marçal.

Avaliação do comportamento físico, mecânico, térmico e  
energético de adobes com e sem estabilização. / Rômulo Marçal  
Gandia. - 2017.

159 p. : il.

Orientador(a): Francisco Carlos Gomes.

Coorientador(a): Andréa Aparecida Ribeiro Corrêa.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. material não convencional. 2. resíduos. 3. sustentabilidade. I.  
Gomes, Francisco Carlos. II. Corrêa, Andréa Aparecida Ribeiro. III.  
Título.

**RÔMULO MARÇAL GANDIA**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO,  
MECÂNICO, TÉRMICO E ENERGÉTICO DE ADOBES  
COM E SEM ESTABILIZAÇÃO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Lavras, como  
parte das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia  
Agrícola, área de concentração em  
Engenharia Agrícola, para a obtenção  
do título de Mestre.

Aprovada em 11 de setembro de 2017.

Dr. Holmer Savastano Júnior	ZEB/USP
Dr. Gilmar Tavares	DEG/UFLA
Dr. Rafael Farinassi Mendes	DEG/UFLA
Dr. Juliano Elvis de Oliveira	DEG/UFLA

Orientador

Dr. Francisco Carlos Gomes

Coorientador

Dra. Andréa Aparecida Ribeiro Corrêa

**LAVRAS-MG  
2017**

*A DEUS.*

*Por minha família que é a base de todo meu eu.*

*Meu pai que é minha estrutura.*

*Minha mãe que é minha confiança.*

*Meu irmão que é minha inspiração.*

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia (DEG), pela oportunidade de realização do mestrado.

À Prof. Dra. Andréa Corrêa que me orientou, que acreditou em mim desde o começo de meu projeto de pesquisa, quem me ensinou muito desde minha graduação e pela grande amizade.

Ao Prof. Dr. Francisco Carlos Gomes que me orientou, guiou-me, ensinou-me e pela confiança transmitida durante todo o mestrado.

A todos os professores do departamento de engenharia da UFLA, em especial, aos professores Marcelo, Ednilton, Alessandro, Maykmiller e Saulo.

Ao Professor Gilmar Tavares, por sempre acreditar nas pessoas.

Aos alunos do projeto, meus braços direito, Michel, Sylvia, Lucas, Isabelle e Yan por toda grande ajuda nesses 2 anos de trabalho que não foram nada fáceis.

A todos os meus amigos da UFLA, de Lavras e da vida, por estarem comigo sempre que precisei, e quando não precisei também, Romeu, Karlos, Fernando, Alexandre, André e todos os demais, em especial, à Marina.

Ao pessoal do NEMATENC por dividir comigo todos os conhecimentos nas áreas dos materiais não convencionais.

Ao pessoal da UEPAM por estar sempre de portas abertas, para utilização de maquinários, laboratórios e pela boa vontade, em especial, ao Professor Rafael Farinassi e Arley.

Ao pessoal da Estação de Tratamento de Água da UFLA por toda a boa vontade e ajuda.

Ao pessoal do departamento de engenharia ambiental pelo auxílio e pelo voto de confiança, em especial, Ivan, Fernando, André e Ronaldo.

A toda a equipe do laboratório de física do solo do departamento de solo da UFLA, pela ajuda e boa vontade, em especial, à Dulce, Theo e aos Professores Moacir, Nilton e Yuri.

À prefeitura e ao transporte da UFLA pela ajuda rápida na parte de transportes.

Ao departamento de engenharia florestal da UFLA por ceder o espaço da serraria, que foi indispensável para a condução do projeto, em especial, ao Professor Tarcísio e ao Carlos.

A todos os servidores do departamento de engenharia, em especial, à Helem por sempre auxiliar e orientar na questão burocrática e prazos nestes 2 anos.

À empresa Fibrasil de Lavras, por ceder o resíduo e acreditar neste trabalho.

À empresa Blinda Solo por nos ceder a “Baba de cupim sintética”, em especial, ao Gustavo, por nos ajudar e por nos informar sobre o produto.



## RESUMO GERAL

O setor da construção atual apresenta alta demanda energética de recursos naturais e gera alto volume de resíduos. Como exemplo, temos os produtos da indústria de Polímeros Reforçados com Fibra de Vidro (PRFV) que produzem grande quantidade de descarte. Outro exemplo é geração de lodo pelas Estações de Tratamento de Água (ETAs). O adobe é um material de construção milenar e atual. A revitalização deve-se às características de sustentabilidade, não sinterização, baixo consumo energético e não uso de cimento em sua composição. Entre os desafios destacam-se a absorção de água, capilaridade e resistência à compressão. A “baba de cupim sintética” (BCS) é um excelente estabilizante de alto poder coesivo e hidrofóbico. Portanto este trabalho foi realizado com os objetivos de avaliar a incorporação do resíduo de PRFV, resíduo de ETA e da BCS, em adobes quanto às propriedades físico-mecânicas e térmicas e comparar o seu consumo energético sem estabilização com outros materiais convencionais da construção. Cada estabilização variou em quatro proporções diferentes da massa seca do solo. Os adobes foram submetidos aos ensaios de retração linear, densidade aparente, absorção de água, capilaridade, condutividade térmica e resistência à compressão pela NTE.E0.80 e pela Norma Brasileira em tramitação. Os melhores resultados referentes ao uso do resíduo de PRFV foram 7,5 e 10%, apresentando adobes mais estruturados, menor densidade aparente e melhor conforto térmico. Os melhores resultados, para o resíduo de ETA – lodo, foram 1 e 3%. A “baba de cupim sintética” – BCS – reduziu a capilaridade e a absorção de água em relação ao tratamento controle. Quanto ao consumo energético, o adobe sem estabilizantes apresentou melhores resultados em comparação ao bloco de concreto, bloco cerâmico vazado e tijolo maciço. O índice energético do adobe foi de  $229,22 \text{ kJ kg}^{-1}$ , que corresponde a 8, 27 e 8% do bloco cerâmico vazado, bloco de concreto e tijolo maciço, respectivamente. Concluiu-se que o uso de estabilizantes como o resíduo de PRFV, resíduo de ETA e a BCS deve ser utilizado na produção do adobe, porque melhora suas propriedades físico-mecânicas e térmicas. O consumo energético do adobe apresentou melhores resultados em comparação aos materiais convencionais.

**Palavras-chave:** material não convencional, resíduos, propriedades físico-mecânicas, conforto térmico, coeficiente energético, sustentabilidade.

## GENERAL ABSTRACT

The current construction sector presents high energy demand, natural resources and generates high volume of waste. As an example we have the products of the Industry of Glass Fiber Reinforced Polymers with (GFRP) that produce great amount of discard. Another example is the generation of sludge by the Water Treatment Plants (WTPs). The adobe is a millenarian and current construction material. The revitalization is due to the characteristics of sustainability, not sintering, low energy consumption and no use of cement in its composition. The challenges include water absorption, capillarity and compressive strength. "Synthetic Termite Saliva" (STS) is an excellent stabilizer of high cohesive and hydrophobic power. Therefore, the objective of this work is evaluate the incorporation of the GFRP residue, WTP waste and BCS into adobe, in terms of physical and mechanical properties and to compare the energy consumption without stabilization with other conventional building materials. Each stabilization varies in four different proportions, according to the dry mass of the soil, plus a treatment without addition to the control. The adobe were subjected to tests of linear shrinkage, bulk density, water absorption, capillarity, thermal conductivity and compressive strength tests by NTE.E0.80 and by the Brazilian Standard, in process. The best results regarding the use of the GFRP residue were 7.5 and 10%, presenting more structured adobes, lower bulk density and better thermal comfort. The best results for the WTP - sludge residue were 1 and 3%. "Synthetic Termite Saliva" - STS, reduced capillarity and water absorption in relation to the control treatment. As for the energy consumption, the adobe without stabilizers presented better results in comparison to the concrete block, cast ceramic block and ceramic brick. The energy content of the adobe was  $229.22 \text{ kJ kg}^{-1}$ , corresponding to 8, 27 and 8% of the cast ceramic block, concrete block and ceramic brick, respectively. It was concluded that the use of stabilizers such as GFRP residue, WTP residue and STS should be used in the adobe's production, because they improve its physical-mechanical and thermal properties and the energy consumption of the adobe presented better results in comparison to the conventional materials.

**Key-words:** non-conventional material, residues, physical-mechanical properties, thermal comfort, energetic coefficient, sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

### PRIMEIRA PARTE

Figura 1. Difratoograma obtido da amostra de solo Latossolo Vermelho (LV) da fração Argila desferrificada da Universidade Federal de Lavras. ....	26
---	----

### SEGUNDA PARTE

#### ARTIGO 1

Figura 1. Difratoograma da amostra de solo Latossolo Vermelho (LV) <i>in natura</i> da fração argilae PRFV.....	541
Figura 2. Processamento do resíduo de PRFV. ....	544
Figura 3. Partículas do resíduo de PRFV para análise de dimensão média. ....	55
Figura 4. Etapas de produção e testes de umidade. ....	56
Figura 5. Metodologia proposta dos cortes dos adobes para ensaio de compressão. ....	59
Figura 6. Vista externa da caixa térmica e sua imagem infravermelho..	61
Figura 7. Caixa térmica, vista superior da amostra e imagem infravermelho. ....	61
Figura 8. Tendência da densidade aparente.....	692
Figura 9. Tendência da absorção de água e perda de massa .....	694
Figura 10. Adobes submetidos ao ensaio de absorção de água durante 6 horas .....	65
Figura 11. Ensaio de retração linear .....	698

Figura 12. Diferenças de temperaturas de entrada e saída dos tratamentos .....	69
Figura 13. Média das condutividades térmicas dos tratamentos. ....	70
Figura 14. Tendência da resistência à compressão de acordo com as normas. ....	72
Figura 15. Imagens de microscopia estereoscópica do tratamento. ....	732
Figura 16. Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do tratamento FV100. ....	73

## **ARTIGO 2**

Figura 1. Difratoograma da amostra de solo Latossolo Vermelho (LV) <i>in natura</i> da fração argila. ....	88
Figura 2. Difratoograma da amostra de lodo da ETA após seco e triturado da fração argila. ....	88
Figura 3. Etapas de produção e testes de umidade. ....	89
Figura 4. Etapas de produção e testes de umidade. ....	90
Figura 5. Metodologia proposta dos cortes dos adobes para ensaio de compressão. ....	93
Figura 6. Vista externa da caixa térmica e sua imagem infravermelho. ....	95
Figura 7. Caixa térmica, vista superior da amostra e imagem infravermelho .....	95
Figura 8. Adobes após 6 horas submersos em água. ....	96
Figura 9. Ensaio de retração linear. ....	100
Figura 10. Média das condutividades térmicas dos tratamentos .....	102
Figura 11. Imagens de microscopia estereoscópica do tratamento. ....	103

## **ARTIGO 3**

Figura 1. Difratoograma da amostra de solo Latossolo Vermelho (LV) <i>in natura</i> da fração argila.. .....	115
Figura 2. Etapas de produção e teste de umidade.....	117
Figura 3. Metodologia proposta dos cortes dos adobes para ensaio de compressão .....	120
Figura 4. Vista externa da caixa térmica e sua imagem infravermelho..	122
Figura 5. Caixa térmica, vista superior da amostra e imagem infravermelho. ....	122
Figura 6. Adobes após 6 horas submersos em água. ....	124
Figura 7. Ensaio de retração linear. ....	127
Figura 8. Condutividade térmica dos adobes. ....	128
Figura 9. Imagens de microscopia estereoscópica do tratamento.. .....	130

#### **ARTIGO 4**

Figure 1. Low floor of the housing model.....	141
Figure 2. Representative scheme of masonry. (A) Adobe, (B) concrete block, (C) Ceramic Block and (D) ceramic brick.....	144

## **LISTA DE TABELAS**

### **PRIMEIRA PARTE**

Tabela 1. Composição química do resíduo de PRFV.....	31
--	----

### **SEGUNDA PARTE**

#### **ARTIGO 1**

Tabela 1. Propriedades do solo in natura e do solo corrigido com areia.....	50
Tabela 2. Propriedades da resina poliéster insaturada .....	52
Tabela 3. Características da fibra de vidro. ....	53
Tabela 4. Resultados médios - Densidade aparente .....	63
Tabela 5. Resultados para absorção de água e perda de massa. ....	65
Tabela 6. Resultados para altura de capilaridade e perda de massa por capilaridade.....	67
Tabela 7. Retração linear média dos diferentes tratamentos .....	68
Tabela 8. Análise da resistência à compressão de acordo com a norma e metodologia usada .....	71

#### **ARTIGO 2**

Tabela 1. Propriedades do solo in natura, do solo corrigido com areia e lodo da ETA .....	86
Tabela 2. Análise química por fluorescência de raio x do lodo .....	87
Tabela 3. Resultados para absorção de água e perda de massa .....	97

Tabela 4. Resultados médios - Densidade aparente .....	98
Tabela 5. Resultados para absorção de água e perda de massa. ....	99
Tabela 6. Retração linear média dos diferentes tratamentos. ....	100
Tabela 7. Análise de resistência à compressão de acordo com as normas. .....	101
Tabela 8. Análise de resistência à compressão de acordo com os tratamentos. ....	101

### **ARTIGO 3**

Tabela 1. Propriedades do solo e do solo corrigido com areia. ....	114
Tabela 2. Propriedades da “baba de cupim sintética” .....	116
Tabela 3. Resultados médios para densidade aparente. ....	123
Tabela 4. Resultados médios para absorção de água e perda de massa. ....	125
Tabela 5. Resultados médios para capilaridade e perda de massa .....	126
Tabela 6. Retração linear média dos diferentes tratamentos .....	127
Tabela 7. Análise de resistência à compressão de acordo com as normas .....	128
Tabela 8. Análise de resistência à compressão de acordo com os tratamentos. ....	129

### **ARTIGO 4**

Tabela 1. Stages of energy expenditure to obtain the energy coefficient of adobe .....	145
Tabela 2. Energy composition of masonry models by component, by area and total construction.....	148



## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE.....</b>	<b>15</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 O Adobe .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Propriedades do adobe .....</b>	<b>23</b>
2.2.1 Propriedades físicas.....	23
2.2.2 Propriedades mecânicas.....	24
2.2.3 Propriedades térmicas.....	25
2.2.4 Propriedade energética .....	26
<b>2.3 Estabilizantes.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.1 Lodo de Estação de Tratamento de Água.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.2 Resíduo de Polímero Reforçado Fibra de Vidro – PRFV.....</b>	<b>30</b>
<b>2.3.3 “Baba de cupim sintética” .....</b>	<b>33</b>
<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>
<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGOS.....</b>	<b>44</b>
<b>ARTIGO 1 Comportamento físico, mecânico e térmico do adobe estabilizado com resíduo de Polímero Reforçado com Fibra de Vidro.....</b>	<b>44</b>
<b>ARTIGO 2 Comportamento físico, mecânico e térmico do adobe estabilizado com resíduo de Estação de Tratamento de Água (ETA).....</b>	<b>80</b>
<b>ARTIGO 3 Comportamento físico, mecânico e térmico do adobe estabilizado com “baba de cupim sintética” .....</b>	<b>81</b>
<b>ARTIGO 4 Energy costs comparison of masonry made from different materials .....</b>	<b>134</b>

## **PRIMEIRA PARTE**

### **1. INTRODUÇÃO**

Desde antes da crise energética em 2000, a preocupação com o meio ambiente e a necessidade de utilizar recursos naturais no setor da construção são cada vez maiores. A busca por estratégias que reduzam o impacto ambiental é constante. De acordo com Brasil (2008), cinco dos dez setores que mais consomem energia estão diretamente ligados ao da construção civil. Estima-se que até 40% dos recursos energéticos mundiais são utilizados na construção civil (TAVARES et al., 2006). John (2000) afirma que a cadeia produtiva da construção civil é uma das que mais consomem recursos naturais, sendo extremamente poluente e consumidora de água e energia. Contudo vem tornando-se cultural a preocupação com a preservação do meio ambiente e a inovação com materiais de construção não convencionais.

A crescente desigualdade social, no meio urbano, faz com que famílias de baixa renda não tenham recursos para construir uma moradia digna. No meio rural, o custo com a logística de transporte dos materiais de construção é ainda maior.

Todo processo gera resíduo, que, quando não utilizado ou reciclado, é descartado erroneamente, em locais inadequados, gerando acúmulo e até mudanças no ecossistema local. Vários fatores influenciam o descarte incorreto dos resíduos: a cultura local, a falta de tecnologia, falta de fiscalização e um maior investimento na coleta e separação dos materiais. São diversos os resíduos gerados, tanto industriais como agrícolas e até mesmo para o tratamento convencional da água, feito pelas Estações de Tratamento de Água (ETAs).

O lodo gerado pela ETA é um exemplo desses resíduos que não tem destino adequado, sendo, então, devolvido novamente ao local de captação de água sem nenhum tratamento prévio. Sérios prejuízos ao ecossistema local e à saúde humana podem ocorrer pelas impurezas e altos teores de ferro e alumínio. Januário e Ferreira (2007) estimam que a cada metro cúbico de água tratada são gerados de 10 a 60 gramas de lodo seco.

A indústria dos compósitos reforçados com fibras, mais especificamente a dos Polímeros Reforçados com Fibras de Vidro (PRFV), é outro exemplo de resíduo gerado em grande escala. Utilizada em diferentes produtos como tanques, caixas, tubos, piscinas, embarcações, plataformas entre outros, é um material de alta resistência, baixa densidade, tem alta tecnologia e baixo custo de produção. A baixa degradabilidade do resíduo de PRFV é o principal fator que afeta o descarte deste resíduo.

Quanto aos sistemas construtivos, a indústria da construção tem buscado soluções e inovações com o objetivo de mitigar os seus efeitos contaminantes. A utilização do adobe na alvenaria torna-se objeto de estudo pela simples execução, pela contribuição ambiental, pelo baixo custo de produção e baixo custo energético, quando comparado aos materiais convencionais. A matéria-prima, o solo, pode ser obtida na própria área da construção. Por grande diversidade de solos existentes, é fundamental caracterizá-lo e verificar suas possibilidades de uso: in natura, corrigido com areia ou estabilizado.

O adobe é considerado um material sustentável por não passar pelo processo de sinterização e não utilizar o cimento em sua composição, dois fatores que diminuem significativamente seu coeficiente energético. Poucos trabalhos fazem uma comparação entre

o adobe com os materiais convencionais da construção, como os cerâmicos e o bloco de concreto.

Para melhorar as propriedades físicas do adobe, muitos trabalhos vêm sendo publicados, adicionando resíduos naturais como: fibra de coco, vinhaça, bagaço de cana, partículas de bambu, casca de café, fibra de banana e outras fibras naturais. Dependendo da dimensão das partículas, da porcentagem adicionada e da origem do resíduo, que será incorporado ao adobe, podem formar compósitos de melhores características físico-mecânicas, melhorando o isolamento térmico e a resistência à compressão, diminuindo a densidade, além de oferecerem uma destinação correta aos resíduos.

Para garantir um adobe de qualidade, é de extrema importância conhecer as normas técnicas específicas. Ainda utilizam-se, no Brasil, normas como a Peruana (NTE 080 - Norma Técnica de Edificación, 2000), Australiana e de outros produtos tais como o bloco de solo-cimento (BTC). No Brasil, a normatização para adobes está em revisão pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Portanto este trabalho foi realizado com o objetivo de contribuir na busca de inovação, propondo um compósito que atenda as especificações técnicas normatizadas, com viés na sustentabilidade. O estudo comparativo da incorporação do resíduo de PRFV, do resíduo de ETA (lodo) e a “baba de cupim sintética”, no adobe, em proporções, que atendam as normas de segurança e habitação, foi feito com a análise das propriedades físicas, mecânicas, térmicas e energéticas. Dessa forma, espera-se uma destinação mais nobre dos resíduos e diminuição do desperdício de materiais, menor gasto energético e impacto ambiental no setor da construção.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. O Adobe**

Segundo Ortiz, Castells e Sonnemann (2009), o desenvolvimento sustentável é definido pelo aumento da qualidade de vida, relações sociais, econômicas e ambientais para as gerações presentes e futuras. O adobe é considerado um material reciclável, por ser feito, a partir do solo e água sem queima, voltando ao estado original do solo, após seu ciclo de vida.

O solo deve ser, previamente analisado, quanto à sua textura e à origem mineralógica. Podem ser incorporados materiais como fibras naturais e sintéticas, resíduos e outros estabilizantes para melhorarem suas propriedades físicas e mecânicas. O compósito é colocado em formas as quais, geralmente, são de maiores dimensões que as dos tijolos cerâmicos convencionais. Após a sua retirada, a secagem é feita em local protegido por um período variável com a região. A secagem completa é avaliada com a estabilização da massa quando atinge umidade constante.

O adobe é considerado um material sustentável por diversos fatores que vão desde a não sinterização até a possível incorporação de resíduos em sua confecção. Como não se tem a queima, processo conhecido nos tijolos cerâmicos que são colocados em fornalhas, chegando a temperaturas elevadas por um longo período, o gasto energético chega a ser muito baixo. Torgal, Eires e Jalali (2009) afirmam que a construção com adobe se caracteriza por baixo custo de energia e emissão de carbono, sendo um método nada poluente e, ainda, por ter um excelente conforto térmico, pela umidade no interior da construção, causada por não sofrer a queima.

O Blocos de Terra Comprimidos (BTC) e adobes são considerados como materiais de construção verde, porque eles têm baixo carbono incorporado em comparação com materiais convencionais, como concreto e tijolos de argila vermelha. Por estas razões, nas últimas décadas, novas pesquisas têm se concentrado na terra como um material de construção em todo o mundo MILLOGO et al. (2016).

A norma Peruana (NTE, 2000) determina que a dimensão das formas, para confecção dos adobes, tenham uma relação de proporcionalidade entre comprimento, largura e altura -  $C=2L=4H$ . Geralmente as formas são mais robustas, apresentando um material com maior massa e, após a estabilização, têm uma elevada massa térmica e são capazes de armazenar o calor, proporcionando reservas de energia, em longo prazo, para o resfriamento no verão e aquecimento no inverno. Como resultado, proporcionam conforto bioclimático, para a saúde, com umidade adequada, equilibrando, assim, o clima no interior da construção. Por isso, o adobe é dado como um material de elevado conforto térmico (BALKIS, 2017).

A argila, de acordo com Galán-Marin, Rivera-Gómez e Petric (2010), é o principal aglutinante em adobe tradicional. Dessa forma, um estudo do solo e da argila utilizada tem grande importância para a construção do adobe. A argila possui uma estrutura cristalina que varia de fraca a forte e classificada, de acordo com a origem mineralógica, em 3 tipos: as caulinitas com ligações mais fortes e hidrofóbicas e muito pouco expansivas; as ilitas com uma força de ligação inferior à caulinita, sem estabilidade em contato com a água e um pouco expansiva; e as montmorilonitas com uma fraca força de ligação, muito

expansivas, portanto apresentam muitas trincas e fissuras na secagem e não devem ser utilizadas para fabricação de adobe.

A quantidade ideal de água no adobe é essencial para sua qualidade e, ainda, é pouco estudada. Existem métodos empíricos de procedimento simples que facilitam a determinação desta quantidade, como a “Queda da Bola (BARBOSA; GHAVAMI, 2007) e “Prueba de Vicat” (RUIZ; LUNA, 1983).

A construção com adobes possui várias vantagens como: regulação da umidade, economia de energia, armazenamento de calor, e o processo pode ser totalmente reciclável. Desafios como alta absorção de umidade, não padronização pelos diferentes tipos de solos e alto índice de trincas (MINKE, 2001). As trincas e fissuras podem ocorrer pela mineralogia da argila, processo de secagem e composição da mistura.

O processo de construção da alvenaria do adobe é semelhante à construção com materiais convencionais como tijolos cerâmicos e maciços. O assentamento dos adobes é feito com uma argamassa de solo e cal, dessa forma, ocorre melhor conexão dos materiais e igual retração ou contração, evitando-se trincas e mantendo-se a qualidade da alvenaria (TORRALBA; EIREES; JALALI, 2009).

A estabilização ocorre quando os materiais adicionados à matriz (solo) melhoram o produto final (adobe). Diversos tipos de fibras naturais e sintéticas, em diversas proporções, resíduos de indústrias, resíduos agrícolas, cal, gesso e outros aditivos são exemplos de materiais de estabilização.

A utilização de fibras naturais, para reforçar compósitos, já é bem difundida no Brasil (SAVASTANO, 1986). Posteriormente, com

diversos trabalhos: Savastano, Warden e Coutts (2000); Tonoli et al. (2013); Da Costa Correia et al (2014) e Santos et al., (2015).

Minke (2001) afirma que a incorporação de fibras melhora a resistência à compressão, porém, em poucas quantidades e finas, já utilizando palha cortada, em tamanho maior (5 cm), ocorre o inverso, descrese 15% sua resistência com acréscimo de 8% de fibra em massa.

Bouth (2005), utilizando fibras curauá, que é uma fibra natural com propriedades semelhantes à fibra de vidro, obteve resultados favoráveis em resistência mecânica do adobe, atendendo os padrões da ABNT para solo cimento. A estabilidade dimensional e de controle de fendas de encolhimento é possível por adição de fibras (GALÁN-MARIN, 2010).

Em 16 adobes, sendo 8 somente solo e água e 8 com 10% de volume de fibra de coco, a resistência mecânica foi  $8,9 \text{ kgf cm}^{-2}$  com a adição de fibras e  $6,6 \text{ kgf cm}^{-2}$  para o adobe tradicional, em processo de secagem de 15 dias. Quanto à, análise ambiental, a energia gasta, para sinterização de adobe, foi somente a solar (SOARES, PINHEIRO E SILVA, 2008).

Utilizando-se 6 aditivos diferentes, para a confecção de adobes, sendo a palha comum, a palha de uma gramínea denominada festuca, palhada do milho, caroço de azeitona moído, pneu moído e migalhas de poliuretano, Serrano (2016), analisando a resistência à compressão, mostrou que a palha do milho e a gramínea festuca foram os melhores resultados,  $2,49 \text{ N mm}^{-2}$  e  $2,07 \text{ N mm}^{-2}$ , respectivamente. O pior resultado foi  $1,24 \text{ N mm}^{-2}$  com caroço de azeitona moído.

Degirmenci (2008), utilizando resíduos de fosfogesso e gesso natural com 25% em massa como estabilizantes, para a confecção do adobe, obteve excelentes características físico-mecânicas. A resistência



à compressão passou de 1,01, sem adição, para 4,34 e 4,72 Mpa, com resíduo de fósforo e gesso natural, respectivamente.

Balkis (2017) utilizou fibra de polipropileno e pó de mármore, em proporções de 0,5 a 2,0% e 10 e 20% em massa, respectivamente, mostrando que a mistura de 0,5% de fibra e 10% de pó de mármore melhoram as propriedades mecânicas de resistência à compressão e flexão dos adobes de 2,84 Mpa, para 3,45 MPa e 1,07 Mpa, para 1,43 Mpa, respectivamente e atendem as normas padrões ASTM e Turca.

Utilizando partículas de bambu, como estabilizante do adobe, verificou-se uma redução da densidade do adobe. A adição de “baba de cupim sintética” (BCS), junto às partículas de bambu, promoveu uma redução na retração do adobe e uma diminuição na absorção de água pelo poder hidrofóbico da adição do produto. Quanto à compressão, verificou-se que a incorporação de 6% em massa de partículas de bambu, junto à adição de BCS, produziu um adobe com resistência à compressão 90% maior (CORRÊA et al., 2015)

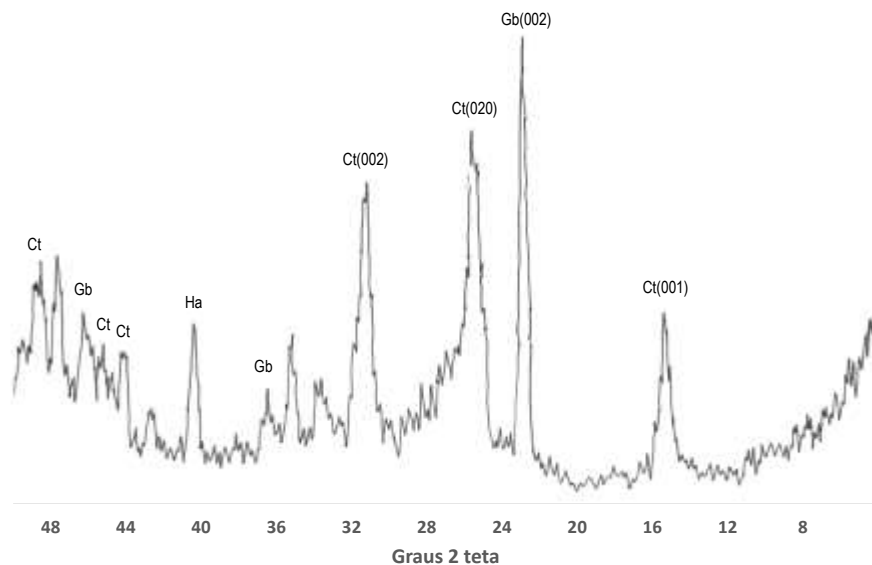
A utilização de fibras de *Grewia Optivia* e *Pinus Roxburghii*, para estabilização do adobe com porcentagens em massa de 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0% e com 2,5% de cimento, em ambos, dentre um período de 7, 14, 28, 56 e 90 dias, apresenta melhora resistência à compressão. A amostra com 2% de *Grewia Optivia* e 2,5% de cimento representou um aumento de 200% quando comparada ao adobe sem aditivo (SHARMA, 2015).

O solo é dividido em duas camadas, a superficial que é rica em matéria orgânica e as camadas estéreis que são as ideais para fabricação de adobe por não conterem matéria orgânica (TORGAL, 2009)

O tipo de solo utilizado é o fator de maior importância, na confecção do adobe, sendo a porcentagem de solo ideal próxima de

50% de areia, 20% silte e 30% de argila. A origem mineralógica da argila contida no solo é outro fator de grande importância, sendo o ensaio de difratometria de raios-X (DRX) (Figura 1) importante para determinar a origem mineralógica do argilomineral (RESENDE, 2005). Esta característica define a expansão e retração dos adobes e a viabilidade do solo para sua produção. A mistura deve ficar homogênea, e a secagem deve ser feita de forma gradual, de preferência em galpão fechado para que não ocorram trincas no adobe (CORRÊA, 2013).

**Figura 1.** Difratoograma obtido da amostra de solo Latossolo Vermelho (LV) da fração argila desferrificada da Universidade Federal de Lavras.



Fonte: INDA JUNIOR; KAMPF (2005)

Gb - gibsit, Ct – caulinita e Ha - halita.

## 2.2. Propriedades do adobe

### 2.2.1. Propriedades físicas

A densidade aparente do adobe tende a ser menor com a utilização de fibras naturais para sua estruturação e armação. Na estabilização química, ocorre o inverso, por causa da maior coesão das partículas argilo minerais (CORRÊA, 2013).

A retração linear pode ser obtida por Faria (2002). Utiliza-se uma caixa com 60x8,5x3,5 cm, dividida em 5 compartimentos, em um período de 7 dias, após medindo a retração a qual não pode passar de 20 em mm, para tijolos e blocos solo-cimento, segundo BNH (1985). Yetgin (2008) afirma que quanto mais fibras naturais no adobe menor será a retração.

Varum et al. (2007), para o ensaio de absorção de água, utiliza 5 amostras de adobes, serrados ao meio, após secos submersos em água dentro de uma caixa por 6 horas. Para calcular a perda de massa, retira-se o solo depositado e seca-o em estufa.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) determina que o tijolo solo-cimento maciço pode absorver 20% de água ABNT NBR 10836/2013, avaliado aos sete dias, após a moldagem dos tijolos (ABNT, 1994)

Millogo (2017), utilizando fibras de esterco de vaca, observou uma melhora, nas propriedades físicas e mecânicas do adobe, pela reação com o solo, e os adobes ficaram mais homogêneos e menos porosos. A principal melhora foi na avaliação de absorção de água pela insolubilidade da mistura com efeito de cola entre as partículas.

### **2.2.2. Propriedades mecânicas**

A resistência à compressão é o principal critério de qualidade do adobe. A diferença de valores é por causa das características do

solo, quantidade de água na mistura, metodologia de produção, secagem e uso de estabilizantes (CORRÊA, 2013).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) determina que o tijolo solo-cimento maciço necessita de uma resistência mínima de 2 Mpa, de acordo com ABNT NBR 10836/2013. A NTE (2000) estabelece que a resistência à compressão do adobe seja superior a 0,7 MPa.

A malha de fibra de vidro, nas argamassas de alvenarias de adobes, proporciona uma melhora na resistência ao cisalhamento pelos abalos sísmicos (GIAMUNDO et. al., 2014).

Em seu trabalho, Yetgin, Özlem e Ahmet (2008) concluíram que quanto maior o teor de fibras naturais, palha menor será a resistência à compressão e mais água será necessária para a mistura. O teor de fibras deve ser próximo a 0,5% em massa. Deve-se adotar uma quantidade de argila próxima de 17% do solo.

### **2.2.3. Propriedades térmicas**

A condutividade térmica varia de um material para outro o qual é dividido pelos isolantes térmicos e dissipadores térmicos. Para o cálculo das propriedades térmicas, são utilizados dois métodos de medição, divididos em métodos estacionários e dinâmicos. Os métodos transientes são de rápida análise, porém de difícil execução. Por outro lado, os métodos estacionários são mais fáceis, no entanto demandam grande quantidade de tempo, para estabelecer a estabilização de transmissão de calor (SIMIONI, 2005).

Silva (2010) propôs uma equação, para o cálculo da condutividade térmica:  $K = P.E / \Delta T$ , sendo representada por: K (Condutividade térmica [W/m°C]), P (Radiação por medida de área

[W/m<sup>2</sup>]), E (Espessura do corpo de prova [m]) e  $\Delta T$  (Variação de temperatura observada [°C]).

Utilizando duas amostras de adobes, uma seca em estufa e outra com 1,67% de umidade, encontraram-se os valores de 0,80 e 0,90 W. °C<sup>-1</sup> (m.K), respectivamente. A umidade no adobe influencia, negativamente, o conforto térmico (MOSQUERA, 2014). Adobes apresentam excelente conforto térmico variando entre 0,5 a 0,7 W. °C<sup>-1</sup> (m.K) (HOLMAN, 1969; KARKELAR, 1990 APUD PIÑON ET AL., 2007).

#### **2.2.4. Propriedade energética**

De acordo com LAWSON (1996), a energia embutida pode ser quantificada de duas maneiras: Energia Global Requerida (Gross Energy Requirement), energia consumida em todas as etapas da cadeia produtiva do material ou pela Energia Requerida no Processamento (Process Energy Requirement) que representa a maior parte do gasto energético (80%), em relação ao calculado em toda a cadeia produtiva do material.

Scheuer, Keoleian e Reppe (2003) afirmam que, dentre as fases energéticas do ciclo de vida da construção de uma universidade com uma área total de 7300 m<sup>2</sup>, desde a concepção dos materiais, construção e renovação do edifício na fase primária, foi identificado que a fase de operação foi a de maior representação energética, 97,7%, do total de gastos energéticos e a energia necessária para desmantelamento, demolição e transporte foi de apenas 0,2%.

Szokolay (1997) estima a energia embutida em dois níveis: a energia principal, que inclui o conteúdo energético dos materiais e componentes construtivos e a energia operacional, que é a quantidade

consumida anualmente para iluminação, aquecimento, refrigeração, ventilação e manutenção na edificação.

O uso de materiais reaproveitados ou reciclados podem ser utilizados, em novas edificações, gerando um débito de energia embutida (SCHEUER; KEOLEIAN e REPPE, 2003). Cerca de 37 a 42% da energia incorporada pode ser recuperada pelo uso de materiais recicláveis. Na construção de edifícios de baixa energia, durante uma vida útil de 50 anos, o valor da energia incorporada dos materiais representa uma alta parcela, 40% (THORMARK, 2002).

Campos et al. (2003), em sua pesquisa na construção de uma instalação de um armazém de feno, apontaram que a etapa de vedação é a etapa que mais consome energia, 50,35%, sendo o componente tijolos maciço responsável por 93% desta etapa.

Um modelo de construção feito de adobe por Shukla, Tiwari e Sodha (2009) mostrou que o material em comparação com tijolo queimado é muito mais ambientalmente amigável; o modelo feito com tijolo queimado 720 GJ 100m<sup>2</sup> de construção, envolvendo todo o ciclo de vida e o com adobe, gastou 475 GJ 100m<sup>2</sup>, apresentou uma redução de 34% do consumo de energia.

A energia embutida em um tijolo cerâmico 9x19x19 cm de 8 furos apresenta 7.164,92 kJ (TAVARES et al., 2006). O adobe com 35x26x10 cm apresenta 2.635,00 kJ de energia embutida enquanto o bloco de concreto com 41x21x21 cm possui 30.595,00 kJ (SIACOT, 1976).

## **2.3. Estabilizantes**

### **2.3.1. Lodo de Estação de Tratamento de Água**

Com o crescente aumento populacional mundial, a demanda de água tratada, para atender a população, aumentará. Dentre as maneiras que existem para se tratar a água, as Estações de Tratamentos de Água (ETA) são as mais difundidas.

A qualidade da água varia de região para região. Uma cidade metropolitana vai ter uma água bruta diferente de uma cidade de interior ou mesmo de uma cidade, localizada na zona rural ou até mesmo em diferentes regiões do mundo, cuja população tem culturas e hábitos diferentes (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, 1996).

Toda ETA, ao se tratar a água, gera um resíduo que pode ser chamado de lodo de ETA. Este lodo é derivado do tratamento, em particular, de cada unidade de tratamento e de cada local de água coletada, ou, mesmo em algumas épocas do ano que chovem mais ou menos, tudo influenciará na característica do lodo (FONOLLOSA et al, 2015).

O lodo é coletado de duas maneiras, nas Estações de Tratamento de Água: filtros e decantadores. Cada um gera um lodo de diferente composição e volume, por se tratar de diferentes etapas da ETA.

Uma estação de tratamento de água pode ser considerada como um conjunto de unidades que tem como objetivo produzir uma água com padrões adequados aos de potabilidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

O tratamento de água denominado de convencional é, normalmente, aplicado às águas que possuem partículas, finamente, divididas em suspensão e partículas coloidais que necessitam de

tratamento químico capaz de propiciar sua deposição, com um baixo período de detenção. O tratamento convencional é subdividido em etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, que se sucedem hidraulicamente (LIBÂNIO, 2010).

Com o tratamento da água, são gerados resíduos que, muitas vezes, são de difícil descarte. O lodo é o principal resíduo gerado neste processo. Segundo Grandin, et al. (1993), o lodo tem, em sua constituição, resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos, provenientes da água bruta, como as algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, coloides, areia, argila, silte, cálcio, magnésio, ferro, manganês, entre outros.

De acordo com a AWWA (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, 1995), o lodo de ETA possui uma característica mais similar aos solos do que se comparado com o lodo de esgoto, pois, em geral, o nitrogênio e o carbono orgânico, no lodo de ETA, são mais estáveis, menos reativos e em concentrações mais baixas.

O lodo de uma ETA é retirado, em certos períodos de tempo. Segundo Reali (1999), este lodo é constituído, basicamente, pelos materiais presentes na água bruta (concentrados no lodo) e por subprodutos da reação dos agentes químicos coagulantes na água.

De acordo com Rodrigues (2015), a quantidade de lodo produzida em uma ETA é influenciada pela qualidade da água bruta, tipo e dosagem de produtos químicos, frequência e a forma de limpeza dos decantadores e eficiência da sedimentação.

Segundo Cabral (2013), a massa específica do lodo varia, de acordo com o conteúdo de sólidos presentes no lodo, desde 1002 Kg.m<sup>-3</sup> para lodos com teor de sólidos de 1%, até 1.236 Kg.m<sup>-3</sup>, após desidratação e com teor de sólidos de 30%.



A proporção média de lodo gerado em uma ETA varia muito. Segundo Richter (2001), essa proporção se dá 0,2 a 5% do volume de água tratada pela ETA e, segundo Januário e Ferreira (2007), são gerados de 10 a 60 gramas de lodo por m<sup>3</sup> de água tratada.

À medida que o lodo de ETA é incorporado em tijolos solo-cimento, ocorre perda na qualidade. Rodrigues (2015) demonstra em seu trabalho, utilizando a adição de 3, 5, 8 e 10% em massa. Em tijolos solo-cimento, na concentração de lodo acima de 1,25% do peso, há uma perda de qualidade significativa na resistência à compressão (RODRIGUES; HOLANDA, 2013).

### **2.3.2. Resíduo de Polímero Reforçado Fibra de Vidro – PRFV**

O PRFV é um compósito formado entre a mistura de um reforço (fibra de vidro) e a matriz polimérica (resina), podendo ser poliéster ou outro tipo de resina junto a uma substância catalisadora de polimerização que forma um compósito, cuja técnica permite a produção de peças com grande variedade de formatos e tamanhos: piscinas, caixas d'água, cascos e hélices de barcos, carrocerias de veículos e outras.

A classificação de materiais como fibras deve-se ao pequeno diâmetro, alta resistência, baixa densidade e alta dureza (SOUZA ALMEIDA, 2004). Cada tipo de fibra tem suas próprias características e, entre as mais utilizadas na fabricação de compósitos, tem-se a fibra de vidro que é facilmente encontrada e pode ser fabricada, utilizando uma grande variedade de técnicas industriais viáveis economicamente e dentre outras várias razões (CALLISTER, 1994).

A fibra de vidro é obtida, a partir de óxidos de Si, Al, B, Ca e Mg misturados e é usada como reforços para termoplásticos pelo seu

baixo custo, excelentes propriedades mecânicas e baixa densidade. A mais utilizada é o tipo E (E-glass) (OTA et al, 2004).

A composição do resíduo de PRFV depende do tipo de processo de fabricação do qual provém. A Tabela 1, adaptada por Pinto (2002), mostra a composição química do resíduo, determinada por espectroscopia de fluorescência de raios-X, em estudo realizado para a incorporação deste material na construção civil.

**Tabela 1.** Composição química do resíduo de PRFV.

Componentes	Quantidade (%)
C	83,73
Si	5,88
Ca	7,33
Al	1,22
B	0,88
Mg	0,59
K	0,11
Fe, Na, Ti, Ci, Co, Sr, P, S, Mn, Zr, Zn, Ni, As, Rb, Pb, Cu e Cr	0,26

Fonte: Adaptado de Pinto (2002)

Pelo lado ambiental, segundo Orth (2012), a indústria de compósitos no Brasil gera cerca de 13 mil toneladas de resíduos por ano. Silva (2003) conclui que a maioria desses resíduos vai parar nos aterros industriais, levando-se em conta que as montadoras de veículos são tidas como as principais contribuintes para essa expressiva quantidade de resíduos.

Uma alternativa interessante, para as fibras de vidro, está na sua reincorporação à construção civil, pela moagem dos resíduos gerados no processo e pela sua incorporação em argamassas, ou até mesmo na construção de calçamentos. Estudos foram realizados neste campo e os resultados mostraram-se satisfatórios em virtude das características físicas e mecânicas da fibra de vidro, como a baixa inflamabilidade e alta resistência aos impactos.

Em seu trabalho, Kemerich et al., (2013) concluíram que vários estudos satisfatórios foram realizados, no campo da construção, incorporando o PRFV, pois apresenta boas características físicas, baixa inflamabilidade e alta resistência a impactos. Com a tamanha demanda do descarte incorreto deste resíduo, há um impacto ambiental pela baixíssima degradabilidade.

Utilizando fibra natural como a palha, Turanli e Saritas (2011) observaram que a energia absorvida em uma amostra de alvenaria feita com adobe foi de quase 3 vezes maior que o adobe tradicional e quase 1,4 vezes maior que com a adição de cinzas volantes. Comprovou-se que a adição no adobe apresenta características físicas superiores.

Ainda sobre Turanli (2011), utilizando uma malha de gesso com fibra de vidro, no recobrimento de um painel de 0,8m de adobe, para análise de carga-deflexão e energia-deflexão, concluiu que o uso da malha de gesso e fibra de vidro apresentam uma maior flexibilidade e deformabilidade.

Pode-se dizer que a adição de fibras naturais e sintéticas, em compósitos de materiais construtivos, melhoram suas características físico-mecânicas, observando sempre a dimensão e concentração em massa a ser incorporada.

### 2.3.3. “Baba de cupim sintética”

Criado na década de 70, a “baba de cupim sintética” (BCS), conhecida comercialmente como DS-328®, nome patenteado pela empresa Dynasolo S. A. Indústria e Comércio que, após 328 análises em solos diferentes, chegou ao produto final (DYNOSOLO S. A., 2016).

Um líquido com uma coloração verde altamente solúvel em água, a BCS não é tóxica, corrosiva ou inflamável, é utilizada, para pavimentações asfálticas, ruas, pátios, taludes, lagoas e outros diversos ramos da construção (BLINDASOLO, 2016).

A BCS é um aditivo à base de óleos e resinas vegetais, altamente coesiva às partículas do solo, diminuindo assim a absorção de água, tornando as camadas dos solos estabilizadas e aumentando a sua capacidade de resistência às cargas (BLINDASOLO, 2016).

Em termos ambientais, a BCS faz com que seja reduzidas as explorações das jazidas por substituir por outros produtos como cimento, brita, cal. Diminui o consumo de combustível por ser altamente concentrado e não agride o meio ambiente (BLINDASOLO, 2016).

O poder coesivo, nos pontos de contato dos grãos junto aos filmes de água solidificada, interpenetra-se, estabelecendo um vínculo rígido entre eles. Com uma menor intensidade, uma segunda camada de água sujeita a pressões, também, contribui para essa coesão. Suas propriedades são as de líquido viscoso preso aos grãos, formando uma camada de água adsorvida, atraída por forças moleculares suficientemente elevadas, para imobilizá-la. A água restante é livre e movimenta-se por meio da gravidade dos canaliculos do solo (CORRÊA, 2013).

Em seu trabalho, Augusto et al., (2015) mostraram que a utilização da BCS, para estabilização do solo de subleito e camadas inferiores de pavimentação, apresentou resultados positivos, corrigindo, também, a erodibilidade do solo pelo poder coesivo da Baba de Cupim. Mostraram que a Baba de Cupim Sintética pode ser utilizada, diminuindo, assim, o impacto ambiental e adotando um produto mais sustentável.

Corrêa et al. (2015) fizeram várias análises, utilizando a BCS incorporada ao adobe o qual absorveu maior concentração do produto, nos ensaios físicos. O adobe ficou mais estável pela maior coesão entre as partículas argila-minerais, apresentou uma maior densidade pela maior coesão entre as partículas, menor perda de massa, quando absorvida água, menor capilaridade e, nos ensaios mecânicos, não houve mudanças significativas na resistência à compressão e flexão.

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O setor da construção demanda um alto gasto energético, recursos naturais e emissão de CO<sub>2</sub>. Essencial a busca por alternativas que possam associar construção à sustentabilidade. O adobe, nos contextos social, econômico e ambiental, é significativamente mais vantajoso comparado aos demais materiais cerâmicos para vedação.

A utilização do adobe, como material de construção, visa a diminuir essa alta demanda energética, e a utilização de resíduos visa a diminuir ainda mais o impacto sócioambiental regional e a aumentar a qualidade em termos físicos e mecânicos do material estudado. Além de ser um material de produção simples, o adobe pode ser confeccionado, dependendo do solo, no próprio local da construção, sendo ela rural ou urbana, anulando seu custo com logística.

As análises das propriedades físicas, mecânicas e térmicas dos adobes, utilizando resíduos, têm uma grande importância ambiental, principalmente, para o setor construtivo, procurando atender o exigido pelas normas técnicas de segurança e habitação.

O gasto energético do adobe é reduzido em comparação aos atuais materiais de construção. Por se tratar de um material que não utiliza o cimento e não há necessidade de queima e, quando possível, a confecção na própria obra, diminui o gasto com logística de transporte.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. American society of civil engineers. New York: American Society of Civil Engineers, 1996. 294 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1981) **NBR-7180**. Solo – Determinação do limite de plasticidade. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 03p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1982) **NBR-7183**. Determinação do Limite e Relação de Contração dos Solo. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 03p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984) **NBR-7181**. Análise Granulométrica. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água. Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 02 p .

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1986) **NBR-9776**. Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 03p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) **NBR-6459**. Determinação do Limite de Liquidez. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 06p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.216**: projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.834**: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. 06 p.

AUGUSTO, C. R. M., et al. "A utilização do aditivo baba de cupim sintético para reforços subleitos."(2015). 82 f. Trabalho de Conclusão do curso (Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2015.

AWWA. American Water Works Association. An assessment of cropland application of water treatment residuals. AWWARF, USA.1995.

BALKIS, A. P. The effects of waste marble dust and polypropylene fiber contents on mechanical properties of gypsum stabilized earthen. **Construction and Building Materials**, 2017, 134: 556-562.

BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. Terra Crua para Edificações. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: Ibracon, 2007, 2.

BOUTH, J. A. C. Estudo da Potencialidade da produção de tijolos de adobe misturado com outros materiais: uma alternativa de baixo custo para a construção civil. 2005. 82 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2008**: Ano base 2007. Brasília. 2008.

CABRAL, V. A. L. "Avaliação da incorporação do lodo da ETA UFV na manufatura de tijolos de solo-cimento." (2013).

CALLISTER JR., W.D., "Materials Science and Engineering and Introduction", 3 rd edition, John Wiley & Sons (1994).

CAMPOS, A. T., et al. Custo energético de construção de uma instalação para armazenagem de feno. **Ciência Rural**, 2003, 33.4: 667-672.

CORRÊA, A. A. R. **Incorporação de partículas lignocelulósicas e "baba de cupim sintética" no adobe**. 2013. 201 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/handle/1/1764>>. Acesso em: 15 jan. 2016.



- CORRÊA, A. A. R., et al. Incorporation of bamboo particles and “synthetic termite saliva” in adobes. **Construction and Building Materials**, 2015, 98: 250-256.
- DA COSTA CORREIA, V., et al. Potential of bamboo organosolv pulp as a reinforcing element in fiber–cement materials. **Construction and Building Materials**, 2014, 72: 65-71.
- DEGIRMENCI, N. The using of waste phosphogypsum and natural gypsum in adobe stabilization. **Construction and Building Materials**, 2008, 22.6: 1220-1224.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema de análise estatística computador. **Ciência e Agrotecnologia**, 2011, 35: 1039-1042.
- FERREIRA, R. de C., and FREIRE, W. J. "Efficiency of soil stabilization and quality of bricks manufactured with soil added with chemical additives and evaluated through the association of destructive and non-destructive methods. **Engenharia Agrícola** 24.3 (2004): 501-511.
- FONOLLOSA, E. et al. Presence of radionuclides in sludge from conventional drinking water treatment plants. **Journal of Environmental Radioactivity**, Oxford, v. 141, p. 24-31, Mar. 2015.
- GALÁN-MARÍN, C., RIVERA-GÓMEZ C., and PETRIC J. "Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre." **Construction and Building Materials** 24.8 (2010): 1462-1468
- GIAMUNDO, V., LIGNOLA, G. P., PROTA, A., & MANFREDI, G. (2014). Nonlinear analyses of adobe masonry walls reinforced with fiberglass mesh. *Polymers*, 6(2), 464-478.
- GRANDIN, S. R.; ALÉM, S. P., GARCIA JR, A. D. Desaguamento de Lodos Produzidos em estações de Tratamento de Água. CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITARIA. 1993.
- INDA JUNIOR, A. V.; KAMPF, N. Variabilidade de goethita e hematita via dissolução redutiva em solos de região tropical e subtropical. **Revista brasileira de ciencia do solo. Viçosa. Vol. 29, n. 6 (2005), p. 851-866, 2005.**

JANUÁRIO, G. F.; FERREIRA FILHO, S. S. Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 117-126, abr./jun. 2007.

JOHN, V. M. "Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento." *São Paulo* 102 (2000).

KEMERICH, PD da C., et al. Fibras de Vidro: Caracterização, disposição final e impactos ambientais gerados, **Rev. Elet. Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 2013, 10.10: 2112-2121.

LAWSON, B. **Building Materials Energy and Environment—towards ecologically development**. *University of New South Wales, Sidney, Australia*. 123p, 1996.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010. 496 p.

MILLOGO, Y, et al. Earth blocks stabilized by cow-dung. **Materials and Structures**, 2016, 49.11: 4583-4594.

MINKE, G. Manual de construccion en tierra: Ia tierra como material de construcción y sus aplicaciones em Ia architecture actual. Uruguay: Nordan-Comunidad, 2001.

ORTH, C. M.; BALDIN, N.; ZANOTELLI, C. T. Implicações do processo de fabricação do compósito plástico reforçado com fibra de vidro sobre o meio ambiente e a saúde do trabalhador: o caso da indústria automobilística. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.12, n. 2, p. 537-556, 2012.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. **Construction and Building Materials**, 2009, 23.1: 28-39.

OTA, W. N.; **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia)- Universidade Federal do Paraná, PR, 2004. Disponível em: Acesso em: 9 de novembro de 2012.

PACHECO, A. A. R. C.; DIAS JÚNIOR, M. S. Estudo comparativo de métodos de campo e laboratório aplicados à confecção de blocos em adobe. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 176-190, 1990.

PINTO, N. C. K.; **Reciclagem de resíduos de materiais compósitos de matriz polimérica: poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Universidade de São Paulo, SP, 2002. Disponível em: Acesso em: 8 de novembro de 2012.

REALI, M. A. P. Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

RESENDE, M. et al. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações**. Lavras: UFLA, 2005. 192p.

RICHTER, C. A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. São Paulo: Edgard Blucher, 2001. 112 p.

RODRIGUES, F. N. Caracterização dos resíduos da estação de tratamento de água da UFLA e aproveitamento na confecção de tijolos de solo-cimento. 2015. 117 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. *Cerâmica*, São Paulo, v. 59, n. 352, p. 551-556, out./dez. 2013.

ROLIM, M. M., FREIRE, W. J., and BERALDO A. L.. "Análise comparativa da resistência à compressão simples de corpos-de-prova, tijolos e painéis de solo-cimento." **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 3.1 (1999): 89-92.

RUIZ, L. E. H.; LUNA, J. A. M. **Cartilha de pruebas de campo**. Conescal: [s.n.], 1983. 72 p.

SAVASTANO, H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites. **Cement and Concrete Composites**, 2000, 22.5: 379-384.

SAVASTANO JR, H., et al. **Fibras vegetais para construção civil: a fibra de coco**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo–Departamento de Engenharia de Construção, 1986, 155: 19.

SANTOS, S. F., et al. Non-conventional cement-based composites reinforced with vegetable fibers: A review of strategies to improve durability. **Materiales de Construcción**, 2015, 65.317: 041.

SCHEUER, C.; KEOLEIAN, G. A.; REPPE, P. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. **Energy and buildings**, 2003, 35.10: 1049-1064.

SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA, 13., 1976, New York. **O consumo de energia para construção civil**. New York: Grupos de Pesquisa da Universidade de Illinois, e Richard G. Stein e Assoc, Arquitetos, 1979.

SERRANO, S.; BARRENECHE, C.; CABEZA, L. F. Use of by-products as additives in adobe bricks: Mechanical properties characterization. **Construction and Building Materials**, v. 108, p. 105-111, 2016

SHARMA, V.; VINAYAK, H. K.; MARWAHA, B. M. Enhancing compressive strength of soil using natural fibers. **Construction and Building Materials**, 2015, 93: 943-949.

SHUKLA, A.; TIWARI, G. N.; SODHA, M. S. Embodied energy analysis of adobe house. **Renewable Energy**, v. 34, n. 3, p. 755-761, 2009.

SILVA, A. R. Estudo térmico e de materiais de um bloco para construção de casas populares, confeccionado a partir de um compósito a base de gesso, EPS e raspa de pneu, 2010. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SILVA, R. A.; REZENDE, M. C. Erosão em Compósitos á Base de Fibras de Vidro/Kevlar e Resina Epóxi de uso Aeronáutico. São José dos Campos, SP, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v13n1/15073.pdf>> Acesso em: 6 de novembro de 2012.

SIMIONI, W. I., et al. Análise de erros na medição de condutividade térmica de materiais através do método fluximétrico. 2005.

SOARES, R. N., Pinheiro, J. C., & Silva, A. C. (2008). Tijolos de terra crua estabilizados com fibras de coco verde: alternativa para habitação de interesse social. Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, SOBER, 46.

SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. *Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro*, 2013.

SOUZA ALMEIDA, S. P. - “Avaliação das Propriedades Mecânicas de Compósitos Pultrudados de Matriz Polimérica com Reforço de Fibra de Vidro”, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil (2004).

SZOKOLAY, S. **The environmental imperative**. *Proceedings of PLEA, Kushiro, Japón*, 1997, 3-12.

TAVARES, S. F., et al. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006.

THORMARK, C. A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. **Building and environment**, 2002, 37.4: 429-435.

TONOLI, G. H. D., et al. EFFECTS OF EUCALYPTUS PULP REFINING ON THE PERFORMANCE AND DURABILITY OF FIBRE—CEMENT COMPOSITES. **Journal of Tropical Forest Science**, 2013, 400-409.

TORGAL, F. P. R.; EIRES, R.; JALALI, S. **Construção em terra**. TecMinho, 2009. Universidade do Minho. Portugal, 2009. 187 p.

TURANLI, L.; SARITAS, A.. Strengthening the structural behavior of adobe walls through the use of plaster reinforcement mesh. **Construction and Building Materials**, 2011, 25.4: 1747-1752.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. Biblioteca Universitária. **Manual de normalização e estrutura de trabalhos acadêmicos: TCCs, monografias, dissertações e teses**. 2. ed. rev.,

atual. e ampl. Lavras, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/11017>>. Acesso em: 26/01/2017.

YETGIN, Ş., ÖZLEM Ç., and AHMET C. "The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes." **Construction and Building Materials** 22.3 (2008): 222-227.

ZHANG, Y. M., et al. Fabrication, microstructure and properties of bricks fired from lake sediment, cinder and sewage sludge. **Construction and Building Materials**, 2016, 121: 154-160.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGOS**

**ARTIGO 1** Comportamento físico, mecânico e térmico do adobe estabilizado com resíduo de Polímero Reforçado com Fibra de Vidro

Artigo proposto para o periódico *Construction and Building Materials*

## COMPORTAMENTO FÍSICO, MECÂNICO E TÉRMICO DO ADOBE ESTABILIZADO COM RESÍDUO DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO

**RESUMO:** A indústria dos polímeros, desenvolve materiais de excelente qualidade. Entretanto representam no descarte um grande volume de resíduos e com baixíssima degradabilidade. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi desenvolver adobes utilizando resíduos de Polímero Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV) analisando suas características físico-mecânicas e térmicas. Foram estudados 5 diferentes tratamentos: 0 (controle); 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0% de adição de resíduo de PRFV em massa. Avaliados quanto à densidade aparente, absorção de água, capilaridade, retração linear, condutividade térmica e resistência à compressão conforme a Norma Peruana (NTE E0.80) e a Norma Brasileira (em tramitação), para comparação de metodologias. Os dados foram submetidos a análise de variância e aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. O aumento da capilaridade e da absorção de água foi proporcional ao acréscimo de resíduo de PRFV, mas a maior redução na perda de massa foi em 5 e 7,5%. Quanto a retração linear observou-se redução significativa de 20,71 mm para até 8,00 mm com 10,0% de resíduo. A densidade aparente diminuiu para  $1,52 \text{ g m}^{-3}$  utilizando 10,0%. A condutividade térmica reduziu em 21% utilizando 10,0% de resíduo de PRFV. A resistência à compressão aumentou em até 39,5% correspondendo à 1,94 MPa à 10% de adição. Quanto as normas a não adição de resíduo de PRFV foi estatisticamente igual, já, com a adição apresentou diferença significativa, diferenciando a NTE.080 com a Brasileira. Concluiu-se que adição de resíduo de PRFV no adobe melhora suas propriedades físico-mecânicas e térmicas, sendo



a adição 10% a que apresentou os melhores resultados e além de dar uma destinação ao resíduo de PRFV.

**Palavras-chave:** material não convencional, sustentabilidade, resíduo, conforto térmico, propriedades físico-mecânicas.

## **PHYSICAL, MECHANICAL AND THERMAL BEHAVIOR OF ADOBE STABILIZED WITH GLASS FIBER REINFORCED POLYMER WASTE**

### **ABSTRACT**

The polymer industry develops excellent quality materials. However, they represent a large volume of waste and with very low degradability. Thus, the objective of this work was to develop adobes using Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) waste analyzing their physical-mechanical and thermal characteristics. Five different treatments were studied: 0 (control); 2.5; 5.0; 7.5 and 10.0% GFRP waste is mass. Evaluated for bulk density, water absorption, capillarity, linear shrinkage, thermal conductivity and compressive strength according to the Peruvian Standard (NTE E0.80) and the Brazilian Standard (in process), for comparison of methodologies. The values were submitted to analysis of variance and Tukey's test was applied at 5% of probability. The increase in capillarity and water absorption was proportional to GFRP residue increase, but the largest reduction in mass loss was 5 and 7.5%. The linear retraction observed a significant reduction of 20.71 mm for up to 8.00 mm with 10.0% of residue. The bulk density decreases to 1.52 g m<sup>3</sup> using 10.0%. Thermal conductivity reduced by 21% using 10.0% of GRFP residue. The compressive strength increased by up to 39.5% corresponding to 1.94 MPa. It was

concluded that the addition of GRFP residue in the adobe improves its physical-mechanical and thermal properties, also contributing with a destination to the GRFP residue.

**KEYWORDS:** non-conventional material, sustainability, residue, thermal comfort, physical-mechanical properties.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção com terra é milenar e atual em diversos países. O adobe é um material extraordinário devido a sua facilidade na produção diante da preocupação energética e recursos renováveis. Considerado como material sustentável, reciclável e reutilizável, o adobe, ainda pode ser produzido no próprio local da obra, sem desperdício.

Quanto ao gasto energético, o adobe, apresenta resultados inferiores em comparação aos tradicionais materiais cerâmicos para vedação (SHUKLA; TIWARI e SODHA, 2009). A produção demanda até 60 vezes menos gasto com água, quando comparado aos materiais cerâmicos (CORRÊA et al., 2006).

Em contrapartida, o setor da construção demanda uso excessivo de recursos energéticos e alta emissão de dióxido de carbono. A extração e produção dos materiais para produção de cimento e aço e a queima dos materiais cerâmicos são alguns exemplos.

A indústria do Polímero Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV) teve um grande crescimento, devido as suas excelentes propriedades mecânicas e baixa densidade, entretanto um alto volume de resíduos, 13 mil toneladas ano<sup>-1</sup> (ORTH; BALDIN e ZANOTELLI, 2012). Possui uma baixíssima degradabilidade, 300 anos para decomposição (KEMERICH et al., 2013).

A utilização de fibras naturais e sintéticas em compósitos vem sendo pesquisadas devido questões ambientais. Corrêa et al. (2015) utilizando fibras de bambu e bagaço de cana na produção de adobes, obteve resultados de resistência à compressão quando adicionados 6% de bagaço de cana e 6% de fibras de bambu, correspondendo respectivamente à 1,01 e 0,96 MPa, um acréscimo de 68% e 60%. Balkis (2017) utilizou fibra de polipropileno e pó de mármore em proporções de 0,5 a 2,0% e 10 e 20%, em massa respectivamente, mostrando que a mistura de 0,5% de fibra e 10% de pó de mármore melhoraram as propriedades mecânicas de resistência à compressão e flexão dos adobes de 2,84 MPa para 3,45 MPa e 1,07 MPa para 1,43 MPa respectivamente, atendendo as normas padrões ASTM e Turca. A malha de fibra de vidro nas argamassas de alvenarias de adobes proporciona uma melhora na resistência ao cisalhamento devido aos abalos sísmicos. (GIAMUNDO et. al., 2014)

Quanto ao conforto térmico, o adobe apresenta características favoráveis. Palme, Guerra e Alfaro (2014) comparando a eficiência térmica em 4 modelos construtivos, adobe, terra batida, blocos de concreto e madeira chegaram à conclusão que construções com terra tem uma menor variação de temperatura, menor condutividade térmica e apresentam um melhor conforto térmico quando comparado aos demais modelos.

Ortiz, Castells e Sonnemann (2009) definem o termo sustentabilidade como o aumento da qualidade de vida, relações sociais, econômicas e ambientais para as gerações presentes e futuras.

Tratando-se de um resíduo com escala mundial, gerando um alto volume e com baixa degradabilidade, e na tentativa da aplicação em um material já considerado sustentável, o objetivo deste trabalho foi

analisar o comportamento físico-mecânico e térmico do adobe estabilizado com o resíduo de Polímero Reforçado com Fibra de Vidro.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os tratamentos foram C (controle), FV25, FV50, FV75 e FV100 de 0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10% de resíduos de PRFV em massa nos adobes. Todos eles foram confeccionados no mesmo período, com secagem 35 dias (para estabilização da umidade), protegidos do sol, das intempéries e utilizando as mesmas dimensões de formas (30x15x8 cm).

O resíduo de PRFV foi concedido pela FIBRASIL, uma empresa fabricante de caixas d'água e outras diversos materiais com um alto volume de resíduos mensais e um elevado custo para sua logística até o aterro. O PRFV é um composto de fibra de vidro (reforço) e a resina (matriz) e adição do catalizador para endurecimento rápido.

As amostras de adobes foram submetidas a 9 variáveis, divididas em ensaios físicos, mecânicos e térmicos. Os ensaios físicos foram de densidade aparente, retração linear, absorção de água e capilaridade. Os ensaios mecânicos foram de resistência à compressão, sendo dois analisados pela NTE 080 - Norma Técnica de Edificación, 2000 (NTE, 2000), e dois pela nova Norma Brasileira (em processo de aprovação, comissão de estudos CE-02:123.09, ABNT/CB-02). Utilizou-se para cada norma dois métodos: cortar os adobes após a desforma (0 dias) e cortando os adobes após o período de secagem (35 dias). Os ensaios térmicos foram a condutividade térmica e diferença de temperatura de estabilização utilizando a metodologia de Silva (2010).

Para cada ensaio físico e térmico utilizou-se Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) simples. Para os ensaios mecânicos foi

utilizado o DIC num esquema fatorial 5:4, sendo 5 o fator teor de adição de resíduo de PRFV e 4 o fator norma.

## 2.1 Caracterização dos materiais

### 2.1.1 Solo

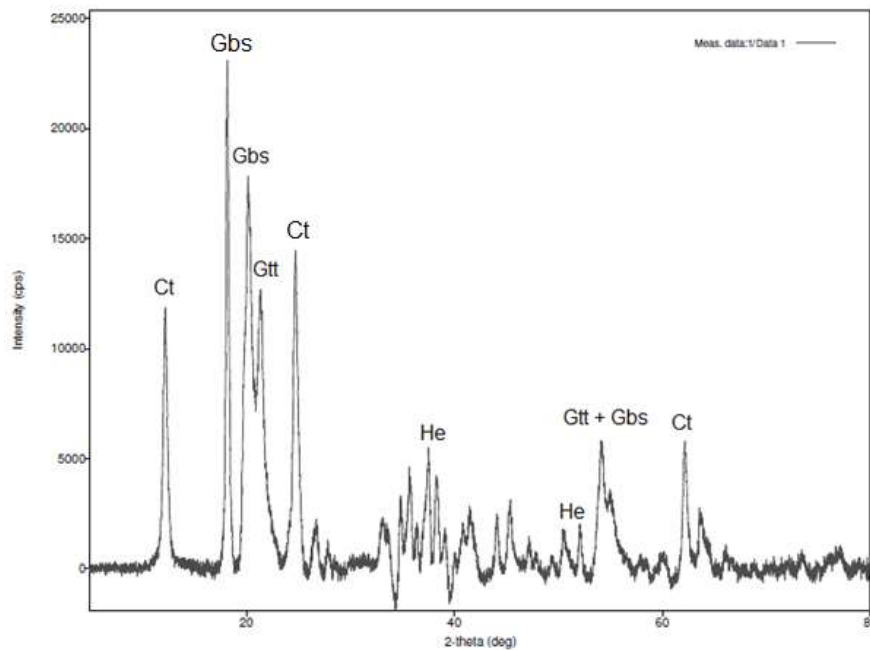
O solo pertence ao horizonte B com uma profundidade de 1,8 m, livre de matéria orgânica, localizado no campus da Universidade Federal de Lavras. Classificado como Latossolo Vermelho (LV) Embrapa (2013) com textura muito argilosa ( $600 \text{ g kg}^{-1}$ ), a correção do solo foi com 600 kg de areia média para cada 1000 kg de solo. Na Tabela 1 estão as características do solo in natura e corrigido. A difratometria de raios-X (Figura 1), da fração argila identificou presença de caulinita (1-1) possuindo ligações fortes e impedindo a adsorção de água, não apresentando expansão significativa em contato com água.

**Tabela 1.** Propriedades do solo in natura e do solo corrigido com areia.

		Solo in natura	Solo corrigido (solo+areia)	Unidade	Método
Granulometria	Argila	66	41	%	NBR 7181/84
	Silte	6	2	%	
	Areia	28	57	%	
Limites de Consistência	LL	40,02	27,02	%	NBR 6459/04
	LP	29,79	20,30	%	NBR 7180/81
	LC	16,80	19,02	%	NBR 7183, adaptado
Densidade	Massa específica	1,98	2,37	$\text{g cm}^{-3}$	NBR 9776/DNER- ME 093/94

LL: limite de liquidez, LP: limite de plasticidade, LC: limite de contração.

**Figura 1.** Difratoograma da amostra de solo Latossolo Vermelho (LV) *in natura* da fração argila.



Ct (caulinita), Gbs (gibbsite), Gtt (goethita) e He (hematita).

### 2.1.2 Resíduo de PRFV

O PRFV é composto por 3 componentes: resina, fibra de vidro e catalizador. A resina, fase matriz, é de poliéster insaturado – UC 2090 utilizada na forma de SprayUp ou manual. A resina apresenta excelente molhabilidade e impregnação nas fibras de vidro, sendo a temperatura de utilização ótima entre 20 a 30°C. As propriedades são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Propriedades da resina poliéster insaturada.

Propriedade	Valores	Unidades	Métodos Análises
Densidade (25 °C)	1,10	g/cm <sup>3</sup>	CQ.049
Viscosidade	330 - 350	cPs	CQ.005
Ponto de fulgor	31,00	°C	-
<b>Tração</b>			
Resistência máxima	40,20	Mpa	ASTM 638
Módulo Elasticidade	2,20	GPa	ASTM 638
<b>Flexão</b>			
Resistência máxima	84,20	Mpa	ASTM D790
Módulo Elasticidade	2,80	GPa	ASTM D790

Fonte: Adaptado de Boletim técnico da empresa Eleikeroz (2016)

A fibra de vidro é originada de dois modelos: manta de fios picado e Roving 105BR, Tabela 3. A manta de fios picados é de moldagem manual. De acordo a ficha técnica da empresa fornecedora, a manta tem propriedades de alta velocidade de impregnação, fácil manuseio, boa compactação, eliminação de bolhas, excelentes propriedades mecânicas e é ideal para aplicações em combate a corrosão. A moldagem é feita por prensagem a quente e a vácuo. A Roving 105BR é feita por aplicação direta em Spray Up, suas propriedades, de acordo com a empresa fornecedora, são: ausência de eletricidade estática, facilidade de corte, fácil roletagem, excelentes propriedades mecânicas, rápida impregnação e dispersão uniforme.

**Tabela 3.** Características da fibra de vidro.

Produto	Massa linear		Perda ao fogo (%)	Umidade (%)
Roving 105BR	2250 a 4250	tex	1,0 a 1,2	≤0,15
Manta de fios	187 a 708	g.cm <sup>-2</sup>	2,26 a 6,15	≤0,20

Fonte: Adaptado da empresa CPIC fiberglass (2016)

O catalizador utilizado para acelerar o processo de reação de endurecimento da resina é o peróxido de metil etil cetona. Sua concentração é de 50% em Dimetilftalato na proporção de 1% na composição do compósito. É um produto inflamável, oxidante, corrosivo e parcialmente solúvel em água. É utilizado exclusivamente para reação com poliésteres.

O resíduo do PRFV foi processado, triturado e selecionado. Utilizou-se um triturador com motor trifásico de 7,5 cv com uma peneira de 55 mm. A partir do processo de trituração foram gerados dois sub resíduos, Figura 1. O resíduo de “lã” foi descartado, porem separado para futuras pesquisas, sendo utilizado somente o resíduo com maior volume de fibras de vidro.



**Figura 2.** Processamento do resíduo de PRFV.



Resíduo de PRFV retirado da fábrica (a), triturador (b), resíduo não utilizado (“lã”) (c), resíduo utilizado (d).

As partículas do resíduo geradas foram analisadas com o software ImageJ, Figura 2. Foram selecionadas 30 amostras de fibras aleatórias encontrando uma dimensão média de 10,507 mm com um desvio padrão de 0,439 mm. Utilizando o método do frasco de Chapman modificado pela norma NBR 9776, foi possível encontrar a densidade do resíduo de PRFV, equivalente a  $1,25 \text{ g cm}^{-3}$ .

**Figura 3.** Partículas do resíduo de PRFV para análise de dimensão média.



## 2.2 Produção dos compósitos

A produção, Figura 3, foi feita com o solo corrigido com areia, água e o resíduo de PRFV. Antes da produção de cada tratamento foram coletadas 3 amostras de solo para cálculo da umidade pelo método da estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ . A quantidade de água adicionada na produção variou entre o limite de liquidez e limite de plasticidade do solo. Para determinar a umidade e consistência ideal, foram feitos dois testes empírico (Figura 3) “queda da bola” (BARBOSA; GHAVAMI, 2007) e “Prueba de Vicat” (RUIZ; LUNA, 1983). Estes foram aferidos pelo método da estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  em 3 amostragens da massa do adobe, utilizando uma estufa por 24 horas. O adobe de boa qualidade deve ser homogeneizado, portanto a produção teve 3 etapas: a mistura manual com pás e enxadas, pisoteamento e homogeneização na “maromba”.

**Figura 4.** Etapas de produção e testes de umidade.



Solo corrigido com resíduo de PRFV (A), após adicionar água e misturar com a enxada e pisotear (B), homogeneização utilizando a “maromba” (C), confecção e desenforma dos adobes (D), adobes virados após 7 dias de produção (E), teste de “queda da bola” (F) e teste de “Prueba de Vicat” (G).

### 2.3 Ensaios de propriedades físicas

O ensaio de densidade aparente foi feito com 5 adobes escolhidos aleatoriamente após os 35 dias de secagem. Foram feitas 10 medições por adobe utilizando um paquímetro digital de 30 cm e pesados em balança digital em gramas.

Para o ensaio de retração linear foi confeccionado uma caixa proposta por Faria (2002) com dimensões conhecidas, para 6 amostras com 60x8,5x3,5cm, portanto 2 tratamentos com 3 repetições. As caixas foram preenchidas pela massa usada na produção dos adobes, alisando a superfície para nivelar e ajustar cada amostra. Após um período de 7 dias mediu-se a retração linear de cada tratamento. A retração não pode passar de 20 mm para tijolos e blocos solo-cimento segundo BNH (1985).

O ensaio de absorção de água e perda de massa foi executado de acordo com a metodologia modificada de Varum et al. (2007). Para cada tratamento foram utilizadas 5 amostras de adobes serrados ao meio após secos. Em uma caixa em 60x35x10cm foram colocadas as amostras previamente pesadas e preenchido com água ( $\pm 17$  litros) até as amostras ficaram submersas. Após 6 horas, as amostras foram pesadas novamente para se obter a quantidade de água absorvida. O material que despreendeu-se do adobes e ficou depositado nas caixas foi coletado e seco em estufa para se calcular a perda de massa.

O ensaio de capilaridade foi seguindo o modelo de Varum et al. (2007). Cada tratamento foi utilizado 5 adobes que foram colocados em uma bandeja de plástico. Foi adicionado uma quantidade de água com altura conhecida de 1,4cm. Após uma hora foram feitas 4 medições da altura de água absorvida: duas na largura e duas no comprimento. O

material depositado nas bandejas foi coletado e seco em estufa para cálculo da perda de massa.

#### **2.4 Ensaios de resistência à compressão**

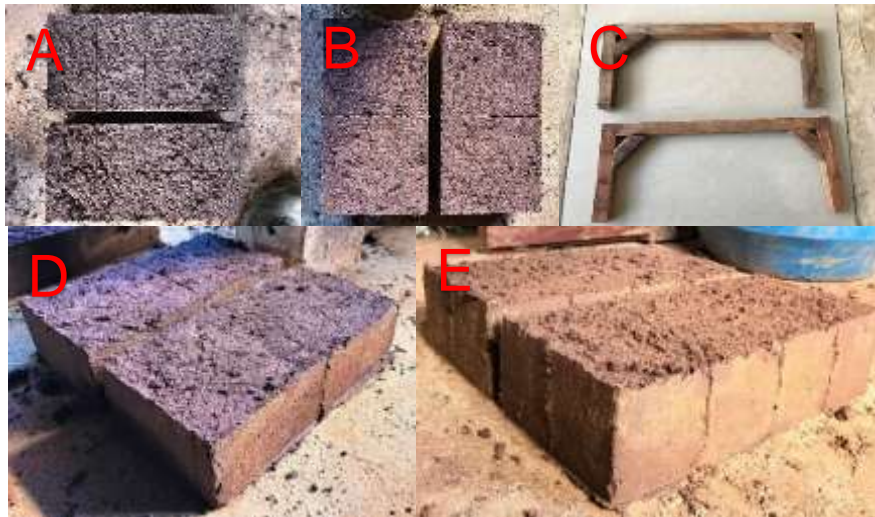
A NTE. E.080 recomenda cortar as amostras após o tempo de secagem. Neste trabalho foi proposto uma alteração, cortar as amostras após terem sido retiradas do molde, 0 dias. O adobe com alto teor de água pode ser seccionado com uma linha de nylon ou mesmo com um pedaço de arame.

Foram realizados 4 ensaios de resistência a compressão. Dois de acordo com a NTE. E.080 um seguindo toda a metodologia da norma e outro utilizando o método de cortar o adobe após serem retirados dos moldes, observado na Figura 4. Dois ensaios foram feitos de acordo com a norma Brasileira (em tramitação), um serrado após 35 dias, outro com 0 dias (Figura 4).

Para os tratamentos FV75 e FV100 não foi possível usando a metodologia proposta, devido ao aumento de fibras de resíduo de PRFV, encontrou-se dificuldade em cortar os adobes ainda úmidos.



**Figura 5.** Metodologia proposta dos cortes dos adobes para ensaio de compressão.



Vista superior dos adobes cortados pela norma brasileira (A), vista superior dos adobes cortados pela NTE. E.080 (B), aparelho utilizado para cortar os adobes (C), vista lateral dos adobes cortados pela NTE. E.080 (D), vista lateral dos adobes cortados pela norma brasileira.

## 2.5 Ensaio de condutividade térmica

O ensaio de condutividade térmica foi feito em uma câmara desenvolvida por MDP (*Medium Density Particleboard*) de bagaço de cana e com duas camadas de revestimentos, isopor e manta térmica, afim de isolar ao meio externo. A parte inferior consiste de uma fonte de calor (lâmpada incandescente) conectada a um termostato que faz a regulação da temperatura por um termopar logo acima da lâmpada em 47,0 °C. O sistema possui 4 termopares, sendo eles: o controlador da temperatura da lâmpada, a temperatura ambiente, a temperatura antes de entrar na amostra e a temperatura após sair da amostra. Todo o sistema é conectado a uma plataforma de desenvolvimento de hardware, microcontrolada, de código aberto (Arduino). Para avaliar a

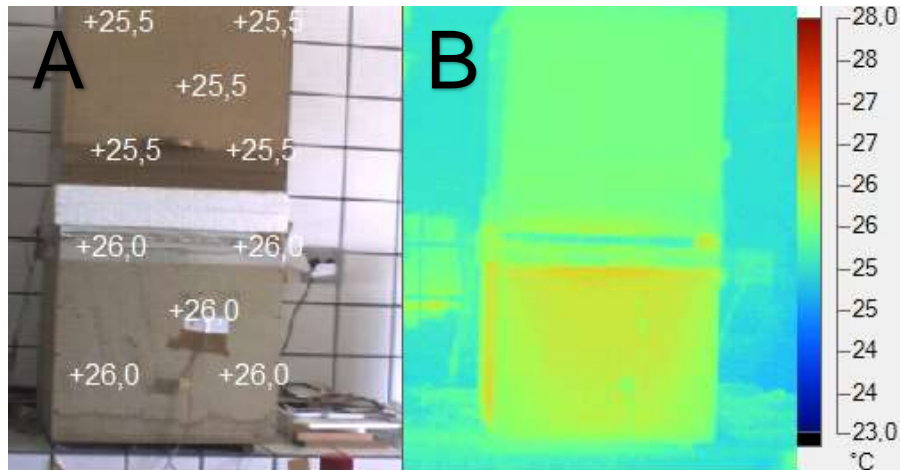
possível dissipação de calor por outros locais das câmaras, que não seja pela amostra, foram feitas imagens, Figura 5 e Figura 6, com uma câmera termográfica com sensor infravermelho, da marca Fluke, modelo TI55FT20/54/7.5, com precisão de  $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ .

As amostras para o ensaio térmico foram retiradas do ensaio da caixa de retração, após 35 dias, e cortadas nas dimensões de  $7 \times 7,5$  cm (comprimento e largura) e uma altura variável de cada amostra, variando entre 2,5 até 3 cm dependendo da retração que cada adição teve. Cada amostra foi colocada na caixa térmica durante um tempo pré-determinado de 3,33 horas (estabilização da diferença de temperatura), valor referente a 1000 leituras sendo cada leitura de 12 segundos. Foram feitas 5 repetições por tratamento. Utilizou-se o valor da amostragem intermediária.

Para se calcular a condutividade térmica foi utilizada a equação abaixo, proposto por Silva (2010):  $K = P.E / \Delta T$ . Sendo: K (Condutividade térmica [ $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ ]), P (Radiação por medida de área [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]), E (Espessura do corpo de prova [m]) e  $\Delta T$  (Variação de temperatura observada [ $^{\circ}\text{C}$ ]).

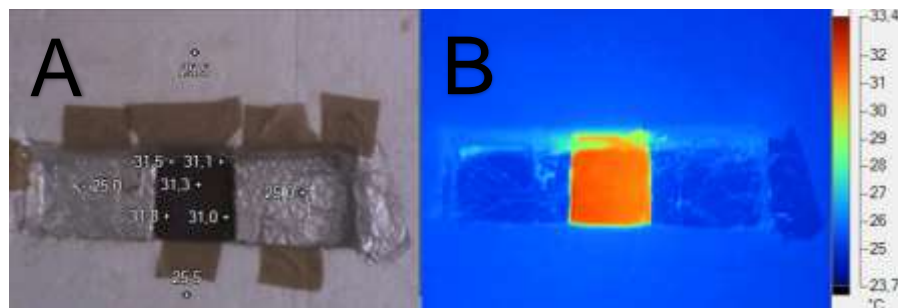
A radiação da lâmpada foi obtida por um medidor de radiação solar Intrutherm modelo MES-100. Foram feitas 5 coletas, sendo a média no valor de  $207,34 \text{ W}/\text{m}^2$ . A variação da temperatura ( $\Delta T$ ) foi coletada durante na amostragem de 3,33 horas, logo após a curva de estabilização da temperatura.

**Figura 6.** Vista externa da caixa térmica e sua imagem infravermelho.



A imagem (A) mostra as temperaturas na parte inferior, onde se aloca a fonte de calor, e da parte superior, onde se aloca a amostra. A imagem (B) mostra uma imagem infravermelho da caixa térmica e o gráfico de temperaturas.

**Figura 7.** Caixa térmica, vista superior da amostra e imagem infravermelho.



A imagem (A) mostra onde é inserida a amostra, a vedação e suas as temperaturas. A imagem (B) mostra uma imagem infravermelho da caixa térmica e o gráfico de temperaturas.

## 2.6 Micro estrutura

A visualização micro estrutural dos fragmentos de adobes após o ensaio de resistência à compressão foi feita utilizando o microscópio



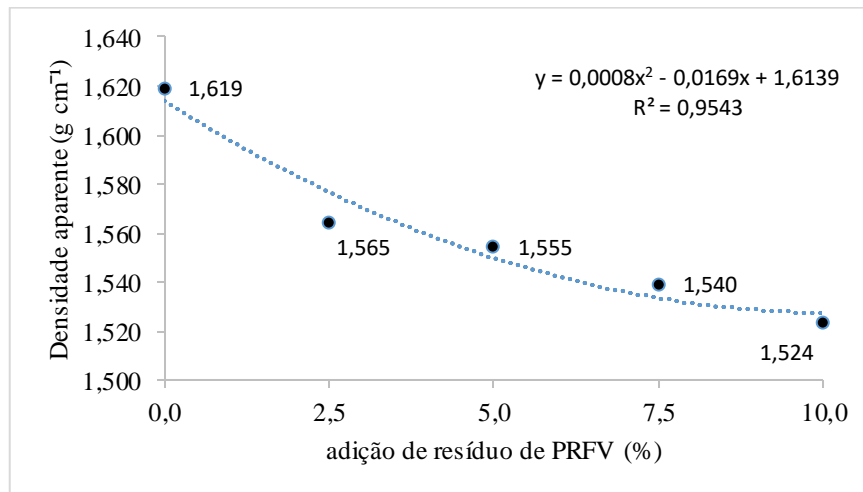
eletrônico de varredura (MEV) LEO EVO 40 XVP e microscópio estereoscópio com epi-fluorescência SMZ 1500 (Nikon).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Densidade aparente

A densidade aparente do adobe apresentou diferença significativa, Tabela 4, diminuindo com o aumento do resíduo de PRFV. A concentração de 10% apresentou uma redução de  $0,1 \text{ g cm}^{-3}$  quando comparado ao controle. A retração na altura e no comprimento é superior quando adiciona-se resíduo PRFV. A Figura 8 mostra a diminuição da densidade e a tendência de acordo com o aumento de resíduo.

**Figura 8.** Tendência da densidade aparente.



**Tabela 4.** Resultados médios - Densidade aparente.

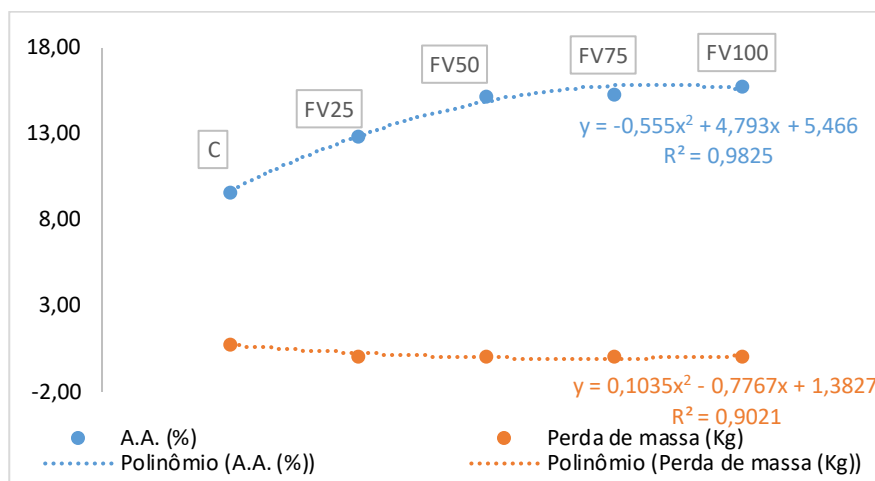
Tratamentos	Comp. (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Massa (g)	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	Desvio padrão
C	29,26	14,72	7,69	3311,33	5,362	1,619	0,023
FV25	29,26	14,69	7,64	3283,48	5,138	1,565	0,017
FV50	29,26	14,70	7,89	3390,45	5,270	1,555	0,011
FV75	29,45	14,69	7,89	3411,56	5,252	1,540	0,010
FV100	29,48	14,79	8,03	3502,75	5,338	1,524	0,025
CV (%)				1,30			

Média seguidas por mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A redução da densidade aparente é observada também por Corrêa et al. (2015), utilizando fibras de bambu na produção do adobe de 2 a 6%. O resíduo de PRFV apresenta uma densidade muito inferior do solo corrigido, diminuindo a densidade aparente. Outro fator é o aumento da porosidade do adobe pela movimentação das fibras em contato com o solo, apresentado nas Figura 12 e 13.

### 3.2 Absorção de água e perda de massa

Na pesagem inicial das amostras observou-se uma diminuição da massa seca quando acrescido o resíduo de PRFV. O tratamento controle teve suas amostras levemente desmanchadas, sendo uma delas bem desmanchada. O FV25 também apresentou uma das amostras desmanchada. O FV75 teve a menor perda de massa. Na Tabela 5, apresenta são apresentados os valores. Na Figura 9 observa-se a o limite mínimo de perda de massa com 7,5% e as equações de absorção de água e perda de massa pelo acréscimo de resíduo de PRFV.

**Figura 9.** Tendência da absorção de água e perda de massa.**Tabela 5.** Resultados para absorção de água e perda de massa.

Treatmento	Absorção de água (%)	Massa inicial (kg)	Massa final (kg)	Desvio padrão	Perda de massa seca (kg)	Perda de massa seca (%)
C	9,62 a	13,120	14,384	7,642 *	0,779	0,059
FV25	12,88 ab	13,364	15,096	2,825 **	0,089	0,007
FV50	15,21 b	13,210	15,138	0,305	0,029	0,002
FV75	15,23 b	13,074	15,258	0,368	0,027	0,002
FV100	15,76 b	12,994	15,486	0,385	0,033	0,003
CV (%)			20,61			

Média seguidas por mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

\*Uma das cinco amostras desmanchou-se muito.

\*\*Uma das cinco amostras desmanchou-se razoavelmente.

A presença das partículas do resíduo de PRFV apesar de fazer um bom reforço no adobe com sua armação, observado na Figura 10, contribuíram para o aumento na absorção de água. De acordo com a

NBR 8492 (ABNT, 1984) a absorção de água em tijolos solo-cimento deve ser menor que 18%. Todos os tratamentos atenderam a norma, sendo abaixo do valor máximo permitido. O FV100 apresentou a maior absorção, 15,76%. No experimento notou-se quanto maior a porcentagem de resíduo mais estruturado é o adobe. As arestas após 6 horas imersos em água dos tratamentos FV50, FV75 e FV100 mantiveram-se regulares.

**Figura 10.** Adobes submetidos ao ensaio de absorção de água durante 6 horas.



C (a), FV25 (b), FV50 (c), FV75 (d), FV100 (e), vista da amostra C após retirado da bandeja (f) e vista da amostra FV50 após retirado da bandeja.

Corrêa et al. (2014) utilizando fibras de bagaço de cana e de bambu em 2, 4 e 6% em massa para adobes, observou que quanto maior

a adição de fibra mais água era absorvida. Corrêa et al. (2015) utilizando fibras de bambu em 6 % conseguiu estabilizar o adobe e atingir 18% de absorção de água, atendendo a NBR8492.

Milani et al. (2006) na fabricação de solo-cimento utilizando casca de arroz em 10, 20, 30 e 40% na substituição do cimento, observou que quando maior a adição do resíduo maior é a absorção de água.

Ferreira, Gobo e Cunha (2008) utilizando casca de arroz e casca de braquiária na fabricação de tijolo solo cimento em várias porcentagens, observou que com o aumento da adição de ambos, aumentava a absorção de água, sendo o tratamento controle, sem adição, o menor valor.

### **3.3 Capilaridade e perda de massa**

Os resultados médios para a perda de massa decresceram com o acréscimo do resíduo, demonstrando a função reforço das fibras pela coesão do solo (Tabela 6). As alturas de água ascendentes aumentaram em relação ao aumento de resíduo de PRFV, comparado ao tratamento C.

**Tabela 6.** Resultados para altura de capilaridade e perda de massa por capilaridade.

Trat.	Altura média de capilaridade	Desvio Padrão	Massa Inicial	Massa final	Perda de massa (kg)	Perda de massa (%)
C	2,06a	0,374	27,152	30,302	0,068	0,0025
FV25	2,58a	0,275	25,984	27,468	0,050	0,0019
FV50	3,17b	0,187	26,037	28,174	0,023	0,0009
FV75	4,17c	0,283	26,156	28,828	0,025	0,0009
FV100	5,85d	0,364	27,174	30,338	0,027	0,0010
CV (%)			8,76			

Média seguidas por mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Corrêa et al. (2015), utilizando fibras naturais (bambu), nos adobes encontrou uma menor perda de massa e uma maior altura por ascensão de acordo com o aumento de fibras no adobe.

### 3.4 Retração linear

Com o acréscimo de resíduo de PRFV observa-se (Figura 11) uma diminuição da retração, sendo significativos a 5% (Tabela 7). Foi observado também que na medição das densidades aparentes dos adobes, seu volume manteve-se maior, após a secagem, de acordo com a maior adição de resíduo. Esta menor retração, acontece devido ao armamento das fibras de resíduo de PRFV que estruturam o adobe que impedem a sua retração com a diminuição da umidade.

**Tabela 7.** Retração linear média dos diferentes tratamentos.

Resultados médios	Tratamentos				
	C	FV25	FV50	FV75	FV100
Retração linear (mm)	2,71 a	2,48 a	1,87 b	1,02 c	0,80 c
Retração linear (%)	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
Desvio padrão	0,03	0,19	0,13	0,17	0,04

Média seguidas por mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

**Figura 11.** Ensaio de retração linear.

C (A), FV25 (B), FV50 (C), FV75 (D) e FV100 (E).

Os tratamentos C e FV25, de acordo com BNH (1985); CEPED (1984) não são recomendados para fabricação de BTC por apresentarem valores superiores a 20 mm. Com o aumento das fibras de resíduo de PRFV observa-se uma menor retração e menor presença até a ausência de trincas.

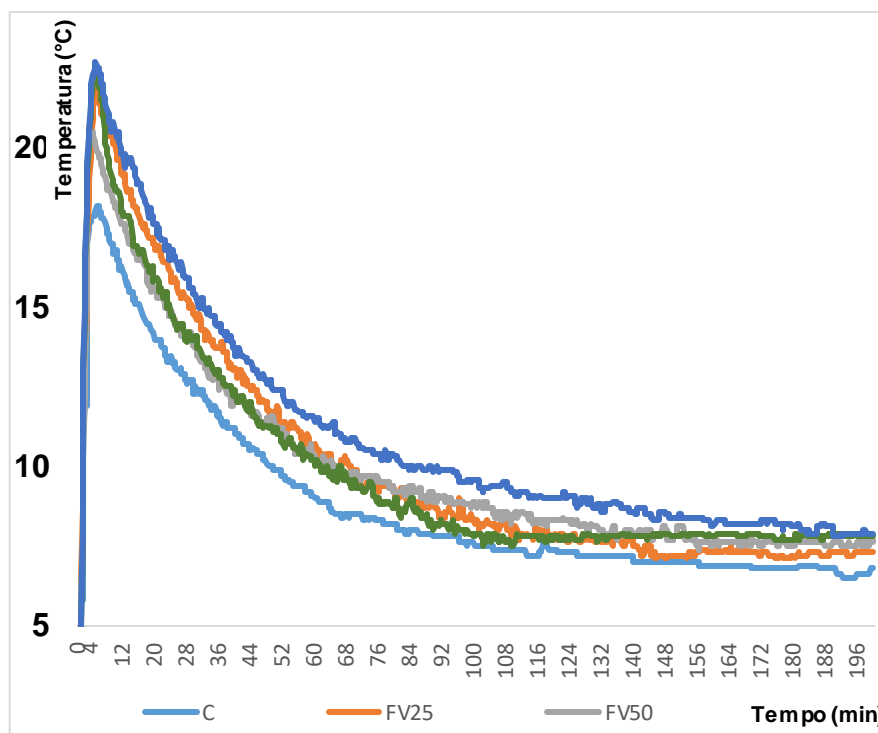
Yetgin, Özlem e Ahmet (2008) afirmam que quanto mais fibras naturais no adobe, menor será a retração. A estabilidade dimensional e de controle de fendas de encolhimento é possível por adição de fibras (GALÁN-MARIN; RIVERA-GÓMEZ; PETRIC, 2010). Corrêa et al. (2014) Utilizando fibras de bambu e bagaço de cana, observou que a

fibra de bagaço de cana reduziu a retração a linear, as fibras de bambu apesar de não terem variação significativas contribuíram para a redução da retração.

### 3.5 Condutividade térmica e diferença de temperatura

Quanto maior a adição do resíduo de PRFV, maior diferença de temperatura, apresentando uma diferença de 1,1 °C do tratamento controle para o FV100 (Figura 12).

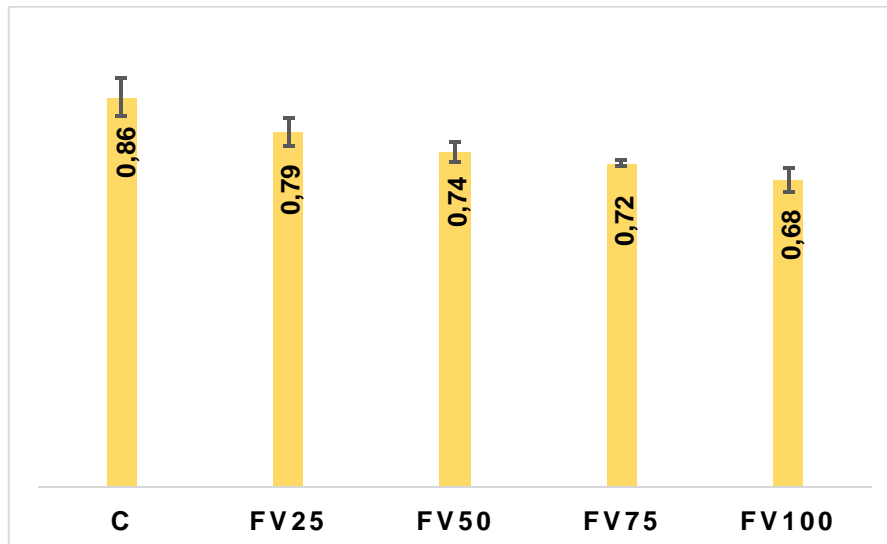
**Figura 12.** Diferenças de temperaturas de entrada e saída dos tratamentos.



Na Figura 13, observam-se os valores da condutividade térmica dos adobes. A nível de 5% de significância mostrando que o FV100 apresenta o menor valor em comparação aos outros tratamentos.



**Figura 13.** Média das condutividades térmicas dos tratamentos –  $W.(m^{\circ}C)^{-1}$ .



De acordo com Mosquera et al. (2014) utilizando duas amostras de adobes, uma seca em estufa e outra com 1,67% de umidade encontrou os valores de 0,80 e 0,90 W/(m.K) respectivamente. Apostando que a umidade no adobe influencia negativamente o conforto térmico e que o valor encontrado 0,86 W/(m.°C) esta condizente. Outros autores encontraram valores entre 0,5 a 0,7 W.(m°C)<sup>-1</sup> (HOLMAN, 1969; KARKELAR, 1990 APUD PIÑON ET AL., 2007). A utilização do resíduo de PRFV melhora suas propriedades térmicas, diminuindo a transferência de calor e apresentando um melhor conforto térmico.

### 3.6 Resistência à compressão

Na tabela 8 observa-se o aumento da resistência à compressão com o aumento do resíduo de PRFV, mostrando que o efeito da adição foi significativo a nível de 5%. Sendo a adição de 10% o maior valor.

**Tabela 8.** Análise da resistência à compressão de acordo com a norma e metodologia usada.

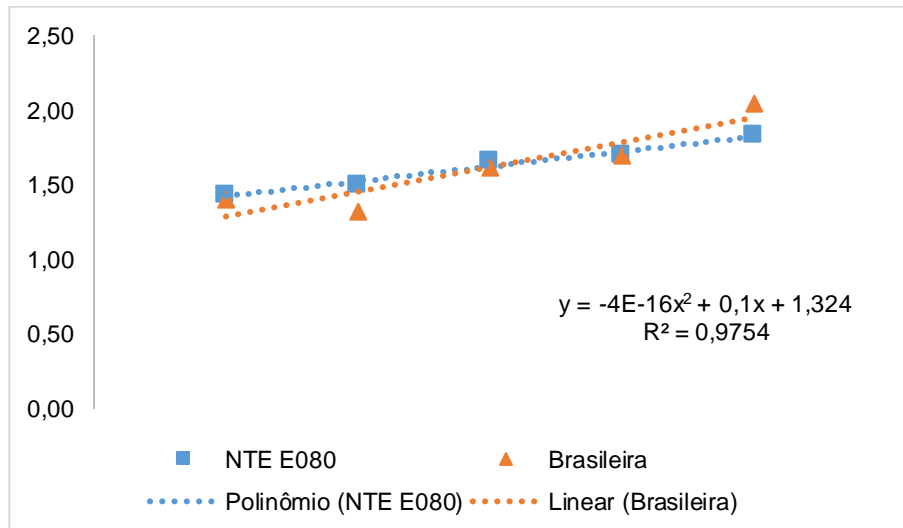
Trat.	Normas (MPa)				Média tratamento
	NTE E 080	NTE E 080 modificada	Brasileira	Brasileira modificada	
C	1,43 a	1,35 a	1,41 a	1,37 a	1,39 a
FV25	1,50 b	1,53 b	1,32 a	1,33 a	1,42 a
FV50	1,66 ab	1,76 b	1,62 ab	1,54 a	1,64 b
FV75	1,70 a	-	1,70 a	-	1,70 b
FV100	1,83 b	-	2,05 a	-	1,94 c

Média seguidas por mesma letra em uma mesma linha são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

\*Como não foi possível fazer os ensaios pela metodologia proposta, foi feita uma análise separada.

Não foram encontrados trabalhos que utilizem o resíduo de PRFV no adobe, porém diversos trabalhos utilizando fibras naturais e sintéticas em diferentes proporções e dimensões: Yetgin, Özlem, Ahmet (2008) utilizando palha a 0,5%; Sharma, Vinayak, Marwaha (2015) com fibras de *Grewia Optivia* e *Pinus Roxburghii* a 0,5 a 2,0% gerando um aumento de 200%; Corrêa et al. (2015) utilizando 6% de partículas de bambu encontrando um aumento de 90%; Serrano, Barreneche, Cabeza (2016) adicionando palha de milho verificou um aumento de 1,24 para 2,49 MPa; Balkis (2017) com fibras de polietileno a 0,5% de 2,84 para 3,45 MPa e Millogo et al. (2017) utilizando fibras de esterco de vaca. Todos representam um aumento na resistência à compressão diante da utilização de fibras. Na Figura 14 observa-se o aumento e a tendência da resistência à compressão com o acréscimo de resíduo de PRFV pelas normas.

**Figura 14.** Tendência da resistência à compressão de acordo com as normas.



### 3.7 Micro Estrutura

O reforço das fibras de resíduo de PRFV no adobe foi observado no microscópio estereoscópico (Figura 15) e MEV (Figura 16).

**Figura 15.** Imagens de microscopia estereoscópica do tratamento.

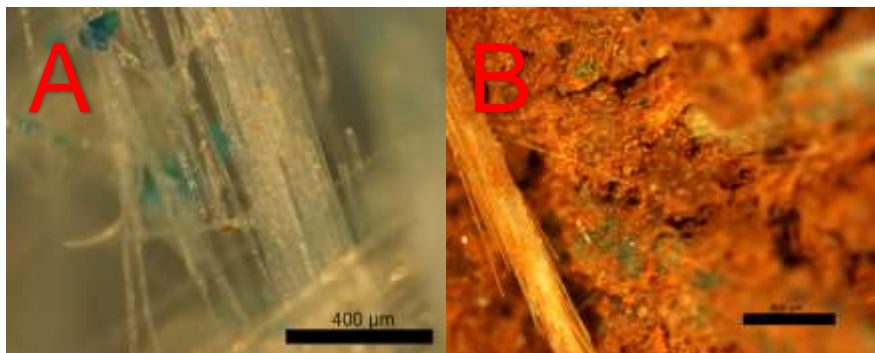
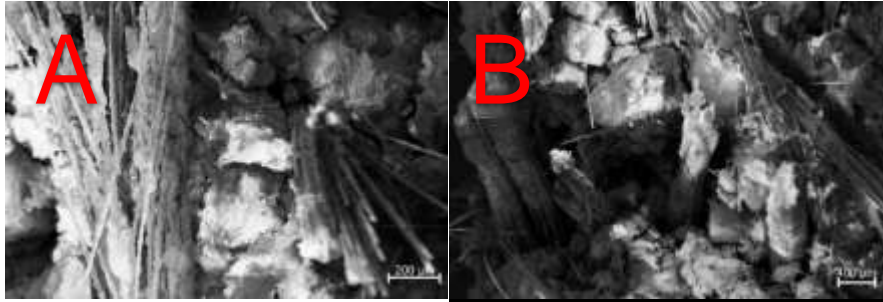


Imagem (A), filamentos do resíduo de PRFV após processamento. Imagem (B) amostra PRFV100 mostrando uma forte

aderência entre o solo com as partículas de PRFV e presença de espaços vazios (poros).

**Figura 16.** Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do tratamento FV100.



As imagens (A) e (B) mostram a forte interação entre as fibras do resíduo de PRFV com as partículas argilo-mineral do solo. Essa boa interação influencia no aumento da resistência à compressão, estruturando e armando o adobe, sabendo que o FV100 foi o que obteve maior resistência. O FV100 apresentou também uma maior absorção de água, absorção por capilaridade e menor densidade aparente, devido aos espaços vazios, poros, encontrados pela movimentação da fibra.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho demonstraram que é possível melhorar as propriedades físicas, mecânicas e térmicas dos adobes utilizando a estabilização com resíduo de PRFV.

Houve redução na retração linear. Quanto à absorção de água, o adobe mantém-se inteiro e estruturado após 6 horas de submersão. Para a capilaridade, houve menor perda de massa. A densidade aparente decresceu com a adição do resíduo de PRFV, sendo a adição de 10% com  $1,524 \text{ g cm}^{-3}$ .

Quanto ao conforto térmico, a utilização do resíduo de PRFV diminui a condutividade térmica e reduz em 1,1 °C a temperatura comparado ao adobe sem adição.

Em relação a resistência à compressão, o resultado foi significativo. Com acréscimo de 0,55 MPa em 10% de adição. A metodologia proposta em cortar antes de secar os adobes não tiveram sucesso com a adição acima de 5,0%.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1981) **NBR-7180**. Solo – Determinação do limite de plasticidade. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 03p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1982) **NBR-7183**. Determinação do Limite e Relação de Contração dos Solo. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 03p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984) **NBR-7181**. Análise Granulométrica. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 13p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água. Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 2 p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1986) **NBR-9776**. Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 03p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) **NBR-6459**. Determinação do Limite de Liquidez. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 06p.
- BALKIS, A. P. The effects of waste marble dust and polypropylene fiber contents on mechanical properties of gypsum stabilized earthen. **Construction and Building Materials**, 2017, 134: 556-562.
- BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. In ISAIA, G. C. (Org.). **Terra crua**. São Paulo: Ibracon, 2007. V. 2, p. 1505-1557.
- Banco Nacional da Habitação. **BNH (1985)**. Uniformização das técnicas de aplicação do solo-cimento na construção habitacional. Rio de Janeiro: DEPEA/BNH. 14 p.

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. THABA (1984). **Manual de construção com solo-cimento**. 3 ed.atual. São Paulo: CEPED/ BNH/ URBIS/ CONDER/ PMC/OEA/ CEBRACE/ ABCP. 147 p.

CORRÊA, A. A. R., et al. Evaluation of physical and mechanical properties of adobe bricks. **Ciência e Agrotecnologia**, 2006, 30.3: 503-515.

CORRÊA, A. A. R. **Incorporação de partículas lignocelulósicas e “baba de cupim sintética” no adobe**. 2013. 201 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/handle/1/1764>>. Acesso em: 15 jan. 2016.

CORRÊA, A. A. R., et al. Mechanical properties of adobe made with sugar cane bagasse and" synthetic termite saliva" incorporation. **Key Engineering Materials**, 2014, 634.

CORRÊA, A. A. R., et al. Incorporation of bamboo particles and “synthetic termite saliva” in adobes. **Construction and Building Materials**, 2015, 98: 250-256.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 138 (1994). Pavimentos flexíveis - Misturas betuminosas – determinação da resistência à tração por compressão diametral. **Departamento Nacional de Estradas de Rodagem**, Rio de Janeiro. Disponível em:<<http://www1.dnit.gov.br/normas/Determinacao%20da%20Resistencia%20a%20Tracao%20-%20VERSAO%20DEFINITIVA.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

FARIA, O. B. **Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo no reservatório de Salto Grande (Americana-SP)**. São Carlos, 200p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002. (também em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-10022003-103821/> )

FERREIRA, R. de C.; GOBO, J. C. da C.; CUNHA, A. H.N. Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, 2008, 28.1: 1-11.

- GALÁN-MARÍN, C., RIVERA-GÓMEZ C., and PETRIC J. "Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre." **Construction and Building Materials** 24.8 (2010): 1462-1468
- GIAMUNDO, V. et al. Nonlinear analyses of adobe masonry walls reinforced with fiberglass mesh. **Polymers**, 6(2), 2014. 464-478.
- INDA JUNIOR, A. V.; KAMPF, N. Variabilidade de goethita e hematita via dissolução redutiva em solos de região tropical e subtropical. **Revista brasileira de ciencia do solo. Viçosa. Vol. 29, n. 6 (2005), p. 851-866**, 2005.
- KEMERICH, P.D. da C., et al. Fibras de Vidro: Caracterização, disposição final e impactos ambientais gerados, **Rev. Elet. Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 2013, 10.10: 21122121.
- MILANI, A. P.S, et al. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz. **Engenharia Agrícola**, 2006.
- MILLOGO, Y, et al. Earth blocks stabilized by cow-dung. **Materials and Structures**, 2016, 49.11: 4583-4594.
- MOSQUERA, P., et al. Determination of the Thermal Conductivity in Adobe With Several Models. **Journal of Heat Transfer**, 2014, 136.3: 031303.
- NEVES, C. M. M. et al. **Seleção de solo e métodos de controle em construção com terra: práticas de campo**. 2005. Disponível em: [http://www.redproterra.org/images/stories/pub\\_pdf/Selecao\\_de\\_solos\\_10.pdf](http://www.redproterra.org/images/stories/pub_pdf/Selecao_de_solos_10.pdf). Acesso em: 25 set. 2016.
- NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN. **NTE E.080**: reglamento Nacional construcciones. Lima, 2000. P. 17.
- NORMA TÉCNICA DE EDFICACIÓN. **NTE E.080**: reglamento nacional de construcciones. Lima, 2000. P. 17.
- ORTH, C. M.; BALDIN, N.; ZANOTELLI, C. T. Implicações do processo de fabricação do compósito plástico reforçado com fibra de vidro sobre o meio ambiente e a saúde do trabalhador: o caso da



indústria automobilística. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.12, n. 2, p. 537-556, 2012.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. **Construction and Building Materials**, 2009, 23.1: 28-39.

PALME, M.; GUERRA, J.; ALFARO, S. Thermal performance of traditional and new concept houses in the ancient village of San Pedro de Atacama and surroundings. **Sustainability**, 2014, 6.6: 3321-3337.

PIÑON, J. P. et al. Melhoramento das propriedades mecânicas e hidrofóbicas de adobes para indústria de edificação através da adição de agentes poliméricos. **Construção e meio ambiente**, São Paulo, v. 42, p. 877-883, 2007.

RUIZ, L. E. H.; LUNA, J. A. M. **Cartilha de pruebas de campo**. Conescal: [s.n.], 1983. 72 p.

YETGIN, Ş., ÖZLEM, Ç. and AHMET, C. "The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes." **Construction and Building Materials** 22.3 (2008): 222-227.

SERRANO, S.; BARRENECHE, C.; CABEZA, L. F. Use of by-products as additives in adobe bricks: Mechanical properties characterization. **Construction and Building Materials**, v. 108, p. 105-111, 2016

SHARMA, V.; VINAYAK, H. K.; MARWAHA, B. M. Enhancing compressive strength of soil using natural fibers. **Construction and Building Materials**, 2015, 93: 943-949.

SHUKLA, A.; TIWARI, G. N.; SODHA, M. S. Embodied energy analysis of adobe house. **Renewable Energy**, v. 34, n. 3, p. 755-761, 2009.

SILVA, A. R. **Estudo térmico e de materiais de um bloco para construção de casas populares, confeccionado a partir de um compósito a base de gesso, EPS e raspa de pneu**, 2010. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SOLOS, Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos.**  
Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2013

VARUM, H. et al. **Caracterização dos solos e adobes usados na construção los Camabatelas, Angola.** Lisboa: Argumentum, 2007. p. 94-96.

**ARTIGO 2** Comportamento físico, mecânico e térmico do adobe estabilizado com resíduo de Estação de Tratamento de Água (ETA)

**Artigo proposto para o periódico *Ciência e Agrotecnologia***

## COMPORTAMENTO FÍSICO, MECÂNICO E TÉRMICO DO ADOBE ESTABILIZADO COM RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

**RESUMO:** A necessidade de água tratada é essencial para a vida. Com o constante aumento populacional, a maneira mais comum de se potabilizar as águas superficiais são pelas Estações de Tratamento de Água (ETA) convencionais. O alto volume de resíduo (lodo) gerado neste processo na maioria das vezes é retornado ao local de captação afetando negativamente o ecossistema. O adobe é um material de construção sustentável, reciclável, de baixo custo energético e que pode ser estabilizado com diversos materiais. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é desenvolver adobes utilizando resíduos de ETAs analisando suas propriedades físicas, mecânicas e térmica. Foram produzidos 5 diferentes tratamentos: 0; 1; 3; 5 e 7% de lodo em massa. O tratamento com 0% corresponde ao tratamento controle. Foram avaliados quanto sua densidade aparente, absorção de água, capilaridade, retração linear, resistência à compressão utilizando a norma peruana e a norma brasileira, ambas testando duas metodologias diferentes, e a condutividade térmica. Os dados foram submetidos a análise de variância e posteriormente aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. O valor da capilaridade e a perda de massa aumentou com a utilização resíduo. A absorção de água foi possível com 1 e 3% de lodo. A retração linear não sofreu influência com a utilização do lodo. A densidade aparente aumentou de acordo com o acréscimo de lodo. A condutividade térmica não apresentou nenhuma influência com a utilização do lodo. As resistências a compressão também tiveram diferenças, sendo a melhor adição de 1 e 3% aumentando 13%

comparado ao controle. As normas para o ensaio de compressão apresentarem valores próximos. A utilização do corte do adobe após moldado apresentou valores próximo, exceto nas adições 5 e 7%. A adição do lodo de ETA no adobe altera suas propriedades físicas e mecânica, sendo as adições 1 e 3% as melhores para o adobe, além de dar uma destinação correta ao resíduo.

**Palavras-chave:** construção, sustentabilidade, resíduo, conforto térmico, propriedades físico-mecânicas.

#### **PHYSICAL, MECHANICAL AND THERMAL BEHAVIOR OF ADOBE STABILIZED WITH WASTE WATER TREATMENT PLANTS**

**ABSTRACT:** The need for treated water is essential for life. With the constant increase in population, the most common way to purify surface water is through conventional Water Treatment Plants (WTPs). The high volume of residue (sludge) generated in this process is most often returned to the catchment site, negatively affecting the ecosystem. Adobe is a sustainable, recyclable, energy-efficient construction material that can be stabilized with a variety of materials. Therefore, the objective of this work is to develop adobes using WTP residues analyzing their physical, mechanical and thermal properties. Five different treatments were produced: 0; 1; 3; 5 and 7% sludge by mass. Treatment with 0% corresponds to the control. Evaluated for bulk density, linear shrinkage, capillary water absorption, thermal conductivity and compressive strength according to the NTE E0.80 and Brazilian Standard in progress. The data were submitted to analysis of

variance and applied the Tukey test with at 5% probability. The value of capillarity and mass loss increased with the use of sludge. As for water absorption it was possible with 1 and 3% sludge. The linear shrinkage was not influenced by the use of sludge. The bulk density increased as the sludge increased. Thermal conductivity did not show any influence with the use of sludge. The compressive strengths presented differences, being the best addition of 1 and 3% increasing 13% compared to the control. The standards for the compression test have close values. The cut of the adobe after molding presented close values, except in additions 5 and 7%. The addition of ETA sludge in the adobe alters its physical and mechanical properties, with additions 1 and 3% being the best for the adobe, besides giving a destination to the residue.

**KEYWORDS:** construction, sustainability, residue, thermal comfort, physical-mechanical properties.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação ambiental vem direcionando soluções para minimizar a tamanha geração de resíduos, o gasto energético excessivo e a constante extração dos recursos naturais.

Por se tratar de um material que não ocorre sinterização, não utiliza-se cimento, sendo somente a mistura de solo e água e, quando viável e necessário, a adição de estabilizantes, o adobe, é considerado um material reciclável, renovável, sustentável, com baixo custo energético, baixa demanda de água e fácil execução.

A construção com adobe é similar a construção com materiais convencionais como tijolos cerâmicos e blocos de concreto. O

assentamento dos adobes é feito com uma argamassa a base de solo para manter uma melhor conexão dos materiais e igual retração e para evitar trincas e manter a qualidade da alvenaria. (TORGAL; EIRES; JALALI, 2009).

Em relação, o aumento populacional conseqüentemente demanda de maior água tratada, sendo o tratamento convencional pelas Estação de Tratamento de Água (ETA) responsável pela potabilidade das águas. No Brasil 7.500 das ETAs são do modelo convencionais (CORDEIRO, 1999). O processo pela ETA gera um resíduo denominado lodo, quando não tratador e lançados para o local de captação de água sem nenhum tratamento prévio, pode causar sérios prejuízos ao ecossistema local e a saúde humana, por conter muitas impurezas e altos teores de ferro e alumínio.

Fonollosa et al (2015) defini o lodo de ETA como sólidos orgânicos, inorgânicos, incluindo metais pesados, dependendo da composição da água bruta. De acordo com Rodrigues (2015) a quantidade de lodo produzida em uma ETA é influenciada pela qualidade da água bruta, tipo e dosagem de produtos químicos, frequência e a forma de limpeza dos decantadores e eficiência da sedimentação. Segundo Cabral (2013) a massa específica do lodo varia de acordo com o conteúdo de sólidos presentes no lodo, desde 1002 Kg.m<sup>-3</sup> para lodos com teor de sólidos de 1%, até 1.236 Kg.m<sup>-3</sup> após desidratação e com teor de sólidos de 30%.

A proporção média de lodo gerado em uma ETA varia muito, segundo Richter (2001), essa proporção se da 0,2 a 5% do volume de água tratada pela ETA e segundo Januário e Ferreira Filho (2007) são gerados de 10 a 60 gramas de lodo por m<sup>3</sup> de água tratada.

Com o propósito de aliar sustentabilidade e engenharia, objetiva-se neste trabalho analisar a utilização do lodo de ETA da Universidade Federal de Lavras (UFLA) na confecção de adobes, verificando suas propriedades física, mecânica e térmica.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Os tratamentos foram C (controle), LETA1, LETA3, LETA5 e LETA7 de 0; 1; 3; 5 e 7% de resíduo de ETA em massa nos adobes. Todos eles foram confeccionados no mesmo período, com secagem 35 dias, protegidos do sol e das intempéries e utilizando as mesmas dimensões de formas (30x15x8 cm).

O resíduo foi coletado na Estação de Tratamento de Água da Universidade Federal de Lavras (UFLA) com volume médio mensal de 15.286,84 m<sup>3</sup> de água tratada (RODRIGUES, 2015). A coleta foi feita pelo decantador e pelos filtros a cada 15 dias durante 2 meses. As análises do lodo foram feitas após seco e processado.

As amostras de adobes foram submetidas a 9 variáveis, divididos em ensaios físicos, mecânicos e térmicos. Os ensaios físicos foram de densidade aparente, retração linear, absorção de água e capilaridade. Os ensaios mecânicos foram de resistência à compressão, sendo dois analisados pela norma peruana (NTE, 2000), e dois pela nova norma brasileira (em processo de aprovação). Os ensaios térmicos foram a condutividade térmica e diferença de temperatura de estabilização utilizando a metodologia de Silva (2010).

Para cada ensaio físico e térmico utilizou-se Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) simples. Para os ensaios mecânicos foi utilizado o DIC num esquema fatorial 5:4, sendo 5 o fator teor de adição de resíduo de ETA e 4 o fator norma.



## 2.1 Caracterização dos materiais

O solo pertence ao horizonte B com uma profundidade de 1,3 m, livre de matéria orgânica, localizado no campus da Universidade Federal de Lavras. Classificado como Latossolo Vermelho (LV) Embrapa (2013) com textura muito argilosa (600 g kg<sup>-1</sup> correção do solo foi de 600 kg de areia média para cada 1000 kg de solo. Na Tabela 1 estão as características do solo in natura corrigido.

O lodo de ETA tem características muito similares a dos solos (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, 1995). A caracterização similar ao solo, sendo: limites de consistência, textura e densidade apresentados na Tabela 1 e sua composição química por fluorescência de raios X na Tabela 2.

**Tabela 1.** Propriedades do solo in natura, do solo corrigido com areia e lodo da ETA.

	Solo in natura	Solo corrigido (solo+areia)	Lodo	Unidade	Método
Matéria orgânica	1	1	3		
Argila	66	41	58	%	NBR 7181/84
Silte	6	2	18	%	
Areia	28	57	24	%	
LL	40,02	27,02	59,41	%	NBR 6459/04
LP	29,79	20,3	44,49	%	NBR 7180/81
LC	16,8	19,02	39,47	%	NBR 7183, adaptado
Massa específica	1,98	2,37	2,48	g cm <sup>-3</sup>	NBR 9776/DNER-ME 093/94

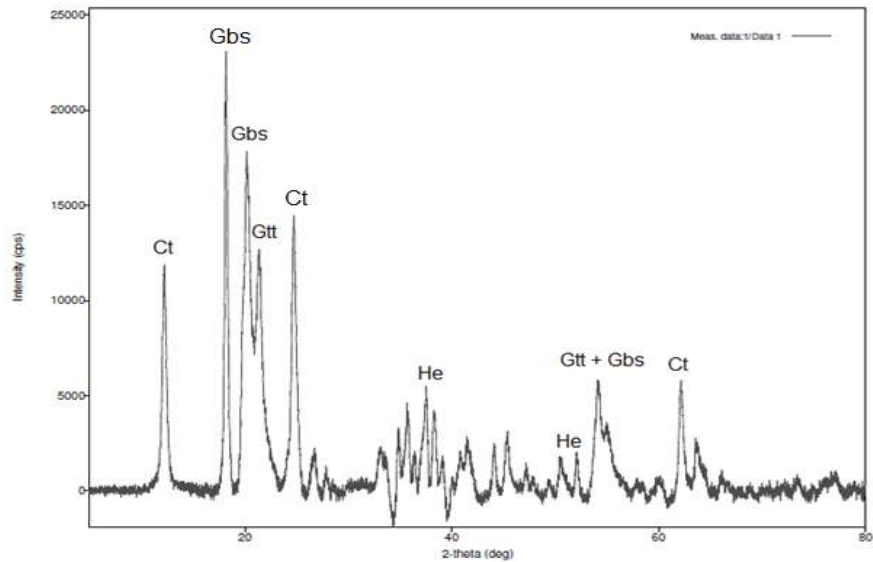
LL: limite de liquidez, LP: limite de plasticidade, LC: limite de contração.

**Tabela 2.** Análise química por fluorescência de raio x do lodo.

Elementos	Faixa de concentração (g kg <sup>-1</sup> )	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (óxido de ferro)	448,1397	- 448,4576
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (óxido de alumínio)	109,8120	- 131,1000
SiO <sub>2</sub> (dióxido de silício)	126,0068	- 126,9225
MgO (óxido de magnésio)	0,0000	- 69,9797
TiO <sub>2</sub> (dióxido de titânio)	0,4812	- 0,5242
MnO (óxido de manganês)	0,1021	- 0,1518
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (peróxido de fósforo)	0,0245	- 0,2033
K <sub>2</sub> O (óxido de potássio)	0,1219	- 0,1564
CaO (óxido de cálcio)	0,0995	- 0,1353

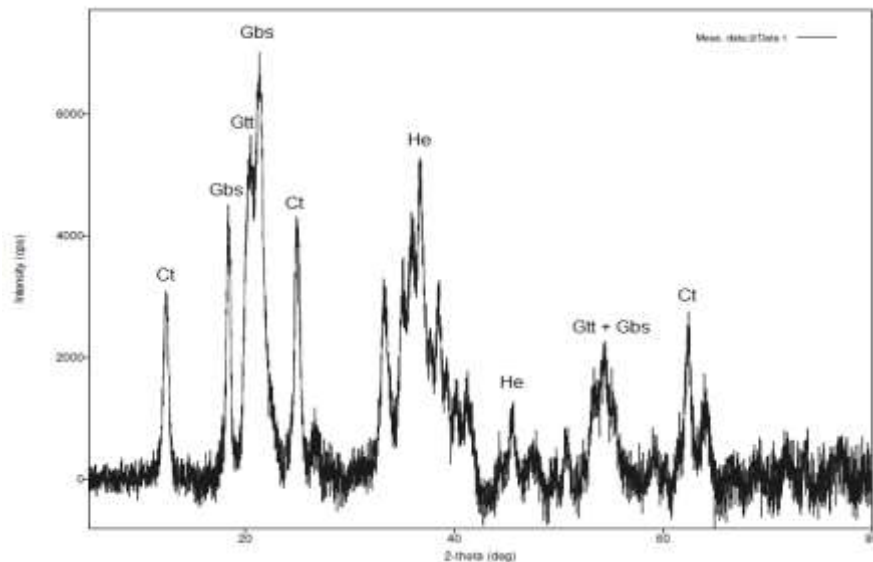
A difratometria de raios-X do solo (Figura 1), da fração argila identificou presença de caulinita - Ct (1-1) possuindo ligações fortes e impedindo a adsorção de água, não apresentando expansão significativa em contato com água. Apresentando uma estrutura altamente cristalina, portanto estável. O ensaio de DRX do lodo de ETA (Figura 2) apresentou também a presença de caulinita - Ct (1-1), porém com presença de materiais amorfos, sem estabilidade, podendo apresentar expansão em contato com a água.

**Figura 1.** Difratoograma da amostra de solo Latossolo Vermelho (LV) *in natura* da fração argila.



Ct (caulinita), Gbs (gibsitita), Gtt (goethita) e He (hematita).

**Figura 2.** Difratoograma da amostra de lodo da ETA após seco e triturado da fração argila.



Ct (caulinita), Gbs (gibsitita), Gtt (goethita) e He (hematita).

A coleta e preparo até ser incorporado à solo produção dos adobes estão presentes da Figura 1. Após a coleta da ETA, era enviado para uma caixa de decantação em um nível abaixo da ETA durante 2 dias, após, abriram-se as comportas superiores para liberação da água coletando somente o lodo mais adensado. O lodo era levado para ser seco por duas caixas (RODRIGUES, 2015) com capacidade de 200 L cada por 25 dias. Após, foi processado por triturador agrícola ficando na mesma granulometria que o solo.

**Figura 3.** Etapas de processamento do lodo da ETA.



ETA da UFLA (a), lodo sendo captado pelo decantador (b), amostra do lodo antes de ser adensado (c), caixa de decantação (d), caixa de drenagem e secagem (e), lodo seco (f).

## 2.2 Produção dos compósitos

A produção, Figura 2, foi feita com o solo corrigido com areia, água e o resíduo de ETA. Antes da produção de cada tratamento foram coletadas 3 amostras de solo e do lodo para cálculo da umidade pelo método da estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ . A quantidade de água adicionada na produção variou entre o limite de liquidez e limite de plasticidade do solo e do lodo. Para determinar a umidade e consistência ideais, foram feitos dois testes de empírico, Figura 2, “queda da bola” (BARBOSA; GHAVAMI, 2007) e “Prueba de Vicat” (RUIZ; LUNA, 1983). Estes foram aferidos pelo método da estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  em 3 amostragens da massa do adobe, utilizando uma estufa por 24 horas. O adobe de boa qualidade deve ser homogeneizado, portanto a produção teve 3 etapas: a mistura manual com pás e enxadas, pisoteamento e homogeneização na “maromba”.

**Figura 4.** Etapas de produção e testes de umidade.



Solo corrigido + lodo de ETA (a), vista interna da “maromba” (b), massa de adobe homogeneizada (c), teste de “queda da bola” (d) e teste de Prueba de Vicat (e) e adobes enformados (f).

### 2.3 Ensaios de propriedades físicas

O ensaio de densidade aparente foi feito com 5 adobes escolhidos aleatoriamente após os 35 dias de secagem. Foram feitas 10 medições por adobe utilizando um paquímetro digital de 30 cm e pesados em balança digital em gramas.

Para o ensaio de retração linear foi confeccionado uma caixa proposta por Faria (2002) com dimensões conhecidas, para 6 amostras com 60x8,5x3,5cm, portanto 2 tratamentos com 3 repetições. As caixas foram preenchidas pela massa usada na produção dos adobes, alisando a superfície para nivelar e ajustar cada amostra. Após um período de 7 dias mediu-se a retração linear de cada tratamento. A retração não pode passar de 20 mm para tijolos e blocos solo-cimento segundo BNH (1985).

O ensaio de absorção de água e perda de massa foi executado de acordo com a metodologia modificada de Varum et al. (2007). Para cada tratamento foram utilizadas 5 amostras de adobes serrados ao meio após secos. Em uma caixa em 60x35x10cm foram colocadas as amostras previamente pesadas e preenchido com água (17 litros) até as amostras ficaram submersas. Após 6 horas, as amostras foram pesadas novamente para se obter a quantidade de água absorvida. O material solo depositado nas caixas foi coletado e seco em estufa para se calcular a perda de massa.

O ensaio de capilaridade foi seguindo o modelo de Varum et al. (2007). Cada tratamento foi utilizado 5 adobes que foram colocados em uma bandeja de plástico. Foi adicionado uma quantidade de água com altura conhecida de 1,4cm. Após uma hora foram feitas 4 medições da altura de água absorvida: duas na largura e duas no comprimento. O

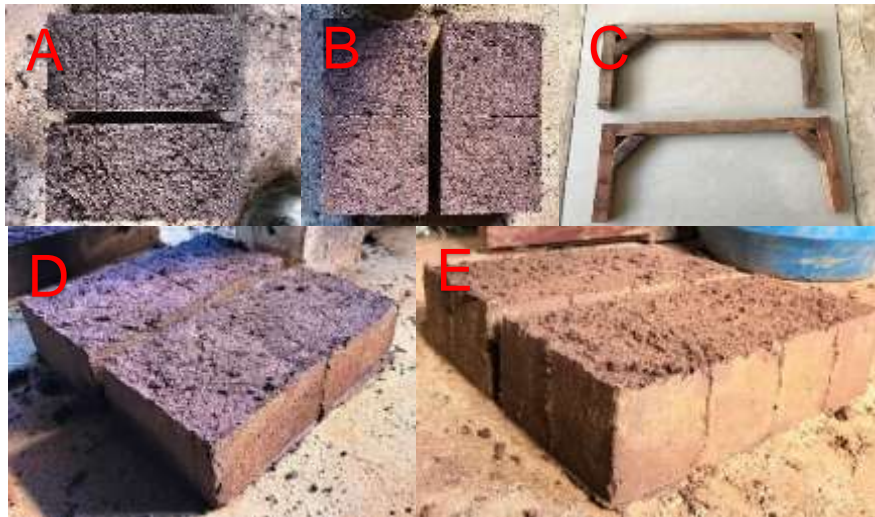
material depositado nas bandejas foi coletado e seco em estufa para cálculo da perda de massa.

#### **2.4 Ensaio de resistência à compressão**

A NTE. E.080 recomenda cortar as amostras após o tempo de secagem. Neste trabalho foi proposto uma alteração, cortar as amostras após terem sido retiradas do molde, 0 dias. O adobe com alto teor de água pode ser seccionado com uma linha de nylon ou mesmo com um pedaço de arame.

Foram realizados 4 ensaios de resistência a compressão. Dois de acordo a NTE. E.080, sendo um seguindo toda a metodologia da norma e outro utilizando o método de cortar o adobe após serem retirados dos moldes, observado na Figura 3. Dois ensaios foram feitos de acordo com a norma Brasileira (em tramitação), um serrado após 35 dias, outro com 0 dias.

**Figura 5.** Metodologia proposta dos cortes dos adobes para ensaio de compressão.



Vista superior dos adobes cortados pela norma brasileira (A), vista superior dos adobes cortados pela NTE. E.080 (B), aparelho utilizado para cortar os adobes (C), vista lateral dos adobes cortados pela NTE. E.080 (D), vista lateral dos adobes cortados pela norma brasileira.

## 2.5 Ensaio de condutividade térmica

O ensaio de condutividade térmica foi feito em uma câmara desenvolvida por MDP (*Medium Density Particleboard*) de bagaço de cana e com duas camadas de revestimentos, isopor e manta térmica, afim de isolar ao meio externo. A parte inferior consiste de uma fonte de calor (lâmpada incandescente) conectada a um termostato que faz a regulagem da temperatura por um termopar logo acima da lâmpada em 47,0 °C. O sistema possui 4 termopares, sendo eles: o controlador da temperatura da lâmpada, a temperatura ambiente, a temperatura antes de entrar na amostra e a temperatura após sair da amostra. Todo o sistema é conectado a uma plataforma de desenvolvimento de hardware, microcontrolada, de código aberto (Arduino). Para avaliar a



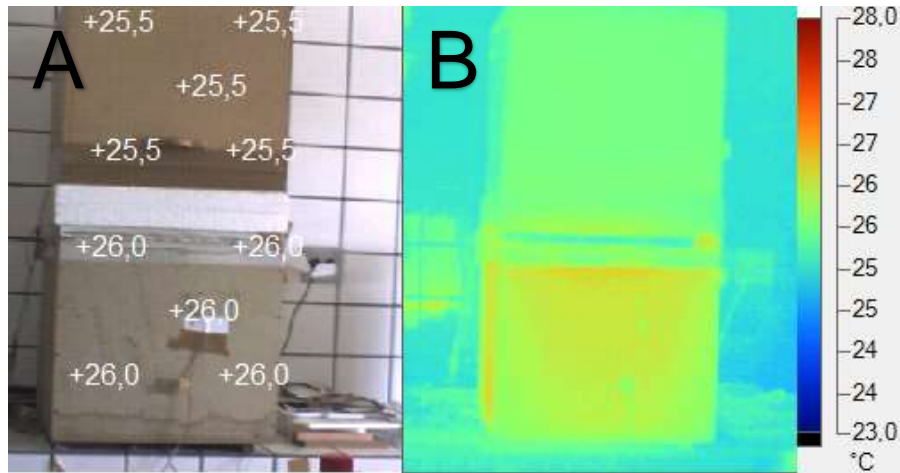
possível dissipação de calor por outros locais das câmaras, que não seja pela amostra, foram feitas imagens, Figura 5 e Figura 6, com uma câmera termográfica com sensor infravermelho, da marca Fluke, modelo TI55FT20/54/7.5, com precisão de  $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ .

As amostras para o ensaio térmico foram retiradas do ensaio da caixa de retração, após 35 dias, e cortadas nas dimensões de 7x7,5 cm (comprimento e largura) e uma altura variável de cada amostra, variando entre 2,5 até 3 cm dependendo da retração que cada adição teve. Cada amostra foi colocada na caixa térmica durante um tempo pré-determinado de 3,33 horas (estabilização da diferença de temperatura), valor referente a 1000 leituras sendo cada leitura de 12 segundos. Foram feitas 5 repetições por tratamento. Utilizou-se o valor da amostragem intermediária.

Para se calcular a condutividade térmica foi utilizada a equação abaixo, proposto por Silva (2010):  $K = P.E / \Delta T$ . Sendo: K (Condutividade térmica [ $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ ]), P (Radiação por medida de área [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]), E (Espessura do corpo de prova [m]) e  $\Delta T$  (Variação de temperatura observada [ $^{\circ}\text{C}$ ]).

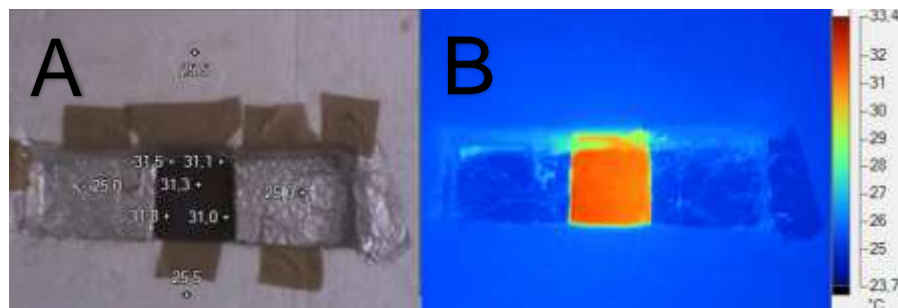
A radiação da lâmpada foi obtida por um medidor de radiação solar Intrutherm modelo MES-100. Foram feitas 5 coletas, sendo a média no valor de 207,34  $\text{W}/\text{m}^2$ . A variação da temperatura ( $\Delta T$ ) foi coletada durante na amostragem de 3,33 horas, logo após a curva de estabilização da temperatura.

**Figura 6.** Vista externa da caixa térmica e sua imagem infravermelho.



A imagem (A) mostra as temperaturas na parte inferior, onde se aloca a fonte de calor, e da parte superior, onde se aloca a amostra. A imagem (B) mostra uma imagem infravermelho da caixa térmica e o gráfico de temperaturas.

**Figura 7.** Caixa térmica, vista superior da amostra e imagem infravermelho.



A imagem (A) mostra onde é inserida a amostra, a vedação e suas as temperaturas. A imagem (B) mostra uma imagem infravermelho da caixa térmica e o gráfico de temperaturas.

## 2.6 Micro estrutura

A visualização microestrutural dos fragmentos de adobes após o ensaio de resistência à compressão foi feita utilizando o microscópio estereoscópio com epi-fluorescência SMZ 1500 (Nikon).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As amostras LETA5 e LETA7 após 6 horas imersas em água desmancharam-se muito como mostras a Figura 6 não sendo possível calcular o valor da absorção de água, pois o valor seria negativo. Apesar da menor absorção de água nas amostras LETA1 e LETA3 mostrada na Tabela 3 observa-se que a perda de cresceu significativamente com o aumento da adição de lodo.

**Figura 8.** Adobes após 6 horas submersos em água.



C (a), LETA1 (b), LETA3 (c), LETA5 (d) e LETA7 (e)

**Tabela 3.** Resultados para absorção de água e perda de massa.

Tratamento	Absorção de água (%)	Massa inicial (kg)	Massa final (kg)	Desvio padrão	Perda de massa seca (kg)	Perda de massa seca (%)
C	12,03	13,120	14,674	7,642	0,779	0,059
LETA1	7,189	13,852	14,614	3,606	1,311	9,464
LETA3	5,957	13,736	13,020	1,645	1,360	9,902
LETA5	-	13,296	11,081	-	4,002	30,102
LETA7	-	12,480	8,342	-	5,404	43,300
Média geral	7,111					
CV (%)	54,790					

Rodrigues e Holanda (2013) em estudo do uso de lodo para solo-cimento, afirmaram que em geral, tem-se um aumento da absorção de água com a adição do lodo de ETA com concomitante aumento da porosidade nos tijolos, e que esse comportamento está associado a dois efeitos principais: aumento da fração fina da mistura com incremento de partículas de argilomineral (principalmente caulinita) e silte; e adição de matéria orgânica à mistura solo-cimento. Ressalta-se o fato de que o tipo de solo mais adequado para fabricação de tijolo solo-cimento é o arenoso, o qual favorece a liberação de maior quantidade de cimento para ligar as partículas menores.

Um estudo com a incorporação lodo de ETA em concreto em 5% e 10%, a absorção de água aumentou em 12% e 32% em média, respectivamente em relação ao controle. O possível aumento na absorção de água no material seria pela reação expansiva gerada pelo ataque de sulfatos, que pode ter ocasionado microfissuras na amostra (TAFAREL et al., 2017).

Ainda de acordo com Tafarel et al. (2017) define que uma segunda causa pelo aumento da absorção de água é pela solubilização do material orgânico e outros compostos presentes no lodo que em

contato com a água poderiam ter sido carregados das amostras, formando vazios dentro dos poros que posteriormente seriam preenchidos por água durante o ensaio.

A adição de lodo de ETA em adobes referente à absorção de água somente é viável até 3%. Portanto a nível de significância de 5% pelo teste de Tukey, a adição de lodo de ETA aumentou a densidade do adobe. Na Tabela 4 observa-se um aumento da densidade aparente com o aumento da adição de lodo.

**Tabela 4.** Resultados médios - Densidade aparente.

Tratamentos	Comp. (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Massa (g)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio padrão
C	29,26	14,72	7,69	3311,33	5,362	1,619 a	0,023
LETA1	29,14	14,67	7,87	3361,17	5,662	1,684 b	0,010
LETA3	28,87	14,44	7,92	3302,93	5,600	1,696 b	0,015
LETA5	29,01	14,47	7,81	3275,76	5,567	1,700 b	0,023
LETA7	29,09	14,41	7,58	3178,05	5,412	1,703 b	0,016
Média geral (%)					1,68		
CV (%)					1,19		

Média seguidas por mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

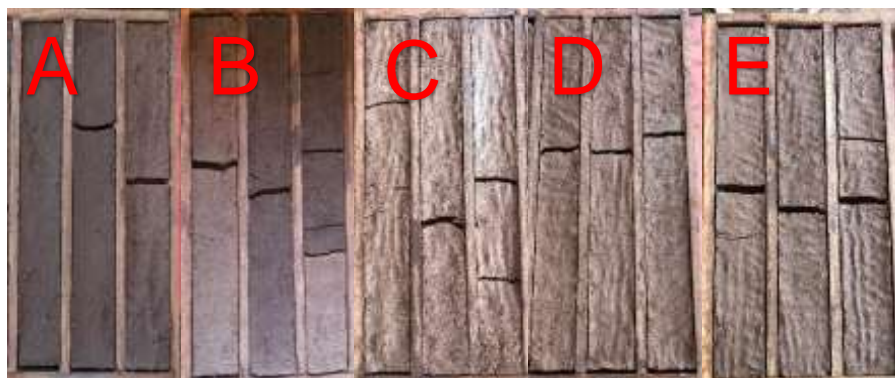
Na Tabela 5 observa-se que com a adição do lodo no adobe os valores de capilaridade aumentaram. As alturas são estatisticamente iguais nas adições de 1% até 7%, porém a perda de massa torna-se maior quando atinge 3% de lodo.

**Tabela 5.** Resultados médios de capilaridade e perda de massa.

Trat.	Altura média de capilaridade	Desvio Padrão	Massa Inicial	Massa final	Perda de massa (kg)	Perda de massa (%)
T	2,06 <sup>a</sup>	0,36116	27,152	30,302	0,068	0,0025
LETA1	3,03b	0,36418	27,356	28,856	0,069	0,0025
LETA3	3,27b	0,42771	26,760	27,914	0,241	0,0090
LETA5	3,12b	0,26611	27,304	28,496	0,145	0,0053
LETA7	3,08b	0,91515	25,874	27,090	0,124	0,0048
Média geral	2,91					
CV (%)	17,33					

Média seguidas por mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O nível maior da água em ascensão e a maior perda de massa podem ter ocorrido devido à expansividade do sulfato contido no lodo, gerando micro trincas que possibilitam a entrada de água, a maior presença de poros e a menor coesão das partículas. A Figura 7 mostra o ensaio de retração após 7 dias, visualmente observa-se uma retração semelhante ao controle, porém maior presença de trincas nas amostras que contém o lodo. A Tabela 6 apresenta os valores da retração. Não foram significativos a nível de 5%, a adição do lodo não altera na retração.

**Figura 9.** Ensaio de retração linear.

C (A), LETA1 (B), LETA3 (C), LETA5 (D) e LETA7 (E).

**Tabela 6.** Retração linear média dos diferentes tratamentos.

Resultados médios	Tratamentos				
	C	LETA1	LETA3	LETA5	LETA7
Retração linear (mm)	2,71 a	2,60 a	2,08 a	2,11 a	2,54 a
Retração linear (%)	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
Desvio padrão	0,03	0,50	0,13	0,05	0,02
Média geral (%)	2,41				
CV (%)	11,75				

Média seguidas por mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

As Tabela 7 e 8, apresentam os valores da resistência à compressão. As amostras são diferentes a nível de 5% de significância pelo teste de Tukey, mostrando que a adição do lodo altera a propriedade mecânica de resistência à compressão dos adobes.

**Tabela 7.** Análise de resistência à compressão de acordo com as normas.

Trat.	Normas (MPa)			
	Peruana	Peruana modificada	Brasileira	Brasileira modificada
T	1,43 a	1,35 ab	1,41 a	1,37 ab
LETA1	1,57 a	1,47 ab	1,58 a	1,64 a
LETA3	1,71 a	1,57 a	1,53 a	1,47 ab
LETA5	1,56 a	1,49 ab	1,52 a	1,22 b
LETA7	1,55 a	1,23 b	1,51 a	1,20 b

Média seguidas por mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

**Tabela 8.** Análise de resistência à compressão de acordo com os tratamentos.

Trat.	Normas (MPa)				Média tratamento
	Peruana	Peruana modificada	Brasileira	Brasileira modificada	
T	1,43 a	1,35 a	1,41 a	1,37 a	1,39 b
LETA1	1,57 a	1,47 a	1,58 a	1,64 a	1,56 a
LETA3	1,71 a	1,57 a	1,53 a	1,47 a	1,57 a
LETA5	1,56 a	1,49 ab	1,52 a	1,22 b	1,45 ab
LETA7	1,55 a	1,23 b	1,51 a	1,20 b	1,37 b

Média seguidas por mesma letra em uma mesma linha são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Tafarel et al. (2017) utilizando lodo de ETA em concreto com 5 e 10% com tempo de cura de 7 dias, observou redução de 4,19 e 37,08% com a adição de 5 e 10% respectivamente. Verifica-se então que acima de 5% não é viável a adição do lodo.

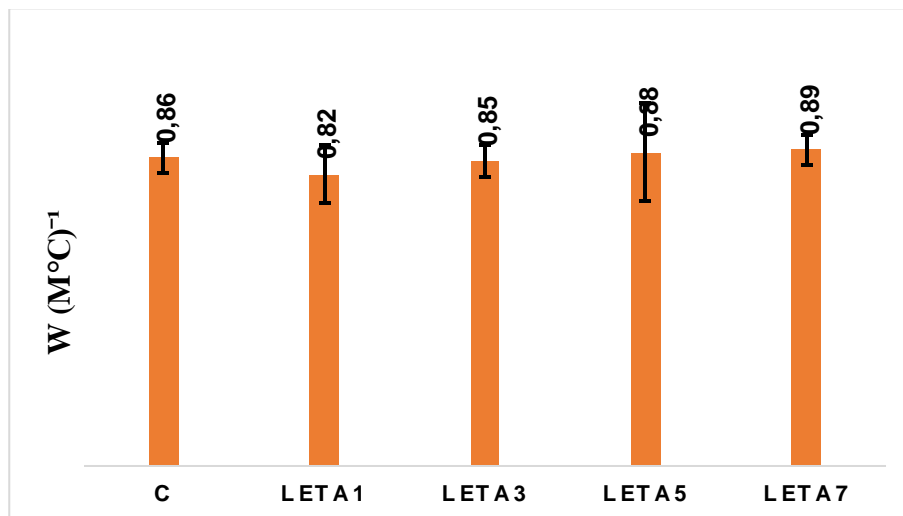
Zhang et al. (2016) utilizou lodo de esgoto na produção de tijolos cerâmicos, verificando uma diminuição na condutividade térmica, de 0,623 utilizando somente sedimento de lago, 0,610 com



sedimento de lago e cinzas e  $0,533 \text{ W mk}^{-1}$  com sedimento de lago, cinzas e lodo de esgoto.

A condutividade térmica apresentada na Figura 8 é observado que o uso de lodo de ETA nos adobes não interferem quanto sua passagem de calor.

**Figura 10.** Média das condutividades térmicas dos tratamentos.



A nível de significância de 5% pelo teste de Tukey os valores das condutividades foram iguais. Quanto a utilização de lodo de esgoto, Zhang et al. (2016) na produção de tijolos cerâmicos, verificou uma diminuição na condutividade térmica, de  $0,623$  utilizando somente sedimento de lago,  $0,610$  com sedimento de lago e cinzas e  $0,533 \text{ W/mk}$  com sedimento de lago, cinzas e lodo de esgoto.

A interação micro estrutural das amostras dos tratamentos são observadas na (Figura 9).

**Figura 11.** Imagens de microscopia estereoscópica do tratamento.

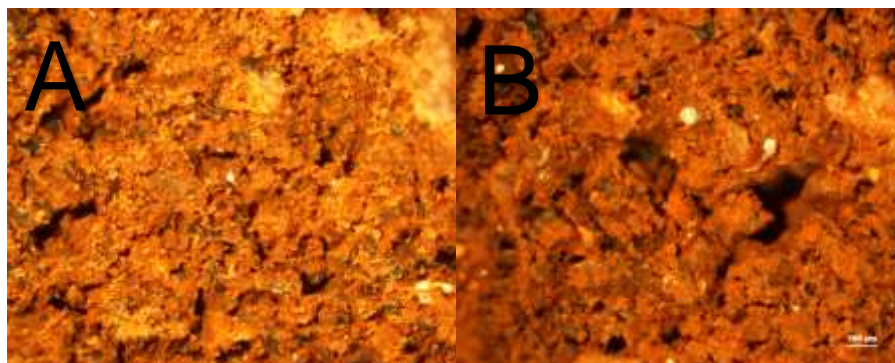


Imagem amostra do tratamento C com 30X de aumento (A) e Imagem (B) amostra do tratamento LETA3 com um aumento de 30X.

Observa-se que o acréscimo de lodo propiciou o aparecimento de poros maiores e uma mistura menos homogênea, podendo considerar uma menor coesão e uma maior absorção de água.

#### 4 CONCLUSÕES

O uso do lodo das ETA interfere nas propriedades físicas e mecânica do adobe. A densidade aparente aumenta com a adição do lodo. A retração linear não sofre alterações. A capilaridade aumenta com a adição do lodo, perdendo mais massa. A absorção de água se restringe ao uso de até 3% de lodo, a maior adição desestrutura o adobe.

Quanto a resistência à compressão as adições de 1 e 3% apresentaram os maiores valores, a adição de 3% de lodo apresentou um aumento de 13% em relação ao controle. A norma Peruana e a Brasileira apresentaram valores semelhantes. A proposta de cortar os adobes após o desmolde foi válida somente para as adições 0, 1 e 3% apresentando diferenças em 5 e 7%.

O ensaio térmico demonstrou que a diferença de temperatura de estabilização e a condutividade térmica não sofreram alterações com a

adição do resíduo. Mostrando que a adição do lodo em adobe não afeta o conforto térmico da construção.

O uso de lodo em adobes é possível até 3% em massa, melhorando sua resistência à compressão. Utilizando o resíduo de maneira correta, evitando problemas de contaminação com seu retorno ao local de captação.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1981) **NBR-7180**. Solo – Determinação do limite de plasticidade. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 03p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1982) **NBR-7183**. Determinação do Limite e Relação de Contração dos Solo. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 03p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984) **NBR-7181**. Análise Granulométrica. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 13p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água. Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 2 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1986) **NBR-9776**. Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 03p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) **NBR-6459**. Determinação do Limite de Liquidez. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 06p.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. American society of civil engineers. New York: American Society of Civil Engineers, 1996. 294 p.
- BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. In ISAIA, G. C. (Org.). Terra crua. São Paulo: Ibracon, 2007. V. 2, p. 1505-1557.
- BNH – Banco Nacional da Habitação (1985). Uniformização das técnicas de aplicação do solocimento na construção habitacional. Rio de Janeiro: DEPEA/BNH. 14 p.

CABRAL, V. A. L. **Avaliação da incorporação do lodo da ETA UFV na manufatura de tijolos de solo-cimento**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, MG, 2013.

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. THABA (1984). Manual de construção com solo-cimento. 3 ed.atual. São Paulo: CEPED/ BNH/ URBIS/ CONDER/ PMC/OEA/ CEBRACE/ ABCP. 147 p.

CORRÊA, A. A. R., et al. Evaluation of physical and mechanical properties of adobe bricks. **Ciência e Agrotecnologia**, 2006, 30.3: 503-515.

CORRÊA, A. A. R. **Incorporação de partículas lignocelulósicas e “baba de cupim sintética” no adobe**. 2013. 201 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/handle/1/1764>>. Acesso em: 15 jan. 2016.

CORRÊA, A. A. R., et al. Incorporation of bamboo particles and “synthetic termite saliva” in adobes. **Construction and Building Materials**, 2015, 98: 250-256.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 138 (1994). Pavimentos flexíveis - Misturas betuminosas – determinação da resistência à tração por compressão diametral. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/normas/Determinacao%20da%20Resistencia%20a%20Tracao%20%20VERSÃO%20DEFINITIVA.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

CORDEIRO, J. S., “Importância do Tratamento e Disposição Adequada dos Lodos de ETAs”, In: Noções Gerais de Tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA, Rio de Janeiro, ABES / PROSAB, pp. 1-19, 1999.

FARIA, O. B. Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo no reservatório de Salto Grande (Americana-SP). São Carlos, 200p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de

São Paulo, 2002. (também disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde10022003-103821/>).

JANUÁRIO, G. F.; FERREIRA FILHO, S. S. Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 117-126, abr./jun. 2007. FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema de análise estatística computador. *Ciência e Agrotecnologia*, 2011, 35: 1039-1042.

FONOLLOSA, E. et al. Presence of radionuclides in sludge from conventional drinking water treatment plants. **Journal of Environmental Radioactivity**, Oxford, v. 141, p. 24-31, Mar. 2015.

INDA JUNIOR, A. V.; KAMPF, N. Variabilidade de goethita e hematita via dissolução redutiva em solos de região tropical e subtropical. **Revista brasileira de ciencia do solo. Viçosa. Vol. 29, n. 6 (2005), p. 851-866, 2005.**

NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN. NTE E.080: regulamento nacional de construcciones. Lima, 2000. P. 17.

RICHTER, C. A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. São Paulo: Edgard Blucher, 2001. 112 p.

RODRIGUES, F. N. Caracterização dos resíduos da estação de tratamento de água da UFLA e aproveitamento na confecção de tijolos de solo-cimento. 2015. 117 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. **Cerâmica**, São Paulo, v. 59, n. 352, p. 551-556, out./dez. 2013.

RUIZ, L. E. H.; LUNA, J. A. M. Cartilha de pruebas de campo. Conescal: [s.n.], 1983. 72 p.

SILVA, A. R. Estudo térmico e de materiais de um bloco para construção de casas populares, confeccionado a partir de um

compósito a base de gesso, EPS e raspa de pneu, 2010. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2013.

TAFAREL, N. F. F. et al. Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água. **Revista Matéria**, 2017, 21.4: 974-986.

TORGAL, F. P. R.; EIRES, R.; JALALI, S. **Construção em terra**. TecMinho, 2009. Universidade do Minho. Portugal, 2009. 187 p.

VARUM, H. et al. Caracterização dos solos e adobes usados na construção los Camabatelas, Angola. Lisboa: Argumentum, 2007. p. 94-96.

ZHANG, Y. M., et al. Fabrication, microstructure and properties of bricks fired from lake sediment, cinder and sewage sludge. **Construction and Building Materials**, 2016, 121: 154160.

**ARTIGO 3 Comportamento físico, mecânico e térmico do adobe estabilizado com “baba de cupim sintética”.**



Artigo proposto para o periódico *Construction and Building  
Materials*

**COMPORTAMENTO FÍSICO, MECÂNICO E TÉRMICO DO  
ADOBE ESTABILIZADO COM “BABA DE CUPIM  
SINTÉTICA”.**

**RESUMO:** O adobe é um material de construção eficiente em diversos aspectos como conforto térmico, sustentabilidade, menor gasto energético, simplicidade de produção e execução. Entretanto desafios como a absorção de água, capilaridade, e resistência a compressão devem ser investigados para melhorar suas propriedades físico-mecânicas. A “baba de cupim sintética” (BCS) é um excelente estabilizante de alto poder coesivo e hidrofóbico. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar o efeito da incorporação da BCS no adobe analisando suas características físico-mecânicas e térmicas. Foram estudados 5 tratamentos: 0 (controle); 0,1; 0,2; 0,4 e 0,8% de BCS em massa. Avaliados quanto a densidade aparente, retração linear, capilaridade, absorção de água, condutividade térmica e resistência à compressão conforme a NTE E0.80 e Norma Brasileira em tramitação. Os dados foram submetidos a análise de variância e aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. A retração linear diminui de 2,7 para 1,91cm utilizando 0,4%. A capilaridade diminui conforme o aumento da adição de BCS, apresentando 55% a menos na altura média com o 0,8% e uma perda de massa 4 vezes menor. A absorção de água reduziu de 12,03 para 6,31 % na adição de 0,4% e sua perda de massa de 779 para 19 gramas. A condutividade térmica não apresentou diferenças. A resistência à compressão sofreu uma redução de 12%, porém atendeu as NTE E.080. A estabilização do adobe utilizando a BCS apresenta

uma melhora nas propriedades físicas, principalmente quanto ao poder hidrofóbico.

**Palavras-chave:** Materiais não convencionais, estabilização, propriedades físico-mecânicas, sustentabilidade.

**PHYSICAL, MECHANICAL AND THERMAL BEHAVIOR OF  
ADOBE STABILIZED WITH "SYNTHETIC TERMITE  
SALIVA".**

**ABSTRACT:** The adobe is an efficient construction material in several aspects like thermal comfort, sustainability, less energy expenditure, simplicity of production and execution. However, challenges such as water absorption, capillarity, and compressive strength should be investigated to improve its physico-mechanical properties. "Synthetic termite saliva" (STS) is an excellent stabilizer of high cohesive and hydrophobic power. Therefore, the objective of this work is to evaluate the effect of the incorporation of the STS in the adobe analyzing its physical-mechanical and thermal characteristics. Five treatments were studied: 0 (control); 0.1; 0.2; 0.4 and 0.8% STS by mass. Evaluated for bulk density, linear shrinkage, capillary water absorption, thermal conductivity and compressive strength according to the NTE E0.80 and Brazilian Standard in progress. The data were submitted to analysis of variance and the Tukey test was applied at 5% probability. The linear shrinkage decreases from 2.7 to 1.91cm using 0.4%. The capillarity decreases as the sts addition increases, presenting 55% less at mean height with 0.8% and a loss of mass 4 times lower. The water absorption decreased from 12.03 to 6.31% at the addition of 0.4% and its mass loss from 779 to 19 grams. The thermal conductivity showed no differences.

The compressive strength has been reduced by 12%, but is in accordance with NTE E.080. The stabilization of the adobe using the STS shows an improvement in the physical properties, mainly in the hydrophobic power.

**KEYWORDS:** Non-conventional materials, stabilization, physical-mechanical properties, sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

Existem inúmeras técnicas, materiais e produtos desenvolvidos para o setor construtivo. Todos eles têm valor energético agregado para sua produção, por utilizar recursos naturais, matérias primas e despesas tais como maquinários e mão de obra.

A construção com terra, milenar e atual, é menos impactante ao ambiente, reciclável, e sustentável. No Mundo 30% das casas são feitas com terra e em países subdesenvolvidos podem chegar a 50% (HOUBEN, 1989) devido também ao baixo custo.

O adobe é um material de construção feito da mistura de solo e água sem sinterização. Tem baixo consumo de água em sua produção e apresenta um bom conforto térmico e acústico. Pode ser estabilizado com fibras naturais, resíduos agroindustriais, e aditivos. Entre os desafios para a utilização do adobe destacam-se a absorção de água, capilaridade e resistência à compressão.

Portanto a utilização da “baba de cupim sintética” é objeto de estudo por se tratar de um produto químico não tóxico, derivado de óleos naturais (babaçu, mamona e outros), com propriedades hidrofóbicas e coesivas em solos. O produto assemelha-se a saliva do cupim que tem a propriedade de impermeabilizar e unir os componentes

do solo em seu habitat. Utilizado em pavimentações vicinais e subleitos asfálticos, substitui a utilização de estabilizantes como cal, brita e cimento reduzindo custo e evitando danos ambientais.

O objetivo deste trabalho é analisar o efeito da incorporação da “baba de cupim sintética” no adobe quanto à suas propriedades físico-mecânicas e térmicas.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Os tratamentos foram C (controle), BCS1, BCS2, BCS4 e BCS8 de 0; 0,1; 0,2; 0,4 e 0,8% de BCS em massa nos adobes. Todos eles foram confeccionados no mesmo período, com secagem 35 dias, protegidos do sol e das intempéries e utilizando as mesmas dimensões de formas (30x15x8 cm).

A BCS foi cedida pela empresa BLINDA SOLO, localizada em Ouro Fino/MG. A escolha do produto levou em conta a não toxicidade, poder coesivo e hidrofugante. A escolha das concentrações são de acordo com as recomendações do fabricante e por Corrêa et al. (2015), analisando o comportamento de uma solução mais concentrada. Ressalta-se que referências do uso de BCS em adobe são escassas.

As amostras de adobes foram submetidas a 9 variáveis, divididos em ensaios físicos, mecânicos e térmicos. Os ensaios físicos foram de densidade aparente, retração linear, absorção de água e capilaridade. Os ensaios mecânicos foram de resistência à compressão, com duas amostras pela norma peruana (NTE, 2000), e duas pela norma brasileira para adobes (em tramitação). Os ensaios térmicos foram a condutividade térmica e diferença de temperatura de estabilização utilizando a metodologia de Silva (2010).

Para cada ensaio físico e térmico utilizou-se Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) simples. Para os ensaios mecânicos foi utilizado o DIC num esquema fatorial 5:4, sendo 5 o fator teor de adição de BCS e 4 o fator norma.

## 2.1 Caracterização dos materiais

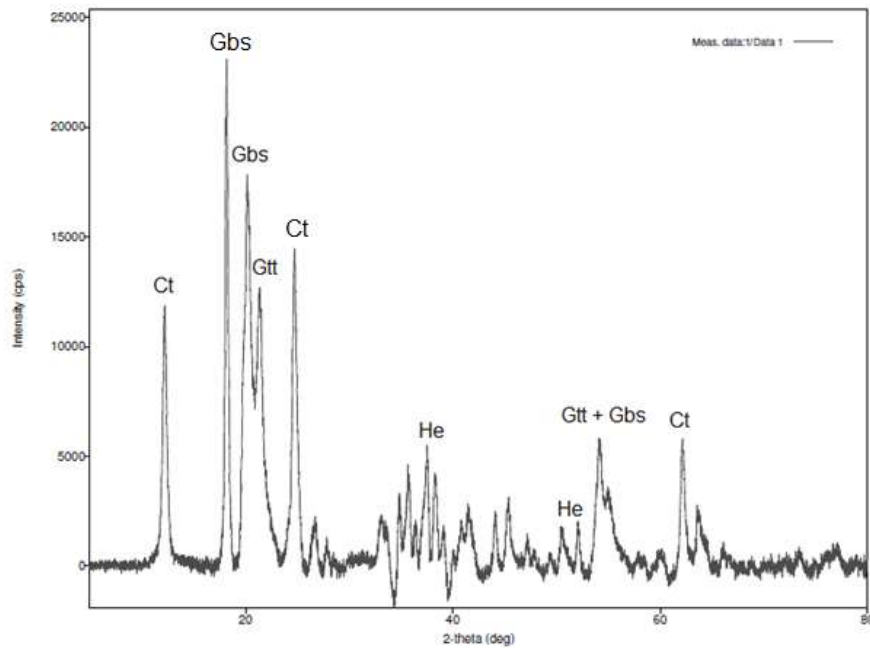
O solo pertence ao horizonte B com uma profundidade de 1,3 m, livre de matéria orgânica, localizado no campus da Universidade Federal de Lavras. Classificado como Latossolo Vermelho (LV) Embrapa (2013) com textura muito argilosa (600 g kg<sup>-1</sup> correção do solo foi de 600 kg de areia média para cada 1000 kg de solo. Na Tabela 1 estão as características do solo in natura corrigido. A difratometria de raios-X do solo (Figura 1), da fração argila identificou presença de caulinita - Ct (1-1) possuindo ligações fortes e impedindo a adsorção de água, não apresentando expansão significativa em contato com água.

**Tabela 1.** Propriedades do solo e do solo corrigido com areia

		Solo in natura	Solo corrigido (solo+areia)	Unidade	Método
Granulometria	Argila	66	41	%	NBR 7181/84
	Silte	6	2	%	
	Areia	28	57	%	
Limites de Consistência	LL	40,02	27,02	%	NBR 6459/04
	LP	29,79	20,30	%	NBR 7180/81
	LC	16,80	19,02	%	NBR 7183, adaptado
Densidade	Massa específica	1,98	2,37	g cm <sup>-3</sup>	NBR 9776/DNER-ME 093/94

LL: limite de liquidez, LP: limite de plasticidade, LC: limite de contração.

**Figura 1.** Difratoograma da amostra de solo Latossolo Vermelho (LV) *in natura* da fração argila.



Ct (caulinita), Gbs (gibsitita), Gtt (goethita) e He (hematita).

A “baba de cupim sintética” foi cedida pela empresa Blinda Solo e as propriedades físico-químicas estão listados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Propriedades da “baba de cupim sintética”

Análise	Propriedade	Unidade
Aparência	Solução límpida	-
Cor	Verde ou castanho	-
Odor	Característico	-
Densidade a 25°C	1,035	g cm <sup>-3</sup>
Viscosidade (Ford nº 4) a 25°C	12	segundos
Sólidos totais a 105°C (3 horas)	39	%
pH (solução a 1%)	10,5	-
Solubilidade em água	Total	-
Resfriamento (0° C a 5°C, 3 horas)	Não turva, não muda de estado físico	-
Vida útil, devidamente acondicionado	15	anos
Caráter iônico	Aniônico	-
Voláteis	Não volátil a temperatura ambiente	-
Radioatividade	Inexistente	-
Estabilidade durante o transporte	Estável	-
Meio ambiente	Não poluente	-

Fonte: Adaptado da empresa Blinda Solo (2017)

## 2.2 Produção dos compósitos

Segundo a recomendação de fabricante, para solos arenosos é necessário a aplicação do sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) como reagente. A solução de sulfato alumínio a 1% foi feita com água destilada de na concentração de 1:5000. A solução da BCS a 10% também preparada com água destilada nas concentrações propostas: 1:1000, 1:500, 1:250 e 1:125 para solo seco.

A produção, Figura 1, foi feita com o solo corrigido com areia, água e as soluções de BCS e sulfato de alumínio. Antes da produção de cada tratamento foram coletadas 3 amostras de solo para cálculo da umidade pelo método da estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ . A quantidade de água adicionada na produção variou entre o limite de liquidez e limite de plasticidade do solo, descontando a água utilizada nas soluções de BCS e sulfato de alumínio. Para determinar a umidade e consistência ideais, foram feitos dois testes de empírico, Figura 1, “queda da bola” (BARBOSA; GHAVAMI, 2007) e “Prueba de Vicat” (RUIZ; LUNA, 1983). Estes foram aferidos pelo método da estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  em 3 amostragens da massa do adobe, utilizando uma estufa por 24 horas. O adobe de boa qualidade deve ser homogêneo, portanto a produção teve 3 etapas: a mistura manual com pás e enxadas, pisoteamento e homogeneização na “maromba”.

**Figura 2.** Etapas de produção e teste de umidade.



BCS concentrada (a), sulfato de alumínio (b), soluções de baba de cupim sintética e sulfato de alumínio para BCS2 (c), Solo corrigido + solução de BCS e sulfato de alumínio (d), homogeneização utilizando a “maromba” (e), teste de “queda da bola” (f) e teste de Prueba de Vicat (g) adobes confeccionados e virados após 7 dias (h).



### 2.3 Ensaios físicos

O ensaio de densidade aparente foi feito com 5 adobes escolhidos aleatoriamente após os 35 dias de secagem. Foram feitas 10 medições por adobe utilizando um paquímetro digital de 30 cm e pesados em balança digital em gramas.

Para o ensaio de retração linear foi confeccionado uma caixa proposta por Faria (2002) com dimensões conhecidas, para 6 amostras com 60x8,5x3,5cm, portanto 2 tratamentos com 3 repetições. As caixas foram preenchidas pela massa usada na produção dos adobes, alisando a superfície para nivelar e ajustar cada amostra. Após um período de 7 dias mediu-se a retração linear de cada tratamento. A retração não pode passar de 20 mm para tijolos e blocos solo-cimento segundo BNH (1985).

O ensaio de absorção de água e perda de massa foi executado de acordo com a metodologia modificada de Varum et al. (2007). Para cada tratamento foram utilizadas 5 amostras de adobes serrados ao meio após secos. Em uma caixa em 60x35x10cm foram colocadas as amostras previamente pesadas e preenchido com água (17 litros) até as amostras ficaram submersas. Após 6 horas, as amostras foram pesadas novamente para se obter a quantidade de água absorvida. O material solo depositado nas caixas foi coletado e seco em estufa para se calcular a perda de massa.

O ensaio de capilaridade foi seguindo o modelo de Varum et al. (2007). Cada tratamento foi utilizado 5 adobes que foram colocados em uma bandeja de plástico. Foi adicionado uma quantidade de água com altura conhecida de 1,4cm. Após uma hora foram feitas 4 medições da altura de água absorvida: duas na largura e duas no comprimento. O

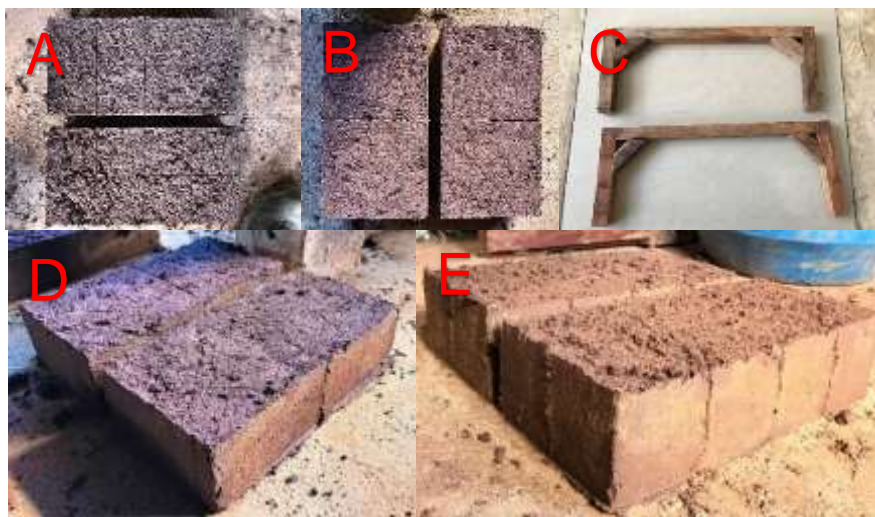
material depositado nas bandejas foi coletado e seco em estufa para cálculo da perda de massa.

#### **2.4 Ensaio de resistência à compressão**

A NTE. E.080 recomenda cortar as amostras após o tempo de secagem. Neste trabalho foi proposto uma alteração, cortar as amostras após terem sido retiradas do molde, 0 dias. O adobe com alto teor de água pode ser seccionado com uma linha de nylon ou mesmo com um pedaço de arame.

Foram realizados 4 ensaios de resistência a compressão. Dois de acordo a norma Peruana (NTE, 2000) um seguindo toda a metodologia da norma e outro utilizando o método de cortar o adobe após serem retirados dos moldes, observado na Figura 3. Dois ensaios foram feitos de acordo com a norma Brasileira (em tramitação), um serrado após 35 dias, outro com 0 dias.

**Figura 3.** Metodologia proposta dos cortes dos adobes para ensaio de compressão.



Vista superior dos adobes cortados pela norma brasileira (A), vista superior dos adobes cortados pela NTE. E.080 (B), aparelho utilizado para cortar os adobes (C), vista lateral dos adobes cortados pela NTE. E.080 (D), vista lateral dos adobes cortados pela norma brasileira.

## 2.5 Ensaio de condutividade térmica

O ensaio de condutividade térmica foi feito em uma câmara desenvolvida por MDP (*Medium Density Particleboard*) de bagaço de cana e com duas camadas de revestimentos, isopor e manta térmica, afim de isolar ao meio externo. A parte inferior consiste de uma fonte de calor (lâmpada incandescente) conectada a um termostato que faz a regulação da temperatura por um termopar logo acima da lâmpada em 47,0 °C. O sistema possui 4 termopares, sendo eles: o controlador da temperatura da lâmpada, a temperatura ambiente, a temperatura antes de entrar na amostra e a temperatura após sair da amostra. Todo o sistema é conectado a uma plataforma de desenvolvimento de hardware, microcontrolada, de código aberto (Arduino). Para avaliar a

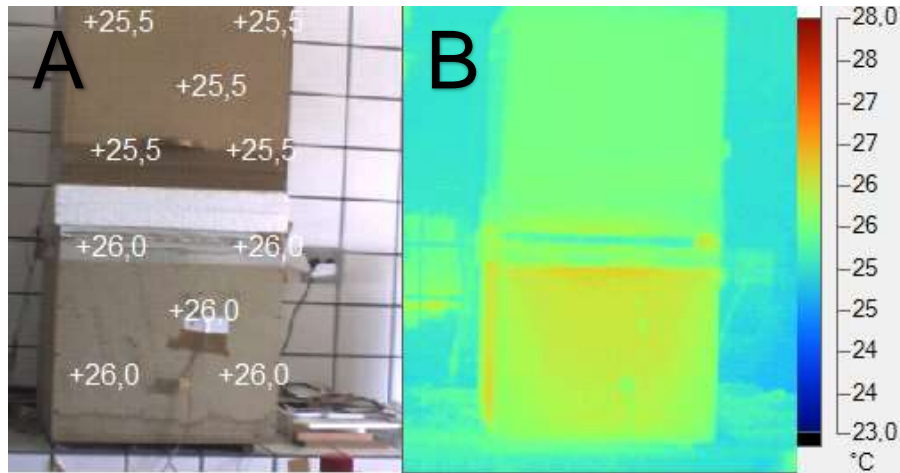
possível dissipação de calor por outros locais das câmaras, que não seja pela amostra, foram feitas imagens, Figura 4 e Figura 5, com uma câmera termográfica com sensor infravermelho, da marca Fluke, modelo TI55FT20/54/7.5, com precisão de  $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ .

As amostras para o ensaio térmico foram retiradas do ensaio da caixa de retração, após 35 dias, e cortadas nas dimensões de 7x7,5 cm (comprimento e largura) e uma altura variável de cada amostra, variando entre 2,5 até 3 cm dependendo da retração que cada adição teve. Cada amostra foi colocada na caixa térmica durante um tempo pré-determinado de 3,33 horas (estabilização da diferença de temperatura), valor referente a 1000 leituras sendo cada leitura de 12 segundos. Foram feitas 5 repetições por tratamento. Utilizou-se o valor da amostragem intermediária.

Para se calcular a condutividade térmica foi utilizada a equação abaixo, proposto por Silva (2010):  $K = P.E / \Delta T$ . Sendo: K (Condutividade térmica [ $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ ]), P (Radiação por medida de área [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]), E (Espessura do corpo de prova [m]) e  $\Delta T$  (Variação de temperatura observada [ $^{\circ}\text{C}$ ]).

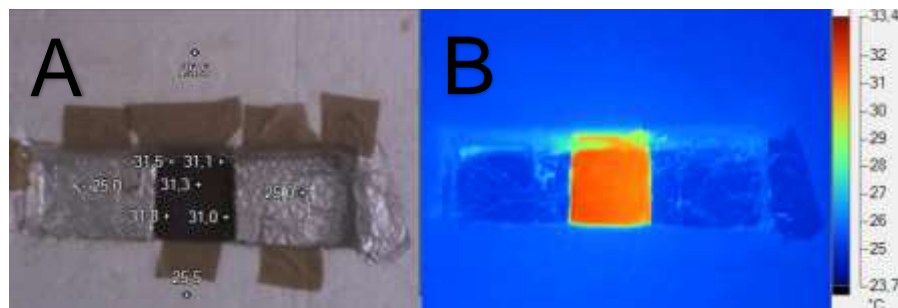
A radiação da lâmpada foi obtida por um medidor de radiação solar Intrutherm modelo MES-100. Foram feitas 5 coletas, sendo a média no valor de 207,34  $\text{W}/\text{m}^2$ . A variação da temperatura ( $\Delta T$ ) foi coletada durante na amostragem de 3,33 horas, logo após a curva de estabilização da temperatura.

**Figura 4.** Vista externa da caixa térmica e sua imagem infravermelho.



A imagem (A) mostra as temperaturas na parte inferior, onde se aloca a fonte de calor, e da parte superior, onde se aloca a amostra. A imagem (B) mostra uma imagem infravermelho da caixa térmica e o gráfico de temperaturas.

**Figura 5.** Caixa térmica, vista superior da amostra e imagem infravermelho.



A imagem (A) mostra onde é inserida a amostra, a vedação e suas as temperaturas. A imagem (B) mostra uma imagem infravermelho da caixa térmica e o gráfico de temperaturas.

## 2.6 Micro estrutura

A visualização microestrutural dos fragmentos de adobes após o ensaio de resistência à compressão foi feita utilizando o microscópio estereoscópio com epi-fluorescência SMZ 1500 (Nikon).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a adição de BCS ocorreu um aumento da densidade aparente, Tabela 3, em relação ao tratamento controle C, mas não significativo estatisticamente quando comparados os outros tratamentos entre si. Corrêa et al. (2014a) utilizando concentrações de 0,05; 0,067; 0,1 e 0,2% também encontrou um aumento da densidade somente nas concentrações acima de 0,1%.

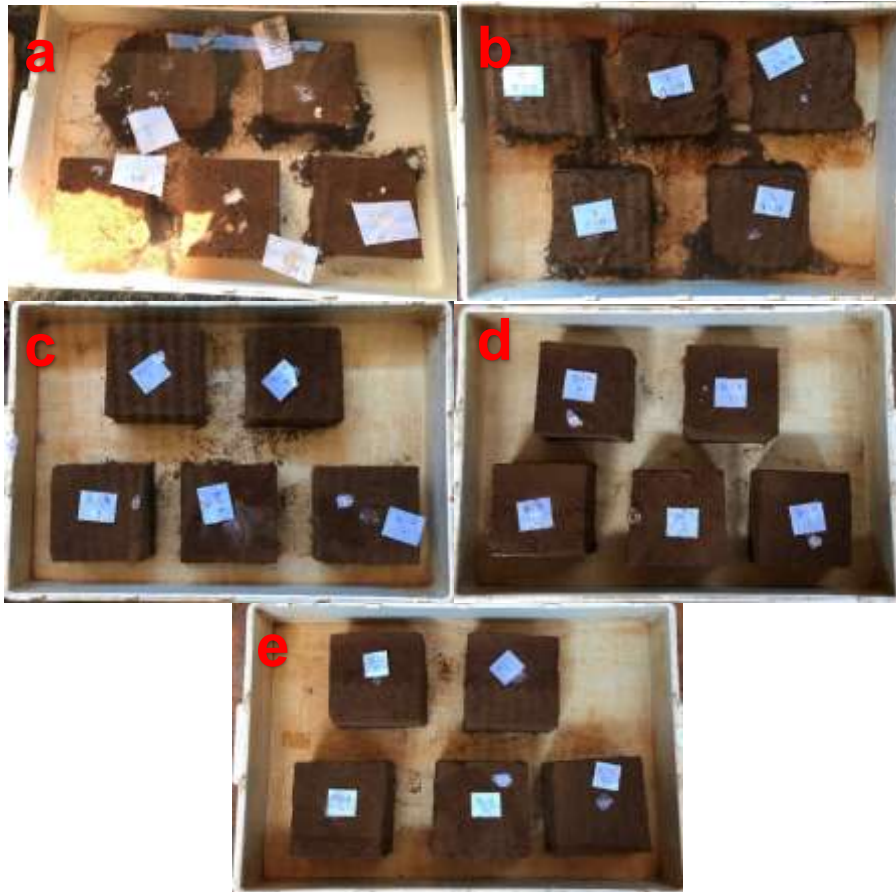
**Tabela 3.** Resultados médios para densidade aparente.

Tratamentos	Comp. (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Massa (g)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio padrão
Controle	29,26	14,72	7,69	3311,33	5,362	1,619 a	0,023
BCS1	29,36	14,67	7,98	3438,55	6,040	1,757 b	0,030
BCS2	29,37	14,73	8,01	3466,78	6,092	1,757 b	0,029
BCS4	29,20	14,55	7,83	3326,55	5,817	1,749 b	0,017
BCS8	29,17	14,47	7,94	3350,02	6,023	1,798 b	0,021
Média geral (%)				1,74			
CV (%)				1,57			

Média seguidas por mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Uma das amostras do controle desmanchou-se muito. Com o aumento da concentração de BCS, ocorreu uma diminuição da água absorvida e uma menor perda de massa. Na Figura 5 é visualmente observado a diminuição da perda de massa e a estruturação das amostras com o aumento da quantidade de BCS. Os valores para a absorção e perda de massa estão representados na tabela Tabela 4.

**Figura 6.** Adobes após 6 horas submersos em água



Tratamento C (a), Tratamento BCS1 (b), Tratamento BCS2 (c), Tratamento BCS4 (d) e Tratamento BCS8 (e).

Corrêa et al. (2015) utilizando BCS na proporção de 1:1500, 0,067 % em massa, estabilizou o adobe com 15% de AA, sendo que o controle desintegrou-se na água. Faria (2016) utilizando o BCS a 0,1% (1:1000) em tijolo solo-cimento encontrou uma melhora de 13,11% na absorção de água.

**Tabela 4.** Resultados médios para absorção de água e perda de massa.

Tratamento	Absorção de água (%)	Massa inicial (kg)	Massa final (kg)	Desvio padrão	Perda de massa seca (kg)	Perda de massa seca (%)
Controle	12,03a	13,120	14,384	7,642 *	0,779	0,059
BCS1	8,85b	14,752	16,184	0,263	0,204	0,014
BCS2	7,77bc	14,700	15,938	0,123	0,047	0,003
BCS4	6,31c	14,202	15,156	1,086	0,019	0,001
BCS8	6,98c	15,026	16,154	0,606	0,015	0,001
Média geral	8,23					
CV (%)	9,2					

\* Uma das 5 amostras desmanchou-se muito.

Média seguidas por mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Albuquerque et al. (2008), comparando um Neossolo e um solo com grande volume de cupinzeiros na fabricação de tijolo solo cimento, observou-se que o solo de cupinzeiro apresentou uma menor absorção de água. Com o aumento da adição de BCS ocorreu uma diminuição da altura de água ascendente, Tabela 5, assim como na absorção de água. O mesmo foi visto por Corrêa et al. (2015), utilizando uma concentração de 0,067%.

Os valores para capilaridade são apresentados na Tabela 5. Observa-se que com o aumento da adição de BCS ocorre a diminuição da altura de água e da perda de massa. A nível de significância de 5% os resultados se diferem, sendo o melhor resultado o uso de 0,8%.



**Tabela 5.** Resultados médios para capilaridade e perda de massa

Trat.	Altura média de capilaridade	Desvio padrão	Massa inicial	Massa final	Perda de massa (kg)	Perda de massa (%)
C	2,06a	0,36116	27,152	30,302	0,068	0,0025
BCS1	1,79ab	0,27647	30,357	31,641	0,124	0,0041
BCS2	1,72ab	0,10983	29,642	30,346	0,029	0,0010
BCS4	1,61ab	0,42924	28,840	29,450	0,017	0,0006
BCS8	1,32b	0,33429	29,946	30,528	0,019	0,0006
Média geral	1,70					
CV (%)	18,88					

Média seguidas por mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A capilaridade observada por Corrêa et al. (2014a) apresentou resultados parecidos, ocorrendo a diminuição da água ascendente de acordo com o aumento da adição de BCS.

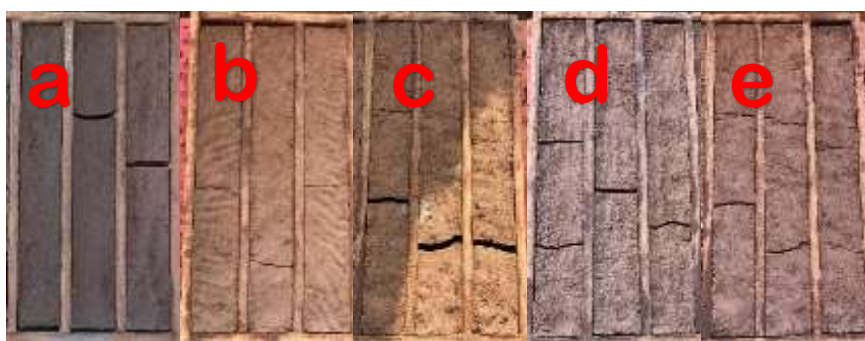
A retração linear apresentou diferença significativa de acordo com a adição de BCS (Tabela 6). Atendendo as recomendações pela BNH (1985) e CEPED (1984), apresentando valores de retração inferiores a 20mm. Corrêa et al. (2015) utilizando uma concentração de 0,067% também encontrou uma menor retração. A Figura 6, mostra as caixas de retração após os 7 dias.

**Tabela 6.** Retração linear média dos diferentes tratamentos

Resultados médios	Tratamentos				
	C	BCS1	BCS2	BCS4	BCS8
Retração linear (cm)	2,71 a	1,91 b	1,93 b	1,91 b	1,95 b
Retração linear (%)	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03
Desvio padrão	0,03	0,10	0,02	0,13	0,04
Média geral (%)	2,08				
CV (%)	4,64				

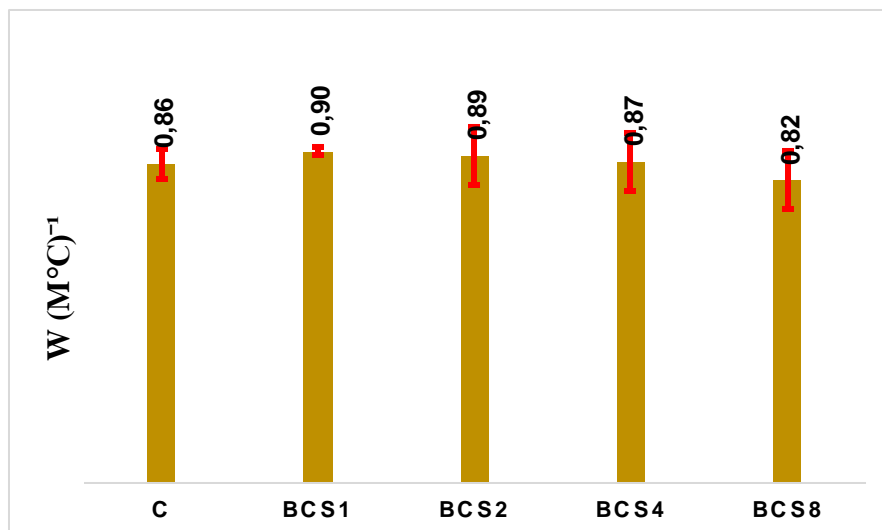
Médias seguidas por mesma letra em uma mesma linha são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Corrêa et al. (2014a) utilizando BCS a 1:2000; 1:1500; 1:1000 e 1:500 observou a mesma similaridade, a utilização da BCS diminui a retração estatisticamente a 5% de Tukey, porém não tem diferenças significativas com o aumento da dosagem.

**Figura 7.** Ensaio de retração linear.

Controle (a), BCS1 (b), BCS2 (c), BCS4 (d) e BCS8 (e).

A Figura 7 apresenta os resultados para a condutividade térmica. Os resultados não foram significativos a nível de 5%, portando o uso da BCS não altera a propriedade térmica do adobe.

**Figura 8.** Condutividade térmica dos adobes.

Ressalta-se que o uso de BCS no adobe é muito restrito, e não foi encontrado nenhuma análise de condutividade térmica com a utilização de BCS. Portanto, Mosquera et al. (2014), utilizando duas amostras de adobes, uma seca em estufa e outra com 1,67% de umidade encontrou os valores de 0,80 e 0,90 W. (m.K)<sup>-1</sup>. Sendo o valor encontrado do controle 0,86 W. (m °C)<sup>-1</sup>, correspondente. Outros autores encontraram valores entre 0,5 a 0,7 W.(m°C)<sup>-1</sup> (HOLMAN, 1969; KARKELAR, 1990 APUD PIÑON et al., 2007)

**Tabela 7.** Análise de resistência à compressão de acordo com as normas.

Trat.	Normas (MPa)			
	Peruana	Peruana modificada	Brasileira	Brasileira modificada
C	1,43 a	1,35 a	1,41a	1,37 a
BCS1	1,28 a	1,14 a	1,28 abc	1,18 ab
BCS2	1,30 ab	1,38 a	1,15 bc	1,06 b
BCS4	1,18 b	1,23 a	1,09 c	1,15 ab
BCS8	1,41 ab	1,35 a	1,37 ab	1,20 ab

Média seguidas por mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A resistência à compressão foi significativa a nível de 5%, porém a adição de BCS interferiu negativamente (Tabela 8). A norma NTE E.080 (2000) estabelece valores aceitáveis de resistência à compressão  $\geq 0,7$  MPa, portanto todas as amostras atenderam.

**Tabela 8.** Análise de resistência à compressão de acordo com os tratamentos.

Trat.	Normas (MPa)				Média tratamento
	Peruana	Peruana modificada	Brasileira	Brasileira modificada	
C	1,43a	1,35a	1,41 <sup>a</sup>	1,37 a	1,39 a
BCS1	1,28a	1,14a	1,28 <sup>a</sup>	1,18 a	1,22bc
BCS2	1,30ab	1,38a	1,15ab	1,06b	1,22bc
BCS4	1,18a	1,23a	1,09 <sup>a</sup>	1,15 a	1,16c
BCS8	1,41a	1,35a	1,37 <sup>a</sup>	1,20 a	1,33ab

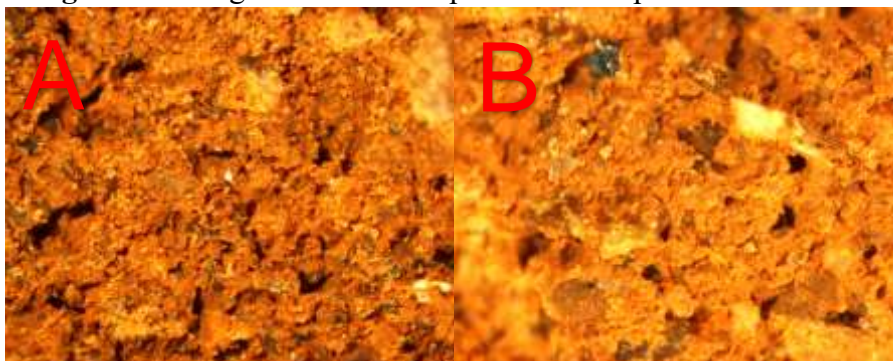
Média seguidas por mesma letra em uma mesma linha são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Faria, Battistelle e Neves (2016) utilizando a BCS com cimento em solo-cimento obteve um aumento significativo quanto a resistência à compressão, já Corrêa et al (2014b) utilizando somente a BCS em várias proporções obteve pequenas diferenças quanto a resistência à compressão. Mostrando que para melhorar resistência à compressão o uso da BCS é necessário um outro estabilizante.

### 3.7 Micro Estrutura

A interação micro estrutural das amostras dos tratamentos são observadas na Figura 9. O efeito do BCS proporciona uma interação maior do solo, notando a diminuição de poros.

**Figura 10.** Imagens de microscopia estereoscópica do tratamento.



Tratamento C com 30X de aumento (A) e Tratamento BCS4 com 30X de aumento (B).

#### 4 CONCLUSÕES

O uso da “baba de cupim sintética” interfere nas propriedades físico-mecânicas do adobe. A densidade aparente aumenta com a adição da BCS. A retração linear diminui. A capilaridade diminui de acordo com o aumento da adição de BCS, sendo a adição 0,8% o menor com 1,32 cm a perda de massa segue o mesmo comportamento, diminui com o aumento da adição. A absorção de água é menor também diminui com o aumento da adição, assim como a perda de massa, sendo a adição de 0,4% o melhor resultado com 6,31% de absorção.

O ensaio térmico demonstrou que a diferença de temperatura de estabilização e a condutividade térmica não sofreram alterações com a adição de BCS. O conforto térmico não é afetado com a utilização da BCS.

Quanto a resistência à compressão, o uso de BCS influencia negativamente. Sendo o tratamento controle o melhor resultado. As adições de BCS apresentam valores iguais. A Norma Peruana não difere da Norma Brasileira. A proposta em cortar adobe após o desmolde é válida

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, L. Q. C. de et al. Resistência a compressão de tijolos de solo-cimento fabricados com o montículo do cupim *Cornitermes cumulans* (Kollar, 1832). **Ciência e Agrotecnologia**. Editora da Universidade Federal de Lavras (UFLA), v. 32, n. 2, p. 553-560, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1981) **NBR-7180**. Solo – Determinação do limite de plasticidade. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 03p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1982) **NBR-7183**. Determinação do Limite e Relação de Contração dos Solo. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 03p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984) **NBR-7181**. Análise Granulométrica. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 13p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água. Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 2 p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1986) **NBR-9776**. Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 03p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) **NBR-6459**. Determinação do Limite de Liquidez. Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 06p.
- Banco Nacional da Habitação. **BNH(1985)**. Uniformização das técnicas de aplicação do solocimento na construção habitacional. Rio de Janeiro: DEPEA/BNH. 14 p.

BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. Terra Crua para Edificações. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: Ibracon, 2007, 2.

CEPED - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. THABA (1984). **Manual de construção com solo-cimento**. 3 ed.atual. São Paulo: CEPED/ BNH/ URBIS/ CONDER/ PMC/OEA/ CEBRACE/ ABCP. 147 p.

CORRÊA, A. A.R., et al. Evaluation of physical properties of adobe chemically stabilized with synthetic termite saliva. In: **Key Engineering Materials**. Trans Tech Publications, 2014a. p. 144-149.

CORRÊA, A. A. R., et al. Evaluation of Mechanical Properties of Adobe Chemically Stabilized with" Synthetic Termite Saliva". In: **Key Engineering Materials**. Trans Tech Publications, 2014b. p. 150-155.

FARIA, O. B. **Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo no reservatório de Salto Grande (Americana-SP)**. São Carlos, 200p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002. (também em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-10022003-103821/> )

FARIA, O. B.; BATTISTELLE, R. A.; NEVES, C. Influence of the addition of" synthetic termite saliva" in the compressive strength and water absorption of compacted soil-cement. **Ambiente Construído**, 2016, 16.3: 127-136

HOUBEN, H. G. H. *Traité de construction en terre* CRATerre. In: *L'Encyclopédie de la construction en terre*, vol. 1. Paris: Parenthèses; 1989. p. 300.

INDA JUNIOR, A. V.; KAMPF, N. Variabilidade de goethita e hematita via dissolução redutiva em solos de região tropical e subtropical. **Revista brasileira de ciencia do solo**. Viçosa. Vol. 29, n. 6 (2005), p. 851-866, 2005.

MOSQUERA, P., et al. Determination of the Thermal Conductivity in Adobe With Several Models. **Journal of Heat Transfer**, 2014, 136.3: 031303.

NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN. **NTE E.080**: reglamento Nacional construcciones. Lima, 2000. P. 17.

PIÑON, J. P. et al. Melhoramento das propriedades mecânicas e hidrofóbicas de adobes para indústria de edifício através da adição de agentes poliméricos. **Construção e Meio Ambiente**, São Paulo, v. 42, p. 877-883, 2007.

RUIZ, L. E. H.; LUNA, J. A. M. Cartilha de pruebas de campo. Conescal: [s.n.], 1983. 72 p.

SILVA, A. R. Estudo térmico e de materiais de um bloco para construção de casas populares, confeccionado a partir de um compósito a base de gesso, EPS e raspa de pneu, 2010. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. *Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro*, 2013.

VARUM, H. et al. Caracterização dos solos e adobes usados na construção los Camabatelas, Angola. Lisboa: Argumentum, 2007. p. 94-96.



**ARTIGO 4 Energy costs comparison of masonry made from different materials**

**Artigo submetido e com as normas da revista *Theoretical and Applied Engineering***

## ENERGY COSTS COMPARISON OF MASONRY MADE FROM DIFFERENT MATERIALS

*Comparação de custos energéticos de alvenarias feitas a partir de  
diferentes materiais*

Rômulo Marçal Gandia<sup>1</sup>, Alessandro Torres Campos<sup>2</sup>, Andréa  
Aparecida Ribeiro Corrêa<sup>3</sup>, Francisco Carlos Gomes<sup>4</sup>.

### ABSTRACT

This work aimed to compare the energy 'spent in four masonry models of fence used in a housing model. The energetic coefficients of conventional building materials such as cement, lime, sand, ceramic brick, ceramic block and concrete block were obtained by consulting the literature. The adobe was produced with clay soil with sand correction in the proportion of two parts of soil to a sand, 2:1 in mass. The energy coefficients for the adobe 'production, labor, mortar of soil and lime were calculated by the energy spent from obtaining the materials to the execution of the masonry. It was identified that the calculated values for total masonry labor were, respectively, 135.95 MJ,

---

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil, Campus Universitário – 37200-000, Phone: +55 35 98882 2405, e-mail: [romagandia@gmail.com](mailto:romagandia@gmail.com)

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil, Campus Universitário – 37200-000, Phone: +55 35 3829 1486, e-mail: [campos@deg.ufla.br](mailto:campos@deg.ufla.br)

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil, Campus Universitário – 37200-000, Phone: +55 35 3829 4655, e-mail: [andrea.rcorrea@deg.ufla.br](mailto:andrea.rcorrea@deg.ufla.br)

<sup>4</sup>Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil, Campus Universitário – 37200-000, Phone: +55 35 3829 1484, e-mail: [fcgomes@deg.ufla.br](mailto:fcgomes@deg.ufla.br)

78.99 MJ, 55.05 MJ and 44.37 MJ for adobe, ceramic brick, ceramic block, and concrete block. The energy coefficient and the energetic index per square meter of adobe construction were  $229.22 \text{ kJ kg}^{-1}$  and  $52,445.54 \text{ kJ m}^{-2}$ , respectively. The total energy consumption for the masonry of the construction model with  $44.80 \text{ m}^2$  made of adobe was 12,450.81 MJ. The total energy consumption for the concrete block was 16,016.91 MJ. The total energy consumption for the ceramic and ceramic brick were 34,794.04 and 77,589.87 MJ, respectively. It was concluded that the masonry executed with adobe presented the lowest energy consumption, presenting a higher sustainable level. The correction with sand represented an increase of 68.16% of the energy coefficient of the adobe. The model using adobe compared to ceramic brick promoted an energy saving of 83.95%.

**Keywords:** Adobe, Non-conventional materials, Sustainability, Construction, Embodied energy.

## INTRODUCTION

Sustainable development is defined by the increase in quality of life, economic and environmental social relations for present and future generations (ORTIZ, 2009).

Wood and soil, besides being found in abundance in rural areas, are also considered to be recyclable, reusable and energy-saving

materials when compared to conventional building materials such as cement, gravel and steel. Because they are found at the construction site, the energy and economic cost of logistics is zero or much lower.

The adobe is a material considered recyclable because it is made only of the mixture of soil and water without being burned. In its process of demolition or decomposition of the material it returns to the original state of soil without the necessity of spending with energy of reprocessing.

The use of reused or recycled materials can be used in new buildings generating a built-in energy flow (SCHEUER et al., 2003). About 37 to 42% of the energy incorporated can be recovered using recyclable materials. In the construction of low-energy buildings over a 50-year life span, the value of the incorporated energy of the materials represents a high proportion, 40% (THORMARK, 2002).

According to BRASIL (2008), five of the ten industrial sectors with the highest energy consumption are directly linked to construction sector. In world terms, it is estimated that up to 40% of energy resources will be used in the construction sector. (TAVARES; LAMBERTS, 2005)

In Brazil, the generation of construction and demolition wastes (CDW) is approximately 300 kg m<sup>-2</sup> from new buildings, while

developed countries generate  $100 \text{ kg m}^{-2}$ . In cities with more than 500,000 inhabitants, the CDW share represents half the weight of urban ceramic waste (MONTEIRO et al., 2001).

According to LAWSON (1996) embedded energy can be quantified in two ways: Gross Energy Requirement consumed at all stages of the material production chain or Process Energy Requirement representing the (80%) in relation to that calculated in the entire production chain of the material.

SCHEUER et al., (2003) affirm that among the energy phases of the life cycle of the construction of a university with a total area of  $7300 \text{ m}^2$ , from the acquisition of the materials, construction and renovation of the building in the primary phase, it was identified that the operation phase was the 97.7% of total energy expenditure and energy required for dismantling, demolition and transport was only 0.2%.

SZOKOLAY (1997) estimates the energy embedded in two levels: the main energy, which includes the energy content of the building materials and components and the operating energy, which is the amount consumed annually for lighting, heating, cooling, ventilation and maintenance in the building. CAMPOS et al. (2003) in his research in the construction of a hay warehouse pointed out that the

masonry stage is the stage that consumes the most energy, 50.35%, being the ceramic bricks component is responsible for 93% of this stage.

A model of construction made of adobe by SHUKLA (2009) showed that the material compared to burned brick is much more environmentally friendly, the model made with burnt brick demanded 720 GJ 100m<sup>-2</sup> of construction involving the entire life cycle and the adobe spent 475 GJ 100m<sup>-2</sup> with a 34% reduction in energy consumption.

The adobe is a very old construction technique that uses a lot if nowadays. Because it is a construction technique, where sintering does not occur and its raw material (soil), can be found at the work site, thus reducing energy costs in production processes and transportation. Besides not requiring specialized labor and have a great thermal comfort (CORRÊA et al., 2015).

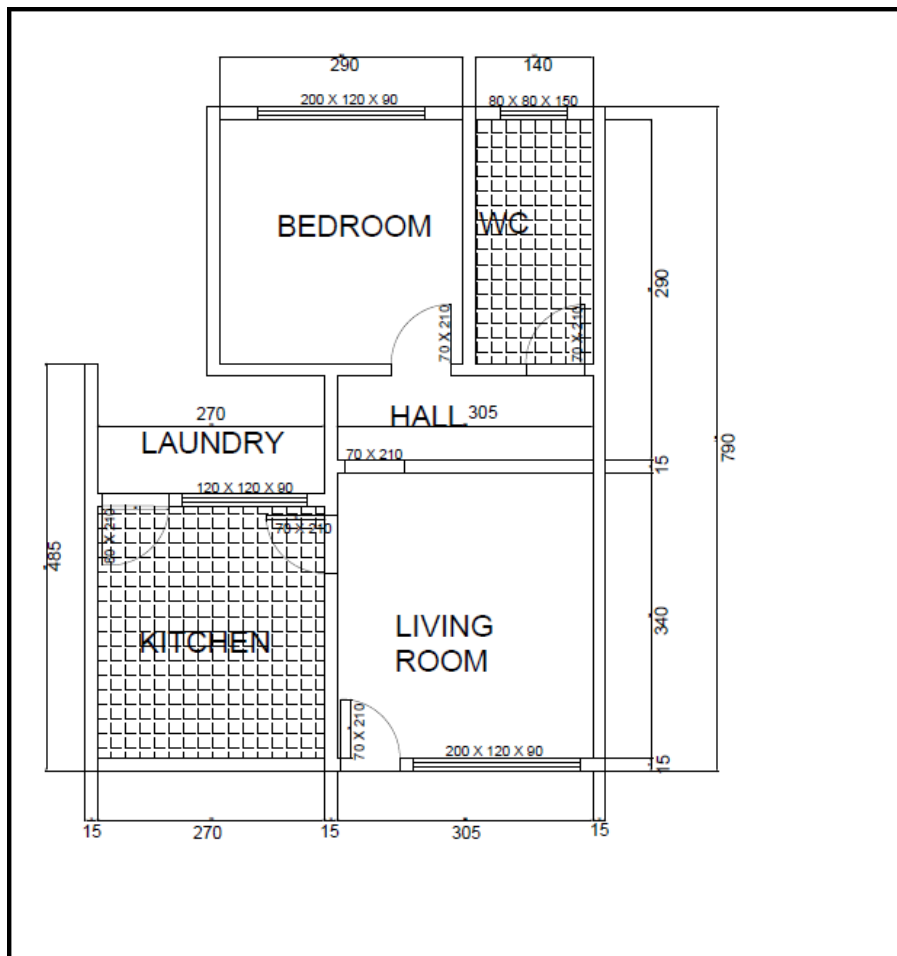
The energy embedded in an 8-hole 9x19x19 cm ceramic block presents 7,164.92 kJ (TAVARES et al., 2006). The adobe with 35x26x10 cm presents 2.635,00 kJ of embedded energy while the concrete block with 41x21x21 cm has 30,595.00 kJ (SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA - SIACOT, 1976).

The regionalization of the construction is of extreme importance for the calculation of energy, since a large part of the energy expenditure of a material is directly associated to the logistics process.

The objective of the present study was to compare the energy cost of the masonry stage of a rural area housing using four different masonry, the adobe, the ceramic block, the ceramic brick and the concrete block evaluating the energy coefficient of the material, the spent labor in construction and mortar of settlement.

## **MATERIAL AND METHODS**

An estimate was made of the energy involved in the construction of a rural dwelling. The house consists of 2.8 m height and divided into 4 areas, a bathroom, a kitchen, a living room, a bedroom and a service area without closing, totaling 50.00 linear meters of masonry. The total area of the house is 44.80 m<sup>2</sup>, Figure 1. Containing 123.89 m<sup>2</sup> of masonry discounted the areas of doors and windows. The coefficients energy values were calculated of each material with its respective mortar and labor energy for the construction.



**Figure 1.** Low floor of the housing model.

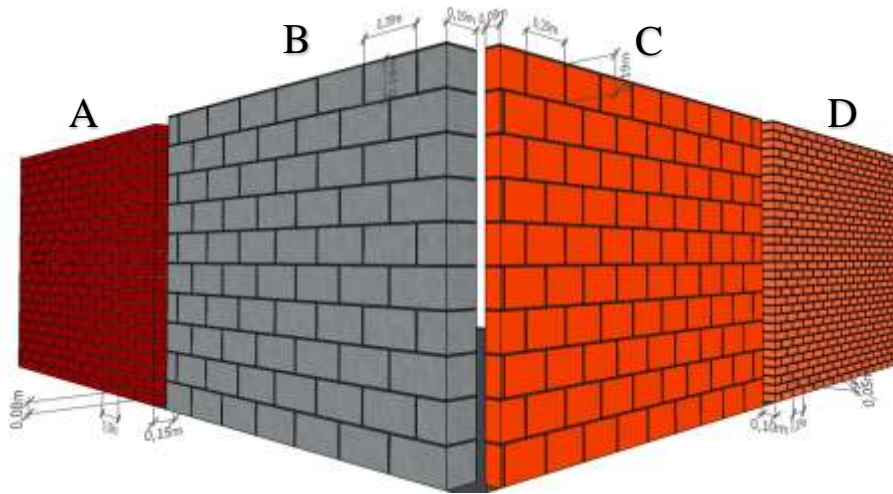
Transportation of materials is a major factor in the cost and energy of a building. The energy cost varies a lot from the construction site. Aiming to make a comparison specifically among the materials was considered already being in the place of the work, nullifying the energetic cost of transport.

The adobe was made from a clay soil with the addition of fine sand for correction in the proportion of 2: 1 (two parts of soil to one of



sand). The adobe have 30x15x8 (length x width x height) of dimension. The estimate for the embedded energy of the adobe was calculated in the stages from the extraction of the ground, preparation of the earth, fabrication and the drying of the adobe. In the first stage, soil extraction, a soil at 1.2 m depth was used, free of organic matter from an area that would be used for paving. A hydraulic diesel excavator with power of 148 HP was used in this stage for 16 minutes to 4 tons of soil consuming 3.26 liters of diesel. Souza et al., (2009) found an average consumption of 5.5 L h<sup>-1</sup> using a backhoe of 78 HP. Esturba (2014), analyzing 45 backhoe, got with average consumption of 7.1 L / h and energy efficiency of 68%. The second step consisted of the preparation of the soil removed; the human labor was used for the sieving in the No. 4 sieve (4.75mm aperture). The third step called for the manufacture was made by manual mixing, using human labor and subsequent mechanical homogenization using a device called "maromba" having a three-phase 3CV engine with a volume of 200 liters and on its axis a set of 6 propellers with capacity to mix 100 kg of soil at a time and with efficiency of 0.9. After mixing, the fourth stage consisted of drying the adobes in a place protected from the sun so that there were no sudden losses of water and possible cracks occurring for 21 to 28 days, varying with the temperature and humidity of the local environment.

The mortar used for masonry of adobe sealing was soil and lime with the trace 1: 3 (1 part of lime and 3 parts of soil). The mortar used for the ceramic brick and the ceramic block was cement and sand with the trace (1: 6). For concrete block mortar, cement and sand were used with the trace (1: 7). In the masonry model using adobe, the adobe was placed so that the width of the masonry was 14 centimeters and the total masonry mass, adobe and mortar, per square meter was 259.80 kg. In the masonry made of concrete blocks, sealing blocks were used in the dimensions 39x19x19 cm (LxWxH), each block weighing 10.50 kg and the mass per square meter of masonry was 150.95 kg with a width of 19 cm. In the model using the ceramic blocks, the blocks were sealed in the dimensions of 29x19x9 centimeters (LxWxA), with 4.30 kg of mass per block, with the value of the mass per square meter of masonry of 111.66 kg and the width of 9 centimeters. For the model using ceramic bricks with 19x5.3x10 cm (LxWxH) and 2.80 kg per brick, it presented a mass per square meter of masonry of 239.71 kg and width of 10 centimeters. A comparative diagram is represented in Figure 2.



**Figure 2.** Representative scheme of masonry. (A) Adobe, (B) concrete block, (C) Ceramic Block and (D) ceramic brick.

The values of the energetic coefficients of the ceramic block, concrete block and ceramic brick were found in the literature. For quantity manpower, required materials and volumes of mortars for constructions were calculated according to BAËTA (1993).

## RESULTS AND DISCUSSION

The value of the energy coefficient of the adobe was 229.22 kJ kg<sup>-2</sup>, the detailed energy values for each stage of the adobe production is detailed in table 1. The sand to correct the soil to make the adobe was the component that had more energy representation, 68.16% of the total adobe, and due to the high-energy value of its coefficient. In the extraction stage, 3.26 liters of diesel oil were required to extract 4 tons of soil, despite the low volume and low machine operating time. The

energy cost represented 16.97% of the energy coefficient of the adobe, showing that Diesel oil has a high-energy ratio due to its entire process from oil extraction to refinement. In the soil homogenization stage, using the "maromba" machinery, 13.01% of the energy coefficient of the adobe is observed, due to the consumption of electric energy. Although it took a long time, the energy expenditure of the labor force in the whole process represented the smallest part with only 1.85%. Even representing a small share of total energy expenditure for adobe production, labor can be seen as high employability from the socioeconomic point of view, for most of the process is handmade and manual.

**Table 1.** Stages of energy expenditure to obtain the energy coefficient of adobe.

Steps	Component	Energy	Unit	Expen- diture	Unit	Soil amount (kg)	Adobe energy (kJ kg <sup>-1</sup> )
<b>Extraction</b>							
Hydraulic excavator	Diesel (1)	47780.00	kJ L <sup>-1</sup>	3.256	Liters	4000	38.89
<b>Production</b>							
Sand	Sand (2)	312.50	kJ kg <sup>-1</sup>			2000	156.25
Soil	Soil (3)	0.00	kJ kg <sup>-1</sup>			4000	0.00
Soil preparation	Labor (4)	386.40	kJ h <sup>-1</sup>	20	Hours	4000	1.93
Homogenization	Electricity	8053.56	kJ h <sup>-1</sup>	0.34	Hours	100	29.83
Mixing and molding	Labor (4)	386.40	kJ h <sup>-1</sup>	24	Hours	4000	2.32
<b>Total</b>							<b>229.22</b>

The numbers in parentheses represent the literatures from which the cited coefficients were obtained, and are listed below: (1) DOERING (1980); (2) Medium values: SCHEUER et al. (2003); SHUKLA et al. (2009); GALAN-MARIN et al. (2016); (3) SHUKLA et al. (2009); (4) PELLIZZI (1992).

The energy used for the workforce was the least represented in all construction models. Adobe was the highest value found among the models, with 1,097.38 kJ m<sup>-2</sup>, due to the robustness, the smaller masonry cover area and the need for soil screening to produce the mortar. The workforce of the adobe represented 1.09% of the total consumption in the construction of the masonry. The other models presented 0.10%, 0.16% and 0.28% respectively for ceramic brick, ceramic block and concrete block.

Among the energy costs of laying mortar, ceramic brick presented the highest value 58,087.19 kJ m<sup>-2</sup>, the high value is due to the high energy contained in the cement and because of the larger volume of mortar due to the smaller area of brick covering. Adobe presented the second value 46,956.00 kJ m<sup>-2</sup> representing 46.72% of the total energy spent per square meter of masonry. The high cost of the mortar adobe is due to the area of adobe covering 28x14 cm<sup>2</sup> and the use of hydrated lime in the composition of the mortar used 9.03 kg of hydrated lime per m<sup>2</sup> masonry. The energetic expenses of the mortar of the other models per square meter of masonry were less significant, 9.83% 12.93% respectively for ceramic block and concrete block. Although cement and sand are used in mortars, the coating volume is

smaller compared to adobe and because they express a much higher total energy value in relation to adobe.

The step that most demanded energy, among the mentioned models was the energy coefficient of building element used. In Table 2, it can be seen that of the coefficients of the building elements, the adobe has the lowest energy value, representing only 7.90% of the ceramic block and 7.64% of the ceramic brick. The great difference is the burning process that demands a lot of energy, which can be electricity, firewood or diesel oil that occur in the process of manufacturing ceramic materials. Compared to the concrete block, the adobe represents 26.65% of the spent energy, this lower value is due to the air-drying process differently than it occurs in the ceramic materials. Although cement has a high-energy coefficient, its use in blocks represents 7 to 10% of the mass of the block according to Galan-Marín; Rivera-Gómez; García-Martínez (2016), therefore its energy coefficient is lower than the ceramic materials.

**Table 2.** Energy composition of masonry models by component, by area and total construction.

Masonry model	Energy coefficient	Unit	Energy index (kJ m <sup>2</sup> )	Total construction (MJ)
<b>ADOBE</b>				
Adobe element	229.22	kJ kg <sup>-1</sup>	52,445.54	6,497.48
<b>Mortar (1:3)</b>				
Lime	5,200.00 (1)	kJ kg <sup>-1</sup>	46,956.00	5,817.38
Soil	0.00 (2)	kJ kg <sup>-1</sup>	0.00	0.00
Labor	386.40 (3)	kJ h <sup>-1</sup>	1,097.38	135.95
Total			100,498.91	12,450.81
<b>CERAMIC BLOCK</b>				
Ceramic block element	2,900.00 (4)	kJ kg <sup>-1</sup>	261,870.00	32,443.07
<b>Mortar (1:6)</b>				
Cement	7,500.00 (5)	kJ kg <sup>-1</sup>	22,875.00	1,587.03
Sand	312.50 (6)	kJ kg <sup>-1</sup>	5,721.88	708.88
Labor	386.40	kJ h <sup>-1</sup>	444.36	55.05
Total			290,911.24	36,040.99
<b>CONCRETE BLOCK</b>				
Concrete block element	860.00 (7)	kJ kg <sup>-1</sup>	117,390.00	14,543.45
<b>Mortar (1:7)</b>				
Cement	7,500.00	kJ kg <sup>-1</sup>	13,545.00	1,678.09
Sand	312.50	kJ kg <sup>-1</sup>	3,950.00	489.37
Labor	386.40	kJ h <sup>-1</sup>	358.11	44.37
Total			135,243.11	16,755.27
<b>CERAMIC BRICK</b>				
Ceramic brick element	3,000.00 (8)	kJ kg <sup>-1</sup>	588,000.00	72,847.32
<b>Mortar (1:6)</b>				
Cement	7,500.00	kJ kg <sup>-1</sup>	46,470.00	5,757.17
Sand	312.50	kJ kg <sup>-1</sup>	11,617.19	1,439.25
Labor	386.40	kJ h <sup>-1</sup>	637.56	78.99
Total			646,724.75	80,122.73

The numbers in parentheses represent the literatures from which the cited coefficients were obtained, and are listed below: (1) BOUSTEAD; HANCOCK (1979); (2) SHUKLA et al. (2009); (3) PELLIZZI (1992); (4) TAVARES et al. (2006); (5) REDDY; JAGADISH (2002); (6) Medium values: SCHEUER et al. (2003); SHUKLA et al. (2009); GALAN-MARIN et al. (2016); (7) ALCORN (1996); (8) HAMMOND et al. (2008).

Although the values of the energetic coefficients of the ceramic block and ceramic brick are similar, 2900 and 3000 kJ kg<sup>-1</sup> respectively, it is observed that when dealing with the value per square meter of masonry the difference between them increases considerably 290,911.24 and 646,724.75 kJ M<sup>-2</sup> for the ceramic block and ceramic brick respectively. The major difference is the area of masonry and material density. The ceramic brick had a masonry covering area of 0.0101 m<sup>2</sup> and a density of 2.78 g cm<sup>-3</sup> while the ceramic block had a masonry covering area of 0.0551 m<sup>2</sup> and a density of 0.87 g cm<sup>-3</sup>. The energetic coefficient of the concrete block, despite being 3.75 times greater than the adobe in kJ kg<sup>-1</sup>, approaches when compared to the value per square meter of masonry 100.498,91 and 135.243,11 kJ m<sup>-2</sup> for the adobe and concrete block respectively. The similarity occurs by the process that does not use the burning in the two components, by the masonry cover area of the concrete block is greater than 8 times that of the adobe and by the density 1.89 g cm<sup>-3</sup> for the adobe and 0.74 g cm<sup>-3</sup> for the concrete block.

Comparing the energy consumption of masonry made with stone blocks, ceramic brick, concrete block, soil-cement blocks and steam cured mud blocks concluded the masonry made with soil-cement blocks had the lowest energy demand, representing 33% of the ceramic



brick. Second is the concrete block masonry representing 40 to 45% of the ceramic brick masonry burned, presents 2,141.00 MJ m<sup>-3</sup> (REDDY; JAGADISH, 2003).

Compared to the total masonry consumption for the house, the adobe presented 12,450.81 MJ equivalent to a saving of 22.26% compared to the concrete block, 64.21% compared to the ceramic block and 83.95% of the ceramic brick. (SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA - SIACOT, 1976), GUPTA (2000) and SHUKLA et al. (2009) affirm that the adobe represents a smaller energy expenditure compared to materials that undergo the process of burning or those who use cement.

CAMPOS et al. (2003) calculated the value of 1,132, 692.48 kJ m<sup>-2</sup> of masonry using the massive brick with the largest dimension turned to the width of the masonry, in the present work the value found was 588.00,00 kJ m<sup>-2</sup> representing practically the half for using the Massive brick with its largest dimension facing the length of the masonry. Proportionally the results are consistent.

## **CONCLUSIONS**

The energy coefficient of the adobe was 229.22 kJ. kg<sup>-1</sup>, lower than the energetic coefficients of the other materials. For adobe

production, the item that presented the highest energy expenditure was sand for soil correction 68.16%. The energetic index by construction area of masonry for a rural dwelling using adobe was 110,498.91 kJ. m<sup>-2</sup> lower than all other models of masonry.

The model with the greatest energy demand was that of massive brick with 80,122.73 MJ. The concrete block was the model that most approached the adobe with 16,775.27 MJ. It is concluded that the construction made by adobe requires less energy when compared to conventional models.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

FAPEMIG and CAPES supported this research project.

**REFERENCES**

ALCORN, A. **Embodied energy coefficients of building materials.**

Centre for Building Performance Research, Victoria University of Wellington, 1996.

BAÊTA, F.C.; PELOSO, E.J.M.; HOMEM, A.C.F. **Custos de construções.** Viçosa: Imprensa Universitária, 1993. 57p.

BOUSTEAD, I.; HANCOCK, G.F. **Handbook of Industrial Energy Analysis.** Ellis Horwood, Chichester, England. 1979. ISBN 0-85312-064-1.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2008:** Ano base 2007. Brasília. 2008, a.

CAMPOS, A. T., et al. Custo energético de construção de uma instalação para armazenagem de feno. **Ciência Rural**, 2003, 33.4: 667-672.

CORRÊA, A. A. R., et al. Incorporation of bamboo particles and “synthetic termite saliva” in adobes. **Construction and Building Materials**, 2015, 98: 250-256.

DOERING III, O.C. Accounting for energy in farm machinery and buildings. In: PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC, 1980. p.9-14.

ESTURBA, T. S. **Avaliação do consumo energético em obras de construção civil de grande porte**. PhD Thesis. Universidade de São Paulo, 2014.

GALAN-MARIN, C.; RIVERA-GOMEZ, C.; GARCIA-MARTINEZ, A. Use of Natural-Fiber Bio-Composites in Construction versus Traditional Solutions: Operational and Embodied Energy Assessment. **Materials**, v. 9, n. 6, p. 465, 2016.

GUPTA, T. N. Materials for the human habitat. *MRS Bulletin-Materials Research Society*, 2000, 25.4: 60-60.

HAMMOND, G., et al. **Inventory of carbon & energy: ICE**. Bath: Sustainable Energy Research Team, Department of Mechanical Engineering, University of Bath, 2008.

LAWSON, B. **Building Materials Energy and Environment—towards ecologically development**. *University of New South Wales, Sidney, Australia*. 123p, 1996.

MONTEIRO, J.H.P.; FIGUEIREDO, C. E. M.; MAGALHÃES, A. F.; MELO, M. A.F.; BRITO, J. C. X.; ALMEIDA, T. P. de; MANSUR, G. L.. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, IBAM, 2001. 195p.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G.. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. **Construction and Building Materials**, 2009, 23.1: 28-39.

PELLIZZI, G. Use of energy and labour in Italian agriculture. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 1992, 52: 111-119

REDDY, B. V.; JAGADISH, K. S. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. **Energy and buildings**, 2003, 35.2: 129-137.

SCHEUER, C.; KEOLEIAN, G. A.; REPPE, P. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. **Energy and buildings**, 2003, 35.10: 1049-1064.

SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA, 13. 1976, New York. **O consumo de**

**energia para construção civil.** New York: Grupos de Pesquisa da Universidade de Illinois, e Richard G. Stein e Assoc, Arquitetos, 1976.

SHUKLA, A.; TIWARI, G. N.; SODHA, M. S. Embodied energy analysis of adobe house. **Renewable Energy**, 2009, 34.3: 755-761.

SOUZA, C. V., et al. Análise energética em sistema de produção de suínos com aproveitamento dos dejetos como biofertilizante em pastagem. *Engenharia Agrícola*, 2009, 547-557.

SZOKOLAY, S. **The environmental imperative.** *Proceedings of PLEA, Kushiro, Japón*, 1997, 3.

TAVARES, S. F; LAMBERTS, R. **Consumo de energia para construção, operação e manutenção das edificações residenciais no Brasil.** In VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, ENCAC 2005. Maceió, AL. Outubro de 2005. CD-ROM.

TAVARES, S. F., et al. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** 2006.

THORMARK, C. A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. **Building and environment**, 2002, 37.4: 429-435.

**CONCLUSÃO FINAL**

A utilização de resíduos e estabilizantes na produção de adobes altera suas propriedades físicas, mecânicas e térmicas. De acordo com o resíduo a ser incorporado variará as propriedades a serem melhoradas. É conveniente e deve ser estudada a incorporação de mais de um de resíduo em adobes. Recomenda para estudos posteriores a utilização do resíduo de Polímero Reforçado com Fibra de Vidro, junto com a adição de lodo de Estação de Tratamento de Água e a estabilizante “baba de cupim sintética”. Acredita-se que a fabricação do adobe híbrido, com os três estabilizantes, em proporção de acordo com o que foi estudado isoladamente com cada um, fará um adobe com melhoras significativas em todas suas propriedades.

Em termos energéticos, o adobe em questão de comparação da alvenaria demanda muito menos energia. Recomenda-se fazer um estudo de uma obra completa, desde a fundação até a cobertura e acabamentos de uma alvenaria feita com adobe e outras com materiais convencionais e fazendo uma análise do ciclo de vida.